



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA**

**APROVISIONAMENTO AVANÇADO DE RECURSOS EM REDES**  
**CONVERGENTES SENSÍVEIS AO CONTEXTO**

**Elifranio Alves Cruz**

Fortaleza  
2012

**Elifranio Alves Cruz**

**APROVISIONAMENTO AVANÇADO DE RECURSOS EM REDES  
CONVERGENTES SENSÍVEIS AO CONTEXTO**

Dissertação de Mestrado  
apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Teleinformática, do Centro  
de Tecnologia da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre. Área de concentração: Sinais  
e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Augusto José Venâncio  
Neto

Fortaleza  
2012

**Elifranio Alves Cruz**

**APROVISIONAMENTO AVANÇADO DE RECURSOS EM REDES  
CONVERGENTES SENSÍVEIS AO CONTEXTO**

Dissertação de Mestrado  
apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Teleinformática, do Centro  
de Tecnologia da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre. Área de concentração: Sinais  
e Sistemas.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Prof. Augusto José Venâncio Neto, Dr.  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Prof. Danielo Gonçalves Gomes, Dr.

\_\_\_\_\_  
Prof. Eduardo Coelho Cerqueira, Dr.

\_\_\_\_\_  
Prof. José Neuman de Souza, Dr.

A Deus.

A minha amada esposa Vanessa Stéfany e meus filhos Eduardo, Gustavo e nosso terceiro filho (que está chegando).

A meus pais, Eliete e Benigno, pela educação e base familiar concedida.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, inicialmente, a Deus.

Aos professores do PPGETI-UFC, em especial pela competência, dedicação e paciência oferecida pelo Prof. Dr. Augusto Venâncio Neto, essencial para viabilizar, elucidar e superar os desafios desta pesquisa acadêmica.

Ao nobre amigo, pesquisador José Castillo, pelo apoio nas implementações dos experimentos controlados.

Ao CNPQ pelo apoio estrutural com bolsa de estudo.

Aos professores participantes da Banca Examinadora, os doutores Danielo Gonçalves Gomes, Eduardo Coelho Cerqueira e José Neuman de Souza, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Pela dedicação de minha nobre família.

## NOTA

O trabalho descrito nesta dissertação foi conduzido com o apoio estrutural do laboratório do Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat - UFC). O GREat é integrante estratégico de pesquisa para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática (PPGETI) do Centro de Tecnologia e pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC). Como resultados deste trabalho, a seguir estão descritas as publicações obtidas em eventos internacionais:

- (i) *Castillo, J.; Cruz, E.; Venâncio Neto, A.; Cerqueira, E.(2013). “Advanced Resource Provisioning in Context-Sensitive Converged Networks”. International Workshop on Converged Networks, Technologies and Applications. CNTA. San Diego, USA. 2013.*
- (ii) *Castillo, J.; Cruz, E.; Venâncio Neto, A.; Sargento, S.; Cerqueira, E. (2012). “Applying Over-provisioning Centric Resource Control in Context-Sensitive Networks”. 15th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium. Roma, Italia. NETWORKS 2012.*
- (iii) *Castillo, J.; Cruz, E.; Venâncio Neto, A.; Sargento, S.; Cerqueira, E. (2012). “Context- drive Resource Over-provisioning Approach for Rich Networking”. 21st International Conference on Computer Communications and Networks. ICCCN12. Munique, Alemanha. ContextQoS 2012.*

## RESUMO

Em razão da crescente demanda de usuários móveis por conteúdos criados com formato específico e personalizado, ou adaptado para atender suas necessidades e preferências no uso da web, as redes convergentes sensíveis ao contexto incorporam uma promissora tecnologia para permitir aplicações de serviços personalizados a múltiplos usuários. O projeto C-CAST (*Context Casting*) (C-CAST, 2012) foi estabelecido para arquiteturas de redes convergentes sensíveis ao contexto para suportar sessões com qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) de forma garantida a múltiplos usuários, simultaneamente, independentemente de suas tecnologias de conexão sem fio. O mecanismo de controle do C-CAST Legado introduz questões de degradação de desempenho, visto que a abordagem de sinalização adotada é direcionada por fluxo. Isto significa que a carga de sinalização aumenta exponencialmente com o número de admissões de fluxo. Este trabalho propõe o C-CAST Avançado, o qual aperfeiçoa o sistema do C-CAST Legado pela extensão de mecanismos inovadores que integram um controle dinâmico da largura de banda sobreaprovisionada por classes de serviço e alocação de árvores *overlay*. Por meio dessa estratégia, busca-se reduzir taxas de sinalização de controle e alocação de recursos em todo o sistema. A avaliação do C-CAST Avançado é conduzida por meio de simulação, demonstrando seus benefícios em relação ao C-CAST Legado, por otimizar significativamente os níveis de desempenho de todo o sistema de rede, enquanto mantêm usuários com a melhor percepção de qualidade.

**Palavras Chaves:** Redes Convergentes Sensíveis ao Contexto; Sobreaprovisionamento de Largura de Banda; Qualidade de Serviço; Sessões Multiparte.

## ABSTRACT

*Due to the increase demand of mobile users for content created in a specific and customized way, or adapted to comply with the needs and preferences in web usage, converged networks which are context-sensitive have been incorporated to a promising technology and enabled applications of personalized services to multiple users. The C-CAST project (Context Casting) was established to converged network architectures to support context-sensitive sessions with quality of service (QoS - Quality of Service) in a manner to guarantee to multiple users simultaneously, regardless of their wireless technologies. The C-CAST control mechanism of the Legacy introduces issues of performance degradation, once the signaling approach adopted is directed per-flow, which means that the signaling load increases exponentially with the number of admissions flow. This work proposes the Advanced of C-CAST, which reconstruct the C-CAST legacy system by the extent of innovative mechanisms that integrate dynamic control of provisioned bandwidth by the service classes and allocation overlay trees. Through this strategy, it seeks to reduce rates of control signaling and allocating resources throughout the system. The C-CAST Advanced evaluation is conducted through simulation, demonstrating its benefits in relation to C-CAST Legacy, by significantly optimization the performance levels of the entire network system while keep the network users with the best quality perception.*

## LISTA DE FIGURAS

1.1	Previsão de Tráfego por Tipo de Aplicação .....	14
2.1	Conteúdos mais Pretendidos .....	22
2.2	Arcabouço de Contexto Geral .....	23
2.3	Módulos e Árvore de “Dependabilidade” em Redes.....	24
2.4	Árvores de Distribuição <i>Multicast</i> .....	31
3.1	Cenário do C-CAST Legado .....	37
3.2	Arquitetura de Referência do C-CAST Legado .....	38
3.3	Arcabouços Operacionais do C-CAST Legado .....	42
3.4	Núcleo da Rede com o C-CAST Legado .....	45
3.5	Algoritmo com Funcionalidades do IPT Sobre os ONs .....	46
3.6	Sequência Inicial de uma Sessão Multiparte .....	49
4.1	Arquitetura do Arcabouço de Transporte do C-CAST Avançado.....	52
4.2	Fluxograma do Processo de Estabelecimento de Sessão com o A-NUM. ....	54
4.3	Cabeçalho e Corpo do C-CAST Avançado .....	56
4.4	Inicialização do Sistema com o A-NUM e A-IPT.....	60
4.5	Cenário Inicial do Sistema com o A-NUM e A-IPT. ....	61
4.6	Estabelecimento Direto com o A-NUM e MTO. ....	62
4.7	Diagrama de Estabelecimento de Sessão.....	63
4.8	Diagrama com Reajuste de Limiar no Sistema. ....	65
4.9	Negação de Sessão com o A-NUM. ....	66
4.10	Abandono de Sessão com o A-NUM. ....	67
5.1	Topologia de Rede Utilizada no Modelo de Simulação.....	70
5.2	Carga de Sinalização nos Experimentos com C-CAST Legado e Avançado. ....	73
5.3	A Latência Ante as Configurações dos C-CAST Avançado e Legado .....	75
5.4	A Latência Ante as Configurações dos C-CAST Avançado e Legado .....	77

5.5 Porcentagem de Pacotes Perdidos com os C-CAST Legado e Avançado.....	78
5.6 Atraso de Propagação Médio com os C-CAST Legado e Avançado.....	80

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 MOTIVAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2 OBJETIVO E CONTRIBUIÇÃO.....	17
1.2.1 Objetivo Geral .....	18
1.2.2 Objetivos Específicos .....	18
1.2.3 Contribuição .....	18
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
<b>2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
2.1 SESSÕES PERSONALIZADAS .....	21
2.1.1 Sensibilidade ao Contexto.....	22
2.2 DEPENDABILIDADE EM REDES .....	24
2.2.1 QoS Fim-a-Fim .....	25
2.3 COMUNICAÇÃO EM GRUPO.....	30
2.3.1 <i>Multicast</i> Sensível a QoS .....	33
<b>3-C-CAST LEGADO.....</b>	<b>35</b>
3.1 COMUNICAÇÃO MULTIPARTE.....	35
3.2 ASPECTOS GERAIS DO C-CAST LEGADO.....	36
3.3 COMPONENTES ESTRUTURAIS DO C-CAST LEGADO .....	38
3.4 ARCABOUÇOS OPERACIONAIS DO C-CAST LEGADO .....	42
3.5 ARCABOUÇO DE TRANSPORTE MULTIPARTE.....	44
3.6 CONCLUSÃO PARCIAL.....	50
<b>4 - C-CAST AVANÇADO.....</b>	<b>52</b>
4.1 NUM AVANÇADO .....	52
4.2 IPT AVANÇADO.....	56
4.3 PROTOCOLO DE SINALIZAÇÃO C-CAST .....	56
4.4 OPERAÇÕES SUPORTADAS .....	58
4.5.1 Inicialização .....	60
4.5.2 Controle de Admissão .....	62
4.5.3 Estabelecimento de Sessão com Reajuste de Recursos.....	63
4.5.4 Estabelecimento de Sessão com Reajuste de Limiar de Reservas .....	64
4.5.5 Negação de Sessão .....	66
4.5.6 Abandono de Sessão.....	67
4.5 CONCLUSÕES PARCIAIS .....	68

<b>5 - AVALIAÇÕES DE RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
5.1 CENÁRIO E AMBIENTE DE SIMULAÇÃO .....	69
5.2 METODOLOGIA ADOTADA PARA OS EXPERIMENTOS .....	71
5.3 ANÁLISE E RESULTADOS .....	72
5.3.1 Influência da Carga de Sinalização .....	72
5.3.2 Influência na QoS Prestada as Sessões Acomodadas.....	78
5.3.3 Conclusões gerais dos Experimentos Realizados.....	81
<b>6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>82</b>
6.1 CONCLUSÃO .....	82
6.2 TRABALHO FUTURO.....	83
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação sugere a reestruturação da arquitetura proposta pelo projeto Europeu *Context Casting* (C-CAST) para suporte avançado à alocação de recursos em redes sensíveis ao contexto, na perspectiva de aumentar seu potencial quanto ao desempenho do sistema. A proposta da reestruturação está centrada na premissa de melhorar alguns componentes da suíte C-CAST de acordo com uma estratégia emergente de sobreprovisionamento dinâmico de recursos de rede.

A perspectiva é permitir potencializar a capacidade operacional dos mecanismos embarcados nos nós da rede para maximizar suas capacidades quanto a “escalabilidade”, tempo de resposta, uso da largura de banda, entre outros. Este capítulo é estruturado da seguinte forma: A seção 1.1 aborda a motivação e as principais características da problemática tratada. A seção 1.2 cita o objetivo geral que se persegue nesta pesquisa, bem como as metas específicas abordadas para que se alcancem os pontos almejados. A seção 1.3 menciona como está organizada a estrutura dissertativa dos capítulos deste trabalho.

## 1.1 Motivação e Caracterização do Problema

Atualmente, é notada a crescente demanda na Internet por sessões com teor multimídia, sobretudo por usuários conectados por meio de dispositivos móveis multifuncionais e com alta capacidade computacional (*smartphones* e *tablets*). Segundo pesquisas da (CISCO, 2012) quanto a introspecções quantitativas, até 2016, o tráfego global IP irá crescer quatro vezes, alcançando um marco de 1.3 zettabytes anualmente (110 hexabytes por mês). Além disso, haverá cerca de 3.4 bilhões de usuários (45% da população mundial projetada) e 19 bilhões de conexões globais de rede (fixas e móveis), o equivalente a duas e meia conexões para cada pessoa na Terra. Entre as aplicações IP, a comunicações de vídeo (vídeo sob demanda, IPTV, videoconferência, videovigilância, etc.) será 14 vezes maior do que a demanda atual.

A Figura 1.1 expressa a previsão de tráfego por tipo de aplicação, considerando as seguintes aplicações: Internet, Negócio de IP WAN, móvel de dados, vídeo, Internet Vídeo para TV, Web/Dados, jogos *online*, chamadas de vídeo, compartilhamento de arquivos, VoIP, IPTV, VoD e VoD cabo.

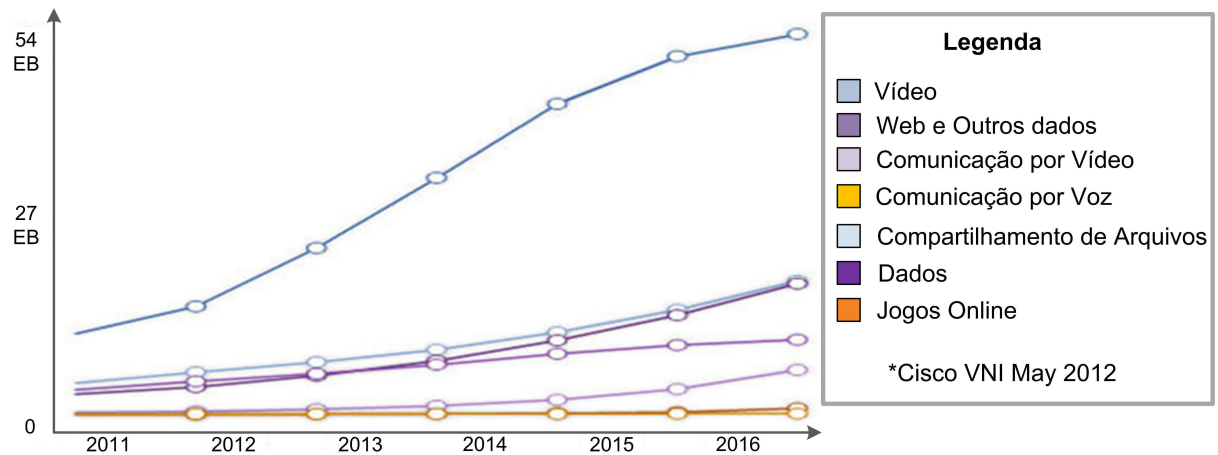


Figura 1.1 - Previsão de tráfego por tipo de aplicação (CISCO, 2012).

Segundo o gráfico apresentado na Figura 1.1, em 2016, aproximadamente 90% dos fluxos IP serão de conteúdo multimídia. Os provedores de serviços IP investem significativamente em pesquisa para desenvolver novos tipos de aplicações como estratégia para aumentar o faturamento e atrair uma relevante faixa do mercado de distribuição e aquisição de conteúdo de sessões com valor agregado, sobretudo multimídia (como IPTV, áudio/videoconferência, videovigilância, carregamento e aquisição de mídias etc.). Na busca de seu diferencial perante os concorrentes, as provedoras de aplicação IP investem bastante na concepção de sessões que permitam aos usuários obter e compartilhar conteúdos criados de forma específica para atender as suas necessidades e preferências, tanto no âmbito pessoal quanto no profissional.

As sessões personalizadas são um importante campo de estudo e têm um grande poder de rentabilidade, principalmente quando envolvem grupos de usuários móveis ou fixos, interligados a redes por enlaces cabeados e/ou não. A heterogeneidade das tecnologias em cenários destinados a suportar sessões personalizadas multiusuário é um grande desafio, pois requer convergência de múltiplas tecnologias (tanto de rede quanto de aplicações) para permitir conexões ininterruptas e acesso ubíquo. Além disso, os usuários desejam receber o conteúdo dessas sessões com qualidade aceitável durante todo o seu tempo de duração.

Como é de conhecimento geral, a arquitetura IP não foi concebida para o cenário há pouco descrito. Além disso, o modelo de transporte aplicado pela arquitetura IP, baseado no melhor esforço (*best-effort*), onde todos os pacotes são tratados da mesma maneira (sem qualquer garantia de entrega e tempo de resposta), não está preparada para acomodar uma quantidade massiva de dados e garantir a entrega de pacotes com nível de qualidade aceitável (ANTONIOU *et al*, 2010).

Para isso, é necessário controlar a admissão de sessões, bem como alocar recursos da rede (largura de banda, estruturas de transmissão, políticas de tratamento de pacotes, disciplinas de encaminhamento etc.), atendendo aos requisitos de Qualidade de Serviço (Quality of Service – QoS) fim a fim e durante todo o tempo de duração. Os requisitos de QoS dependem das características de cada sessão, sendo geralmente definidos, por exemplo, pelo tipo de mídia envolvida, abordagens de QoS suportadas pela rede adjacente, políticas de acesso etc. A incapacidade da arquitetura legada IP em cumprir requisitos de QoS fim a fim torna a tarefa de projetar aplicações com serviços a múltiplos usuários muito árdua e desafiante. O foco deste trabalho é direcionado à alocação dos recursos dirigidos ao contexto para ambientes de redes convergentes quanto ao transporte.

Todas as tentativas para sanar as deficiências da Internet resultaram na inclusão de mais mecanismos e, com isso, contribuíram mais ainda para saturação de seus custos operacionais (consumo de CPU, memória, largura de banda etc.). Portanto, além da incapacidade em prover QoS, a Internet tem grandes limitações de “escalabilidade” (capacidade de acomodar uma crescente quantidade de fluxos sem afetar seu desempenho).

A Internet é bastante infectada ao longo desses anos, com os efeitos negativos da crescente demanda de recursos e de suas limitações operacionais, trazendo sensivelmente, aos usuários lentidão e baixa qualidade. A perspectiva é ainda pior, principalmente em decorrência da hiperconectividade, uma vez que atualmente a quantidade de dispositivos ligados à Internet (gerando e recebendo dados) já é igual à quantidade de habitantes na Terra, sendo que a previsão para 2015 é de ser o dobro.

Para o cenário de sessões personalizadas multiusuário, a Internet deve dispor de mecanismos que combinem controle de QoS (controle de admissão, reserva de recursos etc.) e transporte baseado em grupo (IP *Multicast* por exemplo), para maximizar o uso da largura de banda e otimizar os custos dos serviços de rede envolvidos na entrega de conteúdos. A QoS de uma rede é normalmente aferida por métricas objetivas, incluindo vazão de dados, latência, atraso de propagação, variação do atraso e perda de pacotes (VENÂNCIO NETO *et al*, 2009).

Atualmente, métricas subjetivas são muito utilizadas em redes multimídia para demonstrar o nível de qualidade percebida pelo usuário na recepção de pacotes. Entretanto, Esta dissertação, entretanto considera métricas objetivas, uma vez que o foco se dá na avaliação do impacto dos custos de rede no desempenho do sistema pela otimização das taxas de sinalização geradas para suportar sessões personalizadas multiusuário.

A incapacidade do modelo IP de assistir ou suportar sessões personalizadas multiusuário, atendendo aos seus requisitos de QoS e transporte, motivou o desenvolvimento do projeto C-CAST (*Context Casting*). O projeto C-CAST desenvolveu uma avançada arquitetura sensível ao contexto para dar assistência à criação de contexto fim a fim.

Este arcabouço de distribuição de conteúdo de sessões personalizadas multiusuário (denominado nesta dissertação como C-CAST Legado) define-se (ANTONIOU *et al*, 2010) como: (i) gerenciamento de contexto e habilitadores de sessões em grupo para a representação de contexto, gerenciamento de grupo assistido por contexto e processamento de contexto; (ii) coleta de dados sensoriais, distribuição de informação de contexto e gerenciamento de transporte multiusuário sensível ao contexto; (iii) e criação de conteúdo dirigido ao contexto, com adaptação e fornecimento de mídia.

Em virtude de convergência dos sistemas em redes atuais, uma das premissas do C-CAST Legado é conectar remetentes e grupos de destinatários, anexados a redes de tecnologias com diferentes acessos (IEEE 802.11, IEEE 802.16, 3G e 4G). Além disso, o C-CAST Legado define uma nova arquitetura de redes convergentes para o transporte de dados mediante segmentos com distintos modelos de transporte (*unicast* e *multicast*), denominado de tecnologia multiparte. Para tal, a arquitetura do C-CAST Legado embarca mecanismos inovadores transpondo os padrões IP, tanto no campo de transporte quanto no controle dos recursos de rede.

Quanto ao transporte sobre redes convergentes, dados são entregues ao longo de árvores abstratas multiparte (*Abstract Multi-partyTrees* - AMTs), que são estruturas de redes sobrepostas (*overlay*) com funcionalidades de tradução *unicast-multicast* e *multicast-unicast* ao nível de transporte, diferentemente do estado da arte que ordinariamente implementa tal funcionalidade ao nível de rede ou aplicação. As funcionalidades citadas são relevantes porque abstraem a complexidade de reserva de recursos para a camada de transporte, permitindo viabilizar a entrega de sessões multiparte sensíveis ao contexto.

No que diz respeito ao controle de rede sensível contexto, o C-CAST Legado adota um arcabouço hierárquico de nós *overlay* (*Overlay Nodes* - ON) com capacidade de provisionamento dinâmico de recursos de rede (COUTINHO *et al*, 2010). Além disso, a arquitetura do C-CAST Legado conta com uma abordagem de sinalização otimizada (em comparação ao estado da arte IP) para orquestrar funcionalidades embarcadas nos ONs existentes no núcleo da rede, bem como ativar as funções para adaptar os padrões de reserva dos recursos na rede para a AMT selecionada.

Esta abordagem de sinalização otimizada segue o modelo por fluxo, significando que o mecanismo é ativado todas as vezes que o estabelecimento de uma sessão for requisitado. Com efeito, a carga de sinalização cresce exponencialmente com os pedidos de sessões, incorrendo em questões de desempenho de todo o sistema na rede pela sobrecarga gerada.

Recentemente, técnicas avançadas de controle de recursos de rede baseadas em sobreaprovisionamento (VENÂNCIO NETO *et al*, 2008) foram propostas como alternativa aos mecanismos tradicionais orientados a fluxo.

A ideia é controlar dinamicamente os recursos alocados, aprovisionando além do que está sendo demandado no momento, tendo como base o uso de uma abordagem de sinalização de baixo custo, a qual restringe a geração de eventos de sinalização apenas para inicializar o sistema e adaptar os padrões dos recursos sobreaprovisionados. Portanto, esta abordagem de sinalização de baixo custo diminui drasticamente as taxas de sinalização dos sistemas por fluxo. Os padrões de recursos estabelecidos não são adaptados a cada pedido de estabelecimento de sessão (como em sistemas por fluxo), mas somente quando é necessário expandir a quantidade de recursos sobreaprovisionados, de modo a permitir admissão de múltiplas sessões sem qualquer evento de sinalização.

