JOÃO HENRIQUE DE SOUZA PEREIRA

MODELO DE TÍTULO PARA A PRÓXIMA GERAÇÃO
DE INTERNET

São Paulo

2012

JOÃO HENRIQUE DE SOUZA PEREIRA

MODELO DE TÍTULO PARA A PRÓXIMA GERAÇÃO
DE INTERNET

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Sistemas Eletrônicos

Orientador: Prof. Dr. Sergio Takeo Kofuji

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Frosi Rosa

São Paulo

2012

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 12 de abril de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Pereira, João Henrique de Souza

Modelo de título para a próxima geração de Internet / J.H.S.

Pereira. -- ed. rev. -- São Paulo, 2012.

147 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1. Internet do futuro 2. Modelo de título 3. Ontologia 4. Redes de computadores 5. Título de entidade I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II. t.

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, amigos e ao amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela constante luz em meu caminho.

À Patrícia, pelo amor e carinho.

Aos meus pais, irmãos, familiares e amigos, pelo Porto Seguro e compreensão de minha ausência durante meus estudos e pesquisas.

Aos amigos e irmãos Doutores Cleudemar e Marinê, pelas várias revisões ortográficas e gramaticais. À Marinê também pelas contribuições e direções filosóficas para minha compreensão dos conceitos originais de Arquitetura, Modelo, Ontologia e Topologia.

Ao grupo originador das investigações nesta área de pesquisa: Alexandre Campos, Cleber, Edmo, Gilberto, Prof. Faina e Prof. Pedro.

À Darlene, pela amizade e abertura de portas que me possibilitou dedicar a este trabalho.

À confraria pelos bons vinhos e amizade, fundamental para o equilíbrio em momentos de tensão.

Aos membros dos grupos FINLAN e MEHAR, por todas as discussões e colaborações nas pesquisas em Internet do futuro.

Aos membros dos laboratórios PAD e HUMAN LAB, pelo constante trabalho, companheirismo e bons cafés.

A quem me enviou muita energia.

Ao Flávio, nosso Profeta Ismael, pelas intervenções em benefício à pesquisa científica e às pessoas. Aprendi muito com ele em nosso convívio e continuarei aprendendo em nossas pesquisas colaborativas em curso, e futuras.

À Cláudia, secretária do LSI, por todo apoio, suporte e sorrisos de paz.

Ao Professor Dr. João Antônio Zuffo, por receber meu projeto e a mim, com enorme cordialidade e atenção.

Em especial ao meu Orientador, Professor Dr. Sergio Takeo Kofuji, pela acolhida na USP e incansável cobrança para a contínua superação dos resultados.

Em especial também ao meu Co-orientador, Professor Dr. Pedro Frosi Rosa, pela história de contribuições em minhas pesquisas e meu amadurecimento profissional e científico.

*An invasion of armies can be resisted,
but not an idea whose time has come.*

Future Internet Week Out/2011

Victor Hugo

RESUMO

PEREIRA, J. H. S. **Modelo de título para a próxima geração de Internet**. 2012. 147 p. Tese (Doutorado) – Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

A Arquitetura TCP/IP consolidou-se como padrão nas redes de computadores e permanece em crescente expansão de uso. Apesar de seus protocolos principais terem sido especificados há cerca de 30 anos, ainda permanecem como os mais utilizados nas camadas 3 e 4 devido à sua alta qualidade de projeto, que resultou em elevada eficiência e flexibilidade de uso. A organização do TCP/IP em camadas, com especificações pelo IETF, consolidou-se na década de 1980, quando também tornou-se padrão o modelo de referência OSI, da ISO. Posteriormente, o TCP/IP firmou-se, de fato, como o padrão de protocolos para as redes de computadores e com maior utilização sobre o conjunto de protocolos da ISO e de outras instituições de padronização, visto que a Internet tornou-se o maior sistema aberto interconectado e há poucas redes que utilizam os protocolos OSI, embora vários sistemas abertos sejam baseados em seu modelo de referência em camadas. Há extensas pesquisas e discussões voltadas para alternativas de evolução desta arquitetura e, nesta área de estudos, este trabalho define o Modelo de Título para a próxima geração de Internet. Modelo este que permite a unificação de diferentes tipos de endereços utilizados, com possibilidade de reduzir as complexidades das redes de computadores e melhorar o suporte às necessidades de comunicação dessas redes. A partir de uma visão ontológica sobre as redes de computadores e as necessidades de comunicação no uso destas, este trabalho contribui para a evolução tecnológica da comunicação em rede, com melhoria no atendimento de tais necessidades pela aproximação semântica entre a camada superior e as inferiores. A possibilidade de contribuição nessa área da ciência motiva esta pesquisa, que também apresenta a ontologia do Modelo de Título para formalizar a compreensão semântica e o suporte às necessidades das entidades de comunicação, bem como suas possíveis alterações, conforme o contexto.

Palavras Chave: Internet do Futuro. Modelo de Título. Ontologia. Redes de Computadores. Título de Entidade.

ABSTRACT

PEREIRA, J. H. S. **Title model for the next generation Internet**, 2012. 147 p. Tese (Doutorado) – Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The TCP/IP architecture has become a standard on computer networks and remains in growing expansion of use. Despite its key protocols have been specified 30 years ago, they still remain the most used in layers 3 and 4, due to its high quality design, which resulted in high efficiency and flexibility of use. The TCP/IP layers model from the IETF has established itself in the 80's, when also has become a standard the OSI reference model from the ISO. Subsequently, the TCP/IP has become, the fact, the standard with greater use over the set of ISO protocols and the other institutions of standardization, since the Internet has become the largest open system interconnected and there are few networks that use OSI protocols, although several open systems are based on its layers reference model. Moreover, there is extensive research and discussions in alternatives for the evolution of this architecture and, in this study area, this Thesis defines the Title Model for the next generation Internet. This model allows the unification of the different types of addresses, with the possibility of reducing the complexities of computer networks and better support to the communication needs in computer networks. Based on one ontological view on computer networks and the needs in its use, this study has the intention to contribute to the technological evolution of network communication in order to better meet the entities communication needs and approximate the upper and lower layers. The possibility to contribute in this technological area motivates this research that also presents the ontology for the title model to increase the semantic comprehension for the support of the entities needs and their possible changes in the context.

Keywords: Computer Networks. Entity Title. Future Internet. Ontology. Title Model.

Lista de Figuras

Figura 1 - Primeiro nível da EAP.....	21
Figura 2 - Ramo da EAP referente aos trabalhos relacionados.....	22
Figura 3 - Ramo da EAP referente às limitações da Arquitetura Internet.....	22
Figura 4 - Ramo da EAP referente ao Modelo de Título de Entidade.....	23
Figura 5 - Ramo da EAP referente à ontologia do Modelo de Título.....	24
Figura 6 - Arquitetura da Web Ontology Language.....	40
Figura 7 - Histórico de evolução das RFC 760, 761 e 768.....	43
Figura 8 - Novas RFC especificadas por ano.....	49
Figura 9 - Múltiplos fluxos de comunicação entre usuários.....	51
Figura 10 - Associação entre contextos e terminações em uma área de trabalho.....	52
Figura 11 - Representação axiomática das necessidades e suas variações.....	55
Figura 12 - Alteração do axioma para representar o suporte de sigilo.....	55
Figura 13 - Relação entre necessidades e requisitos tecnológicos em uma área de trabalho.....	57
Figura 14 - Problema de comunicação no TCP/IP.....	59
Figura 15 - Endereçamento horizontal por serviço de diretório.....	66
Figura 16 - Envio e recebimento de dados em CL e CO.....	68
Figura 17 - Alteração do axioma para representar o requisito de CL.....	68
Figura 18 - Alteração da representação dos requisitos.....	69
Figura 19 - Organização da rede mundial no endereçamento por título unificado.....	71
Figura 20 - Comparação do TCP/IP e o Modelo de Título.....	76
Figura 21 - Visão simplificada do uso do DTS.....	78
Figura 22 - Topologia de organização do DTS.....	80
Figura 23 - Informações gerais da ontologia do Modelo de Título de Entidade.....	82
Figura 24 - Modelo de serviço.....	89
Figura 25 - Hierarquia da classe Thing.....	91
Figura 26 - Formalização das subclasses Entidade e Aplicação.....	91
Figura 27 - Hierarquia das classes Camada, Entidade e Título.....	92
Figura 28 - Subclasses da classe Necessidade.....	93
Figura 29 - Representação semântica – Entidades possuem Necessidades e Título.....	94
Figura 30 - Extensão semântica entre camadas no Modelo de Título e no TCP/IP.....	98
Figura 31 - Exemplo de envio de necessidades para a camada de serviço.....	98
Figura 32 - Taxonomia do conceito Entidade no Modelo de Título.....	100

Figura 33 - Ontologia para a programação distribuída com N escravos.....	101
Figura 34 - Taxonomia para o controle do tamanho do pacote e garantia de entrega.....	102
Figura 35 - Ontologia para requisição do endereço físico.....	103
Figura 36 - Ontologia para resposta da requisição de endereço físico.....	103
Figura 37 - Tamanho dos pacotes enviados entre o mestre e o escravo.....	110
Figura 38 - Distribuição dos pacotes entre o mestre e o escravo.....	110
Figura 39 - Variação do tamanho do quadro em 20 execuções.....	113
Figura 40 - Somatória do tamanho do quadro na repetição de 20 testes.....	113
Figura 41 - Análise da inclusão de novos escravos.....	114
Figura 42 - Redução do custo de rede por pacote.....	115
Figura 43 - Resumo dos desdobramentos desta Tese.....	122

Lista de Siglas

AEI	<i>Application Entity Invocation</i>
AP-title	<i>Application Process title</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
AS	<i>Autonomous System</i>
ASO-title	<i>Application Service Object-title</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BOOTP	<i>Bootstrap Protocol</i>
B-ISDN PRM	<i>Broadband-ISDN Protocol Reference Model</i>
CANARIE	<i>Canada's Advanced Research and Innovation Network</i>
CL	<i>Connection Less</i>
CLNS	<i>Connection Less Network Service</i>
CL/ACK	<i>Connection Less com Acknowledgment</i>
CNGI	<i>China Next Generation Internet</i>
CO	<i>Connection Oriented</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
DGO	<i>Distribuidor Geral Óptico</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DHT	<i>Distributed Hash Table</i>
DNS	<i>Domain Name System</i>
DS Field	<i>Differentiated Services Field</i>
DSCP	<i>Differentiated Services Code Point</i>
DTS	<i>Domain Title Service</i>
EFIA	<i>European Future Internet Alliance</i>
EFII	<i>European Future Internet Initiative</i>
EI	<i>Entity Invocation</i>
EID	<i>Endpoint Identifier</i>
ESB	<i>Enterprise Service Bus</i>
EJB	<i>Enterprise JavaBeans</i>
FCN	<i>Future Content Networks</i>
FDR	<i>Future Domain Routing</i>
FIA	<i>Future Internet Assembly</i>
FINLAN	<i>Fast Integration of Network Layers</i>
FIRA	<i>Future Internet Research Alliance</i>
GP	<i>Generic Path</i>
GSM	<i>Global System Mobile</i>
G-Lab	<i>German-Lab</i>
HPC	<i>High Performance Computing</i>

IAB	<i>Internet Architecture Board</i>
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i>
IBR	<i>Identity Based Routing</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IHL	<i>IP Header Length</i>
IM	<i>Instant Messaging</i>
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identification</i>
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPnG	<i>IP – Next Generation</i>
IRI	<i>Internationalized Resource Identifiers</i>
IRTF RRG	<i>Internet Research Task Force Routing Research Group</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
J2EE	<i>Java 2 Enterprise Edition</i>
JMS	<i>Java Message Service</i>
LISP	<i>Locator Identifier Separation Protocol</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MEGACO	<i>Media Gateway Control Protocol</i>
MG	<i>Media Gateway</i>
MPI	<i>Message Passing Interface</i>
MTP	<i>Message Transfer Part</i>
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i>
NAT	<i>Network Address Translation</i>
NE	<i>Network Element</i>
NetQoSOnt	<i>Network QoS Ontology</i>
NGI	<i>Next Generation Internet</i>
OOTN	<i>Ontology for Optical Transport Networks</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
OVM	<i>Ontology for Vulnerability Management</i>
OWL	<i>Web Ontology Language</i>
OWL DL	<i>Web Ontology Language Description Logics</i>
PMBOK	<i>Project Management Book of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PVC	<i>Permanent Virtual Circuit</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
RDFS	<i>Resource Description Framework Schema</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>
RLOC	<i>Routing Locator</i>
RNRT	<i>Réseau National de Recherche en Télécommunications</i>

ROFL	<i>Routing on Flat Labels</i>
RR-FS	<i>Routing Research – Scalability Research Subgroup</i>
RTP	<i>Real Time Protocol</i>
RTCP	<i>Real Time Control Protocol</i>
SAP	<i>Service Access Point</i>
SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
SDP	<i>Session Description Protocol</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SIP	<i>Simple IP</i>
SIPP	<i>Simple IP Plus</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
SOD	<i>Sistema Operacional Distribuído</i>
SOH	<i>Start of Heading</i>
SRTP	<i>Secure Real-time Transport Protocol</i>
SS7	<i>Signaling System Number 7</i>
SVC	<i>Switched Virtual Circuit</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
ToS	<i>Type of Service</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UIA	<i>Unmanned Internet Architecture</i>
UIP	<i>Unmanned Internet Protocol</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
UWB	<i>Ultra-Wideband</i>
VCI	<i>Virtual Circuit Identifier</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
VPI	<i>Virtual Path Identifier</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
VRR	<i>Virtual Ring Routing</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
XMLS	<i>eXtensible Markup Language Schema</i>

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Hipótese.....	17
1.2 Justificativa e Motivação.....	18
1.3 Objetivo.....	19
1.3.1 Objetivos Específicos.....	19
1.4 Resultados Esperados.....	19
1.5 Escopo e Limitações do Trabalho.....	20
1.6 Método de Pesquisa.....	21
1.6.1 Estudos e Pesquisas Bibliográficas.....	21
1.6.2 Compreensão dos Problemas de Comunicação e Lacunas na Arquitetura Atual.....	22
1.6.3 Definição do Modelo de Título.....	23
1.6.4 Formalização do Modelo de Título.....	23
1.7 Contribuições Originais.....	24
1.8 Estrutura da Tese.....	25
2 TRABALHOS RELACIONADOS.....	27
2.1 Resgate do Significado Original de Termos Fundamentais.....	27
2.1.1 Arquitetura.....	28
2.1.2 Modelo.....	29
2.1.3 Ontologia.....	30
2.1.4 Topologia.....	32
2.2 Próxima Geração de Internet.....	32
2.2.1 Propostas Recentes em NGI.....	34
2.2.2 FIA/FIRE/EFIA.....	36
2.2.3 FIND/GENI.....	37
2.3 Ontologia em Tecnologia.....	38
2.3.1 Modelagem para Redes de Computadores.....	39
2.3.2 Ontologia nas Camadas de Rede.....	40
3 LIMITAÇÕES DA ARQUITETURA INTERNET.....	42
3.1 Evolução da Arquitetura Internet.....	42
3.2 Discussões Ontológicas na Arquitetura Internet.....	45
3.2.1 Problema Ontológico dos Protocolos nas Redes de Computadores.....	48

3.2.2	Problema do Endereçamento de Estações, Aplicações e Usuários.....	50
3.3	Dinamismo no Suporte às Necessidades e Requisitos da Comunicação em Rede.....	53
3.3.1	Relação entre Necessidades das Aplicações e Requisitos Tecnológicos.....	55
3.3.2	Alteração das Necessidades de Comunicação.....	56
3.4	Endereçamento Horizontal.....	57
3.4.1	Endereçamento Horizontal por Endereçamento IP.....	60
3.4.2	Endereçamento Horizontal pelo Endereço Físico.....	61
3.4.3	Endereçamento Horizontal pelo Endereço de Usuário.....	62
3.4.4	Endereçamento Horizontal pelo Endereço de Aplicação.....	63
3.4.5	Endereçamento Horizontal por Controle de Fluxos.....	64
3.4.6	Endereçamento Horizontal por Serviço de Diretório.....	65
3.4.7	Endereçamento Horizontal na Internet sem Uso do Client-Server.....	67
3.4.8	Endereçamento Horizontal por Título.....	69
3.4.8.1	Unificação do Endereçamento em Título.....	70
4	O MODELO DE TÍTULO DE ENTIDADE.....	74
4.1	Metas para o Modelo.....	74
4.2	Modelo em Camadas.....	75
4.3	Serviço de Domínio de Título.....	77
4.3.1	Suporte a Necessidades de Entidades no Serviço de Domínio de Título.....	79
4.3.2	Escalabilidade.....	79
4.4	Interoperabilidade entre o Modelo de Título e a Arquitetura Internet.....	80
4.5	Ontologia do Modelo de Título.....	81
4.5.1	Método para Criação da Ontologia.....	81
4.5.2	O Modelo de Título de Entidade em Web Ontology Language.....	82
4.5.2.1	Determinação do Domínio e Escopo da Ontologia.....	83
4.5.2.2	Consideração sobre o Reuso de Ontologias Existentes.....	85
4.5.2.3	Enumeração de Termos Importantes da Ontologia.....	86
4.5.2.4	Definição das Classes e da Hierarquia de Classe.....	91
4.5.2.5	Definição das Propriedades das Classes – Slots.....	93
4.5.2.6	Definição dos Facets dos Slots.....	95
4.5.2.7	Criação de Instâncias.....	95
5	AVALIAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	97
5.1	Contribuições para Projetos de Internet do Futuro.....	97
5.2	Exemplo de uso em Redes com Conectividade em Camada de Enlace.....	100
5.2.1	Aproximação Semântica entre as Camadas de Rede.....	101

5.2.2	Considerações sobre o Endereçamento de Estações.....	102
5.2.3	Considerações sobre o Endereçamento de Processos.....	104
5.2.4	Considerações sobre o Controle do Tamanho do Pacote.....	106
5.2.5	Considerações sobre a Garantia de Entrega dos Pacotes.....	107
5.2.6	Considerações sobre a Interoperabilidade com as Arquiteturas Atuais.....	107
5.2.7	Análise de Desempenho.....	109
5.2.7.1	Medida do Custo de Rede da Programação Distribuída com MPI.....	109
5.2.7.2	Resultado da Otimização do Custo de Rede.....	111
5.2.7.3	Notas sobre os Resultados.....	115
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	117
6.1	Resultados.....	117
6.2	Limitações.....	120
6.3	Trabalhos Futuros e Desdobramentos.....	121
	REFERÊNCIAS.....	123
	APÊNDICE A – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP).....	133
	APÊNDICE B – TAXONOMIA DO MODELO DE TÍTULO.....	134
	APÊNDICE C – CÓDIGO OWL DA ONTOLOGIA DO MODELO DE TÍTULO.....	136
	APÊNDICE D – TABELA DE RESULTADOS.....	147

1 INTRODUÇÃO

O Modelo de Referência OSI (*Open Systems Interconnection*) enfoca o problema da comunicação de dados através de camadas, por princípio ortogonal, todas importantes, sendo algumas delas imprescindíveis. Este modelo mostrou-se tão bem especificado que é possível identificar os aspectos filosóficos de suas camadas em arquiteturas de redes de computadores atuais e pretéritas.

A camada de rede, por tratar da interconexão de WANs (*Wide Area Network*) e do roteamento de pacotes, de algum modo nomeou várias arquiteturas; por exemplo, a Arquitetura Internet. A partir da abertura da rede Internet, a entrega de primitivas aos protocolos de aplicações ressaltou a importância do protocolo de transporte, sendo comum nos dias atuais a Arquitetura Internet ser referenciada como Arquitetura TCP/IP.

É notável que a camada física (inferior) tem experimentado uma oferta importante de novos protocolos de meios físicos, bem como a camada de aplicação (superior) tem visto uma verdadeira explosão na oferta de protocolos de aplicação. Contudo, os protocolos das camadas de rede e de transporte (protocolos TCP/IP) da Arquitetura Internet evoluíram muito timidamente, constituindo-se um hiato (*gap*) para as aplicações atuais e futuras.

1.1 Hipótese

Acredita-se possível aproximar semanticamente as camadas de uma arquitetura de rede de computadores e que esta aproximação favoreça a compreensão das necessidades de comunicação das camadas superiores pelas mais baixas. Acredita-se também que possa ser definido um modelo que permita esta aproximação e que suporte abordagens distintas dos esforços de grupos de referência em seus trabalhos de Internet do futuro.

1.2 Justificativa e Motivação

A evolução no atendimento dos requisitos da camada de aplicação, a partir dos protocolos de transporte e de rede da Arquitetura Internet, não acompanhou a evolução dos elementos de rede e suas capacidades. Ao mesmo tempo, pode-se constatar um grande interesse no uso de ontologia para formalizações conceituais na camada de aplicação, sem que o mesmo ocorra para as camadas de Rede e de Transporte, gerando uma lacuna na compreensão das necessidades dos elementos de redes. Esta perspectiva é evidenciada pelos esforços recentes das pesquisas em Internet do Futuro, que possuem maior foco na evolução da camada superior e nos acessos.

As camadas intermediárias atuais, por exemplo, não compreendem algumas necessidades de QoS (*Quality of Service*), Segurança, Mobilidade e Web Semântica, em geral consideradas pela camada de aplicação, e, conseqüentemente, por não compreenderem, há dificuldade de suportar tais necessidades.

Tal fato parece manifesto, uma vez que as evoluções significativas mais recentes nas estruturas dos protocolos IP, TCP e UDP ocorreram ainda em 1981 (POSTEL, 1980a, 1980b, 1980c, 1981a, 1981b), anterior ao surgimento de algumas das necessidades atuais da comunicação distribuída. Considera-se aqui o IPv6 (DEERING, 1995, 1998), especificado em 1995, que estruturalmente não incluiu uma compreensão semântica na camada de rede.

O aumento da capacidade computacional dos elementos de rede permitiu o surgimento de aplicações mais complexas e com demanda de requisitos distintos, sendo que o atendimento destes requisitos não foi previsto completamente no projeto da Arquitetura Internet, nem, conseqüentemente, na especificação de seus protocolos de comunicação para endereçamento e transporte.

A possibilidade de contribuir nesta questão motiva este trabalho, de forma a melhorar o suporte da necessidade humana de comunicação, potencializada pelas redes de computadores, que buscam suprir os requisitos tecnológicos necessários para satisfazer esta necessidade.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é definir um modelo que permita aproximar semanticamente as camadas superiores e inferiores na próxima geração de Internet, objetivando, também, sua aceitação pela comunidade científica, no todo ou em parte, como contribuição para o estado da arte do modelo de referência para a Internet do futuro.

Esta pesquisa visa à evolução dos modelos de redes de computadores, abrangendo as perspectivas atual e futura das tecnologias de Internet, com a finalidade de melhorar o atendimento das necessidades das entidades de comunicação distribuídas, que demandam requisitos tecnológicos para atendê-las.

1.3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. definir um modelo que possibilite a aproximação semântica entre as camadas da arquitetura de rede;
2. descrever formalmente o modelo definido para suportar semanticamente os elementos de comunicação e suas necessidades na Internet do futuro; e
3. demonstrar o benefício do uso do modelo definido para o suporte de necessidades específicas de comunicação, por meio de um exemplo de uso da aproximação semântica entre as camadas da arquitetura de rede.

1.4 Resultados Esperados

Espera-se que o modelo definido nesta Tese colabore para a definição de um modelo de referência para a Internet do futuro.

Assim, espera-se que futuramente seja utilizado comercialmente pelos implementadores de tecnologia da próxima geração de Internet e que permita a redução da complexidade de protocolos pela utilização do poder semântico, entre camadas (*cross layers*), nas arquiteturas de redes de computadores.

1.5 Escopo e Limitações do Trabalho

O escopo deste trabalho é o de abordar o problema da aproximação semântica entre as camadas superior e as mais baixas, na Internet, e definir um modelo que permita esta aproximação. Também é escopo formalizar este modelo e demonstrar seu uso em um ambiente com conectividade em nível de enlace.

Nesta Tese, o uso do modelo definido será limitado a uma aplicação de programação distribuída em redes com conectividade em camada de enlace.

Apesar do desenvolvimento da arquitetura de protocolos não fazer parte desta Tese, será realizada uma definição em camada de enlace para demonstrar a eficiência da comunicação semântica no modelo em questão.

Esta definição terá o objetivo de demonstrar, em um exemplo de uso, a possibilidade técnica futura de implementação da arquitetura de protocolos, instância do modelo definido. Este exemplo de uso terá o objetivo de mostrar a aproximação das camadas semanticamente com uso de um protocolo aderente ao modelo aqui definido, e não fará uso dos protocolos TCP/IP.

Também está fora do escopo desta Tese descrever as contribuições e resultados das investigações realizadas em uma linha de pesquisa auxiliar, que implementou a aproximação entre as camadas de rede com uso de RAW Sockets. As contribuições desta pesquisa auxiliar encontram-se em publicações, que incluem: um artigo em journal; um capítulo de livro no FIA Book 2011; dois artigos IEEE Xplore; e um prêmio de *Best Paper* (MALVA, 2009; PEREIRA, 2011a; PEREIRA 2010a; PEREIRA 2009a; SANTOS, 2011; SANTOS, 2010).

1.6 Método de Pesquisa

Este trabalho realiza as etapas referentes ao nível da WBS (*Work Breakdown Structure*), apresentado na Figura 1. A criação desta WBS, também conhecida como EAP (Estrutura Analítica do Projeto), foi baseada nas práticas definidas pelo PMI (*Project Management Institute*) no PMBOK (*Project Management Book of Knowledge*) (PMI, 2004).

Figura 1 - Primeiro nível da EAP

1.6.1 Estudos e Pesquisas Bibliográficas

Segundo Raul Wazlawick, a revisão bibliográfica é prerequisite do método de pesquisa, mas não é parte deste (WAZLAWICK, 2008). Porém, será incluído para a sequência lógica do método de trabalho, uma vez que o método contempla os passos para atingir o objetivo.

Assim, a etapa sobre os trabalhos relacionados abordará:

- O resgate do significado filosófico original dos termos Arquitetura, Modelo, Ontologia e Topologia, para garantir a correta utilização conceitual destes;
- Pesquisa em relação ao estado da arte na área de tecnologias Post-IP e NGI (*Next Generation Internet*);
- Análise de algumas tecnologias de redes de computadores;
- Estudo do uso da ontologia nas áreas tecnológicas; e
- Abordagem sobre modelagem para redes de computadores e ontologia nas camadas de rede.

A decomposição resumida deste ramo da EAP é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Ramo da EAP referente aos trabalhos relacionados

1.6.2 Compreensão dos Problemas de Comunicação e *Lacunas* na Arquitetura Atual

Após a pesquisa dos trabalhos relacionados, será ampliada a análise e o entendimento dos problemas da Arquitetura TCP/IP e identificadas as dificuldades de suporte destas necessidades pela arquitetura corrente. Esta etapa permitirá a visão mais clara dos problemas abordados e a explicação dos requisitos mínimos a serem atendidos na definição do modelo.

A decomposição resumida deste ramo da EAP é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Ramo da EAP referente às limitações da Arquitetura Internet

1.6.3 Definição do Modelo de Título

Nesta etapa, será realizada a definição do modelo para suportar a aproximação semântica entre as camadas superior e inferiores, o que permitirá que as entidades de comunicação possam informar com maior riqueza de significado suas necessidades à camada intermediária para a consequente tradução destas necessidades em requisitos nas redes de computadores.

A decomposição resumida deste ramo da EAP é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Ramo da EAP referente ao Modelo de Título de Entidade

Nesta etapa também será feita a ontologia base do modelo, que permitirá a continuidade e o amadurecimento da formalização com a contribuição de outros pesquisadores, na continuidade deste trabalho.

1.6.4 Formalização do Modelo de Título

Nesta etapa, será formalizada a ontologia base do Modelo de Título, com auxílio do software Protégé, e gerado o código em OWL (*Web Ontology Language*) por meio da OWL API versão 3.0.0.1451. Esta ontologia será desenvolvida com uso do método descrito no Guia “*Ontology Development 101*”, da Universidade de Stanford (NOY, 2001).

A decomposição resumida deste ramo da EAP é apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Ramo da EAP referente à ontologia do Modelo de Título

A visão conjunta das conexões entre os ramos da EAP, descritos acima, é apresentada no apêndice A.