Em razão dos seus benefícios, a adoção de mecanismos orientados a sobreaprovisionamento mostrou-se muito superior à dos instrumentos por fluxo (VENÂNCIO NETO *et al*, 2008), visto que possibilita a otimização dos custos operacionais de serviços de rede, e provavelmente diminuição do consumo de energia e do tempo de resposta na realização de operações. Nessa perspectiva, acredita-se que a arquitetura do C-CAST Legado pode se favorecer dos benefícios aplicados da estratégia de sobreaprovisionamento para melhorar suas capacidades quanto a desempenho e “escalabilidade”, pela conexão de sessões personalizadas multiparte com menor custo operacional de rede.

## **1.2 Objetivo e Contribuição**

Na sequência, é expresso o objetivo geral definido nesta dissertação, bem como são trazidos os objetivos específicos necessários para alcançá-lo.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é melhorar o mecanismo de provisionamento e alocação de recursos da arquitetura do C-CAST Legado para maximizar seu potencial de “escalabilidade”.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

No intuito de alcançar o objetivo geral definido para esta pesquisa, os seguintes objetivos específicos foram designados.

- Especificar um novo mecanismo de controle de admissão para provisionar e alocar recursos em redes convergentes sensíveis ao contexto.
- Elucidar os requisitos e operações suportadas pelo mecanismo de controle de admissão.
- Esboçar os componentes estruturais do mecanismo de controle de admissão.
- Especificar os componentes operantes no núcleo da rede.
- Criar mais funções para os mecanismos que operam no núcleo da rede, observando os requisitos operacionais para prover satisfatório controle de admissão na rede.
- Criar mais funções para o mecanismo de controle e alocação de recursos para as operações realizadas no núcleo da rede.
- Coletar, comparar e analisar os resultados obtidos por experimentos controlados.

### 1.2.3 Contribuição

Este trabalho visa a possibilitar a conexão de sessões personalizadas multiparte em redes convergentes sensíveis ao contexto por meio de um arcabouço de baixo custo operacional, que objetiva visa maximizar os níveis de desempenho e “escalabilidade”, assim como garantir QoS fim a fim durante todo o tempo de vida da sessão. A principal contribuição científica deste trabalho ocorre pelo fato de melhorar a arquitetura do C-CAST Legado com novos módulos e mecanismos avançados, a fim de controlar os recursos de rede conforme a estratégia de sobreprovisionamento, tanto em largura de banda quanto para as AMTs.

Esta nova arquitetura é denominada de C-CAST Avançado, correspondente a uma inovação no cenário de redes convergentes sensíveis ao contexto, não se tendo conhecimento de solução similar. Além disso, um modelo de simulação foi desenvolvido para aferir os custos impactados pela adoção do C-CAST Avançado tanto no desempenho da rede quanto na percepção dos usuários por métricas objetivas. Para tal, a ferramenta de simulação Network Simulator v.2 (NS-2) foi utilizada. O NS-2 foi estendido com os módulos da arquitetura C-CAST Avançada, sendo a implementação de domínio público.

A avaliação do C-CAST Avançado demonstrou superioridade em relação ao C-CAST Legado, no que diz respeito aos custos de rede para conectar sessões personalizadas multiparte e garantir níveis de QoS perceptíveis aos usuários. Este trabalho incrementa e aborda novas funcionalidades que permitem, no âmbito da comunidade acadêmica, um avanço na compreensão de redes convergentes sensíveis ao contexto, bem como a natureza operacional da demanda de recursos a satisfazer os requisitos funcionais das redes da próxima geração.

Outra contribuição é traçar os meios para viabilizar um desempenho favorável perante os desafios operacionais de redes convergentes sensíveis ao contexto. Partes deste trabalho foram apresentadas e publicadas em três conferências internacionais, e espera-se publicá-lo em um periódico qualificado.

### **1.3 Estrutura da Dissertação**

Este trabalho foi desenvolvido seguindo a forma delineada a seguir. O Capítulo 2 traz a fundamentação teórica do trabalho, descrevendo o estado da arte das tecnologias envolvidas no desenvolvimento do ensaio. Todos esses aspectos fundamentam as operacionalidades básicas para a viabilização da arquitetura do C-CAST Avançado. O Capítulo 3 tem por objetivo fornecer uma descrição geral do C-CAST Legado, exibindo os fundamentos científicos e tecnológicos, incluindo componentes fundamentais e suas operacionalidades.

O Capítulo 4 expressa profundamente, a proposta deste experimento acadêmico, o C-CAST Avançado. Como tal, é descrita a especificação da proposta, privilegiando sua arquitetura e seus módulos, as interfaces implementadas, bem como as funcionalidades suportadas.

No Capítulo 5, são indicados os procedimentos utilizados para avaliar o impacto no desempenho da rede e na qualidade percebida pelos usuários móveis pela utilização do modelo e simulação configurada, tanto com o C-CAST Avançado quanto com o C-CAST Legado. O Capítulo 6 tece as considerações finais do texto, aduzindo as conclusões e trabalhos futuros identificados pelos resultados. Por fim, o Capítulo 7 contém a lista com as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento da dissertação.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos dias atuais, a *Internet* passa por mudanças profundas, procedentes da crescente demanda de sessões compostas por conteúdo gerado por aplicações lógicas com valor agregado ao usuário, tais como: vídeo/audioconferência, contexto computacional, armazenamento de dados em nuvens computacionais e integração de redes convergentes. Tais sessões se caracterizam por severos requisitos de qualidade (como sensibilidade ao tempo e perdas), que não podem ser totalmente cumpridos pelos mecanismos padronizados da arquitetura IP.

Várias tecnologias da informação e comunicação (TICs) foram propostas pela comunidade científica para lidar com o quadro supracitado, com vistas a provisionar recursos para as sessões com rigorosos requisitos de rede. Na sequência deste capítulo, descreve-se o estado da arte no âmbito do suporte de sessões personalizadas multiparte sobre redes convergentes sensíveis ao contexto. O foco deste trabalho é diminuir os custos dos recursos de transporte, melhorar o desempenho de redes convergentes sensíveis ao contexto, bem como permitir sobreprovisionamento de sessões personalizadas multiparte. Outro aspecto relevante é o entendimento operacional das estratégias de provisionamento de recursos para o arcabouço de transporte de ambas as arquiteturas.

### 2.1 Sessões Personalizadas

Atualmente é notada uma grande tendência, por parte dos provedores de serviços de Internet (*Internet Service Providers – ISPs*), em desenvolver sessões de aplicações com conteúdos orientados aos usuários (SCHNEIDER *et al* 2010), denominadas sessões personalizadas. Nestas, seu processamento ocorre sob a premissa de estarem adequadas ao perfil do(s) usuário(s) envolvido(s) (como preferências, localização, comportamento, etc.), bem como associar outras informações do ambiente (como georreferenciamento, condições climáticas e outros). Além das sessões personalizadas, é notado também o aumento agressivo na demanda por conteúdo multimídia na Internet, haja visto o fato de que estudos recentes projetam para até 2020 a possibilidade de que 80% do conteúdo trafegado na Internet será composto por vídeo, áudio e imagem (integrados ou não) (HOURCADE *et al*, 2009). Na Figura 2.1 são demonstrados os conteúdos mais pretendidos pelos usuários na web.

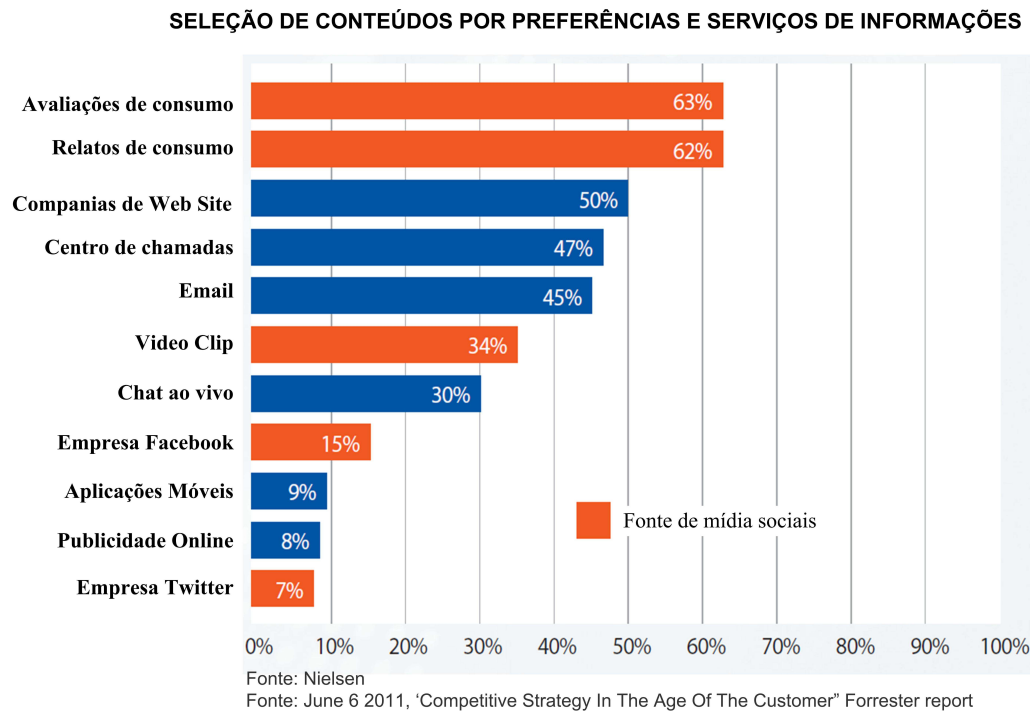


Figura 2.1 - Conteúdos mais Pretendidos (BERNOFF *et al*, 2011)

Na Figura 2.1 é abordada a ideia de que o 'ter' perde sentido e a experiência auferida cada vez mais importância para os usuários. Segundo as declarações de Roxo *et al* (2010) e Simões *et al* (2010), em meados de 2020 não haverá mais distinção entre real e virtual, de modo que o consumidor terá amplos poderes sobre como vai querer consumir produtos e serviços. Empresas terão que ser radicalmente transparentes e aprender a tratar o consumidor de forma efetivamente personalizada, e poderão usar a internet cada vez mais para acessar os clientes finais, a fim de identificar padrões de comportamento e, com base nisso, desenvolver linhas de produtos que se encaixam de forma perfeita nesses padrões (ROXO *et al*, 2010). Portanto, a tendência dos ISPs é de investir em sessões multimídia personalizadas, para atrair um nicho de mercado altamente promissor e rentável. Para tal, o conceito de sensibilidade ao contexto se destaca como tecnologia emergente para viabilizar o desenvolvimento de sessões personalizadas.

### 2.1.1 Sensibilidade ao Contexto

O contexto, de modo geral, pode ser associado ao significado de um conjunto de dados e informações disponíveis no espaço cibernético e que podem ser tratados por mecanismos de controle de admissão para definir políticas de alocação de recursos.

Segundo Loureiro *et al* (2009), o contexto se define como informações que permitem extrair algum significado lógico e que poderão ser utilizadas para inferir o comportamento de entidades (pessoa, lugar ou objeto).

O contexto não é simplesmente um estado, mas parte de um processo. Não é suficiente que um sistema se comporte corretamente num dado instante: ele deve comportar-se corretamente durante o processo no qual os usuários estão envolvidos (COUTAZ *et al*, 2005). A fusão de várias informações (contextualização) projeta a ativação de funcionalidades específicas aos usuários de forma personalizada (estabelecimento de uma sessão, no âmbito deste trabalho).

Coletar todas estas informações, entretanto é uma tarefa desafiadora, não apenas pela natureza distribuída dos sistemas e suas necessidades de segurança e privacidade, mas também pela quantidade de informações que devem ser tratadas em tempo real. Uma aplicação pode ser considerada sensível ao contexto se esta faz uso de dados sobre o contexto de entidades relevantes ao seu domínio para fornecer informações ou serviços aos seus usuários. A Figura 2.2 exemplifica o quão diferentes são as entidades e dispositivos que podem produzir informações de contexto na rede.

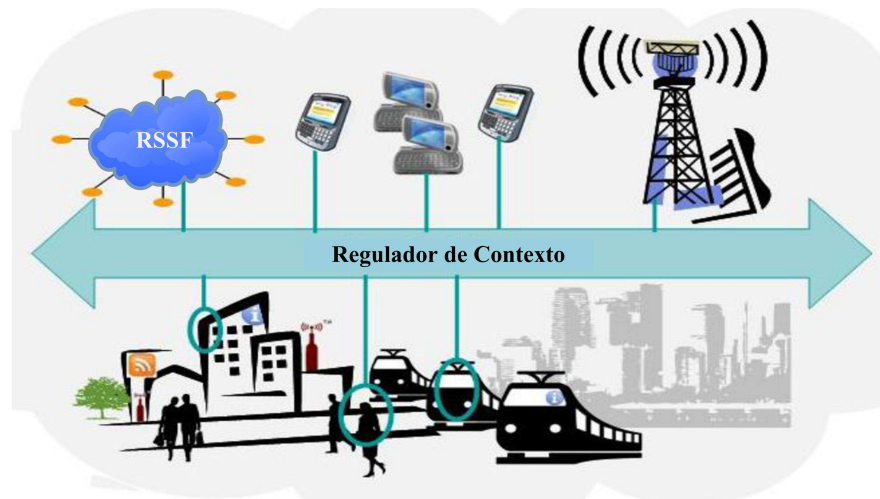


Figura 2.2 - Arcabouço de Contexto Geral (C-CAST, 2012)

Exemplos de aplicações sensíveis ao contexto no âmbito deste relatório de pesquisa está relacionada à aquisição de dados relativos ao comportamento dos usuários na rede, bem como padrões de navegação, conteúdos acessados, tecnologia e dispositivos de conexão utilizados. Neste ensaio, contudo não é investigado como ocorrem o processamento e a adequação de contexto, uma vez que o foco está no plano de controle e não no plano de dados, entretanto é levado em conta sua existência e disponibilidade

A integração de computação móvel, sensibilidade ao contexto e conteúdo multimídia é bastante promissora, sobretudo em perspectiva quanto à hiperconectividade. Para tal ocorrer é fundamental que a infraestrutura de rede adjacente tenha potencial de “dependabilidade” (Seção 2.2), no sentido de garantir serviços eficientes aos usuários.

## 2.2 “Dependabilidade” em Redes

Na lição de Avizienis *et al* (2004), “dependabilidade” é a propriedade de um sistema em prover confiança em seus serviços oferecidos, de acordo com os seguintes atributos: confiabilidade, “manutenabilidade”, disponibilidade, segurança e sobrevivência. A “dependabilidade” em redes fornece justificativas de confiança para os serviços operacionais disponíveis aos usuários, como mencionado na Figura 2.3.

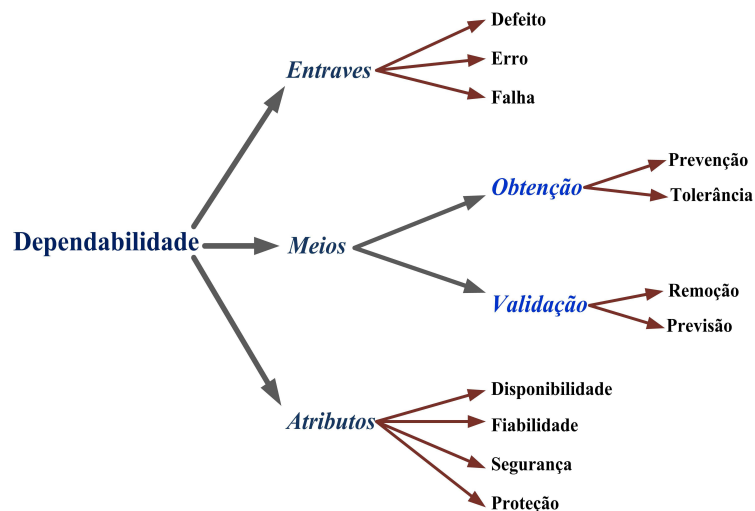


Figura 2.3 –Módulos e Árvore de Dependabilidade em Redes (Produção Própria).

Na Figura 2.3, existem definições operacionais que contribuem para prover confiabilidade em sistemas de comunicação, fornecendo adequadas e corretas ações a serem seguidas pelos sistemas para que se alcancem serviços satisfatórios. Na mesma Figura são mostrados componentes que fazem parte de uma árvore de “dependabilidade”, onde existe uma ligação de conceitos em que se abordam os requisitos de uma rede “dependável”. Os termos correspondem aos entraves, os meios e atributos, cada componente possuindo suas devidas ramificações de relacionamento. Os usuários adequadamente podem ser considerados outros sistemas (físicos ou humanos) que interagem com a interface do serviço. A falha de um sistema ocorre em virtude de um evento que desvia o serviço de seu comportamento esperado e correto para um dado momento.

Já o tempo entre a falha do serviço e a volta do seu funcionamento é denominado tempo de restauração. Um dos requisitos de sistema para se alcançar a “dependabilidade” em rede é possuírem operacionalidade nas redes com atributos característicos de:

*autorrecuperação* - continuidade dos serviços prestados;

*disponibilidade* - fornecendo rapidez no fornecimento de serviços prestados;

*integridade* - as redes precisam ser imunes às alterações não autorizadas;

*segurança* - necessário para estabelecer um ambiente operacional capaz de suportar avarias estabelecidas pelo usuário ou pelo ambiente;

*manutenção* - a rede deve passar por modificações ou reparos;

Para estabelecer e manter características de “dependabilidade” em uma rede de computadores, os requisitos de usabilidade aumentaram de forma significativa nos últimos tempos (exemplo: telas sensíveis ao toque, comandos de voz etc.). Este aumento considerável é algo relacionado com a interoperabilidade oferecida pela integração dos serviços de dados, voz e vídeo e a consequente redução dos custos associados. Esses serviços devem ser prestados de forma contínua, mesmo quando ocorrem falhas de *hardware* ou de *software* na rede. Nesse sentido, são abordadas estratégias de continuidade de serviços oferecidos pela utilização de mecanismos de gerenciamento de recursos e protocolos adaptativos que controlam o fornecimento de recursos computacionais de acordo com os contextos das operações submetidas aos serviços disponíveis em rede.

Para “dependabilidade”, é essencial suportar mecanismos de controle de qualidade de serviço (*Quality of Service- QoS*) na rede que atenda aos requisitos de qualidade das sessões em todo o seu tempo de vida (fim a fim).

### 2.2.1 QoS Fim-a-Fim

Segundo Kurose e Ross (2010), QoS pode ser definido como a habilidade de ministrar diferentes prioridades a pacotes associados a várias aplicações, usuários ou fluxo de dados, tal como manter uma taxa de *bits* requisitada, mínimos atrasos, mínimas variações de atrasos e baixas probabilidades de perdas de pacotes ou taxas de erros de *bits*, a fim de suportar eficientemente os requisitos de QoS acordados, tal como largura de banda, provisionamentos de recursos, mínimas taxas de latência e outras. Todas as características acima citadas são essenciais para um bom funcionamento da rede.

O mecanismo de provisionamento de recursos, todavia precisa considerar a implementação de controle de QoS. Um dos principais objetivos do provisionamento é dar assistência à alocação de recursos. A alocação de recursos na rede engloba um conjunto de métodos para se tomar decisões sobre como utilizar os recursos disponíveis (VENÂNCIO NETO, 2008). A implementação desse conceito é alcançada pelo aumento de prioridade de alguns fluxos e limitando a prioridade de outros (CONDEIXA, 2009).

Para tentar garantir QoS fim a fim, existem ferramentas de gerenciamento de congestionamento aptas a distinguir os fluxos com diferentes prioridades e dispor deles em variadas filas, com diversos modos de tratamento. Uma forma de conduzir QoS é aplicando condicionamento ao tráfego, com métodos de escalonamento de pacotes, disciplinas de filas e aplicação de políticas. A métrica de escalonamento *First In First On* (FIFO) não garante reservas de recursos na rede.

O suporte a QoS envolve operações que devem ser realizadas na rede, como controle de admissão, reserva de largura de banda, balanceamento de carga, condicionamento de tráfego, policiamento, etc. A coordenação dessas operações entre os nós envolvidos é realizado por meio de protocolos de rede com suporte a QoS. No caso da Internet, o protocolo de QoS adotado de fato é o Protocolo de Reserva de Recursos (*Resource Reservation Protocol* - RSVP) (RFC 2208), o qual é utilizado para instalar e manter reservas de largura de banda, em roteadores de um determinado caminho de dados, para cada fluxo solicitante por meio de uma abordagem de sinalização de duas etapas: (i) checagem de recursos (da fonte ao destino, *downstream*); (ii) e instalação do estado de reserva (do destino a fonte, *upstream*). Outro exemplo de protocolo de QoS IP padronizado é o QoS-NSLP (*QoS NSIS Signaling Layer Protocol*) (MANNER et al, 2010), que também tem sua arquitetura base em cada fluxo, porém adota uma abordagem de sinalização de apenas uma etapa para checagem de recursos e instalação de reservas na direção *downstream*.

As abordagens de QoS IP padronizadas pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) são: serviços integrados (*IntServ*) (RFC 1633), serviços diferenciados (*DiffServ*) (RFC 2475) e *Multi-Protocol Label Switching* (MPLS) (RFC 5462).

Mediante a abordagem de QoS *IntServ* define uma arquitetura que garante QoS para o fluxo através de classificação de tráfego e um algoritmo de escalonamento no roteador da rede. A *IntServ* adota o protocolo RSVP (RFC 2208) para manter a arquitetura centrada em reserva de largura de banda. Segundo Valbom (2009), o *IntServ* é baseado em mecanismo por fluxo, ou seja, manipula um só fluxo por vez.

Pelo fato de se basear em mecanismo por fluxo, o *IntServ* enfrenta questões de “escalabilidade”, uma vez que seu desempenho se degrada com o aumento da quantidade de fluxos admitidos. As questões de “escalabilidade” proporcionaram dificuldades no desenvolvimento do *IntServ*. Além disso, a arquitetura *IntServ* é de alta complexidade, o que pode comprometer ainda mais o desempenho do sistema como um todo.

O MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) é uma arquitetura comutável que usa métodos orientados a conexão baseado em rótulos para rotear pacotes (ROSEN *et al*, 2001). O MPLS também tem sua arquitetura baseada em reserva de largura de banda, e se beneficia do RSVP para tal. O processo pelo qual esse mecanismo opera, entretanto, introduz alta complexidade e questões de sobrecarga na rede em virtude de necessidade de mapear endereços IP com os rótulos anexados aos pacotes transmitidos. Na sequência, para prover novas funcionalidades de roteamento, é citado um mecanismo padronizado para diferenciar e classificar os serviços na rede, chamado *DiffServ*.