1.7 Contribuições Originais

Na pesquisa sobre as limitações da Arquitetura Internet, a baixa evolução dos principais protocolos das camadas intermediárias será mapeada a partir do histórico das RFC (*Request for Comments*) do IETF (*International Engineering Task Force*). Esta evolução modesta é de conhecimento científico, porém os estudos desta Tese pretendem apresentar uma visão original das ramificações da evolução dos protocolos principais das camadas intermediárias.

Também será identificado o impacto da ausência de evolução arquitetural, que pode gerar colapso de complexidade na Arquitetura TCP/IP pela crescente demanda e consequente aumento da quantidade de novas especificações. A visão deste problema com o risco de colapso de complexidade será apresentada nesta Tese.

Como solução para colaborar com o suporte das necessidades de comunicação das entidades, esta Tese contribuirá com a apresentação do DTS (*Domain Title Service*), que tem a responsabilidade de orquestrar a comunicação entre as entidades e dar suporte às suas necessidades nas redes de computadores.

Esta Tese apresentará o Modelo de Título, como proposta para melhorar o suporte às necessidades de comunicação da camada superior nas redes de computadores e o desenvolvimento da ontologia base para formalização deste modelo.

1.8 Estrutura da Tese

Esta Tese está organizada conforme os conteúdos descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introdução

Apresenta o objetivo, hipótese, justificativa, motivação, resultados esperados, escopo, limitações, método de pesquisa, contribuições originais e estrutura da Tese.

Capítulo 2 – Trabalhos Relacionados

Descreve os trabalhos relacionados a esta área de estudos com a conceituação original dos termos ontologia, modelo, arquitetura e topologia seguido dos trabalhos existentes na área de tecnologias Post-IP e de próxima geração de Internet.

Inclui breve resumo de algumas tecnologias importantes nas redes de computadores e do uso de ontologia na área de tecnologia.

Capítulo 3 – Problemas na Arquitetura Internet

Aborda limitações da Arquitetura TCP/IP, hiatos existentes nas camadas intermediárias e seus protocolos e possibilidades de melhorias nesta arquitetura. Apresenta questões sobre o dinamismo no suporte às necessidades e requisitos da comunicação em rede e alternativas para o endereçamento horizontal na Internet.

Capítulo 4 – O Modelo de Título de Entidade

Define o Modelo de Título incluindo suas camadas e suporte semântico às necessidades das entidades de comunicação.

Mostra o desenvolvimento da ontologia do Modelo de Título e sua construção em OWL.

Capítulo 5 – Avaliação e Análise dos Resultados

Apresenta as contribuições desta Tese para alguns projetos que possuem esforços na área de Internet do futuro e um exemplo de uso

para redes com conectividade em camada de enlace.

Capítulo 6 – Conclusões e Trabalhos Futuros

Ressalta as contribuições desta Tese, suas limitações e sugestões para continuidade dos trabalhos futuros.

Apêndice A – Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

Expõe a visão integrada dos ramos da EAP dos trabalhos desta Tese.

Apêndice B – Hierarquia de classes do Modelo de Título

Mostra visualmente a hierarquia de classes da ontologia do Modelo de Título com as imagens geradas pelo Protégé.

Apêndice C – Código OWL da Ontologia do Modelo de Título

Apresenta o código da ontologia do Modelo de Título, em Web Ontology Language.

Apêndice D – Tabela de resultados

Mostra uma tabela com os resultados de 20 testes, que são analisados no Capítulo 5.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Estudos e propostas para evolução das camadas intermediárias da Arquitetura Internet são realizados desde a década de 1980; porém, ainda não há perspectiva clara e definida sobre qual padrão será utilizado na evolução desta arquitetura. Nesta área de estudos, percebe-se o aquecimento das discussões nos últimos anos, motivado em especial pela possibilidade eminente de esgotamento das faixas de endereçamento do IPv4.

Movimento científico semelhante ocorreu na década de 1990 com a aproximação do final das faixas de endereços disponíveis e tendência de uso do IPv6, para suprir algumas limitações do IPv4. Tendência esta que perdeu força com a criação do NAT (*Network Address Translation*). A especificação do IPv6 trouxe melhorias para a camada de rede do TCP/IP, assim como o SCTP na camada de transporte; entretanto, estes protocolos possuem mais de 10 anos de sua especificação original (DEERING, 1995, 1998) e não contemplam necessidades recentes dos elementos de comunicação das redes de computadores.

2.1 Resgate do Significado Original de Termos Fundamentais

Esta Tese define um modelo para a Internet de próxima geração e formaliza este modelo com uso de ontologia. Como passo inicial para a construção deste modelo, entende-se que é necessário o entendimento adequado dos termos fundamentais que serão utilizados, a saber: arquitetura, modelo e ontologia. É incluído o entendimento básico sobre o significado do termo topologia, por ser utilizado em algumas representações na área de redes de computadores.

O melhor entendimento destes termos e sua aplicação na área tecnológica permitem seu uso com melhor apropriação e conseqüentemente maior precisão conceitual.

2.1.1 Arquitetura

Há conflitos conceituais quanto ao uso adequado do termo arquitetura na área de redes de computadores, cuja confusão ocorre pelo desprendimento do significado original deste termo quando de seu uso. Por exemplo, há ocorrência de emprego inadequado de arquitetura no local em que seria melhor utilizar o termo topologia, em Halsall (1992, p. 434), em que há a aplicação do termo arquitetura de interfuncionamento em redes de computadores para mostrar as propriedades de interfuncionamento dos elementos de rede por meio de um desenho geométrico.

Esta afirmação sobre a confusão da aplicação do termo arquitetura é baseada na definição de Aristóteles para este nome em que uma ciência é arquitetônica em relação a outra quando os fins da segunda são subordinadas aos da primeira e assim lhe servem de meios. Porém, neste exemplo, Halsall apenas pretende mostrar uma interconexão entre os elementos e não uma relação arquitetônica entre estes.

Em complemento ao significado de arquitetura, Kant a considera como “a arte do sistema” com o significado de ser a teoria do que existe de científico no nosso conhecimento. Kant abordou este termo no Capítulo III da segunda parte de Crítica da Razão Pura. Por sua vez, Leibniz considera arquitetura como o que depende das causas finais e não das causas mecânicas, sendo “O reino da sabedoria segundo o qual tudo se pode explicar arquitetonicamente, por assim dizer, pelas causas finais” (LEIBNIZ, apud LALANDE, 1993).

Baseado no conceito de Aristóteles, a arquitetura é considerada como uma construção capaz de subordinar os meios ao fim, e o fim menos importante ao mais importante, e este nome foi utilizado por Lambert pela primeira vez como uma disciplina filosófica. Segundo Lambert, é “a teoria dos elementos simples e primitivos no conhecimento filosófico matemático” (LAMBERT, apud ABBAGNANO, 2000).

A partir da análise sobre o significado do termo arquitetura e seu uso na área de tecnologia, percebe-se que, em redes de computadores, é adequado empregar este termo para apresentar os “elementos simples e primitivos”, como exemplo, as camadas da Arquitetura TCP/IP, por sua vez, instância do Modelo de Referência OSI, também em camadas.

2.1.2 Modelo

Este trabalho apresenta um modelo para uso nas redes de computadores de próxima geração de Internet, razão esta que torna importante o resgate do significado filosófico original do termo “modelo” e seu uso na área de redes de computadores, para sua correta utilização nesta Tese.

Segundo Blackburn, modelo é a representação de um sistema por outro de forma que seja mais compreensível e que o funcionamento de ambos seja semelhante (BLACKBURN, 1997). Bunge complementa o significado do termo modelo como um exemplo de uma teoria abstrata ou linguagem formalizada. Para ciência e tecnologia Bunge considera um modelo teórico como “uma teoria especial de algum domínio fatural” e separa os modelos teóricos em duas espécies (BUNGE, 2002). A primeira é a dos modelos amarrados que é resultado da extensão e amadurecimento de uma teoria geral; a segunda espécie é a dos modelos livres que são construídos a partir de esboços breves, que indicam as disciplinas ainda não maduras do ponto de vista teórico ou, de uma maneira geral, de difícil compreensão. Observa-se que na área de tecnologia a maioria dos modelos teóricos são livres, assim como o modelo a ser definido nesta Tese.

Pelo conceito filosófico do termo modelo, o “modelo de referência” OSI (*Open Systems Interconnection*) da ISO (*International Standards Organization*) expressa de forma clara uma teoria de um domínio fatural para as redes de computadores, pois representa, de uma forma compreensível, as redes que o utilizam como referência. Também caberia o uso do termo arquitetura, uma vez que se tornou arquitetônico em relação a outras tecnologias na área de redes de computadores.

Neste modelo de referência, utiliza-se uma abordagem em camadas para separar as complexidades dos elementos de hardware e software nas redes de computadores e padronizar as interfaces entre os elementos de rede. Este modelo é referenciado por diferentes tecnologias nas redes de computadores cuja separação dos problemas de comunicação em camadas mitiga as dificuldades de interconexão, em comparação ao inter-funcionamento entre elementos sem padronização.

Nesta abordagem em camadas, na década de 1980, foram consolidados 2 conjuntos

de protocolos para ambientes de interconexão de sistemas abertos. Um destes foi o próprio OSI da ISO, e o outro o TCP/IP do IETF (*International Engineering Task Force*). Posteriormente, o conjunto de protocolos do IETF veio a tornar-se um padrão de fato com maior utilização sobre o conjunto de protocolos da ISO e de outras instituições de padronização, visto que a Internet tornou-se o maior sistema aberto interconectado.

2.1.3 Ontologia

O nome “ontologia” tem origem na língua grega, em que “*on*” designa “ser” e “*ta onta*” designa “os seres”. Porém, Johannes Clauberg foi o primeiro a utilizá-lo. Ele definiu os termos ontologia e ontosofia como a “investigação sobre o ser, em geral”. Esta definição foi exposta em seu livro *Metaphysica*, Capítulo I, 1-2, no ano de 1646, e está baseada nas definições originais de Aristóteles (CLAUBERG, apud ABBAGNANO, 2000).

Para os gregos, nas definições de Aristóteles, o conhecimento sobre a realidade dos seres era formado pela Metafísica e pela Teologia, embora Aristóteles não tenha utilizado o termo ontologia (LALANDE, 1993). Também no século XVII, assim como Clauberg, Jacobus Thomasius utilizou o nome ontologia para os termos Metafísica ou Filosofia Primeira (CHAUÍ, 2000).

A mesma definição foi usada anteriormente para o nome “*transcendentia*”, como “as determinações comuns a todos os seres”. Na definição de Clauberg, a ontologia deveria absorver o saber tradicional da Metafísica, contudo, de um modo mais formal. Assim, vários escolásticos adotaram o nome ontologia como a definição para “Metafísica Geral” (ABBAGNANO, 2000; LALANDE, 1993).

O termo ontologia também foi bastante utilizado por Wolff, de forma semelhante a Clauberg, mas Kant pretendia mudar o sentido do uso, de forma que determinasse “o sistema de todos os conceitos e princípios do entendimento” (ABBAGNANO, 2000). Esta tentativa de alteração do sentido, feita por Kant, não foi adotada e atualmente o nome ontologia é utilizado para designar a Metafísica substancialista,

que trata as coisas em si, de forma oposta à Metafísica no sentido crítico, que possui como objeto o conjunto dos conhecimentos em cada uma de suas ordens (LALANDE, 1993).

Outros filósofos como Herbart e Rosmini também utilizaram o termo ontologia para ciências de razão e não como ciências intuitivas, e Husserl separou este termo em “formal” e “material”, considerando a ontologia material subordinada à formal. A material, segundo Husserl, é uma ciência de fatos, e a formal, o fundamento de todas as ciências, o que faz com que a material esteja baseada na formal (ABBAGNANO, 2000).

Heidegger considerou, por outro lado, que a ontologia não é uma simples entidade formal e que ela trata única e exclusivamente das questões referentes ao ser enquanto ser e do que torna possíveis as existências. De outra forma, para Nicolai Hartmann, a ontologia não pretende solucionar todos os problemas e possui um caráter mais geral que as teorias metafísicas racionais devido à sua abrangência sobre todas as áreas do real (ABBAGNANO, 2000).

Um sentido distinto do tradicional, para o nome ontologia, foi dado por Stanislaw Leśniewski (ABBAGNANO, 2000; LEŚNIEWSKI, 1930) que a chamou de sua lógica na apresentação de seu sistema de cálculo de nomes, com a separação em:

<i>Prototética</i>	Cálculo proposicional;
<i>Mereología</i>	Álgebra de classes, exceto a classe nula;
<i>Ontología</i>	Teoria das classes e relações.

No sentido dado por Leśniewski, a ontologia seria a base da formalização da lógica, com pouca relação com a ontologia clássica. Todavia, Kotarbiński e Leon Chwistek indicaram que o cálculo de Leśniewski possui relação muito próxima com a lógica formal de Aristóteles e, por esta razão, teria as mesmas bases tradicionais. Leśniewski confirmou essa posição com sua axiomática ontológica, tomando-a como base para o processo de formalização (ABBAGNANO, 2000).

O nascimento da lógica, assim como o da ontologia, possui fundamentos em Parmênides, que influenciou Sócrates e Platão nas indagações sobre o Ser e, conseqüentemente, no próprio pensamento sobre ontologia.

A definição de Ser, por Parmênides, limitava a filosofia, pois considerava o Ser

imutável, eterno e idêntico a si mesmo (único). Platão, seguindo Sócrates, quebrou a unicidade do Ser de Parmênides e distinguiu o sentido da palavra Ser em três: um como substantivo e dois como verbo. Como substantivo, designa a realidade existente. Como verbo, o primeiro sentido é o de existir. O segundo é o de verbo de ligação entre um sujeito e seu predicado (CHAUÍ, 2000).

Apesar de a ontologia possuir base nas considerações de Parmênides, Sócrates e Platão, seu início é atribuído a Aristóteles, por formular claramente uma disciplina para o estudo do Ser, na Metafísica. O uso atual desse termo, para determinar as coisas em si, é semelhante ao significado original da definição de Aristóteles, como a área da filosofia que investiga “o ser enquanto ser”.

2.1.4 Topologia

Segundo Abbagnano, topologia é “o estudo das propriedades das figuras geométricas”, definição esta que reforça a análise anterior sobre o exemplo de uso inapropriado em Halsall (1992).

Para o significado do termo topologia, Abbagnano também acrescenta que “as propriedades das figuras não variam mesmo quando estas são submetidas a transformações tão radicais que perdem suas propriedades métricas e projetivas”. Estes conceitos sobre topologia iniciaram com L. Euler, embora sua primeira formalização foi realizada por A. F. Moebius, no século XIX (ABBAGNANO, 2000).

2.2 Próxima Geração de Internet

Dentre as razões de interesse de pesquisadores na área de próxima geração de Internet, estão as possibilidades de melhoria que resultam em propostas de alterações na arquitetura atual e do IP, que hoje é um dos principais protocolos utilizados na Internet. Algumas destas possibilidades de melhoria são:

1. Quantidade de endereços disponíveis (32bits), que era um caso crítico na década de 1990 e foi minimizada com o uso do NAT (*Network Address Translation*), possuindo, também, alternativa de melhoria com o uso do IPv6.
2. Suporte das camadas intermediárias para novas necessidades de comunicação, como exemplo:
 - Mobilidade;
 - Segurança;
 - Reserva de recursos para uso em tempo real.
3. Redução da complexidade na arquitetura atual.

Desde a década de 1990, o IETF trabalha no projeto de protocolos para substituir o IPv4. Houve novas propostas com o incremento da complexidade do IP e também com adaptações no protocolo OSI CLNS (*Connectionless Network Service*). Outro projeto procurou simplificar o IPv4 e aumentar a quantidade de endereços. Ele foi conhecido como SIP (*Simple IP*) e sua extensão foi denominada SIPP (*Simple IP Plus*).

Nestes trabalhos do IETF, o IAB (*Internet Architecture Board*) gerou uma confusão ao publicar uma política com referência à próxima versão do IP ser a de número 7. Devido a essa confusão, a proposta para nova versão do IP passou a ser chamada de IPnG (*IP – Next Generation*), para evitar erros na referência da numeração das versões do IP (COMER, 1995).

Essa confusão ocorreu porque um dos documentos disponíveis no IAB referenciava erroneamente a versão corrente como sendo a 6, uma vez que a versão 5 havia sido designada para o protocolo ST. Posteriormente, a versão 6 consolidou-se como a proposta do IETF para a próxima geração do IP (IPnG), cuja especificação foi publicada, em 1995, como IPv6, na RFC 1883 (DEERING, 1995, 1998).

O IPv6 apresenta algumas evoluções em relação ao IPv4, como: aumento da quantidade de endereços (o que possibilita suportar, por exemplo, algumas necessidades na área de *Internet of Things*); formato flexível do cabeçalho; incremento de informações opcionais; suporte para alocação de recursos; e previsão para extensões no próprio protocolo. Por outro lado, a especificação do IPv6, que foi realizada há mais de uma década, não suporta parte das necessidades das

aplicações atuais (DOMINGUE, 2011).

As discussões sobre a evolução da Internet permeiam a área de redes de computadores há décadas, apresentando avanço constante e considerável tanto para a camada de aplicação, quanto para as camadas inferiores. Essa evolução, todavia, não ocorre com a mesma expressividade nas camadas intermediárias.

Nessa área de pesquisa, além das tentativas de evolução do IPv4 para o IPv6, há outros trabalhos como a evolução do TCP e UDP para SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*), descrita nas RFC 2960 e 4960 (STEWART, 2000, 2007). Apesar de ter transcorrido uma década da primeira especificação do SCTP, o uso de sua especificação permanece com baixa abrangência e impacto na Internet, e a dificuldade de implantação de melhorias ocorre devido a diversos fatores.

Um destes fatores é a complexidade envolvida na alteração da rede legada e sua arquitetura, que funciona como infraestrutura para uma imensa quantidade de usuários que a utilizam diariamente. Também, uma alteração nas camadas intermediárias, como é o caso do IPv6, não ocorre facilmente de modo transparente para a camada de aplicação, que normalmente precisa codificar e recompilar uma grande quantidade de serviços, pois estes utilizam, atualmente, campos de endereços de 32 bits, que precisarão ser alterados para 128 bits, exceto para os casos que usarem o mapeamento do IPv4 no IPv6, previsto no projeto deste último.

Apesar de haver diversas propostas para a próxima geração de Internet, ao longo da história das redes de computadores, há um maior aquecimento atual nas discussões e propostas nesta área de estudos. Nesta perspectiva, a próxima seção descreve algumas das propostas recentes para a NGI (*Next Generation Internet*).

2.2.1 Propostas Recentes em NGI

Nas discussões sobre a próxima geração de Internet, há uma linha de estudos que apresenta propostas para FDR (*Future Domain Routing*), sendo conduzido pelo IRTF RRG (*Internet Research Task Force Routing Research Group*), com trabalhos sobre os problemas de escalabilidade realizados pelo RR-FS (*Routing Research –*

Scalability Research Subgroup). Também há os trabalhos de Tsuchiya, que introduzem a proposta de *landmark* em seus estudos sobre hierarquia de roteamento em redes de grande extensão (TSUCHIYA, 1988), e os estudos sobre roteamento compacto feitos por Krioukov, também do IRTF RRG (KRIOUKOV, 2007).

Outros trabalhos com propostas relacionadas à escalabilidade do sistema de roteamento e arquitetura de endereçamento para a Internet são realizados pelo *Network Working Group* do IETF, como o LISP (*Locator Identifier Separation Protocol*), que faz a separação dos endereços de Internet em EIDs (*Endpoint Identifiers*) e RLOCs (*Routing Locators*), sem a necessidade de alteração das pilhas de protocolo nas estações e com pouco impacto na infraestrutura legada (FARINACCI, 2010). Esse mesmo grupo apresenta propostas para o interfuncionamento do LISP com o IPv4 e o IPv6 (LEWIS, 2009).

No LISP, para não haver elevado impacto na infraestrutura de roteadores e suas pilhas de protocolos, é colocada uma camada adicional. Isto melhora a interoperabilidade com os sistemas legados e a escalabilidade, entretanto não reduz a aceleração do aumento da complexidade dos protocolos do TCP/IP.

Algumas pesquisas relacionadas à evolução da Internet propõem o uso de roteamento plano para a comunicação entre os elementos de rede. Entre elas, há os trabalhos de *Landmark-based Flat Routing* e roteamento plano sobre um espaço de identidade binária (PASQUINI, 2009a, 2009b), em que Pasquini apresenta propostas de melhorias sobre o IBR (*Identity Based Routing*), VRR (*Virtual Ring Routing*) e RoFL (*Routing on Flat Labels*) desenvolvidos por Caesar (CAESAR, 2006a, 2006b, 2007). Pasquini também apresenta estudos para identificadores de domínio em arquitetura de Internet de próxima geração (PASQUINI, 2008, 2009c).

Outra linha de estudos é desenvolvida por Bryan Ford, que propõe evoluções para uma nova Internet em seus trabalhos de arquitetura para redes sociais, nomeada por ele de UIA (*Unmanned Internet Architecture*). Em suas propostas, Ford especifica o UIP (*Unmanned Internet Protocol*) (FORD, 2003, 2008).

Na área de arquitetura de Internet de próxima geração, para suportar mobilidade e *multi-homing*, Wong apresenta estudos para melhorar a sobrecarga semântica do IP,

com a introdução de uma camada de identidade localizada entre as camadas de rede e de transporte da Arquitetura Internet (WONG, 2007, 2008).

Para a otimização do custo de comunicação em redes locais, há os trabalhos do FINLAN (*Fast Integration of Network Layers*), que apresenta uma alternativa para a comunicação distribuída sem utilização dos protocolos IP, TCP e UDP, e possibilita a comunicação híbrida com estações que utilizam os protocolos tradicionais das camadas de rede e transporte do TCP/IP, para redes com conectividade em camada 2 (SANTOS, 2011, 2010; PEREIRA, 2011a; PEREIRA, 2010a).

Outras propostas são apresentadas pelos projetos AKARI, no Japão, Future Internet Forum, na Korea, CNGI (*China Next Generation Internet*), na China, CANARIE (*Canada's Advanced Research and Innovation Network*), no Canadá, RNRT (*Réseau National de Recherche en Télécommunications*), na França, G-Lab, na Alemanha, *Ambient Sweden Initiative*, na Suécia e Internet del Futuro, na Espanha.

Dentre as propostas recentes para redes Post-IP e próxima geração de Internet, destaca-se a formação de iniciativas regionais com possibilidade de aproximação de interesses continentais para a construção de uma infraestrutura de testes experimentais, que poderá convergir em algumas propostas no futuro próximo. Dentre essas iniciativas, destacam-se as europeias FIA (*Future Internet Assembly*), FIRE (*Future Internet Research and Experimentation*), EFIA (*European Future Internet Alliance*) e as americanas FIND (*Future Internet Design*) e GENI (*Global Environment for Network Innovations*).

2.2.2 FIA/FIRE/EFIA

Nas iniciativas do FIA, FIRE e EFIA, há sólidas propostas arquiteturais que possuem a tendência de unificar as iniciativas de grupos distintos em uma única proposta pela União Europeia. Algumas destas propostas arquiteturais apresentam estudos como *Content-Centric*, *Energia Inteligente* e *Cidades Inteligentes*, descritas nas edições de 2009 e 2010 dos livros publicados pelo FIA titulado “*Towards the Future Internet*” (TSELENTIS, 2009, 2010).

Associado ao FIA, o EFIA foi criado em 2010 pela unificação de 2 iniciativas expressivas: O EFII (*European Future Internet Initiative*) e o FIRA (*Future Internet Research Alliance*).

Alguns dos grupos de estudo e projetos relacionados às iniciativas europeias respectivas aos desafios, discussões e propostas para a Internet do futuro são: ANA, AUTOI, BIONETS, CASCADAS, CHIANTI, ECODE, EFIPSANS, Euro-NF, Federica, HAGGLE, MOMENT, NADA, N4C, N-CRAVE, OneLab2, OPNEX, PERIMETER, PII, PSIRP, ResumeNet, Self-NET, SMART-Net, SmoothIT, TRILOGY, Vital++, WISEBED e 4WARD, dentre outros.

2.2.3 FIND/GENI

O GENI é um laboratório virtual com foco em oportunidades de inovação para transformar as redes globais e suas interações com a sociedade. Nessa perspectiva, engloba redes tecnológicas e sociais e seus impactos na transformação das sociedades e economias. É suportado pelo programa de pesquisa do NSF (*National Science Foundation*) e aberto a colaborações acadêmicas, da indústria e públicas.

O FIND, também suportado pelo NSF, é uma das maiores iniciativas do programa de pesquisa do NSF NeTS e também aberto à comunidade de pesquisa. Sua proposta inclui pesquisas para os estudos das redes globais dos próximos 15 anos e para a construção dessas redes com direcionamento para soluções com foco em respostas para:

- Como projetar uma rede que seja fundamentalmente mais segura e disponível que a Internet atual;
- Como a disseminação de informação, gerenciamento de localização e gerenciamento de identidade podem ser melhor adequados para uma nova arquitetura de rede;
- Qual será o impacto a longo prazo das novas tecnologias como redes sem fio avançadas e ópticas;

- Como a economia e a tecnologia interagirão para o projeto das redes do futuro; e
- Como projetar uma rede que preserve uma sociedade livre e aberta.

2.3 Ontologia em Tecnologia

O termo ontologia tem sido utilizado na área de tecnologia, nos últimos anos, em especial, nas áreas de banco de dados, sistemas de informação, engenharia de software, inteligência artificial e web semântica. Seu uso foi realizado pela primeira vez, na área de tecnologia, por Mealy (1967) e desde então foi adotado por diversos autores, com diferentes significados.

Alguns dos significados são discutidos por (GUARINO, 1994) e uma das definições mais utilizadas do termo ontologia, em sistemas computacionais, é a de Tom Gruber, que a define como: “uma representação explícita de uma conceitualização” (GRUBER, 1995).

Apesar de seu extenso uso, na área de tecnologias, como representação de conceitualizações, ainda há lacunas na representação formal de modelos conceituais para sistemas computacionais e sua interoperabilidade.

Nesse campo de estudos, Giancarlo Guizzardi apresenta contribuições relevantes na fundamentação ontológica para modelos conceituais. Para a inter-operação de modelos conceituais, ele propõe primeiramente utilizar uma linguagem de modelagem adequada ontologicamente e, posteriormente, usar uma linguagem computacional eficiente para representar os resultados desta modelagem conceitual (GUIZZARDI, 2005).

Ele também propõe uma extensão da UML (*Unified Modeling Language*) para analisar e integrar ontologias em web semântica e persegue a representação formal do mundo real em uma linguagem de modelagem conceitual, proposta para categorias ontológicas de *endurants* (objetos) e *endurants universals*.

Para a integração, em específico, de aplicações distribuídas, há estudos

complementares para modelos e padronização de plataformas abstratas, conforme discutido no próximo tópico.

2.3.1 Modelagem para Redes de Computadores

Há interesse constante e crescente pela modelagem de sistemas computacionais capazes de abstrair detalhes dos sistemas operacionais, protocolos de rede e até mesmo certos protocolos de aplicação. A base desse interesse está na padronização e facilidade de integração de tais sistemas, mesmo que, em alguns casos, a abstração implique um maior consumo computacional.

Esta modelagem traz o benefício de facilitar o reuso de tecnologias e também facilita o desacoplamento entre sistemas. Nessa área, foram desenvolvidas tecnologias *middlewares*, como: CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*); JEE (*Java Enterprise Edition*) com o EJB (*Enterprise JavaBeans*) e JMS (*Java Message Service*); e Web Services. Outro exemplo, com maior especificidade para o gerenciamento de redes, é o SNMP (*Simple Network Management Protocol*).

Na área de modelagem, João Almeida propõe um método para o projeto de aplicações distribuídas. Entre suas contribuições, ele apresenta a noção de plataforma abstrata e de independência de plataforma. Ele ainda discute a qualidade de *design*, o processo de projeto, linguagens de modelagem em plataformas abstratas e um *framework* para projeto de plataformas independentes (ALMEIDA, 2006).