O *DiffServ* surgiu com o objetivo de simplificar o núcleo da rede, concentrando a complexidade do controle de QoS nos roteadores da borda da rede (RFC 2475). Desse modo, os roteadores de borda associam cada pacote a um distinto serviço de rede que é mapeado em uma classe de serviço (*Class Service* - CoS). Com isso, o *DiffServ* se torna uma abordagem de QoS mais escalável em comparação com os padrões supracitados. A principal limitação do *DiffServ* está no fato de não embarcar um mecanismo de controle de admissão, o que facilmente leva a problemas de violação de QoS em situações de congestionamento. Para isso, o *DiffServ* necessita da assistência de mecanismos externos, o que pode contribuir para elevação do custo operacional da rede.

Baseada nas lacunas encontradas nas abordagens de QoS IP acima relacionadas, a comunidade científica propõe outras soluções para “dependabilidade”. O *Multi-Service Resource Allocation* (MIRA) é proposto em Venâncio Neto *et al* (2007), sendo uma suíte composta por mecanismos de controle de QoS, que orquestram controle de admissão e reserva de recursos por classe para sessões *multicast* de uma só vez em redes assimétricas. A ideia do MIRA é aprovisionar recursos de rede para satisfazer os requisitos de QoS de cada fluxo na CoS indicada.

O controle de recursos (reserva de largura de banda por CoSs e árvores IP *multicast*) é aplicado por meio de especificações a nível de serviços (*Service Level Specifications* - SLS) (WESTERINEN *et al*, 2001) em uma só operação *downstream*, entre o roteador de entrada e o(s) de saída.

Na solução proposta pelo MIRA, os agentes dos roteadores de núcleo controlam e otimizam o encaminhamento de pacotes, armazenando o estado das reservas atribuído às classes. Nessa solução, os agentes localizados no roteador de borda armazenam todas as informações importantes do estado da rede, tais como a lista dos roteadores internos envolvidos na rota reservada, informações de sobrerreserva atribuídas por classe para os roteadores de borda, as definições dos fluxos de sessão e informações sobre a disponibilidade de CoS (ex. tolerância a falhas e atrasos). A coordenação dos agentes do MIRA é realizada por meio do protocolo MIRA (MIRA Protocol - MIRA-P) (VENÂNCIO NETO *et al*, 2007).

O mecanismo de controle de admissão por fluxo do MIRA sinaliza o sistema para tentar reservar recursos e criar árvore *multicast* toda vez que recebe um pedido de estabelecimento de sessão. Esse fato compromete sua funcionalidade ante a um crescimento exponencial de requisição de recursos, pois o nível de sobrecarga do sistema é diretamente proporcional à quantidade de pedidos de sessão.

Em Venâncio Neto *et al* (2008), todavia, foi proposto o mecanismo MARA (*Multi-user Aggregated Resource Allocation*) para minimizar a quantidade de sinalização e os custos operacionais da rede (CPU, memória, etc.), atribuídos ao uso da suíte por-fluxo MIRA, em redes com nó único de entrada.

O MARA classifica os recursos de rede como QoS e transporte, para lidar com sobrerreserva de largura de banda e árvores *multicast* agregadas respectivamente. O sobreaprovisionamento de recursos significa alocar tanto as sobrerreservas por CoS quanto as árvores agregadas, na perspectiva de admitir múltiplas sessões sem qualquer evento de sinalização. O MARA apenas sinaliza a rede em seu início (para instalar os recursos de QoS e transporte), para reajustar os recursos de QoS e para avisar de uma falha de enlace. Como no MARA, as informações de QoS e transporte são disponibilizadas antecipadamente apenas ao agente de borda (isto é, o nó de entrada), a complexidade é concentrada nele, fazendo com que o núcleo da rede seja simples.

O MARA concede um aumento no potencial de “escalabilidade” das redes da próxima geração. Sua limitação arquitetural, entretanto, a apenas ser utilizada em redes com um só ponto de entrada, restringe totalmente seu uso na maioria das redes atuais, bem como nas redes futuras. Além disso, o MARA necessita da assistência da abordagem de roteamento disponível (OSPF no caso), o qual informa o IP do próximo salto a partir do nó de entrada (em direção ao nó de saída).



Com base no IP fornecido, o MARA indexa sua tabela de estado em busca da melhor árvore agregada disponível. Com isso, o MARA tende a esgotar os recursos de determinados caminhos. Somente a partir disso é que escolhe outros caminhos disponíveis.

O mecanismo QoS-RRC (QoS – *Routing and Resource Control*) (VENÂNCIO NETO *et al*, 2010b) foi proposto para lidar com o novo modelo de transporte de rede definido para a Internet do Futuro segundo o projeto europeu 4WARD [4WARD, 2012]. O QoS-RRC estende o MARA com suporte a um algoritmo de roteamento, o qual torna seu mecanismo de escolha de caminhos independente da abordagem de roteamento subjacente. Além disso, o algoritmo de roteamento do QoS-RRC é sensível a balanceamento de carga, o qual permite escolher múltiplos caminhos para um mesmo fluxo, com vistas a otimizar o uso da largura de banda do sistema. O QoS-RRC, entretanto, também foi projetado para operar sobre redes com único ponto de entrada, e assim limita bastante suas oportunidades em redes atuais e futuras.

Em Logota *et al* (2010), é proposto o COR (*Class-based resource Overprovisioning*) sendo um mecanismo totalmente distribuído para controle de recursos sobreaprovisionados em ambientes com múltiplos roteadores de entrada. O COR teve como principal motivação o problema do MARA em ambientes com múltiplos nós de entrada. O COR adota um mecanismo de correlação de caminhos e sincronismo entre os nós de entrada, o que evita totalmente violação de QoS, enquanto mantém a abordagem de sinalização restrita a inicializar os recursos do sistema e reajustar as sobrerreservas.

O COR tem uma arquitetura totalmente distribuída, e assim é necessário que todos os nós de entrada se comuniquem entre si sempre que uma nova sessão é admitida para convergência. Essa abordagem de sinalização pode comprometer o desempenho da rede como um todo, sobretudo na presença de falha de um enlace, onde todas as sessões precisam ser rerroteadas, e assim o sistema tem de chamar um pedido de estabelecimento de sessão a cada fluxo que precisa ser rerroteado. Portanto, o COR tende a violar o principal benefício clamado pela estratégia baseada em sobreaprovisionamento, onde sua abordagem de sinalização não é tão restrita assim.

As soluções supracitadas necessitam considerar mobilidade e capacidade de comunicação em grupo, ante a crescente demanda de serviços requisitados em rede. Na seção seguinte são abordadas as principais características operacionais, citando soluções e limitações da filosofia de comunicação em grupo, expressando suas aplicabilidades em redes convergentes sensíveis ao contexto.

## 2.3 Comunicação em Grupo

Existem diferentes modelos de comunicação para distribuir o tráfego sobre uma rede IP: *unicast*, *multicast* ou *broadcast*. A tecnologia *unicast* é utilizada para a conexão entre a fonte multimídia e apenas um usuário (exemplos: caso vários usuários requisitem o mesmo dado, uma cópia separada será transmitida da fonte para cada um deles.). Em uma transmissão *unicast* (RFC 4193), o encaminhamento de dados é realizado ponto a ponto, e a quantidade de fluxos replicados no mesmo caminho é diretamente proporcional à quantidade de destinatários. Já no modelo de comunicação *broadcast* (RFC 919), não existe a definição de destinatários, sendo que todos os pacotes devem ser replicados a todas as máquinas devidamente interconectados em rede.

O conceito de *multicast* (RFC 4607) envolve métodos ou técnicas de transmissão de um pacote de dados para múltiplos destinatários ao mesmo tempo. Em uma transmissão *multicast*, a fonte propagará os pacotes de dados em um fluxo, e nós especiais na rede (*branching nodes*) têm a responsabilidade de fazer a replicação até os nós de saída. Cabe aos receptores se anexarem ao grupo *multicast* para assim captar esta transmissão e reproduzi-la.

Essa técnica tem alto potencial por permitir a otimização significativamente do consumo de largura de banda da rede. Configurar a comunicação de grupos usando *multicast* é trivial, bastando associar um endereço de *multicast* para cada grupo e a fonte emissora. Protocolos IP especialmente definidos são utilizados para solicitar a junção no grupo (IGMP (RFC 4604) e MLD (RFC 4604)), e para criar a árvore *multicast* (PIM (RFC 4601)).

Para aplicações que possuem múltiplos destinatários, a transmissão via *multicast* oferece vantagens em relação às opções *unicast* e *broadcast*, isto porque a replicação de pacotes é restrita aos *branching nodes* e somente os usuários que se juntaram ao grupo irão receber o conteúdo pretendido. Observando a evolução da Internet, existem aplicações que possuem potencial para atingir milhares de usuários simultaneamente. Por exemplo, milhares de pessoas assistirem diretamente a um *show* ou a uma partida de Copa do Mundo, isto sendo transmitido com áudio e vídeo via Internet.

A tecnologia *multicast* permite que as aplicações sejam escaláveis, ou seja, que sirvam a um grande número de usuários, sem sobrecarregar a rede. Com *multicast*, porém, não existe a garantia de entrega confiável para os dados. Os serviços relevantes, tais como o controle de fluxo, de congestionamento e erros, são tratados por camadas superiores a rede.

Procurando corretamente estabelecer um estado da árvore de roteamento e encaminhar regras para o tráfego, os protocolos *multicast* utilizam informações da tabela com informações de rotas *multicast* (MRIB) (RFC 4601), as quais são armazenadas em cada específico roteador na rede. Segundo Solie e Lynch (2003), os roteadores com suporte a comunicação *multicast* criam árvores de distribuição (Figura 2.4) para manipular as rotas de tráfego sobre a rede, tendo a finalidade de entregar o tráfego a todos os receptores. Estas árvores são criadas com base no endereço do grupo *multicast* e garantem que apenas um caminho entre dois roteadores é utilizado, evitando-se assim ocorrência de *loops*. Com a característica dinâmica dos grupos *multicast*, os membros que entram e saem a qualquer momento, obriga a constantes atualizações de conteúdo nas árvores. Existem dois tipos de árvore de distribuição, (i) a ligada à fonte (Figura 2.4a) e a (ii) compartilhada (Figura 2.4b).

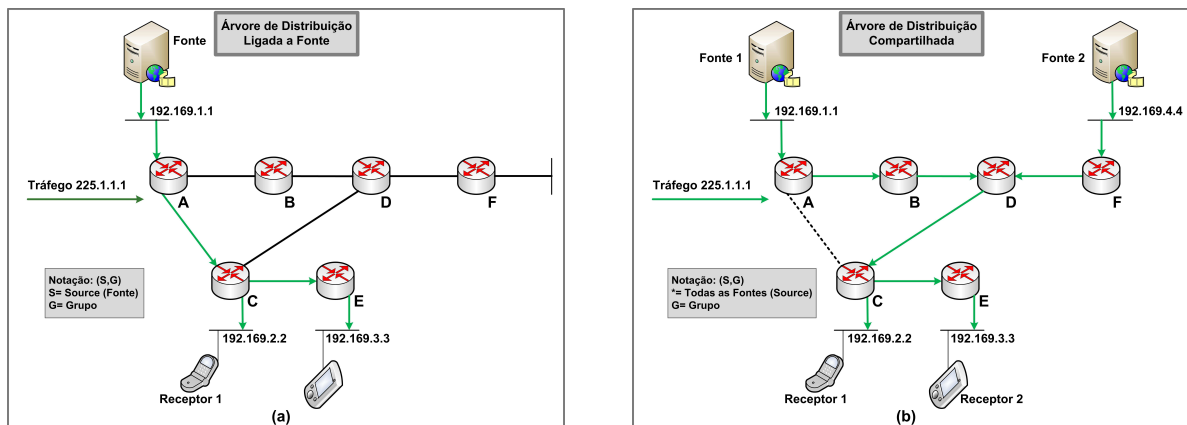


Figura 2.4 - Árvores de Distribuição *Multicast* (Produção Própria)

O tipo ‘ligada a fonte’ é a estratégia mais trivial das árvores de distribuição, onde existe um ponto de referência que representa a fonte do grupo *multicast* e suas ramificações distribuem-se pela rede até os receptores. Oportunamente essa estratégia é conhecida como árvore de menor rota por viabilizar o menor caminho *unicast* até o receptor. Caso a abordagem do roteamento *unicast* seja feita com base em número de saltos, sua ramificação possuirá o menor número de saltos, se for baseada no atraso possuirá o menor atraso.

Segundo Solie e Lynch (2003), a fonte de grupo *multicast* corresponde a uma árvore que estabelece a conexão entre a fonte e os seus receptores. Uma vez construída a árvore todo o tráfego *multicast* desse grupo a percorre. No seu funcionamento, são criadas entradas do tipo (S,G) com fonte (*source*) e grupo, onde S é o endereço *unicast* da fonte e G é o endereço *multicast* do grupo, associados a uma lista das interfaces de saída. A Figura 2.4(a) representa o fluxo final do tráfego de informações *multicast* em uma árvore de distribuição para um grupo *multicast*, com ponto inicial na fonte do grupo e com dois receptores.

As entradas (S,G) da Figura 2.4(a) são criadas em todos os roteadores que participam da árvore, organizando os componentes que fazem parte do grupo.

O tipo ‘compartilhada’ utiliza em princípio, como referência, um ponto de convergência localizado em qualquer lugar da rede. Esse ponto é denominado de raiz compartilhada (ou *Rendez-vous Point* – RP). Com o uso desse ponto compartilhado, a fonte envia todo seu tráfego ao RP, e o mesmo se encarregará de encaminhar o tráfego a todos os receptores; e esses devem sinalizar ao RP seu desejo de receber determinado tráfego, com isto não fica presumido que todos os dispositivos são receptores, resultando assim em uma árvore para cada grupo *multicast*, sem importar quantas fontes existem para certo grupo, contudo, apenas os roteadores que pertencem à árvore conhecem a existência do grupo. Dessa forma, o tráfego é enviado apenas aos receptores que o requisitaram.

Na Figura 2.4 (b) cada roteador integrante da árvore deve criar uma entrada (\*,G). G é o endereço do grupo *multicast* e o \* representa uma fonte operante (\*,225.1.1.1); essas entradas devem referenciar as interfaces que fazem parte do grupo no roteador.

Os membros de grupos *multicast* possuem características dinâmicas, que podem sair dos grupos a qualquer momento, submetendo atualizações para as árvores de distribuição de forma constante. Caso todos os receptores de um segmento de mensagem deixem de participar de um grupo específico, o roteador poda esses possíveis segmentos, mantendo-os fora da árvore de distribuição.

Quando, porém, um receptor requisitar novamente tráfego *multicast*, o roteador modificará dinamicamente a árvore de distribuição e passará a encaminhar o tráfego *multicast* para o destino com os adequados segmentos de mensagem. As árvores ligadas à fonte possuem a vantagem de estabelecer caminhos otimizados entre as fontes e os receptores, garantindo um nível mínimo de latência; isto em razão ao encaminhamento de tráfego. Para isso, os roteadores devem armazenar o caminho para atingir cada fonte em uma rede com muitas fontes e muitos grupos; e o consumo de memória é um fator que deve ser levado em consideração, para permitir adequada comunicação para as sessões dos usuários na rede, visto que os roteadores necessitam suprir a demanda requisitada.

A vantagem das árvores compartilhadas está em utilizar menos memória, uma vez que só armazenam o endereço dos grupos. Os caminhos utilizados podem não ser os mais otimizados, o que pode introduzir alguma latência, em razão do encaminhamento de tráfego. Logo para minimizar este tipo de impacto, a localização do RP deve ser bem estudada.

A comunicação *multicast* permite que aplicações sejam escaláveis, ou seja, que sirvam a um grande número de usuários sem sobrecarregar a rede. Com *multicast*, entretanto, não existe a garantia de entrega confiável para os dados, embora os pacotes sejam enviados corretamente. Os serviços relevantes, tais como o controle de fluxo, congestionamento e falhas, são tratados por nível acima da camada de transporte. Neste trabalho, em decorrência de a intenção ser a entrega de dados para múltiplos receptores com garantias de QoS, IP-*Multicast* seria a melhor solução a ser adaptada, desde que seu esquema de restrição de banda permitisse pacotes duplicados somente quando necessário.

Contrariando a otimização do consumo de banda, IP-*Multicast* não pode prover garantia de recursos para sessões com restrições de QoS, tais como conferências de vídeo/áudio e IPTV. Conseqüentemente, faz-se necessário associar IP *multicast* com esquemas de controle de QoS, garantindo, de forma organizada, um controle de acesso e de largura de banda, para prevenir uma degradação da qualidade de serviço. A comunicação com IP *multicast* é relevante, pois possibilita melhor uso dos recursos, junto com mecanismos que escalonam e gerenciam as funcionalidades da rede, conduzindo uma boa solução para problemas de comunicação multiparte. A comunicação multiparte é arquitetada no âmbito do C-CAST Legado, e é destinada a uma ampla variedade de aplicações, como áudio e videoconferência, IPTV, jogos e outras.

### 2.3.1 *Multicast* Sensível a QoS

A implementação integrada de QoS baseado em classes e IP *multicast* é viável (VALBOM, 2009), uma vez que a divisão por classes permite a implementação de QoS de forma escalável e a comunicação por IP *multicast* economiza o uso de banda na rede. Esta integração, contudo, não é simples (YANG *et al*, 2004) (RFC 3754). Por exemplo, enquanto QoS é alcançado por direcionar a complexidade para os roteadores de borda, a tecnologia IP *multicast* tem sua vazão de rede baseada por-fluxo.

Imaginando superar as deficiências de adaptação dos protocolos *multicast* existentes para roteamento assimétrico, uma solução foi proposta em Pereira *et al* (2007), na qual foi abordada ideia de redes *overlay* para fontes específicas em ambientes *multicast* com roteamento assimétrico, esse mecanismo foi chamado de *Overlay for Source-Specific Multicast in Asymmetric Routing* (OSMAR) (PEREIRA *et al*, 2007).

Um fato importante é que o OSMAR foi projetado para ser uma rede *overlay* para protocolos *multicast*. Esse muda os valores da tabela *Multicast Routing Information Base* (MRIB) (PEREIRA *et al*, 2007), a qual é usada por protocolos de roteamento para construir árvores *multicast* e computar as metas de comunicação. Deste modo, os dados atualizados da tabela MRIB são utilizados para construir árvores *multicast* acessíveis, baseadas no caminho da fonte aos receptores. Em Venâncio Neto *et al* (2007) é demonstrada uma abordagem que implementa um duplo controle sobre as métricas de QoS e dos recursos de comunicação *multicast*, a fim de superar questões relacionadas com a adição dinâmica de novos membros de grupo.

Na sequência do trabalho, é fundamentada a arquitetura do C-CAST Legado, bem como o são suas características e funcionalidades.

### 3 C-CAST LEGADO

Para promover conectividade sensível ao contexto e, conseqüentemente, otimização na entrega de conteúdo a múltiplos usuários móveis, o projeto do C-CAST Legado propôs uma arquitetura que provê sessões personalizadas aos usuários, independentemente da rede subjacente e de tecnologias de transporte, considerando as informações de contexto na otimização da entrega do conteúdo aos usuários. Neste capítulo são descritos aspectos gerais sobre os conceitos que envolvem o C-CAST Legado, bem como as principais metas de sua arquitetura, apresentando a descrição dos arcabouços operacionais, referenciando a função de cada um e suas interoperabilidades.

Neste capítulo, no entanto, é contextualizado o C-CAST Legado, com detalhes específicos do arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto, apontando algumas características e as principais metas do trabalho realizado. Este capítulo traz na seção 3.1 a teoria que envolve a comunicação multiparte implementada no arcabouço de transporte do C-CAST Legado. Na seção 3.2 exprime a descrição dos aspectos gerais do C-CAST Legado, e, na seção 3.3, são elucidados os elementos que fundamentam a arquitetura. A seção 3.4 discute às diretrizes projetadas para os arcabouços operacionais, e, na seção 3.5, são demonstrados detalhes do foco trabalhado sobre o arcabouço de transporte do C-CAST Legado. Na seção 3.6 são feitas conclusões parciais.

#### 3.1 Comunicação Multiparte

A comunicação multiparte é caracterizada como uma rede com suporte a múltiplas tecnologias de transporte, vislumbrando a operacionalidade de dispositivos de rede com diferentes meios de conexão, levando em conta a natureza dinâmica dos serviços disponível aos usuários na rede. Esta é uma abordagem importada da filosofia aplicada no arcabouço de transporte da arquitetura do C-CAST Legado. Para criar caminhos com suporte a múltiplas tecnologias de transporte, em Antoniou et al (2009) é demonstrado um modulo chamado *Multi-party Transport Overlay* (MTO), sendo esse parte integrante do arcabouço de transporte do C-CAST Legado e projetado para prover um genérico, escalável e eficiente serviço de transporte para a comunicação em grupo, pela aplicação do paradigma de rede *overlay* na camada de transporte.

O MTO abstrai a convergência de redes subjacentes em termos de capacidade *multicast* ou suporte a IPv4/v6, habilitando a criação dinâmica de uma árvore *overlay* na camada de transporte entre a fonte e o evidente destino. Com essas características apresentadas, o MTO permite que qualquer usuário possa participar da entrega de dados em sessões multiparte, independentemente do tipo de rede onde esteja conectado. Desta forma o MTO contribui para as operações de convergência entre as redes.

A ideia principal de *overlay* na camada de transporte é o paradigma de gerenciamento de transporte em grupo com sensibilidade de contexto. Esse deve adaptar suas características para o contexto da rede e do ambiente, desse modo, promovendo dinâmicos serviços de gerenciamento de transporte em grupo (VALBOM, 2009). Assim como a garantia de disponibilidade de recursos é um requisito essencial, a viabilidade na comunicação de dados em redes convergentes torna-se desafiante em virtude das políticas de comunicação em grupo, tais como tolerância a falhas, localização dos pontos de entrada e saída.

A ideia de comunicação em grupo é resolver problemas básicos de inconsistências na comunicação entre processos distribuídos que cooperam para a execução de uma tarefa. Para garantir QoS, considera-se a existência de um ponto de decisão, onde os roteadores internos podem cooperar com as tarefas delegadas. Na sequência do trabalho é fundamentada a arquitetura do C-CAST Legado, bem como o são suas características e funcionalidades.

### 3.2 Aspectos Gerais do C-CAST Legado

Segundo Antoniou *et al* (2010) (C-CAST, 2012), a arquitetura do C-CAST Legado apresenta como meta a elaboração de novos conceitos de mecanismos para conceder a distribuição de sessões personalizadas a vários usuários móveis, otimizando a entrega de conteúdo baseada em grupos para melhor prover conteúdos de interesse aos usuários. Esta transmissão deveria ser independente do acesso à rede subjacente e tecnologias de transportes.

As aspirações do C-CAST Legado possuem como objetivo envolver mobilidade com entrega de conteúdo multimídia utilizando *multicasting*, isto para explorar o aumento da capacidade de integração de dispositivos móveis com o mundo físico e ambiental. baseia-se em duas áreas específicas: criação de sensibilidade de contexto e tecnologia *multicast*. Na Figura 3.1, é demonstrado o cenário operacional do C-CAST Legado, expressando a comunicação interativa das camadas com as operações na rede.



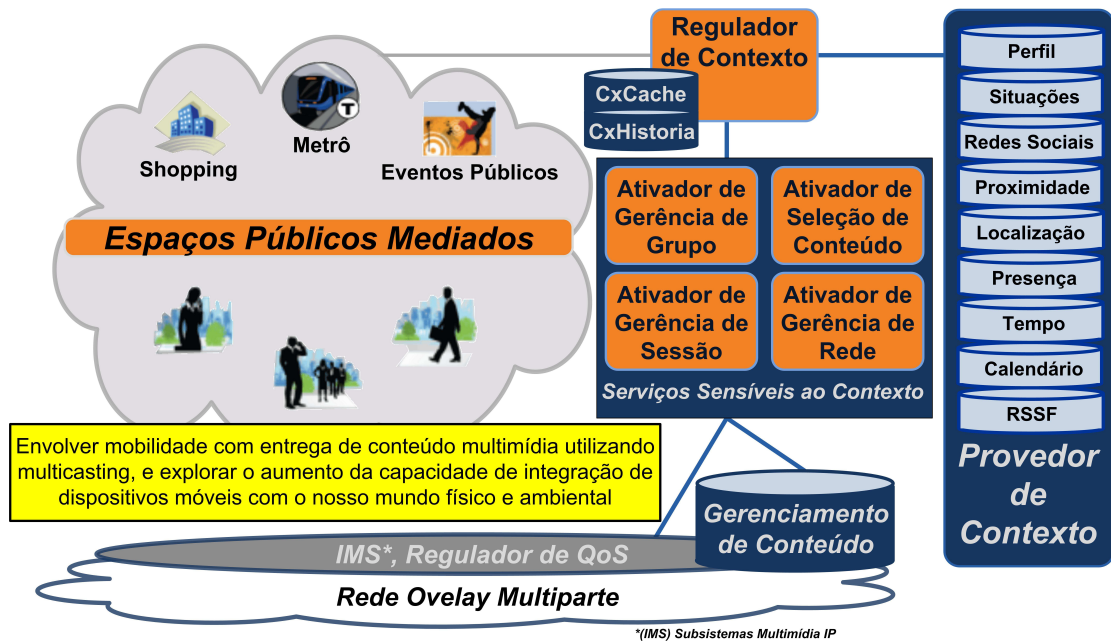


Figura 3.1 - Cenário do C-CAST Legado (C-CAST, 2012)

Na Figura 3.1, observa-se o componente provedor de contexto sendo alimentado por específicos parâmetros, os quais determinam métricas para a aquisição de contexto. As informações de contexto são tratadas pelo regulador de contexto, que podem também solicitar e tratar a ativação de serviços sensíveis ao contexto e fornecer sessões personalizadas aos usuários em rede por meio dos espaços mediados. Para viabilizar os serviços, existe um repositório com funções de gerenciamento que fornece conteúdos específicos na ativação do respectivo módulo envolvido e que provê os conteúdos necessários. Para as funções de infraestrutura de rede, no entanto, existe uma estrutura que regula a qualidade dos serviços prestados, e há um subsistema multimídia que opera sobre uma camada adjacente multiparte.

Em síntese, o principal objetivo do C-CAST Legado é formar uma rede convergente sensível ao contexto, que possa eficientemente responder a mudanças e informações de contexto, a fim de aperfeiçoar a entrega de conteúdo multiparte (Figura 3.1). Com efeito, ocorrências dinâmicas podem acionar a rede e reagir sobre uma sessão de comunicação, tal como uma reorganização da rede e seus serviços, manterem serviços com mobilidade constante sensível ao contexto, entrega de conteúdo a sessões multiparte e renegociação de recursos. O C-CAST Legado aborda duas áreas tecnológicas principais por um lado, a meta é provisionar comunicação *multicast* sensível a QoS; no outro, a meta é considerar sensibilidade de contexto. Esse possui o potencial para definir novos caminhos, manipulando usuários e o ambiente de rede como base para criar informações de contexto que podem ser utilizadas para provisionar dinâmicas sessões de grupo *multicast*.

Segundo C-CAST (2012), a arquitetura funcional do C-CAST Legado inclui três arcabouços operacionais: mecanismo de distribuição e detecção de contexto, ferramenta de gerenciamento de sessão multiparte e arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto (foco deste trabalho). Ambos os arcabouços possuem funcionalidades direcionadas para eficientemente promover comunicação multiparte sensível ao contexto. A comunicação entre as camadas desta arquitetura, é procedida por interfaces bem definidas, a fim de assegurar um correto intercâmbio de informações para permitir uma otimização na entrega de conteúdo multiparte dirigido por contexto. Na seção 3.3, é mostrada a arquitetura referencial do C-CAST Legado, onde se observam os componentes em módulos funcionais.

### 3.3 Componentes Estruturais do C-CAST Legado

Segundo Pallares *et al* (2009) a arquitetura do C-CAST Legado de referência (Figura 3.2) integra componentes que possuem específicas metas de ação operacional sobre redes móveis com comunicação multiparte sensível ao contexto. Na sequência, são explicitados detalhes funcionais dos elementos fundamentais que formam a arquitetura.

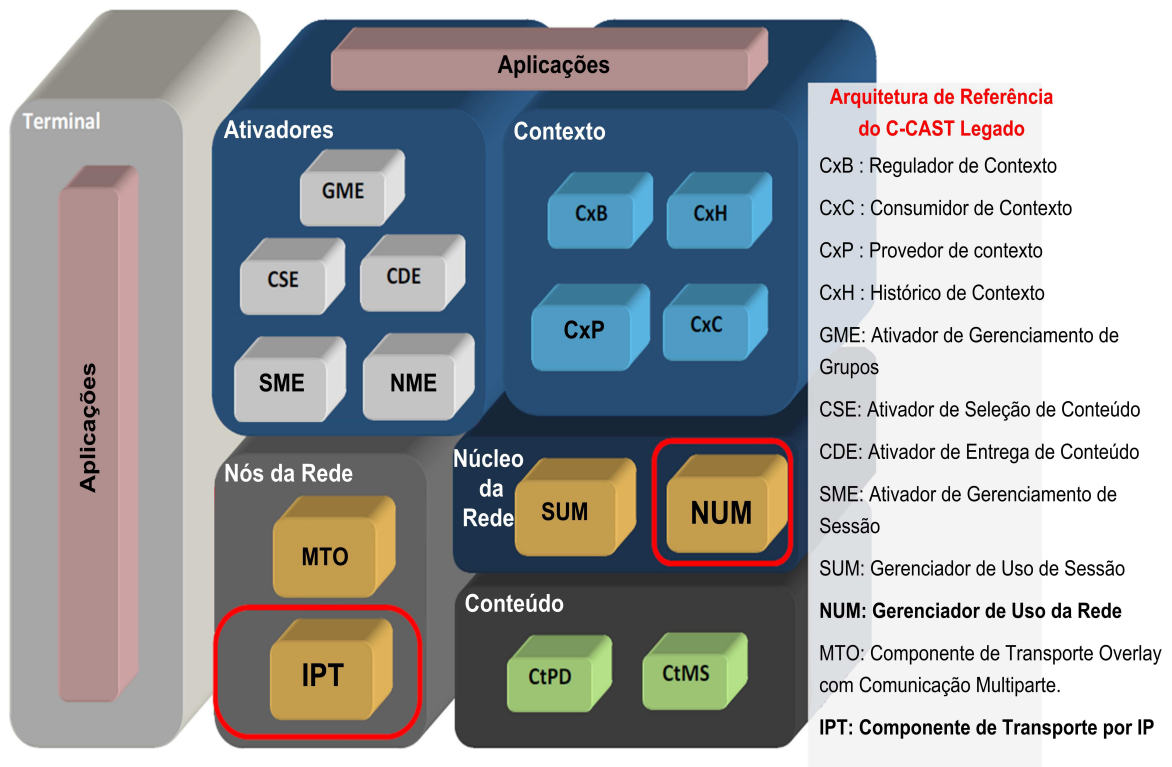


Figura 3.2 - Arquitetura de Referência do C-CAST Legado (C-CAST, 2012)

Na arquitetura da Figura 3.2, os principais elementos relacionados ao tratamento de contexto são (C-CAST, 2012): o **Regulador de Contexto** (CxB – *Context Broker*); (ii) o **Provedor de contexto** (CxP – *Context Provider*); o **Consumidor de Contexto** (CxC – *Context Consumer*) e o **Histórico de Contexto** dos dados (CxH – *Context History*). As interfaces e a interação desses componentes definem o comportamento do sistema de gerenciamento de contexto, porém a forma como o contexto é tratado não faz parte deste ensaio. Alguns componentes possuem múltiplos comportamentos, por exemplo: os ativadores modelados no estilo OMA (*Open Mobile Alliance*), sendo esse uma especificação de serviços móveis, que estimula a criação de interoperabilidade entre serviços (PALLARES *et al*, 2009).

Os ativadores em geral farão uso de contexto, a fim de adaptar seu comportamento ao ambiente, contribuindo para operações mais personalizadas.

Os componentes que ativam os serviços na rede são (C-CAST, 2012) (PALLARES *et al*, 2009): O **Ativador de Gerenciamento de Grupos** (GME – *Group Management Enabler*), responsável por criar, apagar, e gerenciar grupos de usuários baseado na dinâmica das informações de contexto.

O **Ativador de Seleção de Conteúdo** (CSE – *Content Selection Enabler*), um alternador de conteúdo a ser transmitido, baseado nas informações de contexto.

O **Ativador de Entrega de Conteúdo** (CDE – *Content Delivery Enabler*), responsável por gerenciar a sequência de conteúdos transmitidos por um serviço. Esse também possui a habilidade de agregar diferentes grupos de contexto para receber o mesmo conteúdo em um simples grupo de entrega.

O **Ativador de Gerenciamento de Sessão** (SME – *Session Management Enabler*), sendo este componente responsável por gerenciar todos os relacionamentos entre o SUM e outras entidades que indiretamente participam de uma sessão. Em ação, esse basicamente provê uma interface que permitirá a outros componentes visualizar, criar, modificar ou deletar sessões. Por outro lado, esse é responsável por coletar dados de outros componentes (NUM, CxB e CtPD), transformando seus dados não tratados em informações valiosas que serão posteriormente provisionadas ao SUM na forma de informações de sessão (grupos, usuários, conteúdos, códigos, capacidades, entre outros). Esses componentes integram operações que escalonam os serviços sobre as redes com comunicação multiparte sensíveis ao contexto, para provisionar os recursos necessários aos requisitos das sessões solicitados pelos usuários na rede.

Segundo C-CAST (2012) e Pallares *et al* (2009), os componentes dessa arquitetura, que operam sobre o núcleo da rede são: o **Gerenciador de Uso de Sessão** (SUM – *Session Use Management*), o **Gerenciador de Uso da Rede** (NUM – *Network Use Management*), Componente de **Transporte Overlay com Comunicação Multiparte** (MTO – *Multiparty Transport Overlay*) e o Componente de **Transporte por IP** (IPT – *IP Transport*).

O SUM é uma entidade que, na arquitetura do núcleo da rede, gerencia as relações entre usuários e conteúdos, e olee com seus usuários. O SUM também provisiona a sinalização necessária para entregar um conteúdo específico a seus consumidores.

O NUM é o componente que provisiona uma inteligente seleção de caminhos e habilita o gerenciamento de rede baseado em informações de contexto. Este possui uma visão global da topologia da rede, suportando convergência e diferentes tipos de acessos, sendo responsável pela tomada de decisões como seleção e reserva dos melhores caminhos. A essência do NUM é oferecer serviços de QoS sobre redes convergentes, com garantia de recursos, e permitir rápida comunicação sobre os ONs da rede.

O NUM possui a meta de melhorar as práticas tradicionais de reservas de recursos sobre uma rede, baseando-se em informações da rede e regras estáticas para prover e ativar uma inferência sobre o contexto. Posteriormente, o processo de iniciar uma sessão é completado pela execução do controle de admissão e o estabelecimento das reservas de recursos nos elementos na rede. O NUM sempre seleciona as melhores condições de recursos aos usuários de acordo com informações de contexto, como perfis de usuários, política de operações e disponibilidade de redes, baseando-se em uma abordagem de sinalização por fluxo, sendo suas características exploradas no âmbito da arquitetura do C-CAST Avançada.

O MTO é um comutador que provê um genérico, escalável e eficiente serviço de transporte para a comunicação em grupo, por aplicar o paradigma *overlay* na camada de transporte. O MTO torna transparente a convergência das redes com IP *multicast* ou suporte a IPV4/IPV6, de tal modo, permitindo que qualquer usuário possa participar na entrega de conteúdos a sessões multiparte independente da rede. O MTO permite a criação dinâmica de uma árvore *overlay*, composta de nós *overlay* entre a fonte e os membros.

O IPT possui a meta de implementar a alocação de recursos na rede sobre os caminhos entre os ONs, para propagar eficientemente o conteúdo por meio de sessões multiparte. O desempenho desse componente é alvo de estudo no âmbito do C-CAST Avançado, sendo abordadas questões relacionadas à alocação de recursos e melhor uso operacional da rede.

O IPT possui também a meta de implementar o uso de uma rota de comunicação (*Unicast* ou *Multicast*) para conectar ONs, tanto quanto alocar recursos entre as ONs, para permitir a propagação de conteúdo a sessões multiparte com garantia de QoS sobre o tempo em uma comunicação multiparte. O IPT permanece embarcado nos roteadores dentro de um ON, possuindo uma reação operacional determinada pelos parâmetros sinalizados pelo componente NUM.

Os principais requisitos do IPT em redes convergentes incluem suporte de: (i) escalável controle de QoS; (ii) controle eficiente de IP *multicast*; (iii) rápida operação de resiliência; (iv) ativação dos recursos de rede; (v) mapeamento de QoS.

O IPT manipula recursos com agregação de recursos para superar as deficiências de desempenho da abordagem de sinalização por fluxo como o RSVP (CONDEIXA, 2009), o qual introduz excessivo estado de sinalização para configurar e manter recursos para cada microfluxo. Dentre outras funcionalidades do IPT, pode-se listar: controle de admissão, reserva de recursos por classe em diferentes modelos de QoS, controle de árvores IP-*multicast* e detecção de condições de rerroteamento.

Segundo C-CAST (2012) e Pallares *et al* (2009), para tratar os aspectos relacionados a conteúdos na arquitetura do C-CAST Legado, existem os seguintes elementos:

- Componente de **Entrega e Processamento de Conteúdo** (CtPD – *Content Processing and Delivery*) sendo este uma entidade que, no controle e plano de dados, manipula o ciclo de vida, montagem e seleção de conteúdos, baseando-se em contexto. No processamento de conteúdo são tratados três tipos de conteúdos: (i) o conteúdo operacional fornecido pelo provedor de conteúdo; (ii) conteúdos de anúncios e propagandas; (iii) e o conteúdo gerado pelos usuários (PALLARES *et al*, 2009). Todos estes três tipos de conteúdos são adquiridos e processados para permitir um formato uniforme de mídia para adequar-se melhor aos equipamentos móveis dos usuários existentes na rede, conduzindo adequados serviços operacionais de acesso aos conteúdos na rede;

- Componente que prover **Conteúdo e Armazenamento de Metadados** (CtMS – *Content and Metadata Storage*) mantêm funcionalidades de armazenamento de conteúdos e metadados. Esse modelo de armazenamento de dados visa um escalável e confiável sistema com baixa latência e rápido acesso aos dados, bem como aos metadados. Segundo (PALLARES *et al*, 2009), a integridade dos dados é uma funcionalidade-chave para subsistemas de armazenamento, portanto redundância e esquemas de distribuição de conteúdos serão aplicados. Esta vertente, porém, não é alvo de investigação deste trabalho.

Nesta seção foram detalhadas as funcionalidades de cada um dos componentes no âmbito do C-CAST Legado, bem como a integração operacional.

A estrutura analisada é dotada de componentes diversos que podem estar distribuídos ou centralizados. Estes controlam as sessões e tratam de garantir os requisitos de QoS aos usuários, baseando-se em contexto. Os componentes precisam permitir adequada interação e permitir correta associação ao contexto processado. Na sequência, são conceituados os arcabouços operacionais que integram a estrutura C-CAST Legado.

### 3.4 Arcabouços Operacionais do C-CAST Legado

Os componentes funcionais da arquitetura de referência do C-CAST Legado integram a estrutura dos arcabouços operacionais, com distintas e arquitetadas funções sobre os serviços da rede (Figura 3.3).

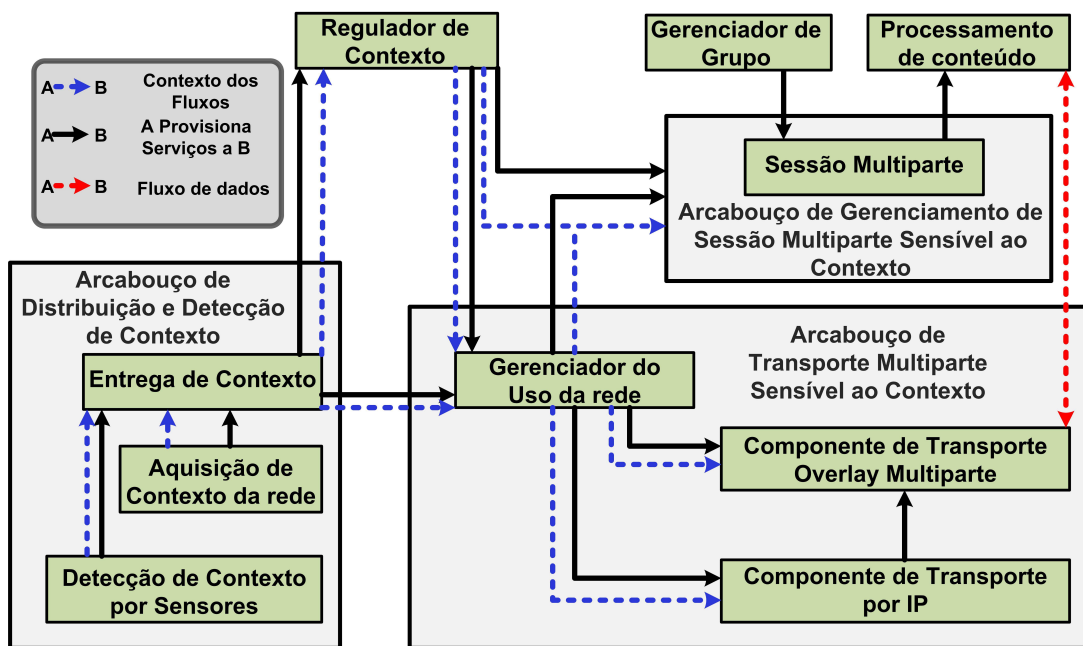


Figura 3.3 - Arcabouços Operacionais do C-CAST Legado (C-CAST, 2012)

Na Figura 3.3, há uma sequência operacional dos arcabouços, sendo feitas as definições básicas no âmbito da arquitetura do C-CAST Legado e abordados os componentes que interagem com suas específicas funções.

A arquitetura funcional, ilustrada na Figura 3.3, inclui três arcabouços operacionais, cada um dos quais possui funcionalidades específicas para garantir a entrega de conteúdos a redes convergentes multiparte sensíveis ao contexto. O primeiro arcabouço é dedicado à **detecção e distribuição de contexto**.

A detecção de contexto pode ser obtida por meio dos componentes relacionados ao contexto da arquitetura do C-CAST Legado, abrangendo tanto o contexto ambiental, quanto o de rede (ex. disponibilidade de recursos). Esse arcabouço alimenta informações ao componente regulador de contexto (Figura 3.3). Esse pode, entretanto, diretamente, fornecer informações de contexto ao arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto, isso quando uma rápida adaptação é necessária. Embora esse arcabouço possua aspectos relevantes de pesquisa, ele não faz parte da abordagem deste trabalho. Mais informações podem ser encontradas em C-CAST (2012) e Janneteau *et al* (2009).

A aquisição de contexto é viabilizada por vários parâmetros distribuídos e monitorados em rede para alimentar o CxC, no qual fornece os dados a um repositório central que regula (CxB) o contexto na rede. Essa característica é crucial para promover o requisitado conhecimento para o desenvolvimento e suporte de serviços personalizados, adaptando os conteúdos e as rotas de entrega, que, de forma evidente, são estipuladas de acordo com o contexto particular dos usuários (mecanismos, preferências e ambiente de rotina). Nessa vertente, o C-CAST Legado viabiliza a proposta de promover a orquestração de técnicas sensíveis ao contexto e dinamicamente suportar a entrega de conteúdo em redes convergentes multiparte.

O arcabouço de **gerenciamento de sessão multiparte sensível ao contexto** (Figura 3.3) é acionado por uma entidade de gerenciamento de grupos para iniciar ou atualizar as sessões de grupos de comunicação. O modo como essas operações procedem não faz parte do escopo deste experimento.

A maneira como a arquitetura do C-CAST Legado gerencia as informações de contexto não é o foco deste ensaio. Os esforços estão concentrados na maneira como o trabalho citado controla os recursos de rede, sobretudo os mecanismos de comunicação e gerenciamento de recursos, com o intuito de garantir os requisitos necessários para cada sessão e estabelecer melhor desempenho operacional sobre a rede.

Consoante ensinava Janneteau *et al* (2009), para dar suporte aos arcabouços operacionais apresentados no âmbito do C-CAST Legado, o arcabouço de **transporte multiparte sensível ao contexto** é o foco explorado neste trabalho, este explora a sensibilidade e o contexto, a fim de selecionar a melhor tecnologia de acesso e dinamicamente adaptar a entrega de conteúdos sobre comunicação multiparte, no transporte e nas camadas de rede para cada membro do grupo, baseando-se no contexto operacional da rede (ex. em termos de suporte de QoS na rede ou capacidade de *multicast*).

Na sequência, a seção 3.4 traz mais detalhes funcionais do arcabouço de transporte, mencionando a interação e detalhes operacionais, referenciando os fundamentos acadêmicos desta pesquisa.