Na modelagem para redes de computadores o conceito de plataforma abstrata possui semelhanças com o conceito de SOA, que também procura padronizar a integração e favorecer o reuso e modelagem de componentes das redes (ROSHEN, 2009). A partir de uma análise filosófica, esses componentes podem representar partes de um sistema distribuído, estando ontologicamente sujeitos tanto à teoria das classes e relações quanto às questões mereológicas respectivas às partes, cujo conjunto apresente certo comportamento num sistema como um todo.

As interações entre componentes de redes de computadores e as relações entre as

partes, o todo e seu comportamento, são discutidas por Guizzardi, Dijkman, Almeida e Costa em Guizzardi (2006). Eles abordam o comportamento em “U” no projeto arquitetural de sistemas, sendo este comportamento também observado na comunicação das camadas, nas redes, na Arquitetura Internet e no modelo de referência OSI da ISO. O comportamento em “U”, em um sistema distribuído, implica a comunicação, iniciando na camada de aplicação, descendo até as camadas inferiores e retornando para a camada de aplicação.

A Arquitetura Internet, em sua construção, não previu todos os novos componentes que surgiriam com o passar dos anos, os quais trouxeram novas necessidades, novos requisitos e, conseqüentemente, a alteração, como um todo, do comportamento do sistema distribuído, neste conjunto. Isto resultou em limitações nessa arquitetura - como impactos mereológicos nas relações entre as partes que compõem as redes de computadores.

2.3.2 Ontologia nas Camadas de Rede

As ontologias podem utilizar modelo em camadas ou arquiteturas distintas, porém, em geral, permanecem restritas à camada de aplicação. Por exemplo, a arquitetura em camadas da *Web Ontology Language*, definida pelo W3C (*World Wide Web Consortium*) e apresentada na Figura 6, extraída de (LACY, 2005), está confinada à camada de aplicação da Arquitetura TCP/IP.

Applications	
Ontology Languages (OWL Full, OWL DL and OWL Lite)	
RDF Schema	Individuals
RDF and RDF/XML	
XML and XMLS Datatypes	
URIs and Namespaces	

Figura 6 - Arquitetura da Web Ontology Language

Siglas: URI (*Uniform Resource Identifier*), XML (*eXtensible Markup Language*), XMLS (*XML Schema*), RDF (*Resource Description Framework*) e OWL DL (*Web Ontology Language Description Logics*).

No uso do TCP/IP, há limitações no que tange à camada de aplicação informar suas necessidades à camada abaixo (transporte), responsável por lhe oferecer serviços. Isto ocorre porque na Arquitetura TCP/IP há regras definidas na especificação dos protocolos das camadas de transporte e de rede para estabelecer a comunicação entre os elementos de rede. Por exemplo, as aplicações podem escolher o protocolo UDP ou TCP, conforme a necessidade de garantia de entrega, contudo não conseguem informar à camada de transporte outras necessidades como vazão, criptografia ou mobilidade.

É possível a mudança do paradigma de comunicação cliente-servidor e da estrutura das camadas intermediárias do TCP/IP, de forma que a comunicação em rede tenha ampliação das possibilidades no suporte das necessidades da camada superior. Para isto, uma solução possível é o uso de uma camada intermediária conceitualmente capaz de comunicar semanticamente com a camada superior e traduzir estas necessidades na comunicação com, e entre, as camadas inferiores.

Nessa direção, este trabalho define um modelo que permita esta solução e cria a ontologia para seu domínio, que, por sua vez, suporta o endereçamento horizontal por título de entidade, apresentado em Pereira (2009b, 2010b). Essas discussões serão apresentadas nos Capítulos a seguir.

3 LIMITAÇÕES DA ARQUITETURA INTERNET

O sucesso da arquitetura de protocolos TCP/IP é indiscutível, visto que possibilitou a expansão e a globalização da Internet em grande escala, com boa flexibilidade de serviços. Com o crescimento do uso da Internet e consequente aumento da quantidade de elementos de rede interconectados em sua infraestrutura instalada, também cresceram as dificuldades para evoluir sua arquitetura.

Como tentativa de contornar o problema de dificuldade de melhorar/evoluir as camadas intermediárias, são feitos ajustes por meio da especificação de novos protocolos, que, muitas vezes, funcionam como *workaround*, mas não atacam diretamente a causa raiz do problema, que é uma questão arquitetural de uma tecnologia criada para as necessidades de uso da década de 1970. Entretanto, surgiram novas necessidades ao longo dos anos, que encontraram limitações de suporte na arquitetura atual.

3.1 Evolução da Arquitetura Internet

Um breve resgate histórico da evolução da Arquitetura Internet mostra que há grande quantidade de especificações para novas aplicações e serviços que, consequentemente, passaram a demandar novos requisitos para os sistemas computacionais em rede. Por outro lado, pouco foi feito para a evolução das camadas intermediárias dessa arquitetura. Uma prova desta afirmação está na análise sobre a evolução das RFC 760, 761 e 768, resumida na Figura 7.

Tanto para a RFC 760 quanto para a 761 as modificações mais substanciais ocorreram ainda em 1981, respectivamente nas RFC 791 e 793. Para a RFC 768 não houve evolução de sua especificação.

Figura 7 - Histórico de evolução das RFC 760, 761 e 768

Para a RFC 760, substituída pela RFC 791 em 1981, as atualizações pelas RFC 1349 e 2474 foram referentes ao campo ToS (*Type of Service*), que, a partir da RFC 2474, teve a definição do DS Field (*Differentiated Services Field*), com o uso do DSCP (*Differentiated Services Code Point*), formado pelos 6 bits iniciais do DS Field. Os 2 bits restantes do ToS original das RFC 760 e 791 ficaram sem uso corrente, na RFC 2474 (POSTEL, 1981a; ALMQUIST, 1992; NICHOLS, 1998).

Uma curiosidade sobre o uso do ToS, relacionada às limitações e problemas na Arquitetura TCP/IP, é o fato que este campo entrou em desuso na década de 1990 e, posteriormente, foi redefinido como DS Field para tentar suprir requisitos como o QoS (*Quality of Service*), que teve sua necessidade ampliada pela expansão dos serviços de comunicação, em tempo real, como as redes VoIP (*Voice over IP*), de sensores e de gerenciamento. Uma afirmação sobre o desuso do ToS, na década de 1990, é encontrada em Tanenbaum (1997). Contudo, Tanenbaum não mantém sua afirmação anterior em suas publicações posteriores, na área de redes de computadores (TANENBAUM, 2007a, 2007b), visto a alteração do ToS para DSCP em 1998.

Para a camada de rede foi realizada, em 1995, a especificação do IPv6, pela RFC 1883 (DEERING, 1995). Este protocolo segue a linha do IPv4, na Arquitetura

Internet, e faz alterações em alguns campos do cabeçalho IP, como a remoção do IHL (*IP Header Length*), a inclusão do *Flow Label* e o aumento da quantidade de bits de endereçamento, que passou de 32 bits, na versão 4, para 128 bits, na versão 6. Em relação à camada de transporte dessa arquitetura, houve a publicação do SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*), em outubro de 2000, pela RFC 2960 (STEWART, 2000, 2007). Esta RFC busca melhorar o tratamento dos fluxos de mídia, embora ainda não tenha se tornado um padrão, de facto, para as redes NGN, que permanecem com uso predominante do RTP (*Real Time Protocol*) sobre UDP, para o transporte de mídia.

O RTP faz o envio de mídia com o suporte do RTCP (*Real Time Control Protocol*) e utiliza o *timestamp* para que o destino receba a informação correspondente ao tempo do dado na origem. Nesse ponto, evidencia-se que as aplicações que possuem necessidade de comunicação, em tempo real, fazem uso de uma estrutura que aumenta o custo de rede, em bytes, uma vez que o RTP, designado como protocolo de transporte, faz uso de outro protocolo de transporte, o UDP, em sua comunicação. Esse problema ocorre justamente em aplicações que possuem a necessidade de baixo custo de rede para melhorar o suporte ao requisito de tempo real (SCHULZRINNE, 1996, 2003).

Uma solução estruturada, para este caso, seria repensar e redefinir as camadas intermediárias para suportar a comunicação em tempo real, como uma necessidade das aplicações. Não obstante, as tentativas de melhorar o RTP/RTCP permanecem, por exemplo, com a substituição da RFC 1889 pela 3550, em 2003; a atualização da 3550, pela 5506, em 2009; a especificação da RFC 3711, em 2004, para o SRTP (*Secure Real-time Transport Protocol*); e, a extensão do perfil RTP para o RTCP, em 2006, pela RFC 4585 (BAUGHER, 2004; JOHANSSON, 2009; OTT, 2006; SCHULZRINNE, 1996, 2003).

Melhorias como a mencionada acima, nas camadas intermediárias, foram dificultadas pela expansão da base instalada e ampliação de sua utilização que se expandiu ao uso comercial, além do militar. Assim, o aumento de seu uso resultou na desaceleração de sua evolução. Uma das críticas quanto a esse conflito entre a evolução científica e os interesses comerciais é apresentada por Comer (1995, p. 9).

“By the summer of 1989, both the TCP/IP technology and the Internet had grown beyond the initial research project into production facilities on which thousands of people depended for daily business. It was no longer possible to introduce new ideas by changing a few installations overnight. To a large extent, the literally hundreds of commercial companies that offer TCP/IP products determined whether products would inter operate by deciding when to incorporate changes in their software. Researchers who drafted specifications and tested new ideas in laboratories could no longer expect instant acceptance and use of the ideas. It was ironic that the researchers who designed and watched TCP/IP develop found themselves overcome by the commercial success of their brainchild”.

A especificação do IPv6 foi uma tentativa de evolução com foco na camada de rede como parte do problema e não com o pensamento da estrutura das camadas como um todo. Outro fato é que a especificação deste protocolo não atende, de forma estruturada, os novos requisitos das aplicações, visto que foi especificado em 1995 (DEERING, 1995) e sua única evolução expressiva ocorreu apenas em 1998, há mais de uma década (DEERING, 1998).

Hoje, a implantação do IPv6 em larga escala seria motivada por interesses comerciais de fornecedores de equipamentos e serviços, e não pela necessidade ou desejo científico de melhorar as redes de computadores, ou mesmo de pesquisar, propor e evoluir. Para uma melhoria tecnológica expressiva nas redes de computadores é necessário repensar seu modelo e arquitetura de forma persistente cientificamente, de forma a encontrar e concretizar novos caminhos.

3.2 Discussões Ontológicas na Arquitetura Internet

O significado filosófico do termo ontologia remete ao estudo do ser, enquanto ser, e aborda as questões da metafísica, que concerne às discussões além da física tradicional. A palavra meta significa além, acima, depois, no sentido de superior ou condição de algo (CHAUÍ, 2000).

O uso da ontologia (como representação explícita de uma conceitualização) nas camadas intermediárias e baixas da Arquitetura Internet não tem acompanhado o ritmo de sua utilização pelas camadas de aplicação. Para tanto, verifica-se a extensão de seu uso nas áreas dos sistemas computacionais como, por exemplo, banco de dados, sistemas de informação, engenharia de software, inteligência

artificial e web semântica.

Essas áreas computacionais, ao utilizarem a Arquitetura Internet para a comunicação distribuída, normalmente fazem uso dos protocolos e estruturas das camadas 3 e 4. Quando há uma nova necessidade requerida pelas aplicações, caso essa arquitetura não suporte, é feita uma adequação nos protocolos atuais, ou especificação de novos. Isto é feito de forma a minimizar os impactos na base instalada e a maximizar a eficiência tecnológica. Porém, tem prevalecido a importância do primeiro em detrimento do segundo.

Haja vista o exemplo do RTP, que acrescentou um protocolo de transporte sobre outro, na mesma camada, e do RTSP para adicionar segurança nesse entorno já complexo. É fato que o RTP não resolveu as questões para a qualidade do envio de mídia, sendo necessário outra tentativa para adicionar mecanismos de QoS nas redes, com o uso do DSCP, que também apresenta grande dificuldade para sua utilização, pois precisa explicitamente ser configurado nos elementos de rede, das camadas superiores e intermediárias, para que seja possível a qualidade de serviço do *provider* até o enlace, e entre *endpoints*, nas redes de computadores.

Em resumo, o QoS não é implicitamente reconhecido e autoconfigurável, uma vez que não foi requisito no projeto arquitetônico do TCP/IP. Este problema reforça a necessidade de discussões para rever a arquitetura atual.

Outra questão pertinente, neste exemplo específico, é a reflexão sobre a necessidade primeira, ou não, da camada de transporte na Arquitetura Internet. Uma análise preliminar indica que ela pode servir para:

- Ordenar pacotes;
- Endereçar processos por meio do uso das portas;
- Garantir a entrega de pacotes (exemplo a confirmação do TCP);
- Estabelecer conexão (exemplo o *handshake* do TCP, de 3 vias);
- Informar o tamanho do pacote.

A ordenação dos pacotes é possível com o TCP, visto que este possui o campo de número de sequência. Entretanto, este campo é utilizado para a confirmação de envio de pacotes para atender ao requisito de garantia de entrega. Por outro lado, o uso desse número de sequência no TCP, com um campo de apenas 32 bits, restringe o tamanho da janela para a confirmação de envio de pacotes, gerando

problema nas redes de alta velocidade e sistemas de alto desempenho, devido ao espaço reduzido para encher a janela (*stall*).

Outro problema na ordenação é que, em alguns casos, a própria aplicação cria mecanismos para isto, observadas as dificuldades aqui expostas quanto ao seu tratamento pela camada de transporte. Por exemplo, no uso do H.248/MEGACO, que pode ser transportado via UDP, TCP ou SCTP, o estabelecimento de conexão entre terminações é temporizado. Nesse caso, como também para o SIP, não é utilizada exclusivamente a confirmação inerente ao TCP para fazer a garantia de entrega de pacotes, uma vez que a aplicação controla a retransmissão por meio de temporizadores próprios (GROVES, 2003; ROSENBERG, 2002).

Nesse cenário, possivelmente, seria melhor repensar também as atribuições e responsabilidades das camadas dois e cinco, em conjunto com as três e quatro. Uma visão arquitetural coerente atenderia esses requisitos sem redundâncias e sobreposições de responsabilidades. Para isto, é importante partir de um diagnóstico das necessidades do mundo real para a criação de um modelo conceitual com representação formal explícita, sendo este o significado direto do termo ontologia na área de tecnologia, feito por Tom Gruber (GRUBER, 1995).

A informação do tamanho do pacote também ocorre de forma redundante entre os protocolos IP e UDP. Isto não vem a ser um problema grave, embora aumente o *overhead* na rede.

Quanto à camada de rede utilizada para endereçar pacotes, esta também entra em conflito com o conceito de mobilidade de aplicações e estações. Um breve exemplo é o de aplicações de comunicação como VoIP e IM (*Instant Messaging*). Nesse tipo de aplicação, os pacotes precisam ser endereçados ao usuário de destino, porém são endereçados ao IP, MAC e portas respectivas à aplicação do usuário de destino. Aqui, há um conflito na questão conceitual, pois, em certas aplicações móveis, nas quais o usuário utiliza *login*, por exemplo, a necessidade real, de modo geral, é enviar os dados para o usuário e não para seu IP, MAC e porta, embora na prática eles sejam enviados para estes endereços antes de serem entregues para o usuário.

O resultado são os problemas colaterais gerados, como os enfrentados com uso do

NAT em redes com endereços IP não válidos. Em geral, estes problemas na Arquitetura TCP/IP possuem correlação na implementação desta arquitetura em sua pilha de protocolos, nas camadas intermediárias.

3.2.1 Problema Ontológico dos Protocolos nas Redes de Computadores

O projeto arquitetônico do TCP/IP atendeu de forma esplêndida a várias necessidades de comunicação. Por outro lado, os problemas de comunicação mudaram no ínterim desse projeto até o período atual.

Como a expansão da base instalada dificulta uma melhoria arquitetural, as tentativas de atender às novas necessidades foram realizadas com adaptações e novas especificações de protocolos nessa arquitetura, o que nem sempre é a melhor solução para resolver uma nova necessidade ou problema. Isto tem gerado lacunas na Arquitetura TCP/IP, por uma carência ontológica (carência de representação conceitual explícita) para os protocolos utilizados pelas aplicações distribuídas, de forma que as camadas intermediárias possam atender, de forma melhor, as necessidades dos elementos de comunicação nas redes de computadores.

Uma parte do impacto na complexidade dos protocolos dessa arquitetura, para atender às novas necessidades, pode ser verificada pela análise da evolução da especificação de novas RFC. Isto, conseqüentemente, resulta em maior complexidade das redes de computadores que utilizam as RFC em seu sistema de comunicação, uma vez que precisarão estar adequados para atender essa crescente complexidade de protocolos. A visão desta quantidade de novas RFC especificadas ao longo dos anos é apresentada na Figura 8, gerada a partir do índice de RFC do IETF.

A análise deste gráfico de evolução de novas especificações mostra que a expansão em massa do uso da Arquitetura Internet na década de 1990, para empresas e indivíduos, gerou maior necessidade de soluções em seus protocolos para atender às novas necessidades requeridas pelos novos usuários. Esse aumento de novas

especificações refletiu no aumento da complexidade de hardware e software dos sistemas computacionais e, conseqüentemente, na complexidade da Arquitetura Internet como um todo, sendo que esta poderá chegar a um colapso de complexidade, num futuro próximo, caso não seja repensada de um ponto de vista arquitetural.

Figura 8 - Novas RFC especificadas por ano

A Arquitetura TCP/IP foi projetada para possuir nós dispersos e que mantivessem sua comunicação, ainda que algum nó ficasse inoperante. A necessidade a ser atendida, em seu projeto, foi a de comunicação entre estações, para suportar as estratégias militares de comunicação sem interrupção.

Com o surgimento de novos usuários e novas necessidades, ocorreram lacunas nessa arquitetura. Um dos pontos de partida para uma discussão sobre uma melhoria nessa arquitetura está em repensar o endereçamento de estações, aplicações e usuários e, também, em uma melhor forma para atender os requisitos tecnológicos solicitados pelas aplicações.

3.2.2 Problema do Endereçamento de Estações, Aplicações e Usuários

Na Arquitetura TCP/IP, o endereçamento lógico de estações é feito pelo protocolo de Internet, na camada 3. Para isto, foi criada uma hierarquia de endereçamento organizada por redes e sub-redes utilizando máscaras para sua segmentação. Para o endereçamento de aplicações, uma vez localizada a estação, utilizam-se protocolos da camada de transporte, como o TCP, UDP e SCTP. O endereçamento de usuários normalmente é controlado pelas aplicações, sem suporte direto dos protocolos das camadas intermediárias e mais baixas.

Um olhar rápido sobre a necessidade de comunicação entre indivíduos do mundo real mostra que, para algumas aplicações distribuídas, o importante é localizar o usuário, e não a sua estação ou uma aplicação. Por exemplo, em uma comunicação de mensagem instantânea, vídeo conferência ou VoIP, um usuário deseja, normalmente, comunicar-se com outro usuário e não com uma aplicação ou estação, o que, por sua vez, poderia ocorrer ao acessar um site com conteúdo de esportes para obter a informação do resultado de um jogo de futebol, por exemplo.

Esse aumento da necessidade de suporte para o endereçamento de usuários veio da ampliação do uso da Internet, que se tornou acessível a indivíduos e não apenas a estações ou grupos privados. A necessidade de endereçamento entre indivíduos permanece sem suporte direto dos protocolos das camadas intermediárias e mais baixas, sendo tratada pelos protocolos de aplicação.

Outra lacuna no endereçamento de aplicações distribuídas está no tratamento adequado da necessidade de comunicação de 1 para muitos, ou de 1 para todos, sob responsabilidade das tecnologias de *multicast* e *broadcast*, respectivamente. É fato que as aplicações atuais permanecem com elevada dificuldade para atender esses requisitos tecnológicos. Por exemplo, numa conferência VoIP, que envolva 6 usuários dispersos entre Canadá e Brasil, haverá múltiplos fluxos de *streams* entre os usuários, e, conforme for configurado o servidor VoIP, haverá múltiplos fluxos entre ele e os usuários, conforme a Figura 9. Isto deve-se às dificuldades encontradas na arquitetura atual para um suporte *multicast* que atenda essa

comunicação de forma otimizada.

Figura 9 - Múltiplos fluxos de comunicação entre usuários

A dificuldade de estabelecer essa comunicação de forma otimizada na Arquitetura TCP/IP está no fato de que esta não foi projetada para isso e porque o suporte dado, a partir de novas especificações de protocolos, exige considerável complexidade em sua implementação. Desse modo, a sua utilização é limitada a ambientes específicos, como é o caso das redes NGN, que, ao utilizarem o protocolo H.248/MEGACO, estabelecem a comunicação VoIP por um modelo de conexão que utiliza contextos e terminações, sendo um contexto formado pela associação de terminações (GROVES, 2003). Nas NGN estas associações não são compreendidas pela rede e, conseqüentemente, há limitações para sua otimização.

Assim, uma aplicação utilizando o H.248, ao estabelecer um contexto VoIP para conferência de usuários, estabelece fluxos entre estes ou entre os MGs (*Media Gateway*), conforme a configuração utilizada para o SDP (*Session Description Protocol*) (HANDLEY, 2006), resultando em conexões similares às da Figura 9.

Por outro lado, uma solução mais elegante para esse endereçamento poderia ser realizada com o suporte das camadas intermediárias, ou mais baixas, a partir de uma solicitação feita por uma aplicação que demandasse o requisito de *multicast* (MC) para as camadas inferiores.

Este requisito poderia ser requerido para o estabelecimento de uma área de trabalho

(*workspace*), de forma a otimizar o estabelecimento dos fluxos de comunicação entre as maiores distâncias, conforme o resultado possível apresentado na Figura 10, a partir do cenário da Figura 9.

Figura 10 - Associação entre contextos e terminações em uma área de trabalho

Esse tipo de problema existente no *multicast* também ocorre no *broadcast*, devido ao endereçamento hierárquico do IP, que distribui suas redes e sub-redes em classes organizadas conforme a construção dos octetos de seus endereços e máscaras (POSTEL, 1980, 1981a). Caso a arquitetura fosse projetada para atender a esse requisito e endereçar de forma horizontal, tal problema poderia ser solucionado, pois, no endereçamento horizontal, as vizinhanças não demandam uma organização em hierarquias, a qual impede que elementos com endereços vizinhos estejam fisicamente dispersos, em função de seu forte acoplamento.

Assim, um usuário poderia estar em qualquer local do mundo, também ocorrendo o mesmo com o seu vizinho próximo, fato este que não acontece no IP devido à sua organização hierárquica em redes e sub-redes, que reflete na exigência das vizinhanças estarem próximas ou, pelo menos, terem enlaces que o permitam. Um exemplo de enlace para distribuir fisicamente estações endereçadas por IP é o de conexão privada feita por uma fibra escura entre dois pontos distantes.

Outra lacuna presente neste problema abordado refere-se ao fato de que, na Arquitetura TCP/IP, o modelo de conexão é feito pela camada de transporte, a qual,

para o fluxo de mídia, utiliza normalmente o UDP, que não é orientado à conexão. Embora o SCTP fora especificado para a transmissão de *streams*, ele não tem sido adotado amplamente. Mesmo que o fluxo de mídia fizesse uso do TCP, que é orientado à conexão, a associação da Figura 10 não seria possível, pois o modelo de conexão do TCP não possui esse suporte.

O projeto do TCP define uma conexão entre um cliente e um servidor com uso do *handshake* de 3 vias, mas não define essa conexão entre N clientes e um servidor, ou entre N clientes. Na conexão entre cliente e servidor no TCP, o *handshake* é feito em 3 vias para não reservar recursos no servidor e não para suportar associações de comunicação, como as necessárias no *multicast*.

Na conexão do TCP o servidor apenas reserva seus recursos após receber o ACK do cliente, que garantirá que os pacotes anteriores, entre o cliente e o servidor, não foram perdidos. Desta forma, o cliente alocará seus recursos primeiramente, para que, então, o servidor possa alocá-los ao receber a confirmação do cliente. Este mecanismo protege o servidor da alocação de recursos para muitos clientes, cujas conexões não tenham sido completadas com sucesso, mas não resolve o problema de múltiplas conexões do *multicast* e do *broadcast*.

Um projeto de arquitetura para endereçar usuários, aplicações e estações horizontalmente, e com um modelo de conexão que permita atender as necessidades das aplicações atuais, como o *multicast*, pode colaborar com a evolução das redes de computadores, de forma a reduzir a sua complexidade e ampliar a sua eficiência. A próxima seção apresenta discussões sobre o suporte a necessidades e requisitos da comunicação em rede, seguida de uma seção sobre hipóteses para abordar este problema de endereçamento.

3.3 Dinamismo no Suporte às Necessidades e Requisitos da Comunicação em Rede

Os elementos de comunicação normalmente são construídos para suportar necessidades existentes no mundo real e, para isto, exigem requisitos tecnológicos

diversos. Estes requisitos podem variar conforme a necessidade e também sofrer alterações, assim como as necessidades também o podem. Portanto, as necessidades de comunicação impactam diretamente nos requisitos de tecnologia que, por sua vez, impactam na construção e complexidade dos sistemas computacionais.

As necessidades de comunicação são várias e desdobram uma série de requisitos tecnológicos distintos que precisam ser suportados pelas redes, o que, consequentemente, resulta em complexidades tecnológicas de escalas variadas. A evolução tecnológica visa a melhorar o atendimento desses requisitos, ou mesmo, atender requisitos não suportados.

A lista abaixo exemplifica algumas das necessidades de comunicação presentes nas redes de computadores:

- Unidirecional;
- Bidirecional, simultânea;
- Bidirecional, não simultânea;
- Ponto a ponto;
- Ponto multi ponto (1 ponto para muitos ou 1 para todos);
- Qualidade;
- Mobilidade;
- Velocidade;
- Transferência de arquivos;
- Entrega condicionada (pipeline);
- Entrega ordenada;
- Monitoração da entrega;
- Comunicação em texto, áudio ou imagem;
- Armazenamento;
- Comunicação instantânea em modo texto, áudio e/ou vídeo;
- Comunicação não instantânea em modo texto, áudio e/ou vídeo;
- Segurança;
- Garantia de entrega (com ou sem confirmação);
-

As necessidades das aplicações são relacionadas aos requisitos tecnológicos que elas demandam e essa relação pode ser representada conceitualmente de maneira formal nas redes de computadores, conforme descrito na próxima seção.

3.3.1 Relação entre Necessidades das Aplicações e Requisitos Tecnológicos

De maneira geral, a necessidade de um elemento de comunicação precisa de um conjunto de requisitos para satisfazê-la, o que ocorre a partir do estabelecimento de uma relação formal entre eles. Por exemplo, para uma aplicação de comunicação de VoIP suportar a necessidade de comunicação com áudio, em tempo real, alguns requisitos são: tempo real, baixo *jitter*, ordenação e comunicação duplex.

Observa-se que tais requisitos podem sofrer alterações conforme mudanças das necessidades em situações distintas. Por exemplo, em uma teleconferência pode ser requerido uma comunicação *half-duplex*, em um momento t_2 , para evitar interferência do áudio de retorno, ou, numa conversa sigilosa, pode ser requisitada a criptografia da comunicação num instante t_3 . Para este exemplo, uma possível formalização da relação, conforme a representação axiomática definida por Leśniewski (1930), é apresentada na Figura 11.

VoIPt1	→	TR	^	¬J	^	O	^	D
VoIPt2	→	TR	^	¬J	^	O	^	HD
VoIPt3	→	TR	^	¬J	^	O	^	D ^ C
Tem-se:		TR						Tempo Real
		J						Jitter
		O						Ordenação do Áudio
		D						Duplex
		HD						Half-Duplex
		C						Criptografia

Figura 11 - Representação axiomática das necessidades e suas variações

De outra maneira, a mesma necessidade de sigilo poderia ser suportada por uma conexão privada (CP), em substituição ao requisito de criptografia, o que levaria a uma alteração do axioma em t_3 para o descrito na Figura 12.

VoIPt3	→	TR	^	¬J	^	O	^	D	^	(C ∨ CP)
--------	---	----	---	----	---	---	---	---	---	----------

Figura 12 - Alteração do axioma para representar o suporte de sigilo

Esses não são os únicos requisitos necessários para uma comunicação VoIP, mas exemplificam que a alteração das necessidades resulta na alteração dos requisitos tecnológicos necessários para suportar a comunicação em rede.