### 3.5 Arcabouço de Transporte Multiparte

A principal proposta do arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto é promover técnicas ordenadas para usar o contexto de forma eficiente, de modo a suportar, dinamicamente, a entrega de conteúdo baseado em grupo. Este também considera informações de contexto (redes, usuários e serviços) para aperfeiçoar a entrega de processos na rede em cenários de mobilidade com alta dinâmica (CONDEIXA, 2009). Esse arcabouço permite também a entrega de conteúdos com garantias de QoS, por via do componente IPT.

O componente IPT possui embarcado o mecanismo MIRA (*Multi-User Resource Allocation*) (VENÂNCIO NETO *et al*, 2007) e aborda sinalização por fluxo para a alocação de recursos, sendo responsável pela reserva de recursos nos caminhos convergentes escolhidos pelo componente NUM. Esse é o responsável pela criação de AMTs, permitindo um controle geral no transporte sobre árvores multiparte para ocultar a dinâmica na rede, bem como as mudanças sobre as sessões multiparte e na árvore. As AMTs são compostas por um conjunto de Sub-AMTs (Figura 3.4), formado entre cada par de ONs, esses por sua vez, são associados a rotas de comunicação para permitir a distribuição dos fluxos. Como as ONs definem as bordas da Sub-AMTs, eles precisam manter informações sobre as conexões estabelecidas nas correspondentes Sub-AMT.

No arcabouço de transporte, a abstração dos meios de transporte permite uma visão fim a fim em termos de conectividade (VALBOM, 2009). Cada Sub-AMT pode controlar os recursos da rede com soluções e tecnologias de sua escolha, com um mínimo impacto sobre as AMTs. Nesse sentido, este trabalho propõe ao C-CAST Legado a execução de um mecanismo de alocação de recursos que utiliza técnica de sobreaprovisionamento apresentado em (VENÂNCIO NETO *et al*, 2007), capaz de criar ou gerenciar árvores *multicast*, garantindo caminhos com QoS sobre estas.

Uma das diretrizes deste trabalho é a avaliação e criação de melhorias para o arcabouço de transporte com suporte a múltiplas rotas com sensibilidade de contexto sobre os componentes NUM e IPT existentes no núcleo da rede da arquitetura do C-CAST Legado (representado na Figura 3.4).



A arquitetura do arcabouço de transporte compreende um conjunto de elementos que hierarquicamente aprovisiona a entrega de conteúdos e os recursos adequados às sessões multiparte sensível ao contexto em redes convergentes. Entre seus componentes é mantido operações de sinalização para satisfazer os requisitos operacionais das solicitações recebidas, desta forma, orquestrando a entrega de serviços de comunicação sobre a rede.

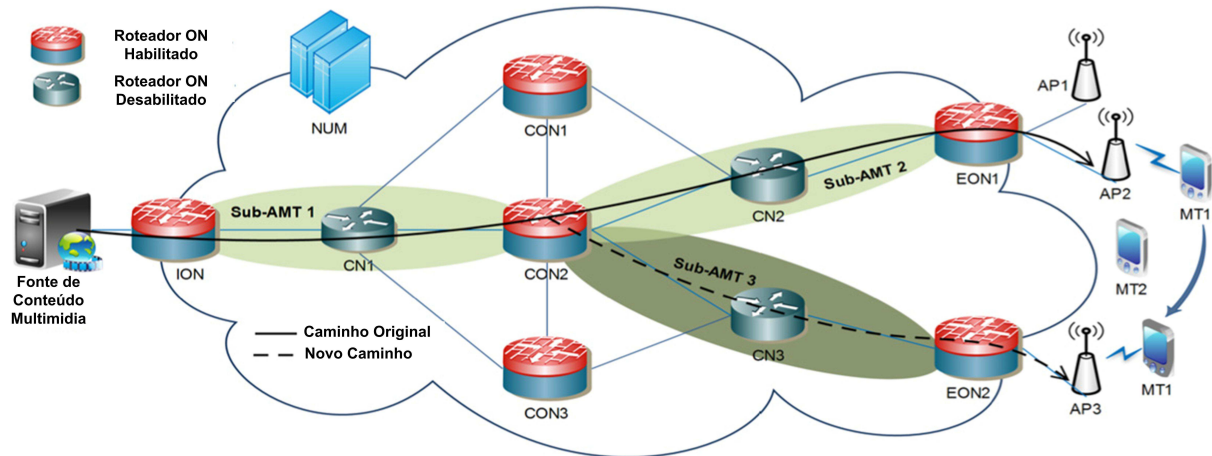


Figura 3.4 -Núcleo da Rede com o C-CAST Legado (COUTINHO *et al*, 2010)

O componente NUM (Figura 3.4) usa o conhecimento colhido e viabiliza operações tais como, seleção de rede, agrupamento de usuários e controle de recursos. O segundo nível de controle é empreendido por um esquema de rede *overlay*, o qual contém um conjunto de nós dentro da rede que força as decisões do NUM sobre os elementos da rede, tais como reserva de recursos e manutenção da árvore *multicast*. Para cada sessão multiparte, tem-se definida uma estrutura de entrega *overlay multicast* (AMT) sendo uma das principais inovações conceituais do C-CAST Legado; existem dois tipos de nós classificados dentro do ambiente de comunicação - os ONs e os *Core Nodes* (CNs).

Os ONs são as entidades centrais do paradigma de transporte multiparte. Seus agentes de *software* embarcados implementam a entidade MTO, responsável pela transição de tecnologias de transporte (ex. *unicast* para *multicast* e vice-versa). Os CNs são condescendentes com o padrão IP, por essencialmente cumprirem a requisição de recursos e encaminharem pacotes de acordo com a tecnologia de transporte em uso. Existe, contudo, um tipo especial de CNs, em que são feitas as operações de convergência entre as tecnologias de redes. Estes são denominados de nós *Overlay* de núcleo CONs (*Core Overlay Nodes*). Os CONs tratam de tornar operável a comunicação em diferentes meios de comunicação, como *unicast* e *multicast*, que são ferramentas importantes para o aprovisionamento de recursos, independentemente da tecnologia de transmissão.

No arcabouço de transporte, os *softwares* agentes embarcados em ambos ONs e CNs viabilizam as operações suportadas pela entidade IPT (COUTINHO *et al*, 2010). O IPT é responsável por aplicar e cumprir a quantidade de recursos indicados pelo NUM (procedente da solicitação de requisição para o início de sessão), de acordo com os mecanismos básicos da rede. O IPT suporta escalável controle de QoS, eficiente controle de IP-Multicast (quando aplicável), rápida operação de resiliência e mapeamento de QoS.

As mensagens de sinalização para controle de QoS são utilizadas, principalmente, para: (i) indicar a quantidade de recursos de rede disponíveis (instalação, remoção e atualização) de acordo com a tecnologia operante sobre as Sub-AMTs; (ii) responder a uma requisição de ativação operacional; (iii) e transmitir alarmes assíncronos para publicar links quebrados. O controle de recursos hierárquicos do C-CAST Legado é baseado em classes, com o IPT iniciando uma ativação de mudanças quando as reservas de *links* precisam ser atualizadas para uma específica classe. A Figura 3.5 apresenta a estrutura lógica do algoritmo estabelecido pelo IPT sobre os recursos disponíveis nos ONs, bem como e os procedimentos para a alocação de recursos do IPT sobre os ONs, que habilitam o NUM a iniciar e reconfigurar as sessões multiparte personalizadas aos usuários.

---

### Algoritmo 01. Funcionalidades do IPT e ONs

---

```

1: enquanto Houver Evento de Ativação faça
2:   caso Existe Requisição de Inicialização na sub-AMT
3:     Alocar IP na Árvore Multicast;
4:     repita para cada IPT
5:       Alocar Recursos de Acordo com a Classe de Serviço da Sessão (CoS);
6:       Anexar o IP a Árvore Multicast;
7:       Atualizar MRIB*;
8:     até próximo ON;
9:     Configure os Parâmetros do Proxy no ON;
10:  fim_caso;
11:  caso Exista Requisição de Reajuste na Sub-AMT
12:    Checar a Tabela RIB** para Rotas Alternativas até o Próximo ON;
13:    se bem sucedido Então Faça reencaminhamento local;
14:    senão Notificar o NUM para reajustes globais;
15:  fim_caso;
16: fim_enquanto

```

---

\* Tabela com Informações Básicas de Roteamento Multicast (*MRIB - Multicast Routing Information Base*)

\* Tabela com Informações Básicas de Rotas (*RIB - Routing Information Base*)

Figura 3.5– Algoritmo com Funcionalidades do IPT Sobre os ONs (COUTINHO *et al*, 2010)

No algoritmo da Figura 3.5, observa-se que, na ocorrência de eventos de ativação de serviços sensíveis ao contexto advindos do NUM para o IPT, são verificadas, em princípio, as requisições submetidas na rede, principalmente se existem requisições de inicialização nas sub-AMTs. Em caso afirmativo, seria provisionado um IP na árvore *multicast*, procedendo desta forma para todos os agentes IPT na rede. Esse procedimento se repete para todos os IPT, onde serão alocados os recursos de acordo com a classe de serviço (CoS), anexando o dito IP na árvore multicast e atualizar a tabela MRIB até o próximo ON. Após esses procedimentos de inicialização, configuram-se os parâmetros de conectividade do Proxy nos ONs.

Na ocorrência de eventos de pedidos de reajuste de recursos em uma sub-AMT, são verificadas as tabelas de informações básicas sobre rotas a RIB (*Routing Information Base*) para encontrar rotas alternativas até o próximo ON; se for bem-sucedido o encontro de uma rota, é feito um novo encaminhamento local. Caso não encontre uma rota provisionada, o IPT notificará via mensagem ao NUM para reajustar as reservas no contexto global na rede.

Embora conduzido por classes, esse algoritmo requer uma abordagem de sinalização direcionada por fluxo. Essa abordagem possui desempenho degradado exponencialmente quando se aumenta a admissão de novos fluxos de sessão. Os principais requisitos do IPT em redes convergentes incluem o suporte de escalável controle de QoS, eficientes controle sobre *IP-multicast*, rápida operação de recuperação, inicialização dos recursos da rede e mapeamento de QoS. O IPT manipula os recursos da rede de forma agregada por classes para superar o curto desempenho de abordagens por fluxos existentes.

Em comparação com o IPT, por exemplo, o amplamente usado protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*) (RFC 2208) é um padrão de solução, contudo mapeia excessivo estado de sinalização, desse modo, processando *overhead*, para configurar e manter recursos para cada microfluxo. O protocolo IP também visa a evitar muito controle centralizado, tal como a proposta do projeto TISPAN (SCHRÖDER *et al* 2006), que visava a tolerância às falhas e “escalabilidade”. No escopo do transporte multiparte, o IP *multicast* não é eficiente em virtude de alta sinalização e do estado de sobrecarga, isso por se basear no protocolo *multicast* Legado (ex. PIM e SSM), assim como a falta de suporte de QoS e controle de acesso, o qual é essencial (VALBOM, 2009). A seleção de funcionalidades de uma tecnologia de acesso sem fio é um requisito para o NUM, para obter um esperado QoS, enquanto ao mesmo tempo seja alcançado um reforço na capacidade e desempenho operacional da rede. O NUM tem suas ações estabelecidas com base nos usuários, na rede, no ambiente e no contexto da sessão, a fim de prever uma possível degradação da qualidade.

Com as operações suportadas pelo NUM, são esperados o alcance de maior eficiência no uso dos recursos em redes convergentes, maior uniformidade na distribuição da carga entre as diferentes tecnologias de acesso sem fio, e o cumprimento dos requisitos de QoS dos usuários. O NUM (VALBOM, 2009) foi projetado com suporte nas limitações de soluções para terminais móveis. Por exemplo, o protocolo SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) (RFC 2960) não está apto a prover informações sobre o melhor caminho a ser selecionado. Já o protocolo HIP (*Host Identity Protocol*) (RFC 5201) não provê informações sobre atributos de tecnologias e QoS, da interface local.

O NUM implementa várias interfaces para permitir a interação com os outros componentes da arquitetura do C-CAST Legado. Para inicializar uma sessão, o NUM primeiro recebe diferentes parâmetros do SUM, incluindo o código identificador da sessão e os códigos identificadores dos usuários da lista. Após essa etapa, o NUM utiliza os dados obtidos para recuperar o contexto de cada usuário com o regulador de contexto (CB) (VALBOM, 2009). Baseado no contexto dos usuários, o NUM seleciona a melhor interface de rede sem fio e processa, conseqüentemente, por primeiro, os subagrupamentos de usuários. Por seguinte, o NUM encontra na base de dados local a melhor ONs para criar uma árvore MTO para cada subgrupo, acionando o IPT, por meio de mensagens, para estabelecer o melhor caminho de comunicação a conectar as ONs, baseando-se no contexto da sessão e na capacidade dos ONs.

Após o sucesso nas operações citadas, O IPT ativa as configurações de endereçamentos dos ramos e dos elementos da árvore MTO, o que permite criar conexões multiparte e iniciar a entregar conteúdos. Dessa forma, conduz as operações necessárias para a satisfação dos recursos requisitados pelos usuários em conexão.

A Figura 3.6 descreve a seqüência de operações para o início de uma sessão multiparte, entre os componentes operacionais do arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto, no âmbito do C-CAST Legado. Observando as limitações de desempenho das propostas, o IPT foi sugerido para suportar um controle distribuído de recursos baseados em classes, no qual os recursos são configurados por meio de agregação. Nos roteadores de entrada, o IPT pega o contexto da sessão e coleta o contexto da rede diretamente dos dispositivos ou provedores de conteúdos de QoS por meio de uma bem definida API (*Application Programming Interface*). Para obter uma eficiente operação, o IPT possui ferramentas para interagir com elementos da rede (mecanismo de escalonamento de pacotes, mapeamento de QoS, protocolo de roteamento *unicast/multicast*).

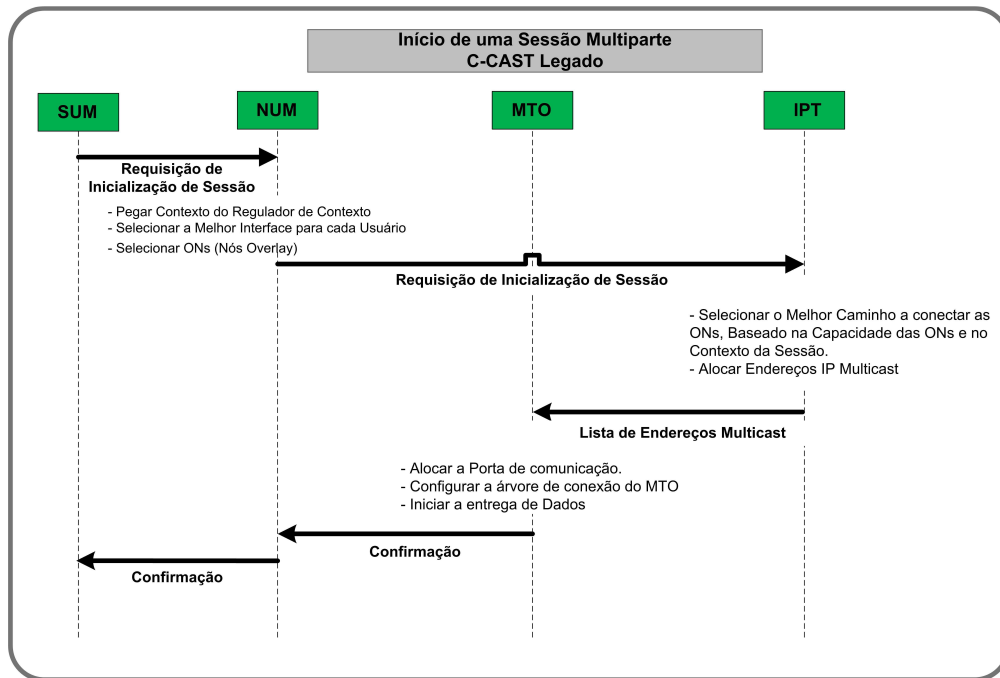


Figura 3.6 - Sequência Inicial de uma Sessão Multiparte (VALBOM 2009)

Em análise do diagrama de sequência da Figura 3.6, observa-se que o componente SUM submete ao componente NUM um pedido de inicialização de sessão, e estabelece os procedimentos para pegar o contexto do regulador de contexto, selecionar a melhor interface para cada usuário e selecionar os ONs adequados. O NUM, por sua vez, encaminha para o componente IPT uma requisição de inicialização de sessão. No IPT é selecionado o melhor caminho a conectar as ONs, baseando-se na capacidade das ONs e no contexto da sessão, alocando os endereços IP *multicast*. Após os procedimentos realizados no IPT, este envia para o MTO uma lista de endereços *multicast*. O MTO, por sua vez, aloca uma porta de comunicação, faz as configurações em sua árvore de conexão e inicia a entrega dos dados.

Após os procedimentos supracitados, envia uma confirmação ao componente NUM, onde são repassadas as mensagens de confirmação direcionadas ao SUM e inicializando uma sessão multiparte no âmbito da arquitetura do C-CAST Legado.

Uma árvore IPT é reconfigurada quando uma operação de resiliência é acionada, isto em razão do surgimento de mudanças dos grupos. Essa medida previne contra resubscrição de usuários e habilita mudança local, evita a reconfiguração da árvore para apropriados requisitos e diminui a necessidade de interação com outros componentes (NUM e SUM) para tomar uma decisão; dessa maneira, apenas informa-os. Este processo tem vários benefícios em diferentes tipos de métricas, tais como consumo de energia dos usuários, evitar se possível *handover* de sessões, satisfação de usuários, dentre outros (CONDEIXA, 2009).

As limitações de desempenho propostas motivam o projeto do IPT a suportar melhor controle de distribuição de recursos por classes. Deste modo, para as requisições de estabelecimento de sessão em um fluxo básico, os recursos são configurados por agregações. Para gerar “escalabilidade”, a alocação de recursos é estabelecida e ajustada pelas bordas da rede, enquanto os roteadores internos reagem em decorrência de sinalizações surgidas em decorrência de eventos de falhas na rede.

Para aprovisionar recursos para aplicações personalizadas, à abordagem com sobreaprovisionamento por classes permite estabilizar múltiplos fluxos sem necessitar sinalização específica para cada fluxo; e a agregação pode ser útil para reduzir a sobrecarga (*overhead*) surgida com a implementação de *multicast*. Para a execução correta das tarefas de alocação de recursos e a construção de árvores *multicast* em ambientes convergentes, o IPT precisa suportar diferentes tecnologias e elementos de rede.

A interação do IPT com o SUM permite a determinação dos requisitos de QoS para o conteúdo de sessões multiparte. Adicionalmente, o SUM pode ser acionado para permitir resiliência, no qual a adaptação e/ou remapeamento podem ser executados para ajustar a qualidade do conteúdo a sessões multiparte para as atuais condições da rede (VALBOM, 2009).

Sobre as características observadas, o sistema tem seu desempenho degradado com o número de chegadas de sessões de inicialização, uma vez que cada evento de sinalização, pelo menos, ativa um processo na rede (como inspeção de cabeçalho, enfileiramento/desenfileiramento e operações de procura) e manutenção do estado, dentre outras. Como resultado, todo sistema pode revelar, de modo crescente, os níveis de latência e consumo de energia, por isso degradam a percepção do usuário. Essas questões de desempenho motivam a tarefa de rearquitetar o C-CAST Legado para melhorar sua capacidade de desempenho, como descrito nesta seção.

### **3.6 Conclusão Parcial**

A comunicação por fluxo exige controle e sinalização para cada sessão estabelecida com usuário. Essa questão torna-se impactante quando a rede se torna escalável, pois, para cada reserva de recursos estabelecida para um fluxo, será necessária uma sinalização de controle disseminada na rede.

O IPT trabalha com reserva por fluxo, e isto funciona adequadamente quando a rede possui poucos nós. Caso surja, porém, a necessidade de se aumentar a quantidade de novas conexões, este conduzirá um aumento considerável na quantidade de sinalização.

Com a possibilidade de aumentar o tamanho da rede, pode-se aumentar de forma expressiva a quantidade de sinalização para manter os acordos de reservas definidas nas classes de QoS. Com esse intuito, o trabalho propõe novas abordagens para o IPT e para NUM, denominadas respectivamente de A-IPT e A-NUM. O A-IPT possui uma abordagem de sobreaprovisionamento de recursos para os fluxos, fazendo uso de mecanismo de agregação de fluxos, permitindo alocação de recursos definidos em classes de QoS, favorecendo uma diminuição da carga de sinalização, pelo fato de usar agregação de dados de sinalização para as devidas reservas estabelecidas em acordos de QoS.

No próximo capítulo, são fundamentadas as estruturas internas e as funcionalidades da proposta do C-CAST Avançado (*Advanced C-CAST*).

## 4 C-CAST AVANÇADO

O C-CAST avançado tem como meta aplicar o conceito de sobreprovisionamento de recursos no *arcabouço* de transporte multiparte do C-CAST Legado. A fim de alcançar essa meta, ambos os componentes presentes, NUM e IPT, foram melhorados para compor um controle sobreprovisionado por classes (QoS) e recursos de conectividade por meio das AMTs. Como no C-CAST Legado, o C-CAST avançado suporta operações de inicialização de sessão, aprovisionamento e aplicação de recursos com novas políticas de *Proxy* e operações de resiliência. O modo como o C-CAST avançado executa, entretanto, as operações supracitadas é totalmente diferente, a fim de que seja condscendente com o conceito de sobrerreserva do protocolo MARA. A solução proposta nesta dissertação visa a melhorar o desempenho no transporte de dados em comunicações multiparte sensível ao contexto, com suporte seleção de AMTs baseadas no contexto, e garantir um melhor controle sobre os recursos de rede.

### 4.1 NUM Avançado

O C-CAST avançado é composto de inovações estruturais nos mecanismos integrantes do arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto, sobretudo de maneira especial aos componentes NUM e IPT integrantes do C-CAST Legado. Na Figura 4.1, são apresentados os módulos referenciando a estrutura funcional e interativa dos componentes, destacando-se os componentes A-NUM e A-IPT que norteiam o foco da pesquisa.