3.3.2 Alteração das Necessidades de Comunicação

Na arquitetura atual, há dificuldade de suporte às alterações das necessidades funcionais nas comunicações, agravada pelo fato de que a camada de aplicação possui limitações na comunicação de suas necessidades às camadas intermediárias.

Devido ao contexto de uma comunicação, suas necessidades funcionais podem sofrer alterações. Por exemplo, em uma comunicação de mensagem instantânea, quando o assunto tornar-se sigiloso, a necessidade de conexão segura pela criptografia ou conexão privada pode vir a ser necessária. O mesmo pode ocorrer em uma transmissão de vídeo conferência quando o assunto passar a ser confidencial.

As alterações das necessidades no contexto podem ter diversos motivadores, como, por exemplo, modificações no espaço, tempo, situação ou mesmo o assunto. Modificações no espaço possibilitam o deslocamento das entidades em comunicação, o que permite mobilidade para estas. A mobilidade é uma necessidade nas redes atuais e do futuro, embora os protocolos das camadas intermediárias do TCP/IP não estejam preparados nativamente para suportar este requisito, o que evidencia outro problema da arquitetura atual.

Quanto às alterações no tempo, de maneira geral, as necessidades das entidades demandam um conjunto de requisitos para satisfazê-las. As necessidades de comunicação, em geral, são de responsabilidade da área de redes de computadores e sua associação com os requisitos tecnológicos ocorre em um contexto “C”, conforme a Figura 13, na qual uma área de trabalho “A” pode ser solicitada para atender um conjunto de “N” necessidades que, por sua vez, para serem atendidas, demandam “R” requisitos tecnológicos.

Figura 13 - Relação entre necessidades e requisitos tecnológicos em uma área de trabalho

Neste exemplo, a área de trabalho “A” sofreu alterações quanto às necessidades e, consequentemente, quanto aos requisitos tecnológicos para suportá-las, conforme as variações do contexto em C1, C2 e C3.

3.4 Endereçamento Horizontal

Uma análise sobre o mundo real e suas necessidades de comunicação é importante para um projeto adequado na área de redes de computadores, de maneira a suprir tais necessidades de forma estruturada. Existe uma necessidade cada vez maior de comunicação distribuída entre os elementos de comunicação, porém, para a Arquitetura TCP/IP, há complexidades para suportar alguns requisitos tecnológicos com uso do endereçamento lógico feito pelo IP, devido à sua estrutura hierárquica.

Por exemplo, há dificuldades para uma proposta na qual cada dispositivo móvel e cada ser humano (ou animal) tenha seu próprio IP, pela dificuldade de controlar a mobilidade com o endereçamento hierárquico. Outro exemplo de complexidade nessa arquitetura é o das redes locais, as quais, além do IP, utilizam o endereço MAC (*Medium Access Control*) para os elementos de rede (neste caso, *switches* e

estações) que fazem uso do endereço físico para comutar pacotes na camada 2.

Para atender à necessidade de mobilidade das conexões, na arquitetura atual, utilizam-se mecanismos como o de *login*, que possui características semelhantes ao endereçamento lógico, sendo geralmente suportado pelas aplicações. Isto resulta no uso de 4 endereços distintos, controlados por camadas diferentes, para um único usuário, na Arquitetura TCP/IP:

1. Endereço físico (MAC) controlado pela camada de enlace;
2. Endereço lógico (IP) controlado pela camada de rede;
3. Endereço de aplicação (portas do TCP, UDP e SCTP) controlado pela camada de transporte; e
4. Endereço de usuário (*login*, email, dentre outros) controlado pela camada de aplicação.

A existência desta sobreposição de endereços aumenta a complexidade dessa arquitetura e dificulta o atendimento, de forma otimizada, de algumas necessidades da comunicação distribuída.

Outra questão sobre essa sobreposição de endereços refere-se a que, destes, apenas o lógico possui endereçamento hierárquico. Os outros três (físico, aplicação e usuário) possuem, geralmente, endereçamento horizontal. Contudo, é o endereço IP (camada de rede) que é o responsável por endereçar estações na Arquitetura TCP/IP.

Tal entrelaçamento no uso dos endereços resulta em restrições pertinentes a cada um deles. O IP fica preso a sua estrutura hierárquica e restringe a mobilidade. Por exemplo, para um carro comunicar em movimento, com endereço IP, precisa fazer *handoff* para manter a transferência de dados. Esse mecanismo ocorre de forma similar para os *handsets* com tecnologia móvel, como o GSM (*Global System Mobile*) ou 3G que, apesar de terem um IP associado durante a transferência de dados, também precisam fazer alteração deste IP no *handoff* entre redes distintas. Além disso, os *handsets* possuem endereços de dispositivo (IMEI – *International Mobile Equipment Identification*), o endereço do SIMCard (IMSI – *International Mobile Subscriber Identity*) e número para endereçar o usuário.

No endereçamento IP também há o problema da segmentação das classes, implicando que ao crescer além de 256 endereços, em uma classe C, é necessário

alocar outro segmento para endereçamento, o que impacta no planejamento de crescimento de uma rede, pois este não poderá ser feito gradativo sem passar pelos saltos de alocação das faixas, ou subfaixas.

Um terceiro problema no endereçamento com o IP, quando há o requisito de alta disponibilidade, ocorre em estações com 2 ou mais conexões com a Internet, pois precisam ter mais de um endereço IP. Isto implica o endereçamento, uma vez que uma única estação passa a se comportar como entidades diferentes para a rede. Por exemplo, na Figura 14, a estação 1, para falar com a estação 2, pode escolher os endereços 2A ou 2B via o roteador R (COMER, 1995).

Caso um usuário, ou aplicação, da estação 1 conheça apenas o endereço 2A da estação 2 e esta conexão pare de funcionar, haverá interrupção da comunicação, mesmo que a entidade 2 e a conexão 2B continuem em funcionamento e haja caminho disponível via o roteador R. Para contornar esta fragilidade na Arquitetura TCP/IP é necessário que haja o controle explícito de conexões distintas que usam o mesmo IP, uma vez que a identificação de diferentes conexões para uma mesma entidade não é nativa.

Figura 14 - Problema de comunicação no TCP/IP

As discussões sobre endereçamento horizontal buscam alternativas para que a informação da rede não possua forte acoplamento com a identificação da entidade e que esta, além de estação, também possa representar outros elementos da comunicação distribuída, como por exemplo, usuários, aplicações ou sensores.

Nesse cenário, várias soluções são possíveis para melhorar o endereçamento na Arquitetura Internet e as subseções seguintes apresentam descrições resumidas de possibilidades para uso do endereçamento horizontal, nesta arquitetura.

3.4.1 Endereçamento Horizontal por Endereçamento IP

É possível a utilização do próprio endereçamento IP para uso horizontal em substituição ao hierárquico. Para tanto, é necessário remover a hierarquia desse protocolo, realizada pela aplicação das máscaras de rede. Dessa forma, as redes que utilizam o IP formariam uma rede única, sem a separação por classes e também por sub-redes.

Para que isso funcione, é necessário que os roteadores da Arquitetura Internet façam o endereçamento por IP individualmente e não por rede, ou sub-rede. Para que ocorra desta maneira, esses elementos precisam suportar tabelas de roteamento com grande extensão para poderem associar cada IP à interface correta e enviar os pacotes. Essas tabelas também precisam ter atualização dinâmica para suportarem as necessidades das aplicações móveis, que, em instantes distintos no tempo, podem associar-se a elementos de rede conectados a roteadores diferentes, o que exige a reconfiguração automática dos roteadores IP.

Para resolver essa questão de endereçamento horizontal para o IP, na Arquitetura Internet, uma solução possível é a de uma estrutura de domínio dinâmica associada à função de cache do DNS (*Domain Name System*), de forma que um elemento, ao conectar-se na rede (com IP fixo ou dinâmico), faça a atualização dessa estrutura de cache. Desse modo, para a necessidade de conexão *client-server*, um elemento de origem consulta a estrutura de cache para se conectar a um elemento de destino.

Observa-se que o DNS foi projetado para a tradução de nomes e não para que a sua estrutura de cache seja utilizada no endereçamento horizontal do IP. Nesse cenário, é necessário que a estrutura de DNS seja alterada, ou outra estrutura similar seja utilizada para fornecer o serviço de endereçamento dinâmico como, por exemplo, estruturas com funcionamento próximo ao DHCP (*Dynamic Host*

Configuration Protocol), ou BOOTP (*Bootstrap Protocol*), ou DHT (*Distributed Hash Table*).

Nessa solução de endereçamento horizontal por endereçamento IP, a localização dos elementos de rede pode contar com o suporte da identificação utilizada pelos AS (*Autonomous System*). Com isto, ao solicitar a localização de um IP, a estrutura de tradução retorna a identificação do AS ao qual esse IP está conectado, em um determinado momento.

Assim, um pacote é direcionado ao AS que, ao recebê-lo, faz o roteamento interno em sua estrutura de rede, pela identificação dos elementos com conexões para realizar a entrega do pacote. Isto exige que seja alterada a forma de identificação desses elementos de rede na arquitetura atual, ou pelo menos mantido algo similar ao endereçamento físico para esses elementos. Além de ser necessário manter o endereçamento dos elementos de rede, também é necessário manter o endereçamento de usuários e aplicações, com o uso de nomes e portas, respectivamente.

Percebe-se que uma solução para endereçamento horizontal, utilizando o próprio IP, é complexa, além de não simplificar as demais estruturas de endereçamento existentes, nem aproximar semanticamente a camada superior das inferiores. Isto ocorre porque esse protocolo foi projetado para uso hierárquico e sem suporte semântico, o que dificulta alterá-lo para uso horizontal com compreensão das necessidades de comunicação dos elementos de rede.

3.4.2 Endereçamento Horizontal pelo Endereço Físico

Outra possibilidade para o endereçamento horizontal na Arquitetura Internet é utilizar apenas o endereço físico para a localização do destino. Esta solução substitui o IP na forma de endereçamento horizontal descrita acima, porém mantém a complexidade de implantação, falta de suporte semântico e o endereçamento de usuários e aplicações.

Cabe ressaltar que o endereço físico utilizado na Arquitetura TCP/IP é, por princípio,

um endereço horizontal. Ele não faz restrições de vizinhança e, portanto, um endereço vizinho pode encontrar-se fisicamente em locais dispersos, sem segmentação de rede. No entanto, ele não associa a identificação de usuários e aplicações, o que torna necessário manter a complexidade existente nesses múltiplos endereçamentos.

O endereçamento horizontal na Arquitetura Internet, com uso do endereço físico, tende a ser mais simples do que pelo uso do endereço IP, devido ao endereço físico não ter estrutura hierárquica em sua natureza. Contudo, não simplifica a arquitetura de forma abrangente para as aplicações e usuários. Também limita a quantidade de endereços em 48 bits, visto que os atuais endereços MAC são formados por 6 octetos (SEAMAN, 2004). Isto restringe a quantidade de endereços em 256 Tera (aproximadamente 281,5 trilhões), o que poderá gerar limitações para o crescimento futuro da quantidade de dispositivos conectados na Internet. Esta limitação é menos problemática no IPv6, que possui 128 bits (DEERING, 1995, 1998).

3.4.3 Endereçamento Horizontal pelo Endereço de Usuário

Um usuário normalmente conecta-se a um elemento de rede ou a uma aplicação e recebe dados que, em geral, foram inicialmente direcionados a uma estação (pelos endereços MAC e IP) e posteriormente enviados para uma aplicação (pela porta). Pela estrutura da Arquitetura TCP/IP, o endereço de usuário não permite o endereçamento dos pacotes para estações, nem para aplicações.

Uma possibilidade para permitir esse endereçamento consiste em que os elementos de rede e as aplicações também utilizem endereços de usuários. Isto unifica as formas de endereçamento e pode resultar na simplificação da estrutura atual. Para tanto, os atuais endereços físico, lógico e de aplicação podem ser mantidos e passam a ser endereçados como endereços de usuário.

Assim, estruturas como a de 48 bits do MAC, a de 32 bits do IPv4, a de 128 bits do IPv6 e a de 16 bits das portas do TCP, UDP e SCTP passam a ser endereços de usuário, o que exige uma reestruturação das camadas intermediárias dessa

arquitetura.

Nesse ponto, é necessário atenção no controle da formação dos nomes, pois estes utilizam octetos, e a tradução direta dos endereços MAC e IP, em bits para nomes em ASCII, formará caracteres não apenas alfanuméricos, como também caracteres de controle, por exemplo, o IP 65.34.100.1, que possui a sequência de octetos 01000001.00100010.01100100.00000001, é traduzido para o nome: A"dSOH.

Neste exemplo, SOH (*Start of Heading*) é um caractere de controle, usado para informar o início de transmissão. Obs.: O código ASCII do SOH é "00000001", que coincide com o último octeto do endereço IP deste exemplo.

O endereçamento pelo endereço de usuário é uma solução possível, porém, também limitada quanto à aproximação semântica entre as camadas. Dessa maneira, acredita-se na possibilidade de uma solução melhor para o endereçamento horizontal na Internet.

3.4.4 Endereçamento Horizontal pelo Endereço de Aplicação

Na Arquitetura TCP/IP, as aplicações são endereçadas pelo número de porta, que possui 16 bits e, portanto, pode assumir valores de 0 a 65535. Dessa numeração, os valores de 0 até 1023 são reservados para uso específico das portas bem conhecidas (*well known ports*), os de 1024 até 49151 são reservados para as portas registradas, e as portas dinâmicas e/ou privadas utilizam a numeração de 49152 até 65535.

As portas bem conhecidas e as registradas não devem ser utilizadas sem o registro no IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*), cujo procedimento é descrito na seção 19.9 da RFC 4340 (KOHLE, 2006).

Para utilizar a estrutura de portas para o endereçamento horizontal na Internet, um problema inicial é o da limitada quantidade de endereços disponíveis, que inviabiliza endereçar a quantidade de aplicações distribuídas em estações diferentes. Impossibilita até mesmo o endereçamento das estações e usuários para a rede

mundial.

Uma possibilidade de solução é a de aumentar a quantidade de bits utilizada nesse endereçamento, o que levaria a limitações semelhantes às descritas anteriormente para o uso do endereço de usuário e do endereço físico.

3.4.5 Endereçamento Horizontal por Controle de Fluxos

O endereçamento horizontal por controle de fluxos pode ser realizado a partir de uma estrutura de numeração na qual cada usuário, aplicação ou estação possuam um número de identificação, que, de forma similar à descrita para o endereçamento horizontal por endereço IP, pode ter uma solução baseada na estrutura de cache utilizada pelo DNS.

Uma solução com controle de fluxo, entretanto, difere-se da descrita para o IP, porque possibilita um novo projeto para as camadas intermediárias (camadas 3 e 4). Isto permite que existam estruturas dinâmicas e que atendam às necessidades das aplicações que surgiram após o projeto inicial da Arquitetura TCP/IP, como também pode facilitar o atendimento dos requisitos tecnológicos que estas necessidades solicitam.

Por exemplo, uma alteração possível é a criação de um byte indicador da quantidade de caracteres existente no número (ou nome) do fluxo. Assim, esse tamanho pode variar de muito pequeno a muito grande, sem onerar o custo de rede pelo uso de um endereço com tamanho fixo. Desta forma, um número de fluxo pode ser utilizado para endereçar tanto usuários quanto aplicações e estações. Para tanto, uma aplicação, usuário ou estação podem solicitar um ou mais fluxos e registrá-los dinamicamente na estrutura de DNS com a atualização do cache. Com isto, os elementos de rede responsáveis pelo roteamento fazem o envio dos dados para o destino que possui o número do fluxo registrado. Caso o elemento de rede ainda não conheça o fluxo, fará uma consulta ao serviço de nomes e atualizará sua tabela de cache.

Assim, os pacotes com a numeração de fluxo N são enviados para o destino que

registrou esse fluxo. Quando desejar, o detentor de um fluxo N poderá liberá-lo, o que conseqüentemente fará a limpeza das tabelas de cache. Nessa solução, também pode haver o registro de fluxos com identificação fixa, cujo registro fixo retira deste fluxo a possibilidade de uso dinâmico.

3.4.6 Endereçamento Horizontal por Serviço de Diretório

O uso do serviço de diretório pode ser uma alternativa para o endereçamento horizontal na Arquitetura Internet. Nesta solução, o serviço de diretório substitui a estrutura de DNS, descrita anteriormente, e permite que, além do endereçamento horizontal, seja feito o controle dos demais requisitos tecnológicos necessários para atender as necessidades das aplicações, estações e usuários.

O serviço de diretório pode ser utilizado de forma complementar à solução descrita para o controle de fluxos. Assim, um elemento de rede, ao atualizar a sua tabela de fluxos, também faz a atualização de suas necessidades que precisam ser suportadas em uma comunicação.

Por exemplo, um usuário de uma aplicação de comunicação instantânea faz seu registro no sistema de diretório e informa que precisa de garantia de entrega no envio de dados. Esta aplicação conhece o número de fluxo do serviço principal, que pode ser fixo, e estabelece uma conexão na qual os elementos de rede no caminho até a aplicação de destino consultam o serviço de diretório para encontrá-la e, nessa consulta, são informados da necessidade de suportar a garantia na entrega dos dados. Ao conectar à aplicação de destino, o usuário de origem recebe a lista de usuários cadastrados e a informação dos que estão ativos (online, ocupado, dentre outros), com garantia na entrega dos dados.

Caso esse usuário deseje uma conexão segura, pode registrar no serviço de diretório a necessidade de codificação dos dados. Dessa maneira, os elementos de rede são atualizados pelo serviço de diretório e, ao direcionarem pacotes para o fluxo, passam a suportar automaticamente o requisito tecnológico de criptografia. Os novos elementos de rede, que fizerem consulta ao serviço de diretório para

localizarem o destino desse fluxo, também serão informados sobre a necessidade de atender ao requisito de segurança.

Pela estrutura de rede, os usuários, aplicações e estações fazem o registro no serviço de diretório, conforme apresentado na Figura 15, e os elementos de rede (NE – *Network Element*) fazem a consulta ao serviço de diretório, tanto para localizarem as possíveis rotas de destino, como também para identificarem as necessidades de comunicação a serem atendidas.

Figura 15 - Endereçamento horizontal por serviço de diretório

Para esta comunicação, os elementos de rede precisam suportar a identificação do fluxo e, de forma semelhante aos atuais switches, manter atualizada uma tabela com informação semelhante à tabela ARP (*Address Resolution Protocol*). Nessa nova tabela, a informação do endereço MAC é substituída pela identificação do fluxo que tem a correspondência da interface à qual esse fluxo responde. Desta forma, tendo a estrutura similar à tabela ARP, os mecanismos para endereçamento nas redes locais possuem maior facilidade de serem adequados, assim como funcionalidades adicionais, tais como, por exemplo, a proteção contra *loop* pelo MAC feita pelo *spanning tree* (JEFFREE, 1998; SEAMAN, 2004).

Para o endereçamento, além da rede local (na rede mundial), o serviço de diretório informa quais os elementos de rede respondem a um fluxo e também qual o tempo

de resposta médio para cada elemento de rede. Assim, é possível identificar a melhor rota para os pacotes futuros. Este mecanismo também pode ser utilizado nas redes locais, caso necessário.

Assim como o DNS, a solução baseada em serviço de diretório possui controle hierárquico para permitir o endereçamento horizontal na Internet, de forma organizada e escalável, permitindo também desacoplar as vizinhanças existentes no endereçamento hierárquico.

3.4.7 Endereçamento Horizontal na Internet sem Uso do Client-Server

Na Arquitetura TCP/IP, a comunicação distribuída é estabelecida pelo uso do paradigma *client-server*, em que um servidor prepara-se para receber dados originados por clientes, que podem estar na mesma estação ou em estações diferentes. Para uso do TCP é utilizado o modelo de conexão apresentado previamente, e para o UDP o servidor prepara-se para receber dados, sem o estabelecimento de conexão. Mesmo a comunicação *peer-to-peer* acontece desta forma, tanto para o TCP quanto para o UDP.

Uma forma de utilizar o endereçamento horizontal sem o atual paradigma *client-server* pode ser pela substituição por conexão *entidade-entidade*, porém diferente do *peer-to-peer*, que utiliza, por natureza, o *client-server*. A conexão *entidade-entidade* permite a comunicação distribuída na Arquitetura Internet semelhante ao sistema de comunicação humana, em que os aparelhos de fala e audição estão sempre disponíveis (inicializados) e a escolha de iniciar, estabelecer ou encerrar um diálogo é interpretada e decidida por um controle superior.

Para esta alteração, o endereçamento horizontal contribui pela redução do acoplamento entre as vizinhanças de forma a facilitar o estabelecimento de comunicação (não apenas de conexão) entre aplicações, estações, usuários e demais entidades de comunicação.

No *client-server*, o TCP fornece garantia de entrega em meios CL (*Connection Less*)

fazendo que estes se comportem como meios CO (*Connection Oriented*). Para alteração do modelo para *entidade-entidade*, as ocorrências no envio e recebimento de dados existentes na Arquitetura TCP/IP, presentes na Figura 16, continuam existindo, porém, o requisito tecnológico de orientação à conexão, ou de não orientação, por exemplo, origina na solicitação das entidades para suportarem a necessidade humana que originou a comunicação distribuída, pela compreensão semântica que colabora com a aproximação das camadas superiores e as inferiores.

Connection Less		Connection Oriented	
Envia	Recebe	Envia	Recebe
X	X	X	X
X	X'	XY	XY
X	-		
X	XX		
XY	XY		
XY	YX		

Figura 16 - Envio e recebimento de dados em CL e CO

Dessa forma, uma aplicação pode solicitar o requisito tecnológico de CO, CL ou CL/ACK (*Connection Less with Acknowledgment*), o que mantém o comportamento conforme a necessidade que originou a transferência de dados entre aplicações, estações ou usuários. Com isto, o exemplo de comunicação VoIP, descrito previamente, pode ser formalizado, num instante t4, pelo axioma da Figura 17.

$$\text{VoIPT4} \rightarrow \text{TR} \wedge \neg \text{J} \wedge \text{O} \wedge \text{D} \wedge (\text{C} \vee \text{CP}) \wedge \text{CL}$$

Figura 17 - Alteração do axioma para representar o requisito de CL

Nesse axioma, o requisito de *Connection Less* (CL) pode ser exigido para satisfazer redução no custo de rede e caso necessite qualidade de serviço ou garantia de entrega (por exemplo, para passar fax na conexão VoIP pelo protocolo T.38), os requisitos de CO ou CL/ACK podem ser necessários. Nesse caso, num instante t5, a alteração da necessidade pode resultar na alteração da lógica na conexão, o que

pode ser feito pelo serviço de diretório para solicitar a alteração dos requisitos fornecidos pelos elementos de rede, que, por sua vez, podem satisfazer esta solicitação, ou não, caso tenha suporte tecnológico para o requisito solicitado. Nesse caso, um axioma possível seria o apresentado na Figura 18.

$$\text{VoIPt5} \rightarrow \text{TR} \wedge \neg \text{J} \wedge \text{O} \wedge \text{D} \wedge (\text{C} \vee \text{CP}) \wedge (\text{CO} \vee \text{CL/ACK})$$

Figura 18 - Alteração da representação dos requisitos

3.4.8 Endereçamento Horizontal por Título

Para reduzir a complexidade do endereçamento na Arquitetura Internet, uma alternativa é a de unificar a estrutura hierárquica utilizada para endereçar estações com a horizontal usada para endereçar aplicações e usuários. Para tanto, esta Tese apresenta uma solução em que o uso de títulos de aplicações, especificado na recomendação ISO-9545/X.207, seja estendido para uso por estações e usuários, dentre outras entidades. Conforme esta recomendação, os *ASO-title* (*Application Service Object-title*), que são utilizados para identificar sem ambiguidade os ASO, em um ambiente OSI, consistem em *AP-title* (*Application Process title*) que, por natureza, endereçam as aplicações horizontalmente (ITU-T, 1993).

Dessa forma, este trabalho busca ampliar o uso do título das aplicações para estações e usuários, com a unificação do endereçamento com o uso do *AP-title*.

Para não utilizar uma nomenclatura distinta para “título de usuário”, “título de estação” e “título de aplicação”, o que reduziria a flexibilidade de seu uso em outras necessidades de endereçamento (por exemplo, “título de sensor” e “título de conteúdo”), considera-se, doravante, a designação única de “título de entidade”, ou simplesmente “título”, cujo objetivo é o de identificar uma entidade, independente de qual seja. Tal título é utilizado nesta Tese para endereçar entidades na Internet de maneira horizontal.

3.4.8.1 Unificação do Endereçamento em Título

Para unificar o endereçamento dos elementos de comunicação em título, é importante garantir que as necessidades destes continuem a ser atendidas pelas redes de computadores. Um ponto relevante nessa questão refere-se ao fato de a camada de aplicação, no modelo de referência OSI, possuir interface com a camada de apresentação e, na Arquitetura Internet, a camada de aplicação faz interface diretamente com a camada de transporte.

A unificação do endereçamento em título na Arquitetura Internet precisa suportar as características desta arquitetura, e um grande desafio conceitual, para este endereçamento unificado, é a alteração do paradigma de endereçamento das estações, que utiliza organização hierárquica, pelo uso do IP. Conceitualmente, para a unificação de endereçamentos ser possível, é necessário que seja mitigada a distinção entre os elementos de comunicação (estações, usuários ou aplicações, dentre outros), de forma que estes sejam tratados simplesmente como entidades de comunicação.

A diferença na comunicação entre essas entidades poderá existir não pela característica intrínseca a elas, mas sim, naturalmente, caso tenham necessidades distintas em contextos semelhantes ou diferentes, o que também pode ocorrer mesmo individualmente para uma única aplicação, estação ou usuário.

Para a comunicação distribuída por títulos ser possível, este trabalho define que as entidades sejam registradas em um DTS (*Domain Title Service*), que é um domínio para orquestrar o serviço de títulos das entidades e de suas necessidades. Orquestrados pelo DTS, os elementos de rede (NE) presentes no caminho entre as entidades identificam e aprendem em quais interfaces as entidades respondem, incluído a interface aérea para redes sem fio.

Esse aprendizado é temporizado e os títulos sem utilização na tabela de aprendizado são retirados desta periodicamente. Quando uma entidade envia dados para outra, os elementos de rede no caminho verificam suas tabelas locais e, caso não encontrem informações sobre a entidade designada pelo título de destino, requisitam as informações respectivas a ele para o serviço de títulos.

Pela característica de menor abrangência e maior simplicidade das redes locais, há possibilidade de que nestas o estabelecimento de comunicação ocorra sem o DTS. Para isto, o mecanismo pode ser o de configuração prévia dos elementos ou uso de auto-descoberta e auto-reconfiguração na rede, para que se tenha a informação sobre as interfaces que uma entidade designada por um título responde. Um mecanismo que pode ser utilizado para tanto é o de *broadcast* de títulos, de forma semelhante ao *broadcast* ARP, ou a substituição das mensagens ARP por mensagens com construção semântica. Com a identificação da interface que responde a um título, é atualizada a tabela de aprendizado dos elementos de rede e estabelecida a comunicação.

Para a localização da entidade que responde a um título na rede mundial, é proposto não utilizar *broadcast*, devido a questões de desempenho, escalabilidade e organização. Na rede mundial, é necessário maior controle de forma a evitar colapso nos mecanismos de auto-descoberta e auto-reconfiguração. Para que ocorra esse controle, uma solução é a identificação das interfaces de borda e a separação organizada entre as estruturas de acesso, distribuição e núcleo, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Organização da rede mundial no endereçamento por título unificado

É importante ressaltar que a atual rede mundial possui estrutura similar para a conexão de estações (TANENBAUM, 2007a), o que permite que sejam conectadas

aplicações e usuários. Porém, não há o suporte e compreensão semântica dos protocolos das camadas intermediárias, que se torna possível a partir desta Tese.

O endereçamento por título pode ser segmentado em faixas de uso reservado, embora a natureza deste seja de baixo acoplamento entre suas vizinhanças. Também não há restrições para que os segmentos sejam utilizados para finalidades específicas como, por exemplo, para um melhor desempenho ou controle de banda. Entretanto, esta segmentação de títulos horizontais possui característica conceitual e prática distinta do atual endereçamento hierárquico da Arquitetura Internet, pois, neste, há baixo acoplamento de vizinhanças e, na Arquitetura TCP/IP, as faixas de endereçamento são determinadas pelas redes e sub redes com o uso de máscaras para auxílio no roteamento.