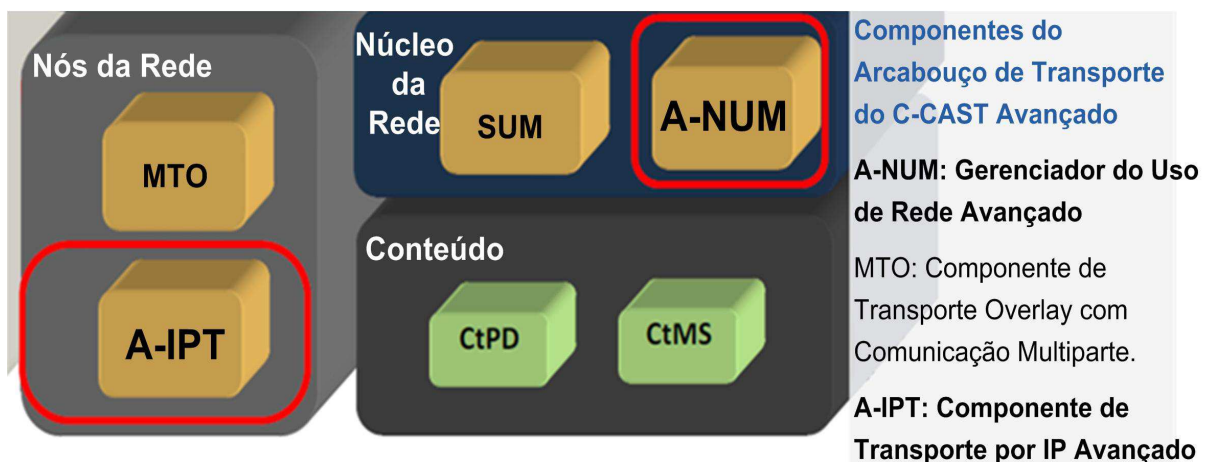


Figura 4.1 - Arquitetura do Arcabouço de transporte do C-CAST Avançado (C-CAST, 2012)



O A-NUM (*Advanced Network Use Management*) é o componente que gerencia o uso de rede, administrando os recursos com sobreaprovisionamento, persistindo informações acerca do estado operacional da rede. Esse módulo garante o melhor transporte multiparte para os usuários, escolhendo o melhor caminho possível da rede para garantir que cada usuário receba o conteúdo na interface mais apropriada, assegurando o melhor serviço.

O A-NUM suporta as seguintes operações: (i) manutenção dos estados das tabelas com QoS e dos padrões de conexão com sobreaprovisionamento de recursos; (ii) a orquestração dos ONs de entrada (*ingress*) para carregar os padrões de QoS e as conexões com sobrerreserva; (iii) a seleção da melhor AMT para conectar um fluxo conhecendo sua demanda de recursos; (iv) manutenção dos estados das tabelas com QoS e dos padrões de conexão com sobreaprovisionamento de recursos; e (v) a adaptação dos padrões de sobrerreserva para maximizar a abordagem centrada em sobreaprovisionamento. Quando nenhuma das AMTs disponíveis e listadas está habilitada para acomodar a demanda por-fluxo de sessão, o A-NUM pesquisa e seleciona outra com melhor probabilidade de aceitação.

O A-NUM foi arquitetado para ser condescendente com o algoritmo de busca utilizado no C-CAST legado, estando definido em Coutinho *et al* (2011). O A-NUM aciona uma sinalização para A-IPT no referido ON de entrada para calcular a nova configuração de sobrerreserva para a referida classe com seu fluxo de sessão, e, adicionalmente, aplica os recursos de acordo com a subjacente tecnologia de QoS. Uma síntese das operações do A-NUM é fornecida na Figura 4.2.

O sistema de inicialização utiliza abordagem de controle por *flooding* do C-CAST original. Esta inicialização do sistema é aplicada pelo A-NUM, por consequência da ocorrência de mudanças na topologia da rede, fato que um nó deve diretamente sinalizar ao A-NUM (configurações prévias de endereço IP) sempre que esse estiver ligado à rede, isso para anunciar que um novo nó está no sistema. Após receber a mensagem de anúncio, o A-NUM desencadeia um sinal em cada ON de entrada e ativa a inicialização do sistema.

Portanto o A-NUM executa a inicialização do sistema somente na rede carregada (pico de carga de mensagens) e quando um novo nó é adicionado no curso do sistema (esperado poucas frequências). No final do ciclo de inicialização, o A-NUM compõe uma tabela de estados usando o algoritmo existente no NUM Legado. O A-NUM é também responsável pela recuperação da melhor AMT para o fluxo de sessão demandado para sua acomodação, que é similar ao realizado no NUM original.

Para o estabelecimento de QoS – os recursos de todas as AMTs seguem o conceito de sobrerreserva – o A-NUM requisita os reajustes dos correntes padrões de sobrerreserva para acomodar a demanda de fluxo de sessão e aprovisionar os recursos de QoS para futuras requisições de sessões sem eventos de sinalização dirigidos por fluxo.

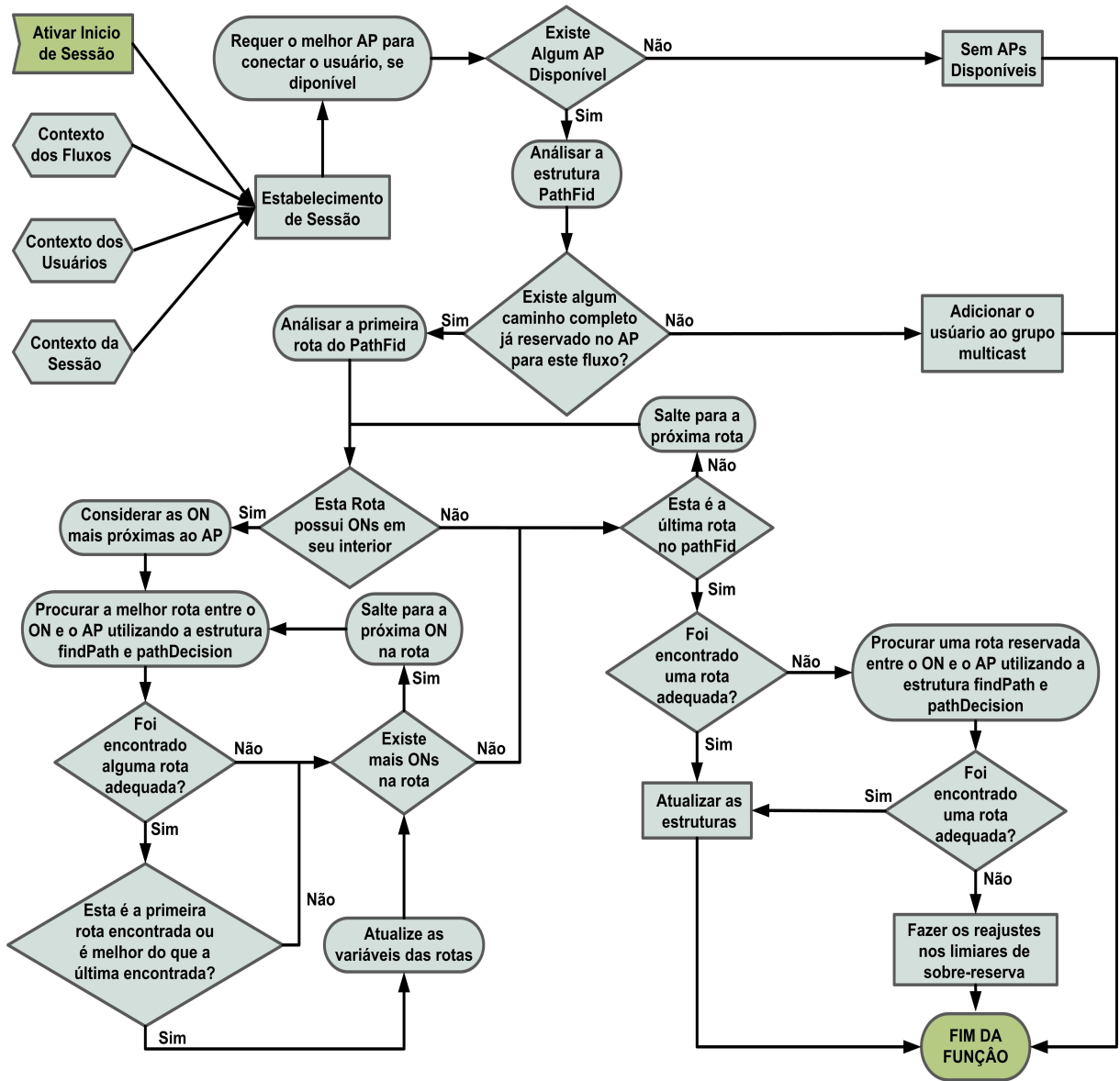


Figura 4.2 - Fluxograma do Processo de Estabelecimento de Sessão com o A-NUM (Produção Própria).

Na inicialização do sistema com o A-NUM são levados em conta quatro parâmetros iniciais para estabelecer uma sessão (Figura 4.2). O primeiro é a sinalização de requisição para iniciar uma sessão, juntamente com o parâmetro de fluxo de contexto, para concluir parcialmente o estabelecimento de uma sessão. Neste caso, são analisados os parâmetros de contexto do usuário e contexto de sessão. Após a verificação destes parâmetros, é requisitada a escolha do AP (*Acess Point*) com melhor conectividade.

Para a conectividade são analisados os recursos de banda e atraso para o usuário, e caso exista disponibilidade, são analisadas as rotas de acesso. Ao analisar a disponibilidade de reservas para os fluxos, caso o caminho para o fluxo já esteja reservado, o usuário é adicionado ao grupo de usuários *multicast* e finalizada a função do A-NUM. Na ausência de reservas, é analisado o primeiro caminho da estrutura *pathfid* (VALBON, 2009) e verificado se esta rota possui ONs internas.

Em caso positivo, é considerado o ON mais próximo do AP e pesquisado o melhor caminho entre os ONs e o AP, utilizando a função *FindPath* e *PathDecision* (VALBON, 2009). Com origem na execução destas funções, é pesquisado um adequado caminho, caso seja encontrado, é feita uma comparação para saber se este é o primeiro caminho encontrado, ou possui melhor condição de recursos em relação à última rota encontrada, em caso afirmativo são atualizadas as variáveis das rotas.

Em caso negativo da pesquisa por caminhos adequados, ou se os caminhos encontrados não apresentarem condições de recursos superiores aos anteriores, o algoritmo é acionado para procurar por mais ONs na rota. Caso existam mais ONs, essas são conectadas com a ON mais próxima na rota. Na ausência de mais ONs na rota, é observado se a rota selecionada é a última rota escolhida na estrutura *pathfid*, que armazena, para cada fluxo de tráfego transmitido em um dado momento na rede, os caminhos reservados pelos quais está sendo transmitido e as características operacionais que o determinam.

Em caso afirmativo, é analisado se o caminho é adequado à sessão requisitada; sendo afirmativo, é atualizado o estado do A-NUM e finalizada a função de gerenciamento. No caso da rota selecionada não ser a última rota existente no *pathfid* (VALBON, 2009), o caminho é anexado novamente à função condicional sobre a existência de ONs internas. Na ausência de caminhos adequados, é feita uma pesquisa por novas rotas com qualidade, desde a fonte até o AP, usando novamente a função *FindPath* e *PathDecision* (VALBON, 2009).

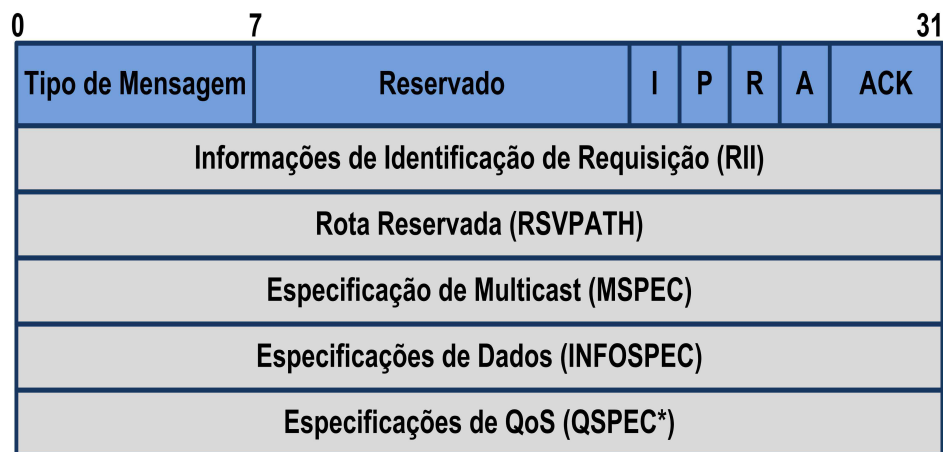
Caso seja encontrado um caminho adequado, esse será atualizado na estrutura de dados do A-NUM e finalizada a função. Nessa etapa, se encontradas rotas adequadas, serão feitos reajustes nas sobrerreservas configuradas, e, se necessário, serão definidos novos limiares (*threshold*) de sobrerreservas para as solicitações de recursos. Na definição de novos valores de reservas e dos limiares de recursos pelo A-NUM, os parâmetros são repassados para o componente A-IPT, onde este, presente em todos os ONs da rede, implementa os novos parâmetros definidos pelo A-NUM.

## 4.2 IPT Avançado

O componente IPT Avançado (A-IPT - “*Advanced IPT*”) está localizado em todos os roteadores da rede, e este é diferente do IPT original para lidar com a abordagem de sobreaprovisionamento de recursos. Uma síntese do protocolo de sinalização e as novas operações suportadas pelo A-IPT são fornecidas nas seções seguintes. O A-IPT implementa as reservas de recursos estabelecidas pelo A-NUM, sendo, então, para prover informações sobre rotas existentes, a adição de endereços IP na interface de saída e a atual capacidade QoS (ex. sobrerreserva atribuído por classe, limiares de reserva, taxas de atraso).

## 4.3 Protocolo de Sinalização C-CAST

A abordagem de sinalização adotada no C-CAST avançado segue o protocolo NSIS (*Next Steps in Signalling*) (HANCOCK *at al*, 2005), sendo este necessário para orquestrar todos os componentes. Na adição de suporte de QoS por classes, o protocolo de sinalização do C-CAST Avançado fornece informações de IP *multicast* com suporte na árvore de distribuição SSM (*Source Specific Multicast*) (RFC 3569). Desse modo, o caminho de comunicação é sinalizado na inicialização do sistema, sempre que uma requisição desencadeada é recebida (tal como a requisição de reajuste de recursos) para fornecer informações relacionadas à QoS e recursos de conectividade. A fim de fornecer uma abordagem com baixa complexidade, apenas duas mensagens de sinalização são especificadas, nomeadas de ENFORCE e RESPONSE. A Figura 4.3 descreve o cabeçalho e o corpo da mensagem do protocolo de sinalização do C-CAST avançado.



\* Opcional

Figura 4.3 - Cabeçalho e Corpo do C-CAST Avançado (Produção Própria)

A mensagem ENFORCE é utilizada para invocar uma operação; as mensagens RESPONSE, sobretudo, respondem a uma mensagem ENFORCE. Adicionalmente, o agente A-IPT utiliza a mensagem do tipo RESPONSE para anunciar e sincronizar pacotes no roteador de entrada.

Os campos da Figura 4.3 possuem características em comum.

- Tipo de mensagem: 8 *bits*, quando é setado como FALSE = 0 o campo indica uma mensagem ENFORCE, e quando setado como TRUE = 1 indica uma mensagem RESPONSE;
- *Flags* de mensagens específicas: 1 bit para cada. O agente A-IPT inspeciona a específica mensagem da *flag* carregada no cabeçalho da mensagem para determinar a operação requisitada.

No corpo da mensagem são carregados os campos usados para suportar as operações requisitadas pelos meios de informação operacional. Os objetos no corpo da mensagem são:

- Identificação de requisição Informação (RII): Este é um único identificador, dentro do contexto da sessão, na qual é usada para associar uma mensagem RESPONSE com uma precedente mensagem ENFORCE;
- Rota Reservada (RSVPATH): este carrega a lista de endereços IP dos roteadores visitados por uma mensagem ENFORCE ao longo da rota de comunicação;
- Especificação *Multicast* (MSPEC): Utilizada apenas na habilitação de *multicast* nas Sub-AMTs. Carrega a identificação de uma tupla SSM, (Exemplo: fonte e grupos de endereços IP *multicast*) ou a lista deles, dependendo das operações de requisição;
- Informações Operacionais (INFOSPEC): Este publica informações sobre a execução da operação. Exemplo: sucesso ou não;
- Especificação de QoS (QSPEC): Provisiona parâmetros de QoS utilizados pelo A-IPT para realizar operações específicas. Na inicialização do sistema, cada nó IP é associado a um QSPEC. A lista de parâmetros de QoS inclui: padrões de reserva por classes; atual taxa de atraso; perdas e jitter; Máximo limiar de reserva. O QSPEC pode ser estendido para tratar com tecnologias wireless (fora do escopo deste trabalho).

Os conteúdos das mensagens e operações associadas são:

- ENFORCE (I), mensagem ENFORCE com flag setada em I para desencadear o sistema de inicialização;
- ENFORCE (P), para indicar a entidade MTO nos ONs para iniciar a política de Proxy;
- ENFORCE (R), para desencadear operação de reajuste;
- RESPONSE (ACK), para retornar uma previsível operação associada, e para aprovisionar a atual capacidade de QoS de uma referida sub-AMT;
- RESPONSE (A), para registrar eventos assíncronos na rede. Exemplo: links quebrados e novos nós adicionados.

#### 4.4 Operações Suportadas

As fases do sistema consistem nos procedimentos operacionais de inicialização, conduzindo em princípio as configurações de sobrerreserva, tanto no componente A-NUM, quanto no componente A-IPT, visando a suprir a demanda pelos recursos requisitados pelas sessões dos usuários no sistema.

A inicialização do sistema é aplicada pelo A-NUM, como consequência da ocorrência de mudanças de topologias na rede subjacente (diferente do NUM, que implementa somente no carregamento do sistema). Os agentes A-IPT podem fazer parte de uma rede *multicast* ou *unicast*. O agente A-IPT em uma comunicação *unicast*, quando solicitado, responde com uma mensagem RESPONSE (A) para uma reserva local sempre que o nó de hospedagem é acionado. No caso de a entrada da rede receber uma mensagem ENFORCE (I), essa é estabelecida e transmitida para todos os ONs de entrada (IONs).

Ao receber uma mensagem do tipo ENFORCE (I), o A-IPT em cada ION inicializa os padrões de sobrerreservas por classes em modo compatível com os fundamentos de QoS introduzidos (por exemplo, configurações de escalonamento de prioridades). Depois, uma mensagem ENFORCE (I) é enviada a cada interface da rede local, e, para cada uma, é associado um objeto RSVPATH (Reserva de Rotas) com o IP local associado e a capacidade de QoS permitida no objeto QSPEC (Especificação de QoS). Após isto, as mensagens ENFORCE (I) são transmitidas para interfaces de rede adequadamente (para evitar *loops* infinitos na rede).

Nos pontos de comunicação do núcleo da rede, quando recebem mensagens do tipo ENFORCE (I), os nós e ONs procedem à mesma abordagem citada anteriormente na entrada da rede, o que significa inicializar os padrões de sobrerreserva para as classes e adicionar uma interface IP de rede local, associando a sua capacidade de QoS para essencialmente propagar a mensagem solicitada.

Para garantir que os melhores caminhos em condições de recursos de comunicação sejam reservados, o A-IPT observa se: (i) a solicitação de *downstream* na interface de IP local foi cumprida (isto para evitar *loops* infinitos); (ii) o nó atingido é um roteador de entrada (ION); (iii) caso a quantidade de endereços IP pesquisados chegar a um limite predefinido (Se é desejado limitar o número de segmentos para cada AMT). Neste caso, o processo seria cancelado; do contrario, o endereçamento do IP local e a capacidade de QoS associada, são adicionados e a mensagem é propagada via *downstream*.

Nos pontos de roteamento localizados na saída da rede, ao receber uma mensagem ENFORCE (I), os ONs procedem de maneira similar às funções citadas anteriormente, entretanto uma mensagem RESPONSE (ACK) é enviada para cada AMT *unicast* associada a uma mensagem ENFORCE (I), direcionando as mensagens ao local armazenado pelo A-NUM. Neste caso, este armazena todas as informações em uma tabela de estado local (ex. AMT *unicast* do momento). A comunicação *multicast* implementada sobre as AMTs também faz parte do sistema de inicialização, fundamental no suporte para a seleção de AMTs, permitindo assim uma comunicação convergente. Para isto, o A-NUM adota um algoritmo combinacional que pega os registros das AMTs *unicast* para gerar todas as possíveis combinações sequenciais entre cada ON de entrada e os ON localizados no núcleo e na saída da rede. Por exemplo, no caso de uma rede com definições de *ION1* e *EON 1,2,3* (sem núcleo para simplificar). Baseando-se nas AMTs *unicast*, a sequência de comunicação seria *ION1-EON1*, *ION1-EON2*, e *ION1-EON3*. Entretanto, para uma comunicação *multicast* poderia ser *ION1-EON1-EON2* e *ION1-EON1-EON2- EON3*.

Evidentemente, o algoritmo “combinacional” em um ambiente de larga escala (muitos nós na *entrada*, *saída* e *núcleo* da rede) pode produzir enorme quantidade de combinações, muitas das quais não poderão ser utilizadas. Observando isto, o A-NUM segue a premissa de que a confiança e o desempenho de uma AMT *multicast* dependem de sua configuração. As políticas aplicadas permitem ao A-IPT rejeitar uma sequencia combinacional com pontos ramificados no ON de entrada e permitir múltiplos caminhos convergindo para o mesmo roteador.

Essa característica permite que as operações de comunicação sobre a rede sejam acomodadas sobre rotas com maior adequação de recursos, e que naturalmente garanta a disponibilidade dos serviços oferecidos pelas aplicações dos usuários conectados.

O abrangência do C-CAST Avançado, considera o fornecimento de dados por parte do arcabouço de distribuição e detecção de contexto no âmbito do C-CAST Legado, sendo implementado junto ao A-NUM e A-IPT, características de sobrerreservas de recursos (ex. Largura de banda, sobreaprovisionamento de AMTs) para as demandas de sessões submetidas na rede. Na sequência deste trabalho são especificadas as operações suportadas, dando-se ênfase em princípio as operações fundamentais para a inicialização do sistema com o sincronismo entre os componentes A-NUM e A-IPT.

#### 4.5.1 Inicialização

Na Figura 4.4 é demonstrada a inicialização de todos os nós. O *software* agente A-IPT transmite uma mensagem de anúncio em direção ao endereço IP local reservado ao A-NUM, e mantendo estado de espera para a invocação de mensagens de entrada no sistema.

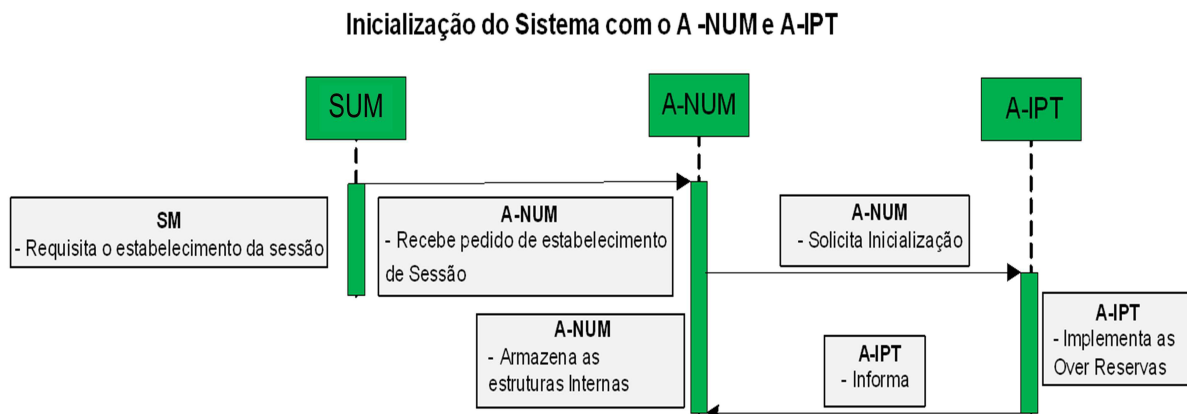


Figura 4.4 - Inicialização do Sistema com o A-NUM e A-IPT (Produção Própria).

Quando cada mensagem é recebida, o A-IPT do ON de entrada inicializa padrões de sobrerreserva de cada classe localmente configurada pela aplicação de um fator de inicialização (Exemplo:  $\frac{1}{2}$  ou  $\frac{1}{4}$ ), no máximo limiar de cada classe disponível. O IPT legado somente admite uma superior reserva para admitir/remover um fluxo de sessão. Cada interface de rede local transporta em *unicast* uma mensagem que disponibiliza o endereço IP e a atual alocação de QoS. Exemplo: por classes – sobrerreservas; máximo limiar de reserva; e as atuais taxas definidas para o atraso, perdas e *jitter*.



É importante enfatizar o fato de que o protocolo MARA, definido por Venâncio Neto (2008), somente preenche as informações de gargalo, enquanto o A-IPT concede a informação de todos os nós para suportar a presença de múltiplos ONs de entrada (*ingress*). Cada vizinho de CN (Figura 4.5) conduz um caminho até encontrar um ON de saída (*egress*) que, a partir daí, fará uma parada no processo de *flooding* de *streams* e direcionará mensagens *unicast* para o endereço IP do nó A-NUM (localmente reservado).

A fim de se garantir que apenas os melhores caminhos sejam reservados, o processo de *flooding* é parado sempre que detecta: (i) uma interface IP de *downstream* local, que já está preenchida na mensagem (evita infinitos *loops*); (ii) o nó atingido é um roteador *ION* (é assumido que cada roteador carrega informações para deduzir se este é um nó *ION*, *CN* ou *EON*); (iii) a quantidade de endereços IPs que atingiu um limite predefinido (se é desejado limitar o número de segmentos para cada AMT). A Figura 4.5 traz as operações do A-NUM e SUM sobre os dispositivos localizados no núcleo da rede.

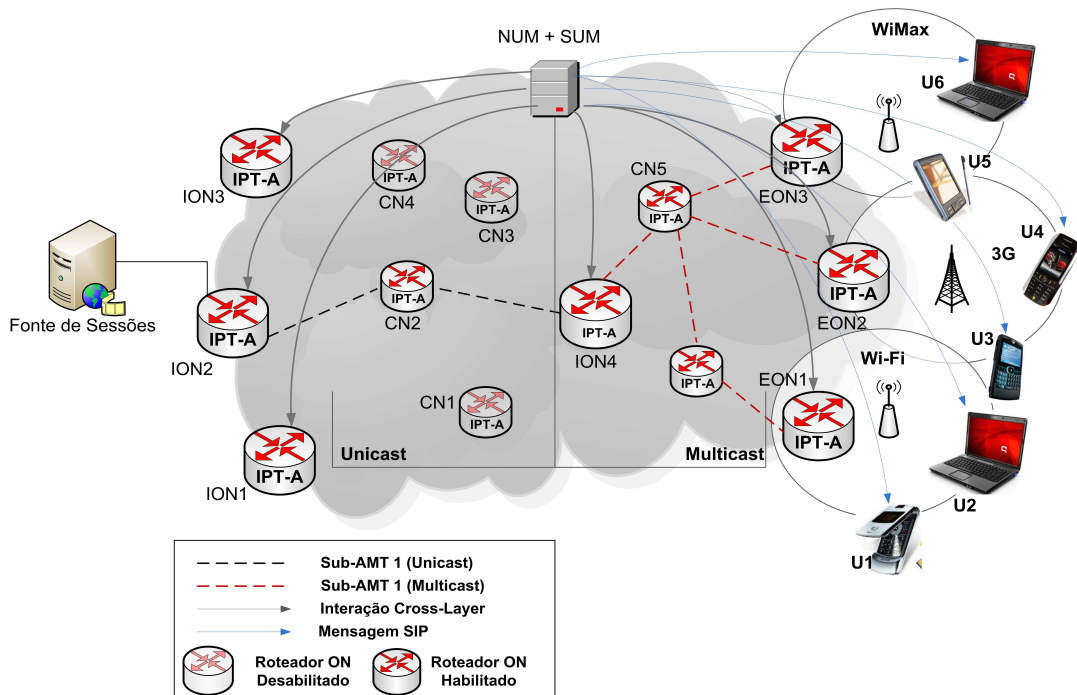


Figura 4.5 - Cenário inicial do Sistema com o A-NUM e A-IPT (Produção Própria).

Após finalizar a inicialização do sistema, o A-IPT nos ONs de entrada fica esperando pelas requisições de mensagens de reajuste dos padrões de sobrerreserva das indicadas classes para acomodar um novo fluxo de sessão. Com este fim, o A-IPT é preparado para calcular um novo padrão de sobrerreserva indicado pelo A-NUM. Caso este novo padrão exceda ao máximo de reserva do limiar predefinido, o A-IPT tenta reajustar os últimos padrões estabelecidos.

A ideia principal consiste em reduzir ao máximo o padrão de reserva de outras classes, a fim de garantir a demanda das classes. Após a configuração dos novos padrões de máximo limiar de reserva, o A-IPT reprocessa as mensagens do A-NUM, o qual pode permitir sucessivos reajustes de padrões de sobrerreserva, dessa forma, acomodando a demanda por fluxo de sessão e a provisionando o sistema para futuras requisições sem sinalização dirigida por fluxo. Na sequência, a seção 4.4.2 aborda o comportamento do sistema na existência de necessidade de reajuste de recursos nas reservas configuradas. A abordagem de sinalização usada no C-CAST Avançado é expressa na sessão 4.5.

#### 4.5.2 Controle de Admissão

No controle de admissão, o componente MTO funciona como o *Proxy*, recebendo mensagens da situação dos recursos dos ONs conectados à rede. O componente MTO mantém por *default* (padrão) informações de disponibilidade de recursos, fato que, estando disponíveis, as requisições de sessão serão estabelecidas pelo A-NUM. A Figura 4.6 contém um diagrama de sequência das operações envolvidas.

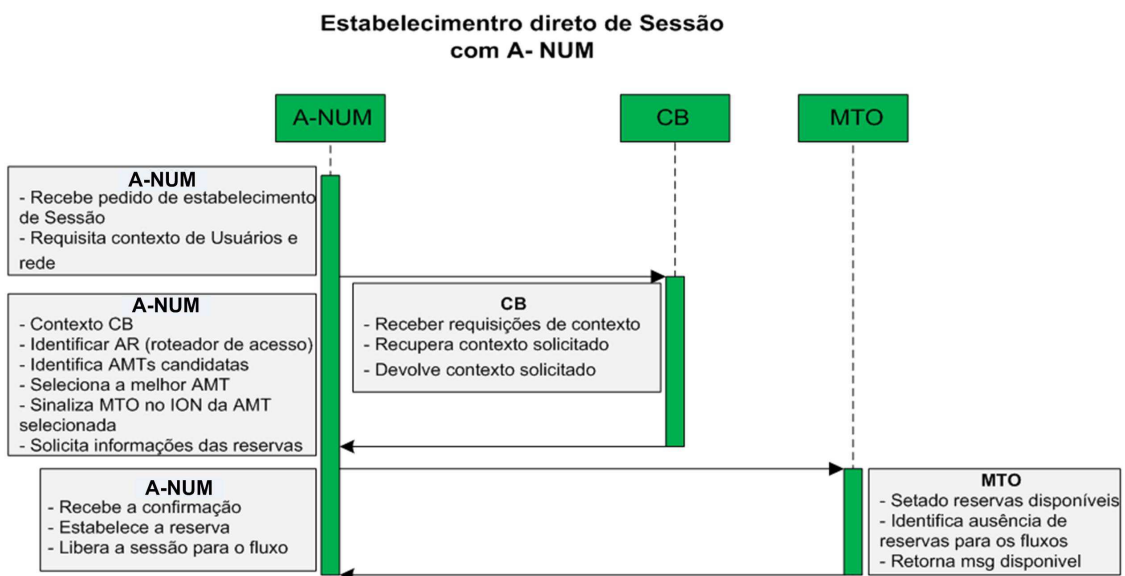


Figura 4.6 -Estabelecimento direto com o A-NUM e MTO (Produção Própria).

Na Figura 4.6, observa-se que, quando o A-NUM recebe um pedido de estabelecimento de sessão, ele requisita ao CB o contexto dos usuários e recursos disponíveis na rede. O CB recebe as requisições de contexto, recupera as informações solicitadas e retorna uma mensagem com os dados direcionados ao A-NUM.

O A-NUM com posse de informações de contexto recebidas do CBmm identifica os roteadores de acesso, seleciona AMTs candidatas e idêntifica a melhor, levando em conta atraso e largura de banda disponível. Adiante o A-NUM envia mensagem de sinalização para o MTO na entrada (ION) da AMT selecionada, solicitando informações sobre as reservas de recursos na rede. O MTO, ao receber as requisições enviadas pelo A-NUM, verifica as reservas disponíveis, identifica a ausência de reservas para os fluxos e retorna uma mensagem, indicando disponibilidade para reservas. O A-NUM recebe a confirmação positiva do MTO, estabelece a reserva e libera a sessão para o fluxo.

#### 4.5.3 Estabelecimento de Sessão com Reajuste de Recursos

No diagrama da Figura 4.7, quando um pedido de estabelecimento de sessão é requisitado ao A-NUM, é realizada uma análise da quantidade de recursos disponíveis em relação aos requisitos de recursos solicitados, visando a fornecer a estrutura necessária para que se estabeleça uma sessão. A análise realizada pelo A-NUM é possível, inicialmente, em virtude da disponibilização de informações de contexto fornecidas pelo componente CB. O A-NUM, de posse de informações de contexto, identifica os roteadores de acesso e as melhores AMTs que serão tidas como candidatas a conectar; e, de acordo com o mesmo contexto, são confrontados os dados obtidos para diagnosticar a necessidade de possíveis reajustes de recursos para que se estabeleça uma conexão. Caso os requisitos operacionais de recursos, estejam em conformidade com as sobrerreservas configuradas, a sessão é estabelecida.

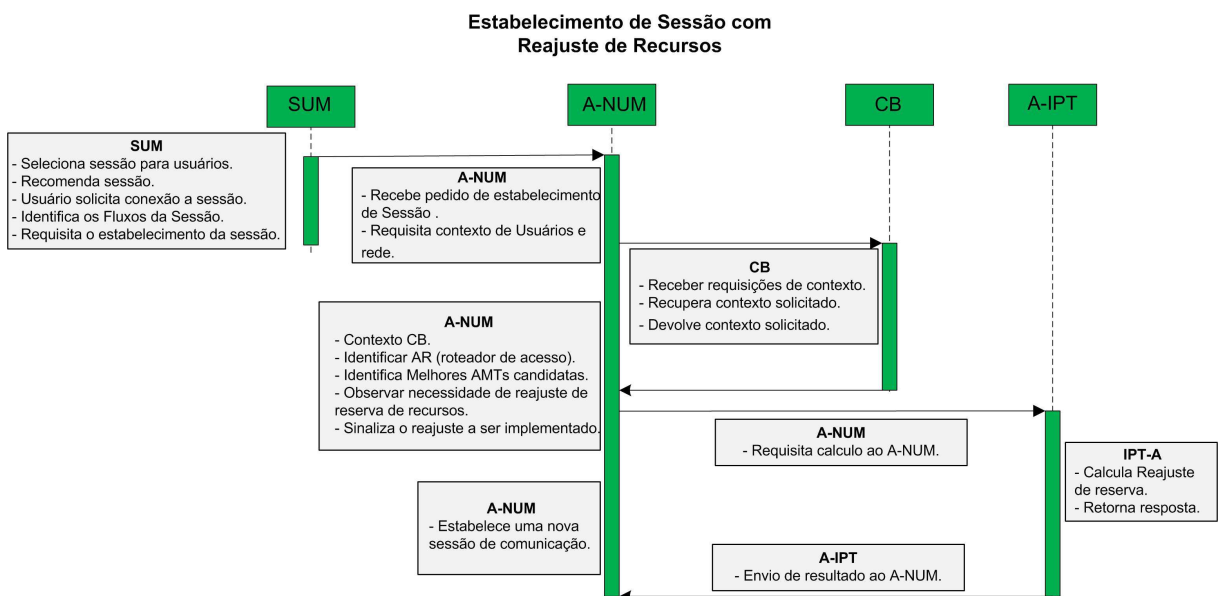


Figura 4.7 - Diagrama de Estabelecimento de Sessão (Produção Própria).

Caso os requisitos de recursos solicitados superem as sobrerreservas configuradas, o A-NUM detecta (satisfazendo a Equação 1), sinaliza a necessidade de reajuste e envia uma mensagem ao A-IPT com uma requisição de cálculo de reajuste. O componente A-IPT executa o cálculo de reajuste de reservas e envia uma resposta ao A-NUM, informando o resultado do cálculo de reajuste.

$$If B_u(i) + B_{rq}(i) > B_{rv}(i) \quad (1)$$

onde:

$B_u(i)$  é largura de banda em uso pela classe de serviço  $i$  (CoS  $i$ );

$B_{rq}(i)$  é o requisito de largura de banda para a classe de serviço  $i$  (CoS  $i$ );

$B_{rv}(i)$  é a largura de banda reservada para a classe de serviço  $i$  (CoS  $i$ );

O A-IPT faz os cálculos dos ajustes de sobrerreservas utilizando a Equação 2, na qual são definidos novos valores reajustados para as classes de serviços e repassados por meio de mensagem ao componente A-NUM.

$$B_{ov}(i) = \frac{B_u(i)}{MR_{th}(i)} * (MR_{th}(i) - B_u - B_{rq}(i)) \quad (2)$$

onde:

$B_{ov}(i)$  é a sobrerreserva de largura de banda de uma classe de serviço  $i$  (CoS  $i$ );

$MR_{th}(i)$  é o limiar de reserva de largura de banda por classe de serviço (CoS  $i$ );

O A-NUM, de posse dessas informações, estabelece o reajuste de recursos e compara o valor dos novos reajustes com a quantidade solicitada de recursos requisitada para estabelecer a sessão. Caso os valores obtidos para as novas sobrerreservas de recursos satisfaçam os requisitos para a sessão requisitada, é estabelecida a sessão.

#### 4.5.4 Estabelecimento de Sessão com Reajuste de Limiar de Reservas

No diagrama da Figura 4.8, caso os padrões de sobrerreserva calculados pelo A-IPT não sejam suficientes para assegurar uma rota adequada, faz-se necessário fazer um reajuste de limiar ( $MR_{th}$ ) de todas as classes de serviços. Isso porque os requisitos de recursos solicitados superam as sobrerreservas configuradas e reajustadas. O A-NUM detecta e sinaliza a necessidade de reajuste de limiar de recursos.

O A-NUM enviará novamente uma mensagem ao A-IPT, com uma requisição de cálculo de reajuste de limiar. O componente A-IPT executa o cálculo de reajuste de limiar das reservas e envia uma resposta ao A-NUM, informando o resultado do cálculo de reajuste.

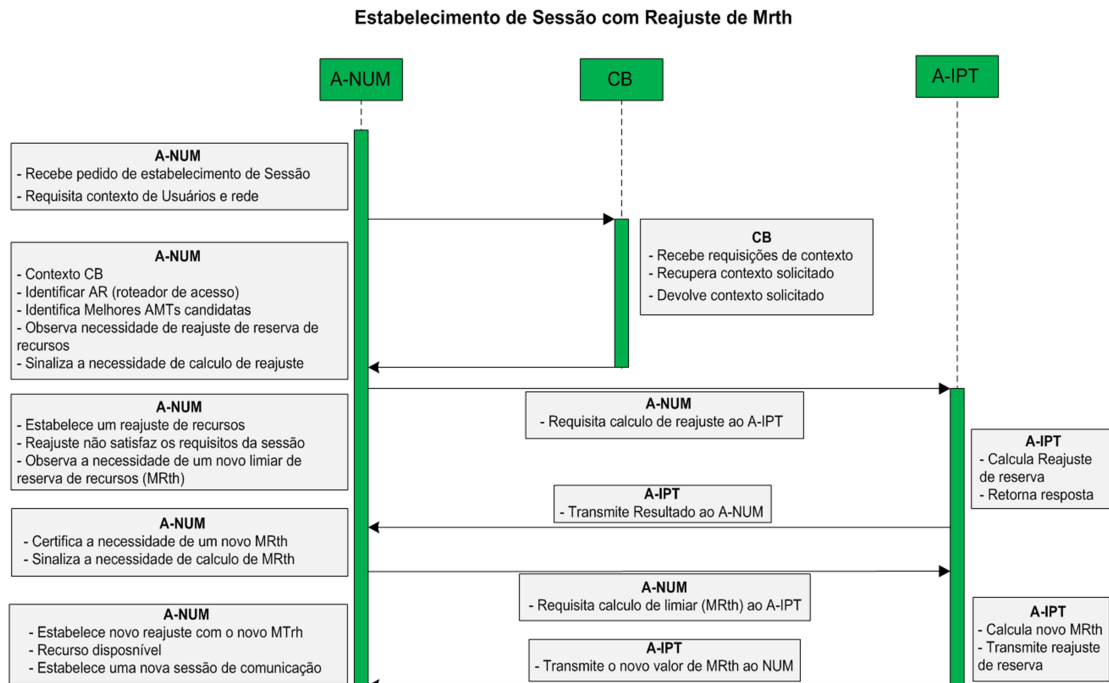


Figura 4.8 - Diagrama com Reajuste de Limiar no Sistema (Produção Própria).

Quando os ajustes calculados pelo A-IPT e implementados pelo A-NUM não são suficientes para satisfazer os requisitos de recursos para uma solicitada sessão (Figura 4.8), o componente A-NUM identifica a necessidade de reajuste de limiar (MRth) e sinaliza ao componente A-IPT uma requisição de cálculo de reajuste de limiar.

O cálculo é realizado e transmitido de forma concatenada, uma resposta com os novos ajustes de limiar calculados. O A-NUM, de posse desses novos valores, reajusta o valor obtido para um novo limiar. O A-NUM, de posse dessas informações, estabelece o reajuste de recursos e compara o valor dos novos reajustes com a quantidade de recursos requisitada para estabelecer a sessão. Caso os reajustes não sejam suficientes, o A-NUM rejeita a sessão. Caso os valores obtidos para as novas sobrerreservas de recursos satisfizerem os requisitos para a sessão solicitada, esta é estabelecida.

Com a possibilidade de se estabelecer a sessão, o A-NUM fica apto a satisfazer os requisitos do pedido de sessão recebido. Essa característica é importante para se entender como melhor distribuir os recursos disponíveis na rede. Um fato importante, entretanto, é salientar que a rede possui limites e os recursos podem não estar disponíveis, sendo negada a disponibilização de recursos para o pedido de sessão.

#### 4.5.5 Negação de Sessão

Na negação de sessão, o componente MTO que funciona como Proxy, recebe mensagens do A-IPT cujos os recursos já estão no limite. Na computação dos parâmetros repassados, o componente MTO mantém ou altera o valor padrão, publicando a informação de indisponibilidade de recursos, de sorte que, estando indisponíveis as requisições de sessão, estas serão negadas pelo A-NUM. A Figura 4.9 contém um diagrama de sequência das operações envolvidas para a negação de sessão.

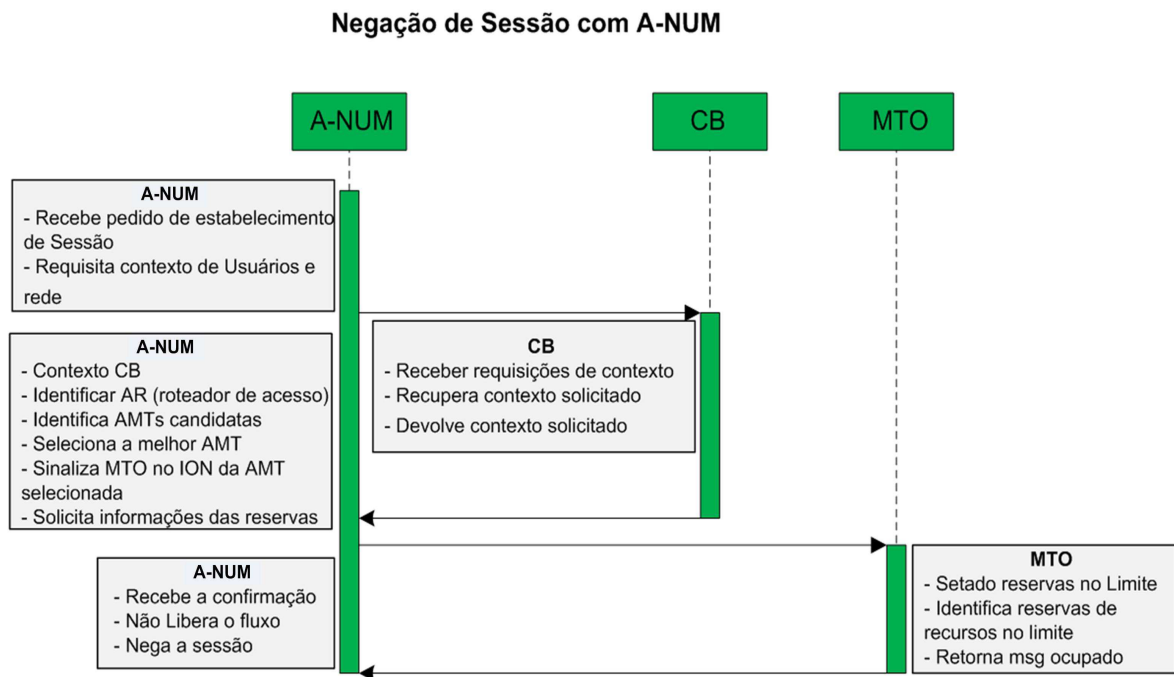


Figura 4.9 - Negação de Sessão com o A-NUM (Produção Própria).