O endereçamento do título entre origem e destino cria uma associação entre duas ou mais entidades que podem estar fisicamente em uma mesma estação ou em estações distintas. As estações, por sua vez, são entidades que possuem seus próprios títulos, que podem ser utilizados para o estabelecimento de associação entre outras entidades que utilizam uma mesma estação como hospedeira. Por exemplo, entidades aplicações, ou sensores, podem utilizar uma estação como hospedeira.

Para estabelecer uma associação em uma *workspace* é invocada uma entidade, conforme especificado pela recomendação X.207 que sugere o uso de AEI (*Application Entity Invocation*) (ITU-T, 1993). Esta Tese também expande o uso da AEI para EI (*Entity Invocation*), para suportar entidades distintas de aplicações, como estações e usuários, dentre outras.

Uma possibilidade para que este estabelecimento de associação em um *workspace* seja possível, é o uso de funções de nomes e diretórios para organizar a distribuição da comunicação entre as entidades, para garantir a associação destas, que pode ser orientada à conexão, ou não, conforme especificado no item 5.7.4 da X.207.

“ASO-associations may be connection-mode or connectionless-mode communications. Within the Application Layer, there are no architectural restrictions on mappings between connectionless-mode and connection-mode ASO-associations.”

O endereçamento por função de nomes e diretórios é descrito na recomendação

X.207 e especificado na ISO 7498-3 e recomendado na X.650 (ISO, 1989; ITU-T, 1992). Nestas recomendações/especificações, é descrito o endereçamento utilizado pela camada de aplicação e este trabalho define que se mantenha conceitualmente o endereçamento descrito nestas para a camada de aplicação, e que as entidades da Arquitetura Internet utilizem essa mesma estrutura no endereçamento horizontal, o que permitirá a alteração da Internet para uma entidade com controle unificado em um domínio distribuído. Neste cenário, a própria Internet se torna uma entidade única que poderá ter seu próprio título registrado no DTS.

Dessa forma, o endereçamento de estações, de aplicações em estações e de usuários feito com uso, ou não, de aplicações, torna-se um endereçamento único, identificado por título com organização e controle unificado nas redes de computadores, com o uso do DTS com serviço de função de nomes, diretórios e necessidades. Por exemplo, a entidade “helena” registra-se no DTS e fornece suas necessidades e suas características, como sua localização em: pad.lsi.usp.br.

Qualquer entidade existente, em qualquer lugar no mundo, para falar com a entidade “helena”, solicita os dados de sua localização ao DTS, e qualquer elemento de rede no caminho passa a destinar os pacotes pela informação de localização fornecida pelo DTS para pad.lsi.usp.br. Quando “helena” mover sua localização, ela atualiza o DTS, o que automaticamente fará com que os elementos de rede passem a enviar pacotes para a nova localização, por exemplo, para: facom.ufu.br, cambridge.en ou mit.us.

Ao registrar suas características, uma entidade fornece, além de sua localização, suas necessidades em um contexto, que poderão ser atualizadas conforme a alteração destas necessidades e o próprio contexto. Para que isto seja possível semanticamente e flexível para suportar a compreensão de necessidades atuais e que possam surgir no futuro, esta Tese define o uso de ontologia para o DTS orquestrar a comunicação entre as entidades e estabelecer associações nos *workspace*, como também permitir a aproximação semântica entre as camadas de rede. Para isto, o próximo Capítulo define o Modelo de Título de Entidade e cria sua ontologia base.

4 O MODELO DE TÍTULO DE ENTIDADE

A definição de um modelo, que colabore para melhorar o suporte às necessidades de comunicação na Internet, precisa estar alinhada aos problemas atuais da Arquitetura TCP/IP e perspectivas futuras para novas necessidades de comunicação. Para tanto, cabem colocações preliminares sobre atuais pontos críticos de deficiências com os quais este modelo deva contribuir, visando a melhorias.

4.1 Metas para o Modelo

Como meta para o modelo, há necessidade de atender problemas da Arquitetura TCP/IP descritos no Capítulo 3 que, em geral, derivam de:

1. Dificuldade de compreensão semântica das necessidades de comunicação pelas camadas intermediárias;
2. Limitações pela baixa evolução das camadas intermediárias e aumento da complexidade crescente da arquitetura atual; e
3. Quantidade de endereços insuficiente para a demanda atual e futura.

O problema em relação à quantidade de endereços é contornável no TCP/IP pelo uso do NAT e pelo aumento de endereços que passa de 32bits no IPv4 para 128bits no IPv6. Por essas razões, esse problema não é intransponível na arquitetura atual, no entanto, é um ponto a considerar em novos modelos.

Quanto a melhorar a compreensão semântica das camadas intermediárias e suporte às necessidades de comunicação, é necessária uma solução que melhore a flexibilidade em relação à atual rigidez das RFC que especificam estas camadas.

O novo modelo também precisa ser escalável com suporte ao aumento de ordens de grandezas computacionais por gerações, sem impacto na complexidade da arquitetura e deve suportar futuras necessidades de comunicação sem alteração

estrutural, ou que resulte no aumento da complexidade da arquitetura. Para isto é importante não utilizar definições rígidas e permitir baixo acoplamento entre seus elementos, como, por exemplo, manter a independência entre as camadas por meio de suas interfaces. Com isto, uma entidade de comunicação não precisa tratar todos os detalhes de todos os níveis da comunicação e com suas estruturas e protocolos envolvidos na troca de dados ou informações.

4.2 Modelo em Camadas

Entre as necessidades de comunicação básicas do ser humano, destaca-se, em geral, a de comunicação com outros seres humanos. Assim, a multiplicidade de endereços utilizados na Arquitetura TCP/IP torna complexa, tecnicamente, as redes de computadores para atender esta necessidade de comunicação. Porém, os vários endereços utilizados são um meio para ter como consequência o estabelecimento desta comunicação.

Por exemplo, na discussão do Capítulo 3 sobre o caso da comunicação VoIP ou de mensagens texto via IM (*Instant Message*), o objetivo da comunicação é a troca de dados/informações/conhecimento entre dois ou mais seres humanos e para que esta comunicação seja possível na arquitetura atual, são necessários vários endereços, como:

1. Endereço MAC (*Medium Access Control*);
2. Endereço IP (*Internet Protocol*);
3. Endereço da aplicação (Porta do TCP ou UDP);
4. Endereço do AS (Número do *Autonomous System*); e
5. Endereço do usuário (*login*).

Estes múltiplos endereços controlados por diferentes camadas tendem a aumentar a complexidade da comunicação distribuída, pois o objetivo fim, muitas vezes, é apenas o de um usuário “A” comunicar com um usuário “B”.

Em outra situação, ao acessar um site para a leitura de informações, um usuário pode desejar receber dados de uma página em uma estação remota e, novamente,

vários endereços serão necessários na arquitetura atual. Para mitigar a necessidade de vários endereços, o Modelo de Título define a unificação dos endereços em título e permite que seja utilizado um endereço unificado para a comunicação entre as entidades, com suporte semântico das necessidades de comunicação por uma camada de serviço.

Assim, as necessidades de comunicação das entidades, independentemente de suas categorias, são suportadas por esta camada de serviço, capaz de compreender e suportar as necessidades de comunicação das entidades em cada contexto. A Figura 20 mostra esta definição do Modelo de Título em camadas, comparado à Arquitetura TCP/IP.

TCP/IP	Modelo de Título
Aplicação	Entidade
Transporte	Serviço
Rede	Enlace
Enlace	Física
Física	

Figura 20 - Comparação do TCP/IP e o Modelo de Título

É importante frisar que este modelo independe da forma de endereçamento utilizada. Por exemplo, pode ser utilizado o “*Routing on Flat Labels*” ou o “*Locator Identifier Separation Protocol*”, todavia, para atenderem o Modelo de Título, eles precisam alterar sua estrutura para melhor suporte à compreensão semântica das necessidades das entidades unificadas em título.

Para que a camada de serviço ofereça suporte às necessidades das entidades, que podem alterar conforme o contexto, o Modelo de Título define o uso de ontologia, para que a camada de entidade possa comunicar semanticamente com a camada de serviço, que, por sua vez, traduzirá essa comunicação em funcionalidades por meio das camadas de enlace e física. Nesta Tese, é utilizada a *Web Ontology Language* (OWL) como linguagem de representação da ontologia do modelo, sendo que a escolha deveu-se à expressividade semântica; seu expressivo uso atual e tendência futura; e pelo fato de ser um padrão recomendado e adotado pelo W3C

(LACY, 2005; GASEVIĆ, 2009).

Pelo Modelo de Título, certas necessidades das aplicações passam a ser suportadas de forma mais natural e menos complexa; por exemplo, uma vez que o título endereça as entidades horizontalmente, a mobilidade na Internet torna-se natural, pois deixa de existir a hierarquia dos segmentos de rede e sub-rede que ocorre no endereçamento com IP pelo uso das máscaras. Isto reduz o acoplamento entre as vizinhanças, e uma entidade e seus vizinhos podem estar naturalmente distribuídos em qualquer lugar nas redes.

Por exemplo, seria como se, ao usar o IP, uma entidade com o endereço 200.225.100.170 estivesse na cidade de São Paulo e outra com o endereço 200.225.100.171 em Tóquio, sem a necessidade de qualquer recurso adicional de rede como VPN (*Virtual Private Network*) ou conexões dedicadas. Esses endereços também poderiam estar em deslocamento por diferentes redes de diferentes provedores sem perda de comunicação ou necessidade de reconfiguração de endereçamentos de rede. Estes são alguns dos benefícios de um modelo que permita o endereçamento unificado de entidades, de forma horizontal.

Além de reduzir a complexidade dos múltiplos endereços utilizados na arquitetura atual, o uso do título de entidade resolve o problema da quantidade de endereços possíveis, pois torna a quantidade de endereços ilimitada, visto que no Modelo de Título cada entidade tem uma identificação única, seu título, sem a delimitação da quantidade de caracteres, ou bits, possíveis.

4.3 Serviço de Domínio de Título

Para melhorar o suporte às necessidades de comunicação das entidades, é definido o Serviço de Domínio de Título (DTS – *Domain Title Service*) para orquestrar a comunicação entre entidades e dar suporte às suas necessidades, pelas redes de computadores. A Figura 21 apresenta uma visão simplificada do uso do DTS na comunicação entre entidades por meio de elementos de rede (NE) que, por sua vez, também são entidades de comunicação.

Figura 21 - Visão simplificada do uso do DTS

O uso do DTS altera o paradigma *client-server*, no qual uma aplicação é iniciada ao lado do servidor e permanece à espera de conexões a partir de estações cliente, sendo que a fundamental motivação para o modelo *client-server* ser desta forma foi (e ainda é) o problema da confusão da sincronização entre estações (Comer, 1997).

No Modelo de Título, o *client-server* é alterado para entidade-entidade, em que, toda entidade nasce apta para a comunicação em rede e o atendimento e/ou resposta de uma requisição de serviço é realizado, ou não, a partir da decisão de um controle superior.

Assim, deixa de haver a necessidade de uma aplicação em uma estação ser iniciada e aguardar conexões, pois as entidades naturalmente são aptas para a comunicação distribuída. Para os casos de entidades que não utilizarão a comunicação distribuída, como, por exemplo, um editor de texto, estas passam naturalmente a ser acessíveis na comunicação em rede. Estas possuem a opção de serem iniciadas como inaptas para o tráfego de rede sem a necessidade de informarem sua existência ao DTS.

Para a segurança dos dados/informações das entidades no DTS é proposto o uso de certificados digitais de forma que apenas a entidade detentora de um registro no DTS possa alterar seus dados. Propõe-se também que haja flexibilidade para novas abordagens para a confiança e identificação das entidades, de forma segura.

4.3.1 Suporte a Necessidades de Entidades no Serviço de Domínio de Título

O DTS é utilizado para o registro das necessidades de entidades, de forma que os elementos de rede tenham informações atualizadas sobre as necessidades de comunicação das entidades, necessidades estas que podem variar no contexto, conforme descrito no Capítulo 3. Para registrar necessidades de comunicação no DTS, podem ser utilizadas linguagens de formalização ontológica distintas, como, por exemplo, a lógica proposicional de Leśniewski, ou a *Web Ontology Language*.

O uso de uma linguagem de representação semântica também busca facilitar a implementação em software e hardware nos sistemas computacionais e, associado ao uso do DTS, suporta o registro, controle e atendimento das necessidades de comunicação de entidades.

4.3.2 Escalabilidade

O uso do endereçamento horizontal na Arquitetura Internet com a unificação dos endereçamentos em título de entidade possui o risco de limite de escalabilidade, caso a topologia de implantação do DTS seja feita de forma horizontal.

Para evitar este risco, o Modelo de Título propõe a organização em árvore da estrutura do Serviço de Domínio de Título de forma conceitual semelhante à estrutura dos atuais DNS (*Domain Name System*), com tabelas de aprendizado com expiração periódica e elementos mestre/escravos/locais distribuídos na rede para permitirem elevada escalabilidade para as comunicações entre as entidades.

Um exemplo desta topologia de organização é apresentado na Figura 22. Observe-se que a atual estrutura de DNS precisa de inserções manuais em sua tabela para haver a correspondência entre o nome e o endereço IP, e na estrutura do DTS este mecanismo manual também existe, entretanto, é preferível o registro automático das entidades e suas necessidades a cada contexto, no Serviço de Domínio de Título.

Figura 22 - Topologia de organização do DTS

Assim, para a escalabilidade deste modelo, é proposto que o endereçamento seja feito de forma horizontal, mas que a estrutura do DTS seja organizada como uma árvore invertida de forma que não haja dependência de uma única estrutura para a organização do modelo e que a estrutura de controle possa ser distribuída na Internet.

4.4 Interoperabilidade entre o Modelo de Título e a Arquitetura Internet

A interoperabilidade entre o Modelo de Título e a Arquitetura Internet é realizada de forma semelhante ao LISP, mantendo as camadas atuais e seus diversos endereços (MAC, IP, Portas, *login*, etc.) quando da comunicação com a rede legada. Dessa forma, uma entidade neste novo modelo ao se comunicar com o legado precisará saber qual o endereço do destino e precisará utilizar as mesmas pilhas de protocolos utilizadas atualmente. Para receber requisições da Arquitetura Internet, deverá utilizar também endereços IP e número de porta, o que poderá ser feito por meio de *gateways* de comunicação.

Por outro lado, ao se comunicar com entidades que suportem o Modelo de Título, em redes que também o suportem, deixa de ser necessário o uso de endereços IP e

portas do TCP/UDP, sendo o endereçamento feito pelo uso do próprio título das entidades. Nesse cenário, as necessidades das entidades são atendidas na rede com a orquestração do DTS.

4.5 Ontologia do Modelo de Título

As camadas intermediárias da Arquitetura TCP/IP possuem protocolos especificados de maneira fixa, do ponto de vista das RFCs que regem o funcionamento, por exemplo, do IP, TCP, UDP e SCTP. Assim, torna-se fixo também o suporte dessas especificações no atendimento das necessidades da camada de aplicação e tradução em funcionalidades pelas camadas inferiores.

Uma solução para melhorar a flexibilidade no suporte das camadas intermediárias e inferiores à camada superior é o uso da ontologia do Modelo de Título, pois, pela representação explícita dos conceitos deste modelo com uso de uma linguagem formal, é possível a melhor compreensão e uso por sistemas computacionais. Isto conseqüentemente contribui para a aproximação semântica entre as camadas.

4.5.1 Método para Criação da Ontologia

O método de trabalho utilizado na criação da ontologia base do Modelo de Título foi o criado em Stanford e descrito por Noy (2001).

De acordo com Noy, não há uma forma mais correta para modelar um domínio, pois existem várias alternativas possíveis. Como uma alternativa viável, Noy sugere um método com 7 passos para o processo iterativo do ciclo de criação de uma ontologia:

- A) Determinação do Domínio e Escopo da Ontologia;
- B) Consideração sobre o Reuso de Ontologias Existentes;
- C) Enumeração de Termos Importantes da Ontologia;
- D) Definição das Classes e da Hierarquia de Classe;

- E) Definição das Propriedades das Classes – *Slots*;
- F) Definição dos *Facets* dos *Slots*; e
- G) Criação de Instâncias.

A próxima seção utilizará estes passos para construir a ontologia base, em OWL, para os conceitos do Modelo de Título.

4.5.2 O Modelo de Título de Entidade em *Web Ontology Language*

A construção de uma ontologia é um ciclo que demanda intensa colaboração e esforço entre várias mãos para sua criação e desenvolvimento contínuo. A partir desta perspectiva, esta Tese apresenta a ontologia base para a formalização dos conceitos do Modelo de Título de Entidade, ontologia esta que terá continuidade em trabalhos futuros, para seu amadurecimento, evolução e consolidação.

Seguem as informações gerais da versão 0.1 da ontologia, em OWL, que apresenta os grupos FINLAN e MEHAR como contribuidores, e sua criação pelo autor desta tese, seus orientador e co-orientador. Esta ontologia foi modelada no Protégé versão 4.1.0 e a partir desta modelagem foi gerada a versão, em OWL, com uso da OWL API versão 3.0.0.1451. A Figura 23 mostra informações gerais desta ontologia, incluídos seus contribuidores e criadores.

```
<owl:Ontology rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl">
  <owl:versionInfo>Versao 0.1</owl:versionInfo>
  <dc:language>Portugues Brasileiro</dc:language>
  rdfs:comment>Esta ontologia representa o Modelo de Título de Entidade, para a proxima geracao de
    Internet. Esta ontologia é utilizada para a comunicação entre as camadas deste modelo,
    entre as entidades e entre as entidades e o DTS (Domain Title Service).</rdfs:comment>
  <dc:title>Modelo de Titulo de Entidade</dc:title>
  <dc:contributor>Grupos FINLAN e MEHAR.</dc:contributor>
  <dc:date>02-Novembro-2010</dc:date>
  <dc:creator>    Msc. Joao Henrique de Souza Pereira
                Ph.D. Pedro Frosi Rosa
                Ph.D. Sergio Takeo Kofuji
  </dc:creator>
</owl:Ontology>
```

Figura 23 - Informações gerais da ontologia do Modelo de Título de Entidade

Para esta ontologia, foi gerado o número 1280888215552 para o IRI

(*Internationalized Resource Identifiers*) a seguir:

```
ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl"
```

O código OWL da versão 0.1 da ontologia do Modelo de Título é apresentado no Apêndice C e as próximas seções descrevem suas etapas de construção.

4.5.2.1 Determinação do Domínio e Escopo da Ontologia

Conforme o método de Noy, o ponto de início para o desenvolvimento de uma ontologia é a definição do domínio e do escopo. É aceitável que a definição do domínio possa modificar-se durante o desenvolvimento da ontologia, sendo importante que esteja bem definido a cada momento no tempo, para limitar seu escopo.

Para auxiliar na definição do domínio e do escopo, a “*Ontology Development 101*” propõe que sejam respondidas algumas questões básicas:

1. Qual é o domínio que a ontologia cobrirá?
2. Para que a ontologia será utilizada?
3. Para quais tipos de questões a informação na ontologia deveria prover respostas?
4. Quem utilizará e manterá a ontologia?

Baseado nestas questões, os próximos parágrafos fornecem as respostas para a definição do domínio e escopo atuais.

O domínio desta ontologia é o das redes de computadores para a próxima geração de Internet. Mais especificamente, seu escopo é o do Modelo de Título de Entidade no que concerne à aproximação semântica entre a camada de entidade e as camadas inferiores, para consequente tradução em requisitos tecnológicos para atender as necessidades de comunicação das entidades.

Não é escopo desta ontologia formalizar a comunicação entre as entidades e o Serviço de Domínio de Título (DTS), embora esta formalização seja proposta para trabalhos futuros.

Quanto ao uso de OWL para formalizar a construção desta ontologia, é relevante a

consideração sobre os conceitos de protocolo e linguagem, pois, durante algumas gerações de tecnologias, os protocolos foram, em alguns momentos, considerados necessários para a comunicação entre os elementos de rede, ao passo que as linguagens estavam mais associadas à computação em si. Por exemplo, para implementação de algoritmos, aplicações, sistemas operacionais e dos elementos de software de comunicação em si, como as próprias implementações das pilhas de protocolos nas redes de computadores.

Um exemplo deste conceito atribuído a protocolos e linguagens é o de Comer (1995, p. 159): *“Protocols are to computer communication what programming languages are to computation.”*.

No entanto, o desenvolvimento da ontologia como representação explícita de conceitos e sua adoção na área da comunicação entre aplicações, por exemplo, pelo W3C na construção da web semântica, permitiu expandir as possibilidades das aplicações distribuídas e a troca de conceitos entre estas. Para isto, em alguns casos, é possível substituir algumas funções anteriormente atribuídas aos protocolos de comunicação por linguagens de formalização de conceitos, como, por exemplo, a OWL.

Quanto às questões para as quais a informação da ontologia deve prover respostas, Gruninger define o conceito de *“competency questions”*, para ajudar na determinação do escopo (GRUNINGER, 1995). As *“competency questions”* são perguntas¹ que a base de conhecimento da ontologia deveria ser capaz de responder. Desta forma, estas questões são utilizadas posteriormente para testar se a ontologia possui informação suficiente para respondê-las e se as questões requerem níveis de detalhes específicos ou representação em alguma área particular.

Para a ontologia do Modelo de Título de Entidade, alguns exemplos de *“competency questions”* são:

- Quais os tipos de entidades de comunicação?
 - Conteúdo, Estação, Rede_de_Sensor, Usuário, Nuvem_Computacional e Aplicação.

1 Não são todas as perguntas possíveis.

- Quais as camadas do Modelo de Título de Entidade?
 - Camada_de_Entidade, Camada de Serviço, Camada_de_Enlace e Camada_Física.
- Quais as necessidades das entidades de comunicação?
 - Conexão, Baixa_Latência, Mobilidade, dentre as demais apresentadas na ontologia, nos Apêndices B e C.
- Quais os títulos possíveis para uma entidade?
 - Email, Assinatura_Digital, DNA, Hash, dentre outros possíveis que a identifiquem de forma única.
- Quais os títulos de uma entidade X?
 - São as identificações de uma entidade (individual). Ex: joaohs@usp.br e joaohs@algartelecom.com.br.
- Qual a entidade de um título X?
 - A partir do título de um individual é possível identificar qual sua entidade. Exemplo descrito no capítulo 5, em que a entidade com título “PD_Mestre” é do tipo “Aplicação”.

Não é escopo deste trabalho o detalhamento das “*competency questions*”, embora propõe-se detalhá-las em trabalhos futuros, de forma a auxiliar no amadurecimento da ontologia.

No estágio atual, esta ontologia será utilizada, mantida e ampliada pelo autor desta Tese e pelos grupos MEHAR e FINLAN, e permanecerá disponível para acesso e uso por pesquisadores com interesse nesta área de estudos.

4.5.2.2 Consideração sobre o Reuso de Ontologias Existentes

Há extensa bibliografia relacionada ao uso de ontologia na camada de aplicação das redes de computadores que, em geral, refere-se à troca de semânticas entre aplicações nas redes de computadores. Por exemplo, há ontologias para formalizar elementos do mundo real nos sistemas computacionais, como o de células do coração ou sistemas de trânsito.

Por outro lado, o Modelo de Título de Entidade é recente e não há ontologia existente para este, até o presente momento. Por esta razão a consideração sobre reuso de uma ontologia existente possui limitações para aplicação na criação de

uma ontologia base para o Modelo de Título e, por sua vez, neste estágio, esta ontologia será criada e expandida sem o reuso de outras ontologias.

Em trabalhos futuros e durante o ciclo de evolução desta ontologia, espera-se novas abordagens e reavaliação contínua sobre as possibilidades de expandi-la com o reuso de outras ontologias. Por exemplo, das ontologias a seguir:

- OVM (*Ontology for Vulnerability Management*), para expandir os conceitos de segurança (WANG, 2010);
- NetQoSont (*Network QoS Ontology*), para expandir conceitos em qualidade de serviço (PRUDÊNCIO, 2009);
- OOTN (*Ontology for Optical Transport Networks*), para os conceitos respectivos às camadas mais baixas (BARCELOS, 2009);
- Ontologia para conceitos relacionados a gerenciamento e governança de serviços (BAIÓCO, 2009); e
- Ontologias para integração de serviços e elementos de acesso: Hagggle, Y-Comm, SOHand e DOHand (VANNI, 2009).

4.5.2.3 Enumeração de Termos Importantes da Ontologia

O uso de ontologia para a formalização de um modelo precisa de definições claras dos conceitos utilizados, para que a semântica destes conceitos permita o melhor uso na construção da própria ontologia do modelo em abordagem. Assim, para o Modelo de Título, os conceitos básicos de seus termos principais são:

- **Entidade:** Elemento de comunicação cujas necessidades (de comunicação) podem ser compreendidas semanticamente e suportadas pela camada de serviço e as subseqüentes camadas inferiores de enlace e física. Exemplos de entidades do mundo real no Modelo de Título são: aplicação, estação, usuário, conteúdo, sensor e nuvem computacional.

A noção de entidade no modelo do título difere da noção de recursos em algumas literaturas pertinentes, pois entidade, neste modelo, é um elemento de comunicação e não um recurso em uma rede. Nesse conceito, as entidades no modelo de título não são obrigadas a fornecer recursos e

também podem consumi-los. Por exemplo, um usuário que exige recursos é uma entidade de comunicação no modelo de título. Além disso, aplicações que não ofereçam recursos, mas os consumam, também são entidades.

No entanto, para uma ontologia, há correlação entre os termos “Entidade” e “Coisa”, como descrito em Gasević (2009), em que “Entidade” ou “Coisa” em uma ontologia refere-se a sua primeira classe, que é a superclasse de todas as outras classes.

Para a taxonomia da ontologia, a classificação de uma entidade no Modelo de Título pode expandir suas categorias como *smartphone* e *tablet*, além das descritas. Também podem ser criados outros tipos de classificação, como hardware, software e rede, entre outros. Alguns deles podem ser usados como recursos em outras literaturas relevantes.

Como a superclasse das demais classes de uma ontologia é “Entidade” ou “Coisa”, a ontologia do Modelo de Título designa uma “Entidade” conceitualmente diferente neste modelo, que, por sua vez, é um elemento de comunicação que tem as suas necessidades de comunicação compreendidas e suportadas pelas redes de computadores. Por exemplo, nessa taxonomia a classe “camada” é uma subclasse de “Coisa” e nem esta classe ou suas subclasses são entidades para o Modelo de Título, embora a classe “Camada”, por ser um conceito, é uma entidade para uma ontologia, em geral.

- **Título:** É a designação única para garantir uma identificação não ambígua. Uma identidade única. Conforme descrito no Capítulo 3, o Modelo de Título de Entidade define que o uso de títulos de aplicações, especificado na recomendação ISO-9545/X.207, seja estendido para outras entidades de comunicação das redes de computadores. Conforme esta recomendação, os ASO-title (*Application Service Object-title*), que são usados para identificar, sem ambiguidade os ASO em um ambiente OSI, consistem em AP-title (*Application Process title*) que, por natureza, endereçam as aplicações horizontalmente.

Este trabalho expande o uso de título de aplicações com a unificação dos

endereçamentos pelo uso do AP-title e também propõe que as camadas intermediárias suportem as necessidades das entidades com a compreensão semântica, para melhorar o atendimento das necessidades e o endereçamento na Internet pelo endereçamento horizontal de forma a facilitar a comunicação entre as entidades e entre as camadas (PEREIRA, 2009d).

- **Título de Entidade:** É a designação única para garantir a identificação não ambígua de um elemento de comunicação, cujas necessidades podem ser compreendidas semanticamente e suportadas pela camada de serviço e as subsequentes camadas inferiores de enlace e física. Exemplos de título de entidade: Assinatura digital, DNA, endereço de email, *hash* e *URL*.
- **Camada:** Designa o conceito para explicar as ideias gerais de abstração das complexidades de parte de um problema, sob sua responsabilidade. Uma camada trata internamente dos detalhes sob sua responsabilidade e possui interface com as camadas adjacentes. O Modelo de Título conta com as camadas Física, Enlace, Serviço e Entidade.
- **Modelo de Título de Entidade:** É o modelo em 4 camadas que define a camada de entidade como a camada superior, a camada de serviço como a camada intermediária e as camadas de enlace e física como as camadas inferiores.
- **Enlace:** É uma conexão entre entidades para envio de dados.
- **Workspace:** É um barramento lógico que tem um Título e possui elementos de rede para suportar a comunicação das Entidades. É criada por uma Entidade que deseja comunicar com propósito específico e define seus requerimentos e funcionalidades. O barramento lógico pode ser estendido para suportar a comunicação com novas Entidades que entrarem na Workspace.
- **Física(o):** É um material corpóreo em uma rede de computador, como, por exemplo: Cabos, conectores, distribuidor geral óptico (DGO), antena, rádio base e interface aérea.
- **Serviço:** É a realização da semântica da necessidade de um elemento de

comunicação, baseada no “conceito de serviço” apresentado por Vissers, em que os usuários comunicam entre si por meio de um “*Service Provider*”, cuja interface com este é realizada por um “*Service Access Point (SAP)*”. Este modelo de serviço é apresentado na Figura 24, extraída de (VISSERS, 1986).

Figura 24 - Modelo de serviço

No Modelo de Título de Entidade, a “entidade” é o “usuário do serviço” do modelo de serviço de Vissers e a “Camada de Serviço” é o “*Service Provider*”. No Modelo de Título, o SAP é formalizado com uso de ontologia, em OWL.

- **Camada Superior:** Respectiva à camada de aplicação na Arquitetura TCP/IP e de entidade no Modelo de Título.
- **Camadas Intermediárias:** Respectiva às camadas de transporte e rede no TCP/IP e de serviço no Modelo de Título.
- **Camadas Baixas:** Respectiva às camadas de enlace e física tanto no TCP/IP quanto no Modelo de Título.
- **Camada de Entidade:** É a camada que possui a responsabilidade sobre a parte do problema respectivo aos elementos de comunicação, cujas necessidades precisam ser compreendidas semanticamente e suportadas pela camada de serviço e as subsequentes camadas inferiores de enlace e física.
- **Camada de Serviço:** É a camada que possui a responsabilidade de compreender as necessidades da Camada de Entidade e traduzi-las em funcionalidades nas redes de computadores.

- **Camada de Enlace:** É a camada que possui a responsabilidade de estabelecer o enlace entre duas ou mais entidades e garantir que a troca de dados em nível de enlace ocorra conforme a compreensão realizada pela camada de serviço.
- **Camada Física:** É a camada que possui a responsabilidade sobre as complexidades dos materiais corpóreos do mundo real. Por exemplo, esta camada possui responsabilidades sobre: os níveis de sinais elétricos, ópticos e eletromagnéticos, formato de conectores e atenuação.
- **Serviço de Domínio de Título (DTS):** É um domínio capaz de compreender e registrar as instâncias das entidades e suas propriedades e necessidades, facilitando a comunicação entre estas. Este domínio possui abrangência mundial na Internet e escalabilidade horizontal e hierárquica, formada por elementos de comunicação locais, mestres e escravos, semelhante ao DNS.
- **Necessidades:** São funcionalidades ou requisitos tecnológicos desejáveis ou essenciais.
- **Necessidades das Entidades:** Necessidades que podem ser compreendidas semanticamente e suportadas pela camada de serviço e as subsequentes Camadas Baixas. Exemplos de Necessidades das Entidades são: Baixa latência, baixo *jitter*, alta vazão, endereçamento, garantia de entrega, gerenciamento, mobilidade, QoS ou segurança.

Conforme descrito no Capítulo 3, as necessidades das entidades podem variar conforme o contexto, que pode ser influenciado pelo espaço, tempo e características específicas das entidades, dentre outros.

- **Endereçamento Horizontal:** Forma de fazer a comunicação encontrar as entidades pelos seus títulos e que permite haver vizinhanças independentemente da localização física ou lógica das entidades nas redes de computadores, e sem que haja necessidade de segmentação de faixas nas redes, conexões físicas específicas ou redes virtuais privadas.

4.5.2.4 Definição das Classes e da Hierarquia de Classe

Na definição de classes e suas hierarquias para a construção da ontologia do Modelo de Título de Entidade, a classe “*Thing*” é a superclasse da taxonomia, padrão este para as ontologias construídas em OWL. A classe “*Thing*” da ontologia do Modelo de Título possui, no próximo nível, as subclasses: Camada, DTS, Título, Entidade e Necessidade, conforme a Figura 25, extraída da construção desta ontologia por meio do software Protégé.

Figura 25 - Hierarquia da classe *Thing*

Como exemplo de representação de conceitos do Modelo de Título, em OWL, a Figura 26 mostra a definição da classe Entidade, como subclasse de “*Thing*”, e também a definição da classe Aplicação, por sua vez, subclasse da classe Entidade.

Como nas demais ontologias em OWL, a classe “*Thing*” é a abreviação do IRI, visto que esta classe é a superclasse dos demais conceitos na ontologia.

```

<SubClassOf>
  <Class IRI="#Entidade"/>
  <Class abbreviatedIRI=":Thing"/>
</SubClassOf>

<SubClassOf>
  <Class IRI="#Aplicacao"/>
  <Class IRI="#Entidade"/>
</SubClassOf>
  
```

Figura 26 - Formalização das subclasses Entidade e Aplicação

A classe Camada é a superclasse das 4 camadas definidas no Modelo de Título:

- Camada_de_Entidade

- Camada_de_Serviço
- Camada_de_Enlace
- Camada_Física

O Serviço de Domínio de Título (DTS) também é uma classe nesta ontologia, sendo utilizado pela classe Entidade, e, conseqüentemente, suas subclasses, para suporte da comunicação entre suas instâncias, incluindo o uso do endereçamento horizontal e a compreensão semântica das necessidades das entidades, a serem suportadas pelas camadas mais baixas, por meio da camada de serviço.

A classe Título atende ao conceito da designação única para garantir a identificação não ambígua de um elemento de comunicação e possui como subclasses as classes capazes de fazer a identificação única, como, por exemplo: Assinatura Digital, DNA, Email e *Hash*.

A classe Entidade é a superclasse dos elementos de comunicação, como, por exemplo: Aplicação, Estação, Nuvem Computacional, Rede de Sensor e Usuário. As instâncias desta classe possuem Título e necessidades de comunicação. A Figura 27 mostra o primeiro nível da hierarquia das classes Camada, Entidade e Título.

Figura 27 - Hierarquia das classes
Camada, Entidade e Título

No domínio desta ontologia, o conceito das necessidades de comunicação é descrito

pela classe Necessidade, que tem subclasses para as diversas categorias de comunicação que demandam requisitos tecnológicos para suportá-las. O primeiro nível das subclasses desta classe é mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Subclasses da classe Necessidade

As Figuras 27 e 28 também foram extraídas da construção realizada no Protégé e o apêndice B apresenta uma visão mais abrangente da taxonomia da ontologia construída.

4.5.2.5 Definição das Propriedades das Classes – Slots

A definição das propriedades das classes é representada na ontologia pelos *slots* das classes e um *slot* comum a todas as subclasses de um mesmo nível precisa ser atribuído à sua classe mais geral, pois os *slots* das classes mais gerais são herdados por suas subclasses.

As classes mais gerais da ontologia do Modelo de Título são: Camada, DTS,

Entidade, Necessidade e Título. Para a classe Entidade, as classes Título e Necessidade são seus *slots*, e, conseqüentemente, uma Entidade pode ter seu título como identificação e pode ter necessidades a serem suportadas pelas redes.

Esta semântica é expressa nesta ontologia pela relação em que a classe Entidade possui Necessidades, como também possui Título. O código OWL da Figura 29 mostra esta representação semântica.

```
<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#tem_Necessidade-->
<owl:ObjectProperty rdf:about="&TitleModel;tem_Necessidade">
  <rdfs:domain rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
  <rdfs:range rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="&owl;topObjectProperty"/>
</owl:ObjectProperty>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#tem_Titulo-->
<owl:ObjectProperty rdf:about="&TitleModel;tem_Titulo">
  <rdfs:domain rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
  <rdfs:range rdf:resource="&TitleModel;Titulo"/>
  <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="&owl;topObjectProperty"/>
</owl:ObjectProperty>
```

Figura 29 - Representação semântica – Entidades possuem Necessidades e Título

Outras propriedades como localização e conectividade também são comuns às subclasses da classe Entidade, e, por sua vez, são atribuídas como *slot* desta classe. Esta sequência de análise estende-se às demais classes. Por exemplo, a classe Camada possui propriedades comuns às suas subclasses: Camada_Física, Camada_de_Enlace, Camada_de_Serviço e Camada_de_Entidade.

Estas camadas fornecem serviços à sua camada adjacente superior e tratam suas complexidades internas independentemente das complexidades internas das outras camadas. Também compartilham a identificação única do título de entidade, sendo assim diferente do TCP/IP, que possui múltiplos identificadores de endereçamento, como por exemplo: IP, Portas e *login* de usuário.

Por outro lado, há *slots* atribuídos especificamente às classes dos níveis mais baixos (classes mais específicas) e que não são comuns às demais classes específicas nos diversos níveis da taxonomia da ontologia. Por exemplo, a classe Estação, que é uma subclasse da classe Entidade, possui a propriedade conector_físico específica e não compartilhada com as classes Usuário e Aplicação. Nesse exemplo, um dado conector é um *facet* do *slot* conector_físico.

4.5.2.6 Definição dos Facets dos Slots

Os *facets* definem os valores dos *slots* e podem ter conteúdos diferentes como: tipo de valor, valores permitidos e cardinalidade. Os tipos de valores podem ser *string*, número, booleano, enumerado, instância de uma classe, dentre outros.

A cardinalidade define o número de valores e os valores permitidos restringem as opções dos *facets* para os *slots*. Para o exemplo anterior de conectores para a classe Estação, que é uma subclasse da classe Entidade, o tipo de valor poderia ser *string*, para designar o nome do conector_físico. Por outro lado, poderia haver restrições para os tipos de conectores possíveis, e para este caso poderiam ser utilizados valores permitidos, que poderiam ser: {USB, RJ-45, RJ-11, DB-9, DB-25}.

Tomando outro exemplo, o *slot* ID da classe Entidade possui o tipo de valor instância da classe Título e sua cardinalidade mínima é 1 e máxima de M Títulos, pois Títulos diferentes podem identificar a mesma Entidade, embora o inverso não seja verdadeiro. Isto, porque o mesmo Título não pode designar Entidades diferentes, porquanto não seria equivalente ao conceito do “Título de Entidade” como: Designação única para garantir a identificação não ambígua de um elemento de comunicação.

Uma vez que as subclasses de Entidade possuem no mínimo 1 ID, é recomendado que este *slot* seja ligado à sua classe mais geral, que é a classe Entidade.

O mesmo não é válido para o exemplo anterior de tipo de conector, pois se aplica à Entidade Estação, mas não se aplica a outras Entidades. Neste caso, este conector é associado à sua classe mais geral, que é a classe Estação, uma vez que a associação à classe mais geral é recomendada na construção de ontologias.

4.5.2.7 Criação de Instâncias

Para a criação de instâncias, é necessário primeiro escolher a classe para, em seguida, criar uma instância desta e preencher os valores dos *slots*. A seguir são descritos 2 exemplos de instâncias para a ontologia do Modelo de Título, sendo um

exemplo para a classe Estação e outro para a classe Aplicação. Essas duas classes são subclasses da classe Entidade.

Exemplo para a classe Estação:

1. Escolha da classe: Classe Estação
2. Instância individual: BladeCenterHX5
3. Preenchimento dos valores dos *slots*:
 - a) Fabricante: IBM
 - b) Local de fabricação: USA
 - c) Quantidade Máxima de Processadores: 4
 - d) Quantidade Máxima de Pentec de Memória: 4
 - e) Limite de Processador: 4x8Core
 - f) Limite de Memória: 256GB
 - g) Necessidades de Comunicação: QoS
 - h) Título: BladeCenterHX5-1.ibm.com

Os *slots* acima representam exemplos, não exaustivos, para a classe Estação.

Exemplo para a classe Aplicação:

1. Escolha da classe: Classe Aplicação
2. Instância individual: Aplicação-LSI-FACOM-1
3. Preenchimento dos valores dos *slots*:
 - a) Autor: POLI-USP
 - b) Funcionalidade: Chat
 - c) Necessidades de Comunicação: Garantia de Entrega e Segurança
 - d) Título: lsi-facom-1.pad.lsi.poli.usp.br

Os *slots* acima representam exemplos, não exaustivos, para a classe Aplicação.

5 AVALIAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Modelo de Título de Entidade define os conceitos para o suporte semântico pelas camadas intermediárias e cria a ontologia base para formalizar este modelo, considerando, nessa perspectiva, outros trabalhos e projetos para a Internet do futuro, como o 4WARD, Content-Centric, User-Centric, Service-Centric e Autol (TSELENTIS, 2009, 2010; DOMINGUE, 2011). Esta ontologia suporta o Endereçamento Horizontal por Título de Entidade, como também a abordagem semântica entre camadas para a Internet do futuro.

5.1 Contribuições para Projetos de Internet do Futuro

O Modelo de Título de Entidade contribui com os esforços de grupos de referência para o avanço do estado da arte das pesquisas para a Internet do futuro, pela definição e formalização de um modelo que permite suportar a convergência de vários projetos distintos nessa área de estudos. O trabalho “*Title Model Ontology for Future Internet Networks*”, publicado no livro “*The Future Internet – Future Internet Assembly 2011: achievements and technological promises*”, reforça esta afirmação (PEREIRA, 2011b).

A ontologia deste modelo descreve os conceitos das camadas intermediárias e suporta abordagens como o Content, Service e User Centric. Esta Tese define as bases para a comunicação semântica entre camadas, que por sua vez pode contribuir para estas abordagens.

No Modelo de Título de Entidade, entidades, em suas diferentes categorias, são suportadas pela camada de serviço, que é capaz de entender e suportar as necessidades das entidades. Nesse conceito, a Figura 30 mostra a extensão do uso de semântica nas camadas, com a comparação entre o Modelo de Título de Entidade e o TCP/IP.

Figura 30 - Extensão semântica entre camadas no Modelo de Título e no TCP/IP

As relações entre as camadas de Entidade, Serviços e Enlace, nesta ontologia, são estabelecidas pelo uso de conceitos diretamente representados em OWL. Para a comunicação entre as camadas nos Sistemas Operacionais Distribuídos, sem os tradicionais sockets usados no TCP/IP, pode ser usado RAW Socket de forma a habilitar a comunicação com as camadas inferiores. Não é escopo desta Tese detalhar a comunicação com RAW Socket, porém detalhes desta comunicação estão disponíveis em nossos trabalhos (PEREIRA, 2011a; SANTOS 2011; MALVA, 2009).

Para a comunicação entre as camadas, o código OWL da Figura 31 mostra um exemplo de uso para a programação distribuída, no qual uma entidade “Aplicacao” com título “Master_USP_1” envia suas necessidades para a Camada de Serviço.

```
<owl:Thing rdf:about="%TitleModel;ProgramacaoDistribuida_LAM_MPI">
  <rdf:type rdf:resource="%TitleModel;Aplicacao"/>
  <rdf:type rdf:resource="%owl;NamedIndividual"/>
  <Titulo_Mestre>Master_USP_1</Titulo_Mestre>
  <Titulo_Escravo>Slave_USP_A</Titulo_Escravo>
  <Controle_Tamanho_Pacote>84</Controle_Tamanho_Pacote>
  <Garantia_Entrega rdf:datatype="%xsd:boolean">Sim</Garantia_Entrega>
  <rdfs:comment> Exemplo para suporte das necessidades de programação distribuida.
</rdfs:comment>
  <Tem_Necessidade rdf:resource="%TitleModel;ProgramacaoDistribuida_LAM_MPI"/>
</owl:Thing>
```

Figura 31 - Exemplo de envio de necessidades para a camada de serviço

As necessidades desse exemplo incluem:

- Comunicação com o escravo Slave_USP_A;
- Controle do tamanho do pacote igual a 84 Bytes; e
- Requisição de garantia de entrega.

Nesse contexto, essas necessidades são informadas para a Camada de Serviço pelo uso direto de RAW Socket para comunicar com o Sistema Operacional Distribuído, sem o uso dos protocolos IP, TCP, UDP ou SCTP.

A partir da informação semântica deste exemplo, as camadas de Serviço e Enlace podem suportar a comunicação da programação distribuída usando abordagens diferentes, como descrito na seção 5.2. Assim, o uso do Modelo de Título de Entidade é independente, por exemplo, da forma de endereçamento ou localização utilizada. Dessa forma, os trabalhos relacionados com *Generic Path* (GP), *Information Channels*, RoFL e LISP podem usar este modelo, embora alguns destes, possivelmente precisariam alterar suas estruturas para suportar semanticamente as necessidades das entidades e a identificação unificada em título, além do endereçamento de estações e aplicações. Outros trabalhos também podem usar este modelo colaborativamente, como, por exemplo, 4WARD, os planos OSKMV do Autol (*Orchestration, Service Enablers, Knowledge, Management e Virtualisation planes*) e o *Content-Centric*.

O nome do conteúdo na abordagem do projeto *Content-Centric* é expandido pelo conceito do título no Modelo de Título de Entidade, visto que na taxonomia deste modelo é possível endereçar conteúdos e também outras categorias de entidades. Isto pode beneficiar os trabalhos de *Content-Centric* a endereçar o conteúdo pelo nome (ou título), pois, em algumas situações, um usuário pode precisar de conteúdo diretamente a partir de uma aplicação, estação, ou outros usuários.

Nessa perspectiva, o Modelo de Título de Entidade e sua ontologia contribuem para convergir alguns projetos de Internet do futuro, usando semântica entre camadas, e não apenas na camada de aplicação, como eventualmente acontece na Arquitetura TCP/IP. Para contribuição com os trabalhos de *Content, Service e User Centric*, no Modelo de Título é possível a unificação dos endereços das diferentes entidades na Internet do futuro. Isto significa que aplicações, conteúdos, estações e usuários podem ter suas necessidades suportadas e serem localizados por seus títulos.

Por estas possibilidades, este trabalho contribui para a definição colaborativa do modelo de referência para a Internet do futuro, que inclui categorias diferentes das entidades de comunicação e suas necessidades. Uma amostra da taxonomia para este conceito de “Entidade” é apresentado na Figura 32, extraída da ontologia modelada no Protégé.

Figura 32 - Taxonomia do conceito Entidade no Modelo de Título

Nesta taxonomia, “título” é um *facet* do conceito Entidade e um indivíduo de Entidade possui “título”. Também, a comunicação semântica possibilita que uma arquitetura de protocolos, instância do Modelo de Título de Entidade, suporte às necessidades de comunicação em rede de forma mais natural semanticamente e menos complexa que a Arquitetura TCP/IP, instância do Modelo de Referência OSI. Um exemplo de uso desta possibilidade é apresentado na próxima seção, com a comparação entre o uso do Modelo de Título e a Arquitetura TCP/IP, em ambientes com conectividade em nível de enlace.

5.2 Exemplo de uso em Redes com Conectividade em Camada de Enlace

Este exemplo de uso apresenta o Modelo de Título em ambiente de programação distribuída e o compara com o uso da Arquitetura TCP/IP nas redes com conectividade em camada 2.

As aplicações de programação distribuída construídas com o LAM_MPI utilizam os protocolos das camadas de rede e transporte da Arquitetura TCP/IP para suportar

suas necessidades de comunicação que, para as redes com conectividade em camada 2, basicamente são (PEREIRA, 2010c):

1. Endereçamento de estações;
2. Endereçamento de processos;
3. Controle do tamanho do pacote; e
4. Garantia de entrega.

Uma solução que garanta o atendimento destas necessidades e que traga melhoria do custo de rede pode ser uma alternativa para auxiliar na otimização do tráfego para a programação distribuída.

5.2.1 Aproximação Semântica entre as Camadas de Rede

A comunicação das necessidades da camada de aplicação para as camadas intermediárias e inferiores, na Arquitetura TCP/IP, é limitada pela escolha do protocolo de transporte (com ou sem garantia de entrega) e endereço de destino dos pacotes. A comunicação de outras necessidades é restrita, tais como, segurança, mobilidade, *multicast* e QoS.

Para minimizar esta limitação de comunicação de necessidades entre as camadas, o Modelo de Título define o uso de ontologia para aproximar semanticamente a camada superior das inferiores. O fragmento de código OWL, da Figura 33, exemplifica a formalização para a camada de aplicação informar suas necessidades às camadas inferiores, em ambientes de programação distribuída com 2 escravos.

```
<owl:Thing rdf:about="&TitleModel;ProgramacaoDistribuida">
  <rdf:type rdf:resource="&TitleModel;Aplicacao"/>
  <rdf:type rdf:resource="&owl;NamedIndividual"/>
  <Titulo_Mestre>PD_Mestre</Titulo_Mestre>
  <Titulo_Escravo>PD_Escravo_A</Titulo_Escravo>
  <Titulo_Escravo>PD_Escravo_B</Titulo_Escravo>
  <Controle_Tamanho_Pacote>79</Controle_Tamanho_Pacote>
  <Garantia_Entrega rdf:datatype="&xsd;boolean">Sim</Garantia_Entrega>
  <rdfs:comment> Programação Distribuída é uma instância da entidade Aplicação, que possui
    necessidade de comunicação entre mestre e escravos, com garantia de entrega e controle
    do tamanho do pacote.
  </rdfs:comment>
  <Tem_Necessidade rdf:resource="&TitleModel;ProgramacaoDistribuida"/>
</owl:Thing>
```

Figura 33 - Ontologia para a programação distribuída com N escravos

Os conceitos `Controle_Tamanho_Pacote` e `Garantia_Entrega` estão hierarquicamente abaixo do conceito `Necessidade` na taxonomia do Modelo de Título, representado pelo código da Figura 34.

```
<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Controle_Tamanho_Pacote">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Garantia_Entrega">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>
```

Figura 34 - Taxonomia para o controle do tamanho do pacote e garantia de entrega

Este código é um exemplo da formalização das necessidades de comunicação que podem variar em contextos e ambientes distintos, representados formalmente pela ontologia do Modelo de Título, conforme o indivíduo de comunicação e suas necessidades. Esta comunicação de necessidades permite minimizar o custo de rede pela otimização da estrutura dos protocolos utilizados na Arquitetura TCP/IP. Assim, as próximas seções apresentarão uma solução possível para as aplicações de programação distribuída informarem suas necessidades às camadas intermediárias da rede, de forma semântica.

Essas necessidades são compreendidas a partir da ontologia para a comunicação entre as camadas de aplicação e de enlace, por meio da camada de serviço.

5.2.2 Considerações sobre o Endereçamento de Estações

Na Arquitetura TCP/IP, o endereçamento de estações normalmente é realizado pelos endereços lógico (endereço IP) e de enlace (endereço MAC). Em uma rede local cuja conectividade é feita em camada 2, o uso destes dois endereços por estação pode ser redundante, em alguns casos (HEGERING, 1993). Em redes com conectividade em camada 2, o endereço lógico pode ser substituído pelo endereço MAC em alguns casos, como, por exemplo, para estações sem endereço dinâmico.

Nesta arquitetura, as aplicações e seus usuários fazem uso do endereço lógico com a resolução do endereço físico pelo Sistema Operacional Distribuído (SOD) com uso

do ARP (*Address Resolution Protocol*) (ARKKO, 2009; CHESHIRE, 2008; PLUMMER, 1982). Uma vez identificado o endereço físico pelo *Reply* do ARP (Eth Type: 0806 e ARP Opcode: 0002) no retorno do *Request*, que informa o endereço lógico (Eth Type: 0806 e ARP Opcode: 0001), não há mais necessidade de endereçar os pacotes com uso do IP na camada 3, em uma rede com conectividade em camada 2.

Pelo uso do Modelo de Título o endereço lógico IP é substituído pelo título de entidade. Na rede mundial, o DTS auxilia na orquestração e localização das entidades, entretanto, nas redes com conectividade em camada 2, o título pode ser localizado diretamente, a partir do envio das informações em OWL com uso de RAW Socket. Assim, a requisição da Figura 35 pode ser uma alternativa para substituição do tradicional ARP *Request*, para identificar o endereço físico de uma entidade.

```
<owl:Thing rdf:about="&TitleModel;Requisicao_Endereco_Fisico">
  <rdf:type rdf:resource="&TitleModel;Localizacao"/>
  <rdf:type rdf:resource="&owl;NamedIndividual"/>
  <Titulo_Solicitante>PD_Mestre</Titulo_Solicitante>
  <Titulo_Solicitado>PD_Escravo_A</Titulo_Solicitado>
  <rdfs:comment> Requisição ARP para identificar o endereço físico de uma entidade.
</rdfs:comment>
  <Tem_Necessidade rdf:resource="&TitleModel;Requisicao_Endereco_Fisico"/>
</owl:Thing>
```

Figura 35 - Ontologia para requisição do endereço físico

Esta requisição de identificação do endereço MAC da entidade com título “PD_Escravo_A”, ao ser recebida por seu hospedeiro, retorna a informação em OWL da Figura 36, em substituição ao ARP *Reply*.

```
<owl:Thing rdf:about="&TitleModel;Resposta_Endereco_Fisico">
  <rdf:type rdf:resource="&TitleModel;Localizacao"/>
  <rdf:type rdf:resource="&owl;NamedIndividual"/>
  <Titulo_Solicitante>PD_Mestre</Titulo_Solicitante>
  <Titulo_Solicitado>PD_Escravo_A</Titulo_Solicitado>
  <Endereco_Fisico>00:1B:24:F6:D8:14</Endereco_Fisico>
  <rdfs:comment> Resposta da requisição ARP para identificar o endereço físico de uma entidade.
</rdfs:comment>
  <Tem_Necessidade rdf:resource="&TitleModel;Resposta_Endereco_Fisico"/>
</owl:Thing>
```

Figura 36 - Ontologia para resposta da requisição de endereço físico

Assim, os pacotes futuros podem ser entregues diretamente para o endereço físico

(00:1B:24:F6:D8:14), sem utilizar o endereço IP, garantindo a economia de 20 bytes em cada envio, que é o tamanho mínimo do cabeçalho IP (POSTEL, 1981a). Além da economia de bytes na transmissão, há que se considerar a complexidade (tempo de processamento) para os nós.

Apesar da exclusão do uso do IP da camada 3 não impedir a comunicação em camada 2, isto não resolve a necessidade de endereçamento de múltiplos processos, que na Arquitetura TCP/IP é feito pelo uso das portas na camada 4, tanto para o protocolo UDP quanto para TCP (POSTEL, 1980c, 1981b). A próxima seção aborda a discussão sobre o suporte desta necessidade.

5.2.3 Considerações sobre o Endereçamento de Processos

O endereçamento de processos, sem utilizar os protocolos de transporte do TCP/IP, é feito no Modelo de Título com o recebimento das informações do indivíduo de comunicação da ontologia pelo Sistema Operacional Distribuído. Dessa forma, não é necessário utilizar o “*bind*” para uso de portas no paradigma client-server, uma vez que a compreensão semântica da ontologia pode substituir a informação para endereçar os processos, como também a de informar necessidades adicionais requisitadas pelas entidades de comunicação.

Observa-se que o endereço de processos pode ser substituído no Modelo de Título diretamente pelo próprio título de entidade, e assim ajudar a reduzir a multiplicidade de endereços. Dessa maneira, as informações na rede podem ser enviadas em OWL. Para otimização do custo de rede é definida outra abordagem, com a tradução do título de entidade para endereço de processo e envio de 1 byte de controle no início do *payload* da camada de enlace Ethernet, utilizada nesse caso.

Deste byte, os dois primeiros bits informam quantos bytes serão utilizados para o endereçamento de múltiplos processos, conforme a regra 2^N , sendo N o valor em decimal destes dois bits. Os bits complementares a estes dois são utilizados para o endereçamento de processos. Por exemplo, para o valor “00”, são 6 bits complementares, que permitem até 64 endereços, conforme abaixo:

valor 00: $2^0 = 1$ byte	$2^6 = 64$ endereços
valor 01: $2^1 = 2$ bytes	$2^{14} = 16.384$ endereços
valor 10: $2^2 = 4$ bytes	$2^{30} = 1G$ endereços
valor 11: $2^3 = 8$ bytes	$2^{62} = 4E$ endereços

O TCP possui 20 bytes de cabeçalho, e na abordagem de endereçamento de processos desenvolvida nesta Tese, é definida uma quantidade variável de 1 a 8 bytes, conforme a quantidade de endereços de processos utilizados. Assim, a redução da quantidade de bytes enviados em relação ao cabeçalho do TCP é:

valor 00: $2^0 = 1$ byte	$1 - (1/20) = 95,0\%$
valor 01: $2^1 = 2$ bytes	$1 - (2/20) = 90,0\%$
valor 10: $2^2 = 4$ bytes	$1 - (4/20) = 80,0\%$
valor 11: $2^3 = 8$ bytes	$1 - (8/20) = 60,0\%$

O cabeçalho do UDP possui 8 bytes e nesta solução a redução da quantidade de bytes enviados em relação ao cabeçalho deste protocolo é:

valor 00: $2^0 = 1$ byte	$1 - (1/8) = 87,5\%$
valor 01: $2^1 = 2$ bytes	$1 - (2/8) = 75,0\%$
valor 10: $2^2 = 4$ bytes	$1 - (4/8) = 50,0\%$
valor 11: $2^3 = 8$ bytes	$1 - (8/8) = 0,0\%$

Desta forma, é aumentada a quantidade de endereçamento para processos com a redução do consumo de banda, exceto para o valor “11” comparado com o UDP, que apresenta 0% de redução.

Para a Arquitetura TCP/IP, em que os protocolos UDP e TCP possuem quantidade de portas igual a 2^{16} (64K), o valor “10” seria suficiente, uma vez que permite endereçar 1 Giga portas (processos). Para este valor, há redução do custo de rede de 80%, na camada de transporte, comparado ao TCP, e de 50% para o UDP.

O limite desta solução é de 2^{62} . Apesar de superior aos atuais 2^{16} , poderá ser um problema futuro com a expansão do poder computacional em estações com quantidades gigantescas de processadores ou sensores e que suportem elevado número de processos em HPC (*High Performance Computing*). Nesta situação, uma solução possível é enviar a informação na rede em OWL. Isto aumenta o *overhead*, porém, torna a quantidade de processos endereçáveis ilimitada.

Ao alterar as camadas tradicionais de rede e transporte com a remoção dos protocolos IP, TCP e UDP, é necessário controlar o tamanho do pacote, pois esta informação é enviada, na Arquitetura TCP/IP, por estes protocolos. Para suportar

esta necessidade é apresentada uma solução, na próxima seção.

5.2.4 Considerações sobre o Controle do Tamanho do Pacote

A quantidade de bytes em um pacote é informada no Datagrama IP no Campo “Total Length”, de 16 bits e na camada de Transporte esta informação pode trafegar no campo “Length” do UDP, também de 16 bits. Na Arquitetura TCP/IP, o uso do “Total Length” no IP e do “Length” no UDP é redundante, visto que possuem uma relação próxima, definida por:

$$Length = Total\ Length - IHL \times 4$$

Obs.: IHL (*IP Header Length*) é o segundo campo do cabeçalho IP.

Para informar o tamanho do pacote, sem utilizar o IP e UDP, esta solução faz o envio de um byte, em que os 2 primeiros bits indicam quantos bytes informarão o tamanho da primitiva pela regra 2^N . Assim, a solução para o controle do tamanho é homogênea à solução anterior, para endereçar processos, e segue a mesma lógica de construção, na qual o tamanho máximo dos dados de um pacote é:

valor 00:	$2^0 = 1$ byte	$(2^6) - 1 = 63$ bytes
valor 01:	$2^1 = 2$ bytes	$(2^{14}) - 1 = 16.383$ bytes
valor 10:	$2^2 = 4$ bytes	$(2^{30}) - 1 = 1G - 1$ bytes
valor 11:	$2^3 = 8$ bytes	$(2^{62}) - 1 = 4E - 1$ bytes

Este trabalho oferece meios de aumentar o tamanho das primitivas, além dos 64k bytes (campo de 16 bits) limitados pelo protocolo IP. Isto pode ser útil, em certos casos, na comunicação distribuída, quando for necessário o envio de uma quantidade grande de dados, por exemplo, na classificação e análise de alvos e vizinhanças de cubos espaciais utilizando UWB (*Ultra-Wideband*). Nesta situação, não seria necessário enviar múltiplos pacotes, o que reduz o *overhead* de rede gerado pelo envio dos cabeçalhos, em cada pacote.

Para algumas redes, há a fragmentação de pacotes, devido ao MTU (*Maximum Transmission Unit*), que pode limitar esta possibilidade de melhoria. Nas redes Ethernet, por exemplo, é comum a utilização do MTU igual a 1500 bytes ou do

Jumbo Frame, com 9000 bytes.

Na programação distribuída, o envio de pacotes pode ser feito com uso do TCP ou UDP, respectivamente para a garantia, ou não, de entrega dos pacotes. As considerações sobre esta garantia, neste trabalho, são abordadas na próxima seção.

5.2.5 Considerações sobre a Garantia de Entrega dos Pacotes

Na Arquitetura TCP/IP, nem todos os pacotes precisam de garantia de entrega pela camada de transporte, pois algumas aplicações utilizam mecanismos próprios de controle e fazem uso do UDP para redução do custo de rede. Com a evolução tecnológica das últimas décadas, houve melhorias significativas na qualidade dos elementos de rede e consequentemente na comunicação entre esses elementos.

Nesta solução, é definido que a garantia de entrega dos dados, entre estações, seja feita pela camada de enlace, a partir do uso de elementos de rede com qualidade suficiente para isto. Considera-se o princípio discutido por Tanenbaum (2007a) e Kurose (2008), em que a camada 2 é responsável pela detecção e correção de erros no envio de dados entre estações (distorção não linear).

Em especial, para ambientes em que a garantia de entrega tenha menor exigência, esta discussão possui menor impacto. Por exemplo, na programação distribuída com o LAM MPI a exigência de garantia de entrega é parcial, conforme apresentado na seção de análise de desempenho.

5.2.6 Considerações sobre a Interoperabilidade com as Arquiteturas Atuais

Para não haver elevado impacto nas estruturas de comunicação de rede atuais, esta solução precisa ser implementada o mais transparentemente possível para as aplicações. Isto é possível a partir da alteração dos módulos dos Sistemas

Operacionais Distribuídos, que são responsáveis pela implementação da pilha de protocolo da Arquitetura TCP/IP.

Neste cenário, é utilizado um novo *Ether Type*, em substituição ao 0x800 (decimal 2048), utilizado para identificar os pacotes com esta nova estrutura. Para utilização desse novo *Ether Type*, é proposto usar o valor 0x809 (decimal 2057), que está disponível para uso conforme a lista (parcial) abaixo, retirada do IANA:

Ether type		Exp. Ether.		Description	References
-----		-----		-----	-----
2048	0800	513	1001	Internet IPv4	[IANA]
2049	0801	-	-	X.75 Internet	[XEROX]
2050	0802	-	-	NBS Internet	[XEROX]
2051	0803	-	-	ECMA Internet	[XEROX]
2052	0804	-	-	Chaosnet	[XEROX]
2053	0805	-	-	X.25 Level 3	[XEROX]
2054	0806	-	-	ARP	[IANA]
2055	0807	-	-	XNS Compatability	[XEROX]
2056	0808	-	-	Frame Relay ARP	[RFC1701]
2076	081C	-	-	Symbolics Private	[DCP1]
2184	0888-088A	-	-	Xyplex	[XEROX]

Fonte: <http://www.iana.org/assignments/ethernet-numbers>

O SOD ao identificar a recepção de um pacote com o tipo 0x809, na camada de enlace, automaticamente entrega os dados para a aplicação com a correlação do endereço de processo recebido para a porta do UDP/TCP, de mesmo valor. Assim, para interoperar com as aplicações tradicionais, a informação do endereço de processo deve limitar-se ao valor 65.535, limite equivalente ao número de portas no UDP/TCP.

As aplicações construídas pelas definições desta proposta informam ao SOD suas necessidades, em OWL, com uso de RAW Socket. Dessa maneira, elas informam também que estão preparadas para receber o fluxo de comunicação. Assim, o SOD encaminha os dados diretamente para estas, sem a necessidade de passar pela pilha de protocolos do TCP/IP.

O SOD também é responsável por traduzir os dados das aplicações tradicionais para as novas, quando os pacotes são enviados com a estrutura atual do TCP/IP. Nessa situação, o SOD encaminha os dados recebidos para as novas aplicações com a alteração das portas tradicionais para a forma de endereçamento de processos apresentada previamente, o que garante a interoperabilidade com as

aplicações legadas.

A próxima seção apresenta a avaliação de desempenho deste exemplo de uso com a análise de um teste real de programação distribuída com MPI (*Message Passing Interface*).

5.2.7 Análise de Desempenho

Os testes realizados utilizaram o Sistema Operacional Linux versão 2.6.27.5-41.fc9.i686 e a implementação LAM para MPI, versão 7.1.4 /MPI 2, da Universidade de Indiana. Na captura dos pacotes, foi utilizado o Wireshark, versão 1.0.3. Para o envio e recepção dos dados, foram utilizadas as chamadas MPI_Send e MPI_Recv, respectivamente.

5.2.7.1 Medida do Custo de Rede da Programação Distribuída com MPI

Nos testes realizados, foram enviados vetores de inteiros para soma em escravos. No envio de 100 inteiros para soma em um escravo, há troca de 56 pacotes entre este e o mestre. Todos os pacotes possuem 20 bytes de cabeçalho IP (tamanho mínimo do IHL), o que significa que não há nenhuma informação no campo opcional do IP.

A Figura 37 mostra o tamanho dos 56 pacotes enviados para uma comunicação, na qual é verificada a relação entre o tamanho total do cabeçalho IP e o do UDP/TCP. A escala do eixo Y (Tamanho do Pacote) foi intencionalmente limitada em 300 para melhor visualização. Isto foi necessário porque os pacotes de 9 a 11 tiveram o tamanho muito superior à média dos demais, em decorrência de sua utilização para o envio dos dados do mestre para o escravo. De fato, estes pacotes são fragmentos de 1 pacote único, com o tamanho total informado pelo UDP igual a 4.508 bytes.

Figura 37 - Tamanho dos pacotes enviados entre o mestre e o escravo

Para os pacotes de 9 a 11 o tamanho total do IP foi de 1500 bytes, que é o valor do MTU no ambiente de teste utilizado. Cada um destes 3 pacotes possui 1480 bytes de dados e 20 bytes de cabeçalho IP.

Exatamente 50% dos pacotes enviados foram originados pelo mestre e 50% pelo escravo. Do total de pacotes, 76,8% (43) utilizaram o UDP como protocolo de transporte e os demais 23,2% (13) o TCP. Dos pacotes enviados pelo mestre, 82,1% (23) utilizaram o UDP e 17,9% (5) o TCP, enquanto o escravo enviou 71,4% (20) pacotes com UDP e 28,6% (8) com TCP. A Figura 38 apresenta o gráfico da distribuição de uso do TCP e UDP entre o mestre e o escravo. Observa-se que os pacotes TCP possuem confirmação de entrega.

Figura 38 - Distribuição dos pacotes entre o mestre e o escravo

Por haver a confirmação de entrega no TCP, a diferença entre a quantidade enviada entre o mestre e o escravo é explicada pelo procedimento de conexão/desconexão do TCP, em 3 vias, em que o escravo iniciou e encerrou a conexão. No encerramento, o escravo também enviou a confirmação do último pacote TCP recebido, ficando assim com 3 pacotes enviados a mais que o mestre.

5.2.7.2 Resultado da Otimização do Custo de Rede

Para mostrar o impacto da solução apresentada na redução do custo de rede será descrita, a seguir, a reconstrução do primeiro pacote, que foi enviado do mestre para o escravo. Também será apresentada a análise da otimização total para a comunicação completa da programação distribuída, realizada com o LAM MPI. Este primeiro pacote enviado possui 102 bytes, distribuídos conforme abaixo:

1) Protocolo Ethernet (14 bytes):

```
00 1a 4d a3 34 11 00 1b 24 f6 d8 14 08 00
```

2) Protocolo IP (20 bytes):

```
45 00 00 58 00 00 40 00 40 11 12 6d 0a 0a 0a 0a 0a 0a 0a 0b
```

3) Protocolo UDP (8 bytes):

```
82 a3 bb 29 00 44 55 92
```

4) Dados (60 bytes):

```
00 00 00 00 00 00 02 8f 00 00 00 01 40 00 00 0e 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 01 00 00 00 00 00 00 ff ff d9 1c 00 00 00 01
00 00 26 e4 00 00 00 05 00 00 00 05 00 00 00 05 bf 96 40 98
```

Nesta solução há alterações nos protocolos conforme as estruturas descritas previamente. Para o protocolo Ethernet, há alteração do *Ether Type* de 0800 para 0809. Para informar a porta de destino deste pacote (bb 29 = 47913), é necessário utilizar o valor “10” (para valores acima de 16.384) com 4 bytes para designar este número de porta. Com isto, tem-se os bytes “80 00 bb 29” e sua construção binária:

1000 0000 0000 0000 1011 1011 0010 1001

Para o controle do tamanho do pacote tem-se o valor “00”, que permite informar o campo de dados com até 63 bytes (2^6-1). Este pacote teve 60 bytes de dados ($60_{(10)} = 111100_{(2)}$). Assim, o byte de informação do tamanho do pacote é “3c”:

0011 1100

Não há alteração no campo de dados e a reconstrução do pacote é feita conforme a sequência abaixo:

1) Protocolo Ethernet (14 bytes):

00 1a 4d a3 34 11 00 1b 24 f6 d8 14 **08 09**

2) Otimização Proposta (5 bytes):

80 00 bb 29 3c

3) Dados (60 bytes):

00 00 00 00 00 00 02 8f 00 00 00 01 40 00 00 0e 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 01 00 00 00 00 00 00 ff ff d9 1c 00 00 00 01
00 00 26 e4 00 00 00 05 00 00 00 05 00 00 00 05 bf 96 40 98

Para este pacote, há melhora no custo de rede de 102 para 79 bytes, o que representa uma redução de 22,5%, em seu tamanho. Em relação às camadas 3 e 4, esta proposta reduz 82,1% do *overhead*, com redução dos 28 bytes de cabeçalhos (20 do IP + 8 do UDP) para 5 bytes. Para uso do TCP, a redução do custo de rede seria maior, porque este possui cabeçalho com tamanho superior ao UDP e faz confirmação do recebimento dos pacotes. Este cenário de programação distribuída possui estabilidade quanto às características de comunicação de rede do ambiente. Para demonstrar esta estabilidade, os testes foram repetidos 20 vezes, com a análise da variação do custo de rede em todas as repetições de cada teste.

Em todos os testes, a comunicação ocorreu com a mesma quantidade de 56 pacotes e a Figura 39 apresenta a variação do tamanho do quadro (Frame Length), em bytes, para os 20 testes (T1 a T20). Este gráfico demonstra que não há variação significativa do custo de rede no ambiente de programação distribuída, para execuções consecutivas.

Figura 39 - Variação do tamanho do quadro em 20 execuções

O gráfico da Figura 40 reforça esta comprovação, pois o tamanho total dos *Frame Length*, na somatória dos 56 pacotes, totaliza 9.280 bytes, em todos os 20 testes realizados. O Apêndice D apresenta a tabela com os dados referentes aos gráficos das Figuras 39 e 40.

Figura 40 - Somatória do tamanho do quadro na repetição de 20 testes

Em relação à análise sobre a inclusão de múltiplas estações na programação distribuída, também não há variação significativa no comportamento da rede, pois a comunicação na distribuição de tarefas normalmente é feita entre 2 estações, o

mestre e cada escravo.

Assim, a comunicação é replicada independentemente da quantidade de escravos participantes. Esta afirmação é comprovada pela análise da Figura 41, que mostra o resultado na soma de um vetor de 300 posições de inteiros. Destes, 100 foram somados no mestre, 100 no escravo A e 100 no escravo B.

Figura 41 - Análise da inclusão de novos escravos

Neste gráfico, o resultado T0 (teste 0) possui os valores do T1 (teste 1), da Figura 39. T1A e T1B são os resultados do teste com a programação distribuída em 2 escravos (escravo A e escravo B). O comportamento dos testes T1A e T1B é próximo ao analisado para 1 escravo (T0), tanto para o tráfego em quantidade de pacotes quanto para o tamanho em bytes, o que comprova que não há variação significativa no custo de rede com o incremento de novas estações escravas.

Nesta análise, os testes também foram repetidos 20 vezes. Observa-se que, ao incluir uma nova estação na programação distribuída, houve alteração de 2,33% sobre a quantidade total de bytes na somatória dos *Frame Length*, que passou de 9.280 bytes para 9.496 bytes. Esta alteração possui impacto reduzido na análise desta otimização, pois a quantidade de pacotes entre o mestre e cada um dos escravos manteve-se estável, com 56 pacotes trafegados entre estes. Assim, a otimização dos cabeçalhos, em quantidade de bytes, permaneceu estável.

A redução percentual do custo de rede de um pacote tem variações conforme seu

tamanho. Para os testes realizados, em que o mestre enviou vetores de 100 posições para a soma em 1 escravo, a redução do custo de rede, por pacote, é apresentada na Figura 42.

Figura 42 - Redução do custo de rede por pacote

Neste teste, com 1 escravo, os 56 pacotes enviados totalizam 9.280 bytes. Com a nova estrutura, há redução para 7.867 bytes, o que representa uma melhoria de 15,23% na quantidade de bytes enviados. Em relação ao uso dos cabeçalhos do IP e UDP/TCP, esta proposta reduz o *overhead* dos cabeçalhos de 1.724 para 291 bytes, em um total de 83,12% de otimização.

5.2.7.3 Notas sobre os Resultados

A solução apresentada nesta pesquisa reduz o custo de rede para ambientes de programação distribuída, e similares, com conectividade em camada 2. Esta otimização é possível a partir do uso do Modelo de Título e de sua representação explícita com uso de ontologia, que suporta a aproximação semântica entre a camada superior e as inferiores, na comunicação em redes de computadores.

Isto contribui para o suporte das necessidades de comunicação, que, para a

programação distribuída, são: endereçamento de estações; endereçamento de processos; controle do tamanho do pacote; e; garantia de entrega. Com o atendimento destas necessidades, este trabalho colabora com a melhoria de desempenho em ambientes de programação distribuída e abre perspectivas para uso da ontologia do Modelo de Título em outros ambientes.

Para o teste realizado com o LAM MPI, houve redução de 15,23% na quantidade de bytes trafegados, entre um mestre e um escravo, para a soma de um vetor de inteiros. Em situações que demandam alto processamento, com envio de menor quantidade de dados por pacote, esta otimização percentual pode ser ainda maior.

Para trabalhos futuros, propõe-se a expansão desta proposta, testes e análise de desempenho do uso do Modelo de Título para ambientes diversos, como o de redes de sensores e *streams* de áudio e vídeo. Também é proposto o envio de dados com tamanho gradativo, partindo de muito pequeno (1 byte) até muito grande (Giga bytes). Outra sugestão é o estudo sobre a possibilidade de redução da quantidade de pacotes enviados, por exemplo, para *multicast* e o uso de camadas de enlace com MTU maiores que 1500 para minimizar a fragmentação de pacotes.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Na Arquitetura TCP/IP, há deficiências na compreensão e suporte de requisitos das aplicações e, especialmente, das necessidades que surgiram após a especificação dos protocolos das camadas intermediárias dessa arquitetura. O surgimento de novos requisitos foi suportado de forma pontual e não estrutural, devido a ser mais fácil realizar, em um modelo ou arquitetura, um ajuste específico do que repensar uma camada, ou um conjunto destas.

Por sua vez, o uso de ontologia na área de tecnologia, em sua maior parte, ocorre na camada de aplicação da Arquitetura TCP/IP, com poucos estudos nas camadas baixas e intermediárias desta arquitetura. Nesse cenário, este trabalho contribui com a definição de um modelo que favorece o uso de ontologia entre camadas (*cross layers*).

Com isto, é possível a aproximação semântica entre as camadas superiores e inferiores. Como resultado, há melhoria na troca de significados entre as camadas por meio das camadas de Entidade e Serviço. Esta é uma contribuição para projetos e esforços em Internet do futuro, como Autol, Content-Centric, User-Centric, Service-Centric, 4WARD e outros. Também, é uma contribuição colaborativa para as discussões e definições de um modelo de referência para a Internet do futuro.

6.1 Resultados

As contribuições deste trabalho, em consonância com os objetivos específicos apresentados no Capítulo 1, são:

1. Foram identificados problemas na arquitetura de protocolos do TCP/IP, que colocam em risco o futuro da Internet pelo crescente aumento de sua complexidade de protocolos, acrescido da baixa evolução histórica nas camadas 3 e 4. Estes problemas foram publicados e apresentados no NTMS

IFIP/IEEE, em Dez/2009, nos trabalhos ***Horizontal Address Ontology in Internet Architecture*** e ***Distributed Systems Ontology***. Este último, foi premiado com *Best Paper* em novas tecnologias (PEREIRA, 2009c, 2009d).

2. Foi definido o Modelo de Título de Entidade que suporta a aproximação semântica entre as camadas superiores e inferiores nas redes de computadores. A definição deste Modelo foi publicada no FIA Book 2011, no trabalho ***Title Model Ontology for Future Internet Networks*** (PEREIRA, 2011b).
3. O Modelo de Título de Entidade foi descrito formalmente com uso de ontologia, em OWL, para suportar semanticamente os elementos de comunicação e suas necessidades na Internet do futuro.
4. Foi demonstrado o benefício do uso do Modelo de Título para o suporte de necessidades específicas de comunicação, por meio de um exemplo de uso de aproximação semântica entre as camadas de rede. Este exemplo de uso foi publicado e apresentado no I2TS, em Dez/2010, no trabalho ***Network Headers Optimization for Distributed Programming***, sendo premiado com *Silver Paper* (PEREIRA, 2010c). A versão estendida deste trabalho foi publicada no IEEE LA TRANSACTIONS, VOL. 9, NO. 2, em Abr/2011, no trabalho ***Title Model for Computer Networks Optimization*** (PEREIRA, 2011c).

As contribuições desta Tese foram publicadas nos trabalhos (PEREIRA, 2011a, 2011b, 2011c, 2010b, 2010c, 2009b, 2009c, 2009d, 2009e; PEREIRA, 2010a, 2009a; SANTOS, 2011, 2010; SILVA, 2011; MALVA, 2009). Estes trabalhos receberam os prêmios:

- Best Paper Award no IFIP/IEEE *New Technologies, Mobility and Security* (NTMS), Cairo, 2009, Trabalho: *Distributed Systems Ontology*;
- Best Paper Award no IARIA/IEEE *International Conference on Networking and Services* (ICNS), México, 2010, Trabalho: *Optimization Proposal for Communication Structure in Local Networks*; e

- Silver Paper Award no *International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS)*, Rio de Janeiro, 2010, Trabalho: *Network Headers Optimization for Distributed Programming*.

A Tabela 1 resume as contribuições publicadas e os prêmios recebidos.

Tabela 1 - Resumo das publicações e prêmios

No.	Título	Publicação	Ano	Formato	Veículo	Obs.:
1	Ontologia em Redes de Computadores	Ontologia Brasil	2009	Anais	Nacional	
2	Distributed Systems Ontology	IEEE Xplore IFIP-NTMS	2009	Proceedings	Internacional	Best Paper Award
3	Horizontal Address Ontology in Internet Architecture	IEEE Xplore IFIP-NTMS	2009	Proceedings	Internacional	
4	Implementação do Protocolo FINLAN	I2TS	2009	Proceedings Poster	Internacional	
5	Proposal for Hybrid Communication in Local Networks	I2TS	2009	Poster	Internacional	
6	Horizontal Address by Title in the Internet Architecture	I2TS	2009	Poster	Internacional	
7	Horizontal Addressing by Title in a Next Generation Internet	IEEE Xplore ICNS	2010	Proceedings	Internacional	
8	Optimization Proposal for Communication Structure in Local Networks	IEEE Xplore ICNS	2010	Proceedings	Internacional	Best Paper Award
9	FINLAN Packet Delivery Proposal in a Next Generation Internet	IEEE Xplore ICNS	2010	Proceedings	Internacional	
10	Network Headers Optimization for Distributed Programming	I2TS	2010	Proceedings	Internacional	Silver Paper Award
11	Layers Optimization Proposal in a Post-IP Network	Advances in Networks and Services	2011	Journal	Internacional	
12	Meeting Services and Networks in the Future Internet	FIA Book	2011	Book Chapter	Internacional	
13	Title Model Ontology for Future Internet Networks	FIA Book	2011	Book Chapter	Internacional	
14	Title Model for Computer Networks Optimization	IEEE Transactions R9 LA	2011	Journal	Internacional	
15	Domain Title Service for Future Internet Networks	WPEIF-SBRC	2011	Anais	Nacional	

Esta Tese também apresenta a contribuição da simplificação da complexidade dos múltiplos endereçamentos na Internet por meio da unificação dos diferentes tipos de elementos de comunicação em entidades, identificadas, de maneira única, por seus títulos. Assim, entidades distintas como estações, aplicações, usuários e sensores, dentre outros, podem ser localizados na rede mundial pelos seus títulos e terem suas necessidades compreendidas semanticamente, nas redes de computadores, pelo uso de ontologia.

O modelo definido contribui para a possibilidade de alteração do endereçamento hierárquico da Internet para o horizontal, e a representação formal das necessidades

das entidades, com consequente compreensão e suporte das camadas intermediárias e inferiores.

Na Arquitetura TCP/IP, há limitações quanto a esta possibilidade, pois as aplicações apenas informam, ao sistema operacional, a necessidade de uso do TCP e UDP, e tem limitações na maneira de informar outros requisitos para as camadas de rede e transporte, como QoS, segurança, baixo *jitter*, dentre outros, visto que os protocolos dessas camadas se limitam ao endereçamento e transporte de cadeias de bytes, compreendidas sintaticamente, e não semanticamente. Possibilidades estas expandidas para a Internet do futuro pelas contribuições desta Tese ao aplicar ontologia para a compreensão semântica entre as camadas.

6.2 Limitações

Há importância na ampliação dos estudos de interoperabilidade do Modelo de Título com a Arquitetura TCP/IP para permitir maior garantia de sucesso na implementação de uma arquitetura de protocolos baseada neste modelo. Também é necessário estudos sobre sua escalabilidade com rigor matemático para comprovação de sua robustez, para garantir que sua implantação na Internet seja viável e que haja escala em *hardware* e *software* suficientes para suportar a unificação das entidades e suas necessidades na rede mundial.

Nesta limitação referente aos estudos em escalabilidade, também é necessário incluir cálculos do comportamento do DTS, no que concerne ao suporte da comunicação das entidades.

A ontologia apresentada nesta Tese define os conceitos base do Modelo de Título, sendo importante o amadurecimento desta e a extensão de seus conceitos, em especial, nas questões de confiança e identidade única das entidades e na comunicação entre as entidades e o DTS.

Esta Tese define o Modelo de Título como contribuição para a Internet do futuro, sendo limitada a este modelo. Dessa forma, é necessário projetar e validar uma arquitetura de protocolos, baseada neste modelo, e implementar esta arquitetura.

6.3 Trabalhos Futuros e Desdobramentos

Em trabalhos futuros, haverá continuidade do desenvolvimento da ontologia do Modelo de Título, para seu amadurecimento, e sua extensão para aplicá-la na comunicação entre as entidades e o DTS. Nesta continuidade do desenvolvimento da ontologia, será realizado estudo para o reuso de outras ontologias. Serão estendidas as discussões e estudos quanto à confiança e identificação única das entidades e a formalização dos mecanismos de segurança para o modelo apresentado.

É proposto que seja feita a análise de impacto do uso do Modelo de Título em redes com conectividade em camada 3, camada 4 e na rede mundial. Também, que seja feita análise de uso além da programação distribuída, como aplicações que precisem de *multicast*, segurança, mobilidade e qualidade de serviço, acrescido de estudos de impacto na área de energia verde.

Haverá continuidade dos estudos e discussões sobre o uso de linguagens de representação semântica no lugar do uso de protocolos nas camadas intermediárias e mais baixas das redes de computadores e consequente definição da arquitetura de comunicação, cujo estudo passa por definições na área de arquitetura de protocolos.

Na continuidade deste trabalho, serão ampliadas as discussões sobre o endereçamento horizontal e a utilização de Serviço de Domínio de Título nas redes de computadores. O estudo e discussões para alteração do paradigma *client-server* também serão ampliados, em conjunto, por pesquisadores e os grupos MEHAR e FINLAN.

Este estudo terá o objetivo de projeto, validação e implementação de arquiteturas de protocolos, instâncias do Modelo de Título, e a efetiva experimentação destas implementações. A visão geral dos desdobramentos desta Tese, em curso, é apresentada na Figura 43, que aponta as perspectivas futuras dos trabalhos em andamento.

Figura 43 - Resumo dos desdobramentos desta Tese

REFERÊNCIAS

ABBAGNANO, N. **Dicionário de filosofia**. Trad. brasileira coord. Alfredo Bosi, rev. Ivone Castilho Benedetti, 4. ed., São Paulo, Martins Fontes, 2000.

ALMEIDA, J. P. A. **Model-driven design of distributed applications**. Centre for Telematics and Information Tec., PhD Thesis Series N. 06-85, Universal Press, Telematica Instituut, Univ. of Twente, 2006.

ALMQUIST, P. **Type of service in the Internet protocol suite**. Network Working Group, RFC 1349, 1992.

ARKKO, J., PIGNATARO, C. **IANA allocation guidelines for the address resolution protocol (ARP)**. Network Working Group, RFC 5494, 2009.

BAIÔCO, G., COSTA, A. C. M., CALVI, C. Z. and GARCIA, A. S. IT service management and governance – modeling an ITSM configuration process: a foundational ontology approach. In: Symposium on Integrated Network Management -SINM/IFIP/IEEE, **Proceedings**. 2009.

BARCELOS, P. P. F., MONTEIRO, M. E., SIMÕES, R. M., GARCIA, A. S. and SEGATTO, M. E. V., OOTN – An ontology proposal for optical transport networks, In: International Conference on Ultra Modern Telecommunications – ICUMT, IEEE Xplore, Print ISBN: 978-1-4244-3942-3, **Proceedings**, St. Petersburg, 2009.

BAUGHER, M., MCGREW, D., NASLUND, M., CARRARA, E. and NORRMAN, K. **The secure real-time transport protocol (SRTP)**. Network Working Group, RFC 3711, 2004.

BLACKBURN, S. **Dicionário Oxford de filosofia**. Trad. Desidério Murcho et al., Rio de Janeiro, Zahar, 1997.

BUNGE, M. **Dicionário de filosofia**. Trad. Gita K. Guinsburg, São Paulo, Perspectiva, 2002.

CAESAR, M., CASTRO, M., NIGHTINGALE E. B. e ROWSTRON, A. Virtual ring routing: network routing inspired by DHTs. **ACM SIGCOMM**, Pisa, Italy, p. 351 – 362, 2006a.

CAESAR, M., et al. ROFL: Routing on flat labels. **ACM SIGCOMM**, Pisa, Italy, p. 363 – 374, 2006b.

CAESAR, M. **Identity-based routing**. Technical Report N. UCB/EECS-2007-114, University of California, Berkeley, USA, 2007.

CHAUÍ, M. **Convite à filosofia**, São Paulo, Ática, 2000.

CHESHIRE, S. **IPv4 Address Conflict Detection**. RFC 5227, 2008.

COMER, D. **Internetworking with TCP/IP V. I – principles, protocols and architecture**. 3. ed., New Jersey, Prentice Hall, 1995.

COMER, D. e STEVENS, D. L. **Internetworking with TCP/IP V. III – client-server Programming and Applications**. New Jersey, Prentice Hall, 1997.

DEERING, S. e HINDEN, R. **Internet protocol, version 6 (IPv6) specification**. Network Working Group, RFC 1883, 1995.

DEERING, S. e HINDEN, R. **Internet protocol, version 6 (IPv6) specification**. Network Working Group, RFC 2460, 1998.

DOMINGUE, J., et al., eds. **The Future Internet - Future Internet Assembly Book 2011: achievements and technological promises**. Springer, ISBN 978-3-642-20897-3, Volume 6656, DOI: 10.1007/978-3-642-20898-0, 2011.

FARINACCI, D., FULLER, V., MEYER, D. e LEWIS, D. **Locator/ID separation protocol (LISP)**. Network Working Group, draft-ietf-lisp-06, 2010.

FIRE WHITE PAPER. **Future Internet research and experimentation**, 2009.

FORD, B. **Scalable Internet routing on topology-independent node identities**. MIT technical report conducted as part of the IRIS project, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Dep. of Electrical Eng. and Comp. Sci, 2003.

FORD, B. **UIA: a global connectivity architecture for mobile personal devices**. Ph.D. Thesis. Massachusetts Institute of Technology (MIT), Dep. of Electrical Eng. and Comp. Sci, 2008.

GASEVIĆ, D., DJURIĆ, D. and DEVEDZIĆ, V. **Model driven engineering and ontology development**. 2. ed., Berlin, Springer, 2009.

GROVES, C., et al., eds. **Media gateway control protocol version 1**. Network Working Group, RFC 3525, 2003.

GRUBER, T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. **International Journal of Human and Computer Studies**, 43 (5/6): 907-928, 1995.

GRUNINGER, M. and FOX, M. S. Methodology for the design and evaluation of ontologies. In: Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, **Proceedings**, IJCAI-95, Montreal, 1995.

GUARINO, N. **The Ontological Level**. In: R. Casati, B. Smith and G. White (eds.), Philosophy and the Cognitive Science. Holder-Pivhler-Tempsky, Vienna: pp. 443-456, 1994.

GUIZZARDI, G. **Ontological foundations for structural conceptual models**. Centre for Telematics and Information Tec., PhD Thesis Series N. 05-74, Universal Press, Telematica Instituut, Univ. of Twente, 2005.

GUIZZARDI, et al. Visserian metaphysics. **Architectural design of open distributed systems: from interface to telematics**, Liber Amicorum, dedicado a Chris Vissers, M. van Sinderen and L. Ferreira Pires eds., Telematica Instituut, The Netherlands, p. 27-40, 2006.

HALSALL, F. **Data communications, computer networks and open systems**. 3. ed., UK, Addison-Wesley, 1992.

HANDLEY, M., JACOBSON, V., PERKINS, C. **SDP: session description protocol**. Network Working Group, RFC 4566, 2006.

HEGERING, H. e LÄPPLE, A. **Ethernet – Building a Communications Infrastructure**. Addison-Wesley, Munich, 1993.

ISO 7498-3 **Information processing systems**. Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: Naming and Addressing, 1989.

ITU-T **Recommendation X.207 | ISO/IEC 9545:1993**. Information Technology – Open Systems Interconnection – Application Layer Structure, 1993.

ITU-T **Recommendation X.650**. Open Systems Interconnection – Reference Model for naming and Addressing, 1992.

JEFFREE, T. ed. **Media access control (MAC) bridges**. LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, ANSI/IEEE Std 802.1D-1998, ISO/IEC 15802-3, 1998.

JOHANSSON, I. and WESTERLUND, M. **Support for reduced-size real-time transport control protocol (RTCP): opportunities and consequences**. Network Working Group, RFC 5506, 2009.

KOHLER, E., HANDLEY, M. and FLOYD, S. **Datagram congestion control protocol (DCCP)**. Network Working Group, RFC 4340, 2006.

KRIOUKOV, D., CLAFFY, K. C., FALL, K. e BRADY, A. On compact routing for the Internet. **ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, 37 (3):41–52, 2007.

KUROSE, J. F., ROSS, K. W. **Computer networking – A top-down approach**. 4. ed., Boston, Addison-Wesley, 2008.

LACY, L. W. **Owl: representing information using the web ontology language**. Trafford, 2005.

LALANDE, A. **Vocabulário técnico e crítico da Filosofia**. Trad. Fátima Sá Correia et al., São Paulo, Martins Fontes, 1993.

LEŚNIEWSKI, S. **Comptes rendus des séances de la société des sciences et des lettres de Varsovie**. Classe III, p. 111-132, 1930.

LEWIS, D., et al. **Interworking LISP with IPv4 and Ipv6**. Network Working Group, draft-lewis-lisp-interworking-02, 2009.

MALVA, G. R. O., DIAS, E. C., OLIVEIRA, B. C., PEREIRA, J. H. S., ROSA, P. F. e KOFUJI, S. T. Implementação do protocolo FINLAN. In: International Information and Telecommunication Technologies Symposium – I2TS. **Proceedings**. Florianópolis, 2009.

MEALY, G. H. Another look at data. In: Fall Joint Computer Conference, Anaheim, California (AFIPS Conference, V. 31). **Proceedings**. Washington, DC: Thompson Books, London: Academic Press, 525-534, 1967.

NICHOLS, K., et al. **Definition of the differentiated services field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 headers**. Network Working Group, RFC 2474, 1998.

NOY, N. F. e MCGUINNESS, D. L. **Ontology development 101: a guide to creating your first ontology**. Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, CA, 2001.

OTT, J., et al. **Extended RTP profile for real-time transport control protocol (RTCP)-based feedback (RTP/AVPF)**. Network Working Group, RFC 4585, 2006.

PASQUINI, R. e MAGALHÃES, M. F. Roteamento flat para uma arquitetura de Internet de próxima geração baseada em identificadores de domínios. In: Primeiro Encontro dos Alunos e Docentes do Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial - I EADCA. **Anais**. FEEC/Unicamp, 2008.

PASQUINI, R., VERDI F. L. e MAGALHÃES, M. F. Towards a landmark-based flat routing. In: 27th Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems - SBRC 2009. **Proceedings**. Recife - PE, Brazil, 2009a.

PASQUINI, R. e MAGALHÃES, M. F. Flat routing on a binary identity space. In: 2º Encontro dos Alunos e Docentes do Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial - II EADCA. **Anais**. FEEC/Unicamp, 2009b.

PASQUINI, R., PAULA, L. B., VERDI, F. e MAGALHÃES, M. F. **Domain identifiers in a next generation Internet architecture**. IEEE Wireless Communications & Networking Conference, 2009 (WCNC). Budapest, Hungary, 2009c.

PEREIRA, F. S. F., SANTOS, E. S., PEREIRA, J. H. S., ROSA, P. F. e KOFUJI, S. T. FINLAN packet delivery proposal in a next generation Internet. In: International Conference on Networking and Services – ICNS. **Proceedings**. IEEE Xplore, Mexico, 2010a.

PEREIRA, F. S. F., SANTOS, E. S., PEREIRA, J. H. S., ROSA, P. F. e KOFUJI, S. T. Proposal for hybrid communication in local networks. In: International Information and Telecommunication Technologies Symposium – I2TS. **Proceedings**. Florianópolis, 2009a.

PEREIRA, J. H. S., SANTOS, E. S., PEREIRA, F. S. F., ROSA, P. F. and KOFUJI, S. T. Layers optimization proposal in a post-IP network. **International Journal on Advances in Networks and Services**, vol 3, no 4, February, 2011a.

PEREIRA, J. H. S., SILVA, F. O., FILHO, E. L., KOFUJI, S. T., Rosa, P. F. Title model ontology for future Internet networks. **The Future Internet - Future Internet Assembly Book 2011: achievements and technological promises**. Springer LNCS, ISBN 978-3-642-20897-3, Volume 6656, DOI: 10.1007/978-3-642-20898-0_8, pp. 103-114, 2011b.

PEREIRA, J. H. S., SATO, L. M., ROSA, P. F. and KOFUJI, S. T. Title model for computer networks optimization. **IEEE Latin America Transactions**, vol. 9, no 2, pp. 219-230, April, 2011c.

PEREIRA, J. H. S., ROSA P. F. e KOFUJI, S. T. Horizontal addressing by title in a next generation Internet. In: International Conference on Networking and Services –

ICNS, IEEE Xplore. **Proceedings**. Mexico, 2010b.

PEREIRA, J. H. S., SATO, L. M., ROSA, P. F. e KOFUJI, S. T. Network headers optimization for distributed programming. In: International Information and Telecommunication Technologies Symposium – I2TS. **Proceedings**. Rio de Janeiro, 2010c.

PEREIRA, J. H. S., PEREIRA, F. S. F., SANTOS, E. S., ROSA, P. F. e KOFUJI, S. T. Horizontal address by title in the Internet architecture. In: International Information and Telecommunication Technologies Symposium – I2TS. **Proceedings**. Florianópolis, 2009b.

PEREIRA, J. H. S., KOFUJI, S. T. e ROSA, P. F. Distributed systems ontology. In: New Technologies, Mobility and Security Conference – NTMS, IEEE Xplore. **Proceedings**. Cairo, 2009c.

PEREIRA, J. H. S., KOFUJI, S. T. e ROSA, P. F. Horizontal address ontology in Internet architecture. In: New Technologies, Mobility and Security Conference – NTMS, IEEE Xplore. **Proceedings**. Cairo, 2009d.

PEREIRA, J. H. S., ROSA, P. F. e KOFUJI, S. T. Ontologia em redes de computadores. In: II Seminário em Ontologia no Brasil, IME. **Anais**. Rio de Janeiro, 2009e.

PLUMMER, D. **Ethernet address resolution protocol: converting network protocol addresses to 48.bit ethernet address for transmission on ethernet hardware**. RFC 826, 1982.

PMI. **Guia PMBOK – um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. 3. ed., Global Standard, Newtown Square, Pennsylvania, EUA, 2004.

POSTEL, J. **DoD standard Internet protocol**. DARPA Information Processing Techniques Office, USC/Information Sciences Institute, RFC 760, 1980a.

POSTEL, J. **DoD standard transmission control protocol**. DARPA Information Processing Techniques Office, USC/Information Sciences Institute, RFC 761, 1980b.

POSTEL, J. **DoD standard user datagram protocol**. DARPA Information Processing Techniques Office, USC/Information Sciences Institute, RFC 768, 1980c.

POSTEL, J. **DoD standard Internet protocol**. DARPA Information Processing Techniques Office, USC/Information Sciences Institute, RFC 791, 1981a.

POSTEL, J. **DoD standard transmission control protocol**. DARPA Information Processing Techniques Office, USC/Information Sciences Institute, RFC 793, 1981b.

PRUDÊNCIO, A. C., et al. NetQoSont: uma ontologia para a especificação semântica de QoS em redes de computadores. In: 14º Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços – WGRS-SBRC. **Anais**. 2009.

ROSENBERG, J., et al. **SIP: session initiation protocol**. Network Working Group, RFC 3261, 2002.

ROSHEN, W. **SOA-based enterprise integration**. Osborne McGraw-Hill, USA, 2009.

RUBIO-LOYOLA, J., SERRAT, J., ASTORGA, A., CHAI, W. K., GALIS, A., CLAYMAN, S., MAMATAS, L., ABID, M., KOUMOUTSOS, G.: et al.: Autonomic Internet Framework Deliverable D6.3. Final Results of the Autonomic Internet Approach. European Union IST 7th Framework Programme, 2010.

SANTOS, E., PEREIRA, F., PEREIRA, J. H. S., THEODORO, L. C., ROSA, P. and KOFUJI, S. T. Meeting services and networks in the future Internet. **The Future Internet - Future Internet Assembly Book 2011: achievements and technological promises**. Springer LNCS, ISBN 978-3-642-20897-3, Volume 6656, DOI: 10.1007/978-3-642-20898-0_24, pp. 339-350, 2011.

SANTOS, E. S., PEREIRA, F. S. F., PEREIRA, J. H. S., ROSA, P. F. e KOFUJI, S. T. Optimization proposal for communication structure in local networks. In: International Conference on Networking and Services – ICNS, IEEE Xplore. **Proceedings**. Mexico, 2010.

SCHULZRINNE, H., et al. **RTP: a transport protocol for real-time applications**. Audio-Video, Transport Working Group, RFC 1889, 1996.

SCHULZRINNE, H., et al. **RTP: a transport protocol for real-time applications**. Network Working Group, RFC 3550, 2003.

SEAMAN, M. e JEFFREE, T., eds. **Media access control (MAC) bridges**. LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, ANSI/IEEE Std 802.1D-2004, ISO/IEC 15802-3, 2004.

SILVA, F. O., PEREIRA, J. H. S., KOFUJI, S. T., ROSA, P. F. Domain Title Service for future Internet networks. In: II Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro – SBRC. **Anais**. Campo Grande, pp. 33-36, 2011.

STEWART, R. Ed. **Stream control transmission protocol**. Network Working Group, RFC 4960, 2007.

STEWART, R., et al. **Stream control transmission protocol**. Network Working Group, RFC 2960, 2000.

TANENBAUM, A. S. e STEEN, M. V. **Sistemas distribuídos**. 2. ed., São Paulo, Prentice Hall, 2007a.

TANENBAUM, A. S. **Sistemas operacionais modernos**. 2. ed., Rio de Janeiro, Prentice Hall, 2007b.

TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores**. Trad. 3. ed., Rio de Janeiro, Campus, 1997.

TSELENTIS, G., et al., eds. **Towards the future Internet – a european research perspective**. IOS Press, ISBN print 978-1-60750-007-0, ISBN online 978-1-60750-431-3, 2009.

TSELENTIS, G., et al., eds. **Towards the future Internet – emerging trends from european research**. IOS Press, ISBN print 978-1-60750-538-9, ISBN online 978-1-60750-539-6, 2010.

TSUCHIYA, P. F. The landmark hierarchy: a new hierarchy for routing in very large networks. **ACM SIGCOMM**, Stanford, CA, USA, p. 35–42, 1988.

VANNI, R. M. P. **Integração de serviços em ambientes heterogêneos: uso de semântica para comunicação entre entidades em mudanças de contexto**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – São Carlos (USP), Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC, 2009.

VISSERS, C. A. and LOGRIPPO, L. **The importance of the service concept in the design of data communications protocols**. Department of Informatics, Twente University of Technology, Netherlands, 1986.

WANG, J. A., GUO, M. M. and CAMARGO, J. An ontological approach to computer system security. **Information Security Journal**, 19:61-73, ISSN: 1939-3555 print / 1939-3547, DOI: 10.1080/19393550903404902, 2010.

WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. Rio de Janeiro, Campus, 2008.

WONG, W., et al. An architecture for mobility support in a next generation Internet. In: The 22nd IEEE International Conference on Advanced Information, Networking and Applications (AINA 2008). **Proceedings**. Okinawa, Japan, 2008.

WONG, W., VERDI, F. L. e MAGALHÃES, M. F. A next generation Internet architecture for mobility and multi-homing support. In: 3rd International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies (CoNEXT'07). Student Workshop. **Proceedings**. New York, NY, 2007.

ZAHARIADIS, T. ed. Why do we need a content-centric future Internet? **Proposals towards Content-Centric Internet Architectures**, Future Content Networks Group, Prague, 2009.

APÊNDICE A – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)

APÊNDICE B – TAXONOMIA DO MODELO DE TÍTULO

APÊNDICE C – CÓDIGO OWL DA ONTOLOGIA DO MODELO DE TÍTULO

```
<?xml version="1.0"?>

<!DOCTYPE rdf:RDF [
  <!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#" >
  <!ENTITY dc "http://purl.org/dc/elements/1.1/" >
  <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
  <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
  <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
  <!ENTITY Ontology1280888215552
"http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#" >
]>

<rdf:RDF xmlns="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl"
  xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:Ontology1280888215552="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888
215552.owl#">
  <owl:Ontology
rdf:about="http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl">
    <owl:versionInfo>Versao 0.1</owl:versionInfo>
    <dc:language>Portugues Brasileiro</dc:language>
    <rdfs:comment>Esta ontologia representa o Modelo de Titulo de Entidade, para a proxima
geracao de Internet. Esta ontologia e utilizada para a comunicacao entre as camadas deste
modelo, entre as entidades e entre as entidades e o DTS (Domain Title Service).</rdfs:comment>
    <dc:title>Modelo de Titulo de Entidade</dc:title>
    <dc:contributor>Grupos FINLAN e MEHAR.</dc:contributor>
    <dc:date>02-Novembro-2010</dc:date>
    <dc:creator> Msc. Joao Henrique de Souza Pereira
Ph.D. Sergio Takeo Kofuji</dc:creator>
  </owl:Ontology>

<!--
//
// Annotation properties
//
//
-->

<owl:AnnotationProperty rdf:about="&owl;versionInfo"/>
<owl:AnnotationProperty rdf:about="&dc;creator"/>
<owl:AnnotationProperty rdf:about="&dc;contributor"/>
<owl:AnnotationProperty rdf:about="&dc;language"/>
<owl:AnnotationProperty rdf:about="&dc;date"/>
<owl:AnnotationProperty rdf:about="&rdfs;comment"/>
<owl:AnnotationProperty rdf:about="&dc;title"/>

<!--
//
// Object Properties
//
//
-->
```



```

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#tem_Necessidade-->

    <owl:ObjectProperty rdf:about="&TitleModel;tem_Necessidade">
        <rdfs:domain rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
        <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="&owl;topObjectProperty"/>
    </owl:ObjectProperty>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#tem_Titulo-->

    <owl:ObjectProperty rdf:about="&TitleModel;tem_Titulo">
        <rdfs:domain rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
        <rdfs:range rdf:resource="&TitleModel;Titulo"/>
        <rdfs:subPropertyOf rdf:resource="&owl;topObjectProperty"/>
    </owl:ObjectProperty>

<!--http://www.w3.org/2002/07/owl#topObjectProperty-->

    <owl:ObjectProperty rdf:about="&owl;topObjectProperty"/>

<!--
////////////////////////////////////
//
// Data properties
//
////////////////////////////////////
-->

<!--http://www.w3.org/2002/07/owl#topDataProperty-->

    <owl:DatatypeProperty rdf:about="&owl;topDataProperty"/>

<!--
////////////////////////////////////
//
// Classes
//
////////////////////////////////////
-->

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#AAA-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;AAA">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Seguran&#231;a"/>
    </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Acesso_Contabiliza&#231;
;&#227;o-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Acesso_Contabiliza&#231;&#227;o">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;AAA"/>
    </owl:Class>

```

```
<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Aplicacao-->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Aplicacao">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--
```

```
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Assinatura_Digital-->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Assinatura_Digital">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Titulo"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Audio-->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Audio">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tipo"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--
```

```
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Autentica&#231;&#227;o-
->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Autentica&#231;&#227;o">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;AAA"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--
```

```
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Autoriza&#231;&#227;o-
>
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Autoriza&#231;&#227;o">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;AAA"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Baixa_Latencia-->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Baixa_Latencia">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Baixo_Jitter-->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Baixo_Jitter">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Banda_Throughput-->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Banda_Throughput">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>
```

```
<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Bidirecional-->
```

```
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Bidirecional">
```

```

        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Direcao"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Broadcast-
Multiponto-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Broadcast-Multiponto">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Comunicacao"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Camada-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Camada">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Camada_Fisica-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Camada_Fisica">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Camada"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Camada_de_Enlace-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Camada_de_Enlace">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Camada"/>
    </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Camada_de_Entidade-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Camada_de_Entidade">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Camada"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Camada_de_Servico--
>

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Camada_de_Servico">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Camada"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Clareza-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Clareza">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Comunicacao-->

    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Comunicacao">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Conex&#227;o-->

```

```

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Conex&#227;o">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Confiabilidade-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Confiabilidade">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Seguran&#231;a"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Confirmada-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Confirmada">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Garantia_de_Entrega"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Conteudo-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Conteudo">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
</owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Controle_Tamanho_Pacote
-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Controle_Tamanho_Pacote">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Criptografia-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Criptografia">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Seguran&#231;a"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#DNA-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;DNA">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Titulo"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#DTS-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;DTS"/>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Dados-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Dados">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tipo"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Direcao-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Direcao">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Comunicacao"/>

```

```

</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Duplex-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Duplex">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Bidirecional"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Email-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Email">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Titulo"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Enderecamento-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Enderecamento">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Enderecamento_Estacao--
>
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Enderecamento_Estacao">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Enderecamento"/>
  </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Enderecamento_Processo-
->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Enderecamento_Processo">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Enderecamento"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Entidade-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Entidade">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
  </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Entrega_Condicionada-
Pipe_Line-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Entrega_Condicionada-Pipe_Line">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Entrega_de_Dados_Ordena
dos-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Entrega_de_Dados_Ordenados">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>

```

```

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Estacao-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Estacao">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
</owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Garantia_de_Entrega-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Garantia_de_Entrega">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Gerenciamento-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Gerenciamento">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Grava&#231;&#227;o-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Grava&#231;&#227;o">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Half_Duplex-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Half_Duplex">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Bidirecional"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Hash-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Hash">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Titulo"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Hierarquico-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Hierarquico">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Enderecamento"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Horizontal-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Horizontal">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Enderecamento"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Imagens-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Imagens">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tipo"/>
</owl:Class>

```

```

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Jitter-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Jitter">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;QoS"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Latencia-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Latencia">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;QoS"/>
</owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Mensagem_Instantanea-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Mensagem_Instantanea">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tempo_Real"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Mobilidade-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Mobilidade">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Monitora&#231;&#227;o_d
a_Entrega_de_Dados-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Monitora&#231;&#227;o_da_Entrega_de_Dados">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Multicast-
Ponto_Multiponto-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Multicast-Ponto_Multiponto">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Comunicacao"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Nao_Confirmada-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Nao_Confirmada">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Garantia_de_Entrega"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Nao_Orientado-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Nao_Orientado">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Conex&#227;o"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Necessidade-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Necessidade">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>

```

```

</owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Nuvem_Computacional-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Nuvem_Computacional">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Ordenacao-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Ordenacao">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Orientado-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Orientado">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Conex&#227;o"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Privacidade-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Privacidade">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Seguran&#231;a"/>
    </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Prote&#231;&#227;o-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Prote&#231;&#227;o">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#QoS-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;QoS">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Rede_de_Sensor-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Rede_de_Sensor">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Seguran&#231;a-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Seguran&#231;a">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
    </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Stream_de_Audio-->
    <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Stream_de_Audio">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tempo_Real"/>

```



```

</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Stream_de_Video-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Stream_de_Video">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tempo_Real"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Tempo_Real-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Tempo_Real">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Texto-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Texto">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tipo"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Tipo-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Tipo">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Titulo-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Titulo">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&owl;Thing"/>
  </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Transfer&#234;ncia_de_D
ados-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Transfer&#234;ncia_de_Dados">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Unicast-
Ponto_a_Ponto-->
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Unicast-Ponto_a_Ponto">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Comunicacao"/>
  </owl:Class>

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Unidirecional_Simplex-
>
  <owl:Class rdf:about="&TitleModel;Unidirecional_Simplex">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Direcao"/>
  </owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Usuario-->

```

```

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Usuario">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Entidade"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Velocidade-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;Velocidade">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Necessidade"/>
</owl:Class>

<!--http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#V&#237;deo-->

<owl:Class rdf:about="&TitleModel;V&#237;deo">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="&TitleModel;Tipo"/>
</owl:Class>

<!--http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing-->

<owl:Class rdf:about="&owl;Thing"/>

<!--
////////////////////////////////////
//
// Individuals
//
////////////////////////////////////
-->

<!--
http://www.semanticweb.org/ontologies/2010/7/Ontology1280888215552.owl#Programacao_Distribuida
-->

<owl:Thing rdf:about="&TitleModel;Programacao_Distribuida">
  <rdf:type rdf:resource="&TitleModel;Aplicacao"/>
  <rdf:type rdf:resource="&owl;NamedIndividual"/>
  <rdfs:comment>Comunicacao de necessidades, entre a camada de entidade e a camada de
servico, para ambientes de programacao distribuida.
</rdfs:comment>
</owl:Thing>
</rdf:RDF>

<!-- Generated by the OWL API (version 3.0.0.1451) http://owlapi.sourceforge.net-->

```

APÊNDICE D – TABELA DE RESULTADOS

Tabela 1 - Resultados em 20 testes

Pacote	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20
1	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
2	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
3	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
4	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
5	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
6	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
7	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
8	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
9	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514
10	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514
11	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514
12	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
13	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
14	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118
15	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	102	50	50
16	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	50	102	102
17	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
18	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
19	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
20	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
21	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
22	134	134	106	134	106	106	134	134	106	134	106	106	134	134	134	134	106	134	106	134
23	60	60	134	60	134	134	106	106	134	60	134	60	60	60	60	60	134	60	134	106
24	106	106	60	106	60	60	60	60	106	60	134	106	106	106	106	106	60	106	60	60</