No diagrama da Figura 4.9, o A-NUM de toda a forma recebe um novo pedido de estabelecimento de sessão, requisitado por meio de mensagens, informações de contexto do CB. Ao receber as requisições de contexto, o CB extrai de sua base de dados o contexto dos usuários e recursos na rede, e os devolve por meio de mensagens as informações ao A-NUM. Com a aquisição de informações de contexto do CB, o A-NUM identifica novamente os roteadores de acesso, distingue as AMTs candidatas e seleciona a melhor AMT. Após esses processamentos, o A-NUM sinaliza mensagem de requisição em direção ao MTO da AMT selecionada. O MTO recebe a requisição do A-NUM, observa a situação das reservas de recursos e identifica por meio de sua base de dados, o fato de que as reservas de recursos estão indisponíveis, retornando ao A-NUM uma mensagem do tipo ocupado. Com essa informação, o A-NUM negará a sessão solicitada no referido momento.

#### 4.5.6 Abandono de Sessão

Na ocorrência de eventos de sinalização de abandono de sessão por parte dos usuários, o A-NUM, ao receber uma requisição, tratará de liberar os recursos que estão sendo utilizado para disponibilização a futuros usuários, que poderão sinalizar interesse em determinado conteúdo estabelecido na sessão. Para efetivar a liberação, inicialmente, o A-NUM recupera o contexto do usuário. O A-NUM, de posse do contexto identifica o roteador de acesso e as AMTs alocadas ao usuário, sinalizando ao MTO, por meio da ION da AMT, solicitando assim o serviço de abandono de sessão por parte do usuário. O MTO, ao receber o sinal de abandono, disponibiliza recursos para que novos usuários possam utilizar os recursos. A Figura 4.10 é reproduz o diagrama de sequência das operações envolvidas no abandono de sessão por parte de um usuário.

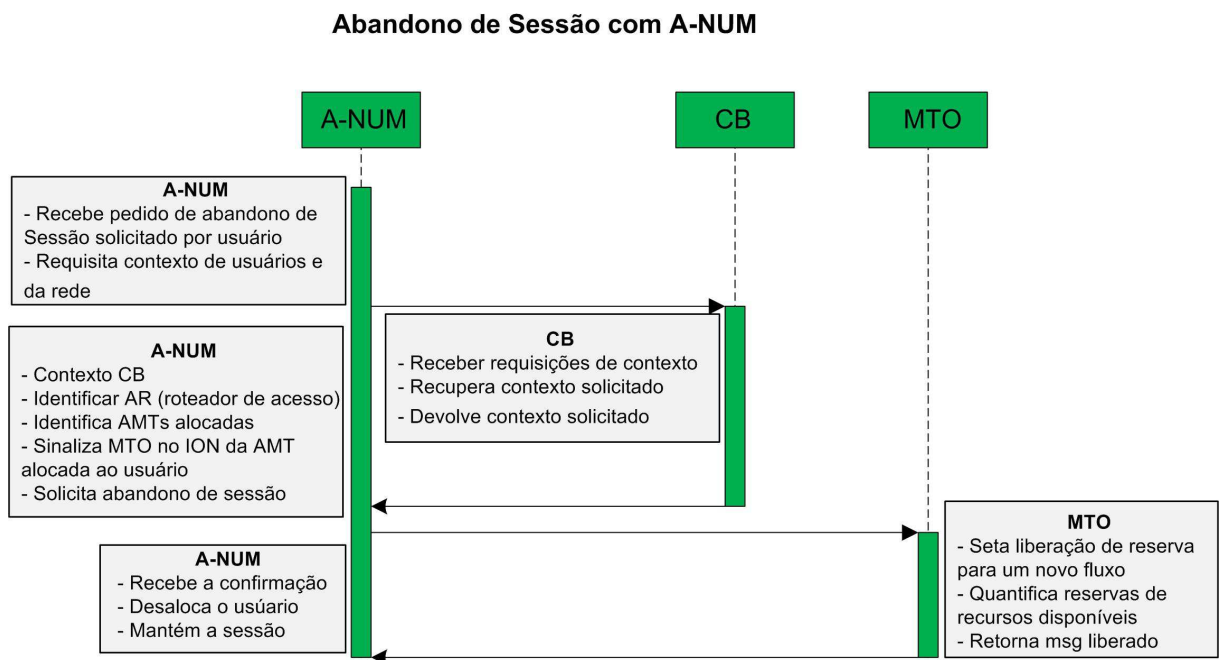


Figura 4.10 - Abandono de sessão com o A-NUM (Produção Própria).

No diagrama da Figura 4.10, após processamentos de aquisição de contexto por parte do A-NUM, ele sinaliza uma mensagem de requisição de abandono de sessão em direção ao MTO da AMT selecionada. O MTO recebe a requisição do A-NUM, observa a situação das reservas de recursos, acrescenta em sua base de dados informações de disponibilidade de reservas de recursos, e calcula a quantidade de recursos disponíveis para as requisições de reservas. Após esta etapa, o MTO retorna ao A-NUM uma mensagem do tipo liberado. Com essa informação, o A-NUM se torna apto a satisfazer novos pedidos de sessão.

#### **4.5 Conclusões Parciais**

Sobre o C-CAST Avançado composto pelas novas funcionalidades dos componentes NUM e IPT, denominados de A-NUM e A-IPT, são esperadas uma diminuição no uso de mensagens de sinalização e um melhor uso operacional da rede. Acredito ser possível a aplicação da proposta de sobreaprovisionamento de recursos do C-CAST Avançado sobre a atual arquitetura IP, considerando a vertente de alocação de recursos para os pedidos de sessões ocorridos na rede, considerando a existência de redes convergentes. Na sequência do trabalho, são feitas as descrições dos procedimentos adotados para se avaliar a implementação do C-CAST Avançado, bem como são expressos os resultados obtidos em comparação com as características do C-CAST Legado.

As operações suportadas pelo A-NUM e A-IPT são iterativas, conduzindo ao arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto, oportunidades de melhorar o desempenho operacional e garantir os recursos fim a fim para as sessões dos usuários, isto de forma personalizada, e adequando-se aos requisitos operacionais de uma sessão.

Na sequência, são delineados as avaliações de resultados experimentais de desempenho entre a proposta especificada pelo C-CAST Avançado, confrontado com as operações funcionais sobre o C-CAST Legado.



## 5 AVALIAÇÕES DE RESULTADOS

Neste capítulo, são expostos os procedimentos adotados para avaliar a proposta C-CAST Avançado, bem como, é procedido o estudo dos resultados adquiridos, com o objetivo de determinar o impacto de seu uso sobre o C-CAST Legado. Para isso, foi adotado um modelo de simulação baseado no *Network Simulator* versão 2 (NS-2). Ambos os mecanismos foram expostos a eventos semelhantes em diferentes experimentos. Os resultados obtidos com os experimentos foram coletados e analisados comparativamente aos dois mecanismos considerados (isto é, C-CAST Legado e Avançado), tendo seus resultados expostos por meio de gráficos produzidas com suporte aos resultados obtidos.

### 5.1 Cenário e Ambiente de Simulação

O modelo de simulação foi desenvolvido na ferramenta NS-2, a qual foi estendida com novos módulos que implementam as funcionalidades do C-CAST Avançado. A justificativa para utilização do NS-2 ante a existência de simuladores mais evoluídos como o NS-3 ou OMINET, se dá pela conveniência da reutilização de códigos disponíveis para os mecanismos MARA (VENÂNCIO NETO, 2008) e C-CAST Legado (VALBOM, 2009), bases para desenvolvimento desse trabalho. Com isso, o trabalho ganhou flexibilidade, comodidade e tempo para desenvolvimento de todas as suas etapas.

O NS-2 é um simulador de eventos discreto, com o objetivo centrado em pesquisas sobre redes mediante de uma rica plataforma, que compreende vários pacotes, simulando o comportamento de ferramentas, protocolos e mecanismos padronizados para redes IP. O NS-2 é a implementação de uma máquina de simulação extensível e sensível a eventos em que há diversas entidades envolvidas: *AT&T Research*, *Lawrence Berkeley National Laboratory*, *USC/ISI*, *Xerox PARC*, *ETH TIK*. O NS-2 é escrito em C++, com um interpretador OTCL (*Object Tool Command Language - MIT*) como “*front end*”. (FALL *et al*, 2002).

Na amplitude do NS-2, segundo Fall *et al* (2002), as pesquisas na área de redes abordam os seguintes temas: (i) selecionar um método para atingir um objetivo (projeto de produto); (ii) explorar comportamentos complexos; (iii) comparar resultados de pesquisa; e (iv) interação de multiprotocolos. Uma facilidade promovida pelo NS-2 é a abstração, pois permite variar a granularidade dos componentes, conduzindo simulações em diferentes níveis.

A composição do modelo de simulação foi realizada com base em parâmetros obtidos de cenários de testes utilizados em trabalhos publicados no âmbito dos mecanismos operacionais do C-CAST Legado (Coutinho *et al* 2010) (Coutinho *et al* 2011). Além disso, o modelo de simulação conta com a topologia de rede conforme está na Figura 5.1.

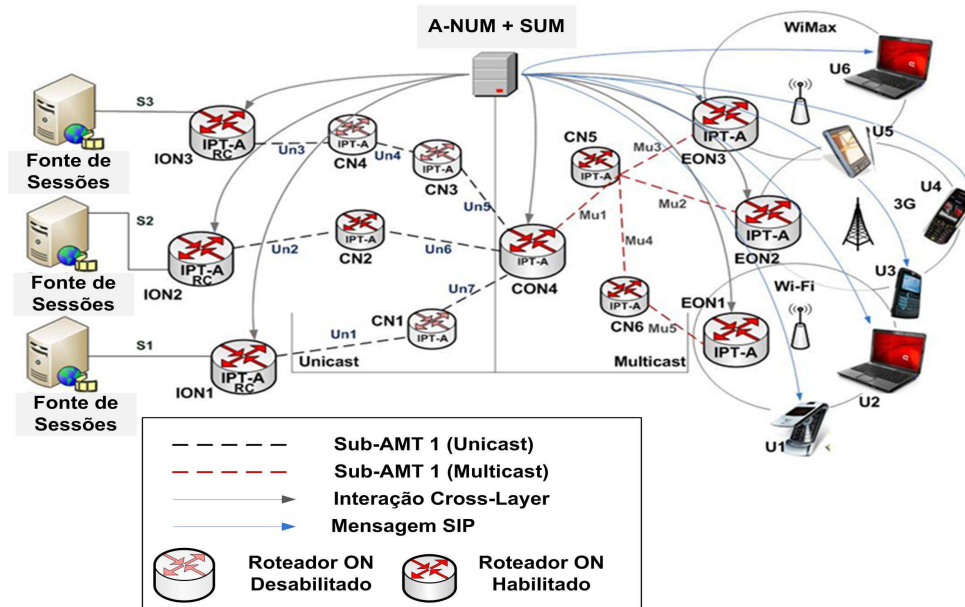


Figura 5.1 -Topologia de rede utilizada no modelo de simulação (Produção Própria).

Como se pode notar na Figura 5.1, foram definidas três fontes de conteúdos multimídia (S1-S3) interligadas diretamente aos nós de entrada da rede (ION1-ION3). Adicionalmente, a topologia conta ainda com seis roteadores de núcleo (CN1-CN6), um roteador de núcleo *overlay* (CON4) para o suporte de redes convergentes, três roteadores de saída (EON1-EON3) e três pontos de acesso emulando o comportamento de variadas tecnologias de redes sem fio (Wi-Fi, WiMAX e 3G). Existe ainda a presença de seis usuários (U1-U6), cada um conectado a um AP com área de cobertura sobreposta a outro AP, no intuito de caracterizar capacidade *multi-homing*. As funcionalidades dos componentes SUM e A-NUM estão anexadas ao nó central, para, respectivamente, permitir geração de pedidos de sessão e a exposição das funcionalidades do C-CAST Avançado.

Os enlaces utilizados em toda a rede foram configurados randomicamente com diferentes atrasos de propagação (de 1 a 2 ms) e largura de banda (de 5 Mb/s a 7 Mb/s) para experimentar comportamento variado. A capacidade operacional de tráfego suportada por todos os APs é de 1 Mb/s, impondo um atraso de 10 ms. As três fontes geram fluxos de dados variando os modelos de transmissão, sendo 100 Kb/s para fluxos do tipo CBR (*Constant Bit Rate*), e 125 Kb/s para fluxos do tipo EXP (*Exponentials*).

O tempo de duração das sessões variam randomicamente de 20 segundos (curta duração) a 120 segundos (longa duração), tendo como premissa sobrecarga dos enlaces para forçar reação a congestionamento. Uma sessão tem início quando os pacotes associados ao fluxo são transportados pela rede e, para isso, é necessária uma requisição do SUM ao controlador central (NUM para o C-CAST Legado, e A-NUM para o C-CAST Avançado), o qual é responsável por aplicar as políticas de controle de admissão.

Foi adotada a mesma metodologia de simulação utilizada nos experimentos anteriores do C-CAST Legado, para permitir uso de fluxos *multicast* sobre enlaces sem fio. Para tal, foi utilizada uma ferramenta de emulação de comportamento de redes sem fio sobre redes cabeadas (PEREIRA *et al*, 2007). A ideia central é configurar, automática e dinamicamente, valores variáveis para atraso de transmissão ao longo do tempo com base em valores reais de ambientes móveis. A justificativa para essa metodologia é que não existe no NS-2 a possibilidade do uso integrado de transporte de pacotes *multicast* em enlaces sem fio.

## 5.2 Metodologia Adotada para os Experimentos

A metodologia utilizada para avaliação adotou o C-CAST Legado como mecanismo a ser comparado, tendo como justificativa natural o C-CAST Avançado ser uma proposta extensiva ao trabalho anterior. A comparação com outras propostas não é considerada aplicável haja vista trabalhos anteriores terem avaliado o C-CAST Legado com o estado-da-arte em redes Internet (como RSVP, NSIS e MIRA), cujos resultados demonstraram significativa superação na otimização dos custos operacionais no sistema.

Tanto os experimentos, configurados com o mecanismo C-CAST Legado quanto com o C-CAST Avançado, foram submetidos aos mesmos parâmetros de configuração e escala de eventos. Foram realizados dez experimentos para cada mecanismo, tendo variação da quantidade de pedidos de sessões (de 100 a 1.000). Os pedidos de estabelecimento e encerramento de sessão foram escalonados ao longo do tempo de simulação (120 segundos) segundo uma distribuição *Poisson* (HAIGHT, 1967). Na sequência, são implementadas as observações e análises dos dados colhidos por meio dos experimentos simulados, expressando os motivos que guiaram a modelagem das simulações, citando os limites e contribuições da arquitetura do C-CAST Avançado ante o Legado no âmbito de seus arcabouços de transporte multiparte sensível ao contexto em redes convergentes.

### 5.3 Análise e Resultados

Com o objetivo de avaliar os benefícios do C-CAST Avançado em relação ao seu antecessor C-CAST Legado, os resultados são divididos em dois grupos que consideram os impactos nos custos operacionais da rede e na QoS prestada aos pacotes das sessões. Foram adotadas métricas objetivas de QoS regularmente utilizadas em trabalhos científicos da área, nomeadamente, carga de sinalização, latência e tempo de ida e volta (*Round-Trip Times*, ou RTT) para aferir o impacto nos custos operacionais da rede; e perda de pacotes e atraso de propagação para avaliar o nível de QoS prestado aos fluxos admitidos.

Para obter um intervalo de confiança de 95%, os dez experimentos foram repetidos 20 vezes para conduzir maior representatividade dos dados e melhorar o entendimento sobre o nível de escalabilidade da rede ante a crescente demanda por sessões. A média dos resultados de cada experimento foi utilizada para compor os gráficos, em que foram gerados traços estatísticos sobre as operações fundamentais envolvendo ambos os mecanismos em análise, confrontando o cenário e os resultados alcançados.

#### 5.3.1 Influência da Carga de Sinalização

Para estimar o impacto dos mecanismos que integram o arcabouço de transporte do C-CAST Legado e Avançado, em relação aos custos na rede, foram analisados as métricas objetivas de sinalização, latência e RTT. Inicialmente, a carga de sinalização produzida no modelo de simulação é analisada para aferir aspectos relacionados à eficiência no uso de recursos, que impactam diretamente no custo computacional (consumo de CPU e memória) e energético do sistema. Mediante esta análise, é possível conduzir estratégias para melhorar o desempenho operacional no estabelecimento de recursos para as sessões dos usuários, bem como evitar desperdício de recursos. As sinalizações são utilizadas pelos agentes de *software* do modelo de simulação para indicar aos seus pares a informação de controle, isso para dar assistência as suas tarefas específicas. No caso do C-CAST Legado, após sinalizar o sistema para inicializar os recursos, a carga de sinalização cresce exponencialmente com a quantidade de pedidos de sessão (sendo ativada para cada fluxo que compõe a sessão), uma vez que o IPT é centrado no modelo por-fluxo. Já no C-CAST Avançado, a abordagem de sinalização adotada se restringe a sinalizar o sistema somente para, além de inicializar o sistema (tal qual o C-CAST Legado), reajustar as sobrerreservas.

Portanto, a carga de sinalização do C-CAST Avançado cresce exponencialmente com a necessidade de reajustar a sobrerreservas, o que deve acontecer em uma frequência muito menor do que no C-CAST Legado. A Figura 5.2 expressa os resultados obtidos nos experimentos envolvendo carga de sinalização introduzida pelo C-CAST Legado em relação ao C-CAST Avançado.

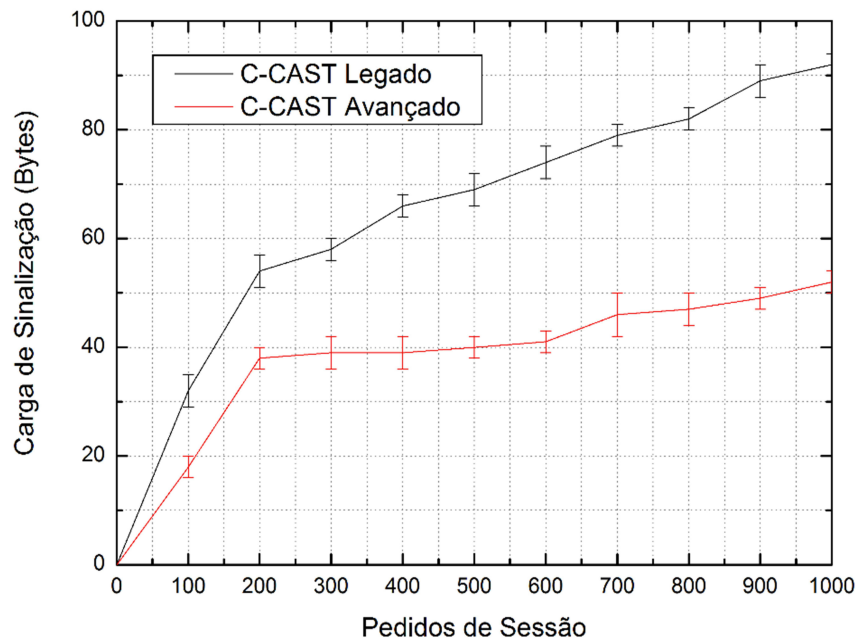


Figura 5.2 -Carga de Sinalização dos ensaios com C-CAST Legado e Avançado (Produção Própria).

Os resultados numéricos expõem a ideia de que a média da carga de sinalização gerada nos experimentos configurados com o C-CAST Legado é de 71,8 bytes, e no C-CAST Avançado é 39,3 bytes. Os resultados da Figura 5.2 demonstram que a abordagem de sinalização adotada no C-CAST Avançado permite reduzir em 45,7% a carga de sinalização atribuída ao mecanismo C-CAST Legado.

Os resultados da Figura 5.2 permitem confirmar que a abordagem de sinalização restrita adotada pelo mecanismo C-CAST Avançado é significativamente superior ao C-CAST Legado, o que pode estimar o reduzido impacto nos custos operacionais de todo o sistema envolvido na rede.

Esse fato se justifica, uma vez que o controle de admissão centrado em sobreaprovisionamento apenas produz sinalização quando mudanças nos padrões de sobrerreserva são necessários. Observa-se pelo gráfico que para ambas as arquiteturas, a carga de sinalização tem um crescimento expressivo com base no experimento com 200 pedidos de sessão na rede. Esse fato expõe à adaptação de ambas as arquiteturas em acomodar os pedidos de sessão requisitados.

No caso do C-CAST Avançado, esse comportamento é naturalmente justificado, pois quanto menos eventos de pedido de sessão houver, menor a probabilidade de esgotamento das sobrerreservas e conseqüentemente sinalizações para reajuste. Pode-se ainda observar, contudo, que, com origem no experimento com 200 pedidos, o crescimento da carga de sinalização tende a não ter crescimento expressivo, pois o controle de admissão nega pedidos onde é impossível acomodar sessões mediante o do reajuste dos padrões de sobrerreserva. No C-CAST Legado, em razão de sua abordagem de sinalização guiada por fluxo, é notado crescimento expressivo entre os experimentos, uma vez que a carga de sinalização aumenta em direta proporcionalidade com a quantidade de pedidos de sessão solicitada pelo SUM.

Outro fator preponderante para a drástica otimização alcançada pelo C-CAST Avançado acontece pelo mecanismo de resiliência, em que múltiplas sessões são rerroteadas pelo A-NUM sem qualquer geração de evento de sinalização. Já no C-CAST Legado, cada sessão rerroteada requer troca de sinalização para instalação das reservas na nova AMT, e, assim, confirma-se influência no incremento da taxa de sinalização nos experimentos com maior quantidade de pedidos de sessão.

Contrariamente, os experimentos do C-CAST Avançado demonstram o inverso, em que a carga de sinalização não tem expressivo crescimento, haja vista sobrerreservas estarem disponíveis e permitem admissão de sessões sem qualquer evento de sinalização. No caso da Figura 5.2, com amparo em experimentos com 600 pedidos, é que aumenta levemente a carga média de sinalização, sob a influência congestionamento e exaustão de recursos.

Além da carga de sinalização, também foi coletada o comportamento da latência gerada em todo o sistema pelo uso das funcionalidades atribuídas aos mecanismos C-CAST Legado e Avançado. Segundo Kurose e Ross (2010), quando um pacote trafega pela rede, é alvo, no longo do caminho, de vários atrasos operacionais, nomeadamente de propagação, atraso de processamento, transmissão e fila.

A união de todos estes atrasos nodais ao longo do caminho utilizado determina o retardamento total fim a fim. Latência nodal é o tempo completo durante o qual um pacote é retido em um nó para processamento. Portanto, a latência pode ser entendida como a soma dos atrasos surgidos na rede, em decorrência das operações realizadas sobre os equipamentos de interconexão (ex. roteadores, comutadores e dispositivos de comunicação). Dessa maneira, o comportamento médio da latência nodal nos experimentos configurados com C-CAST Legado e Avançado são exibidos na Figura 5.3.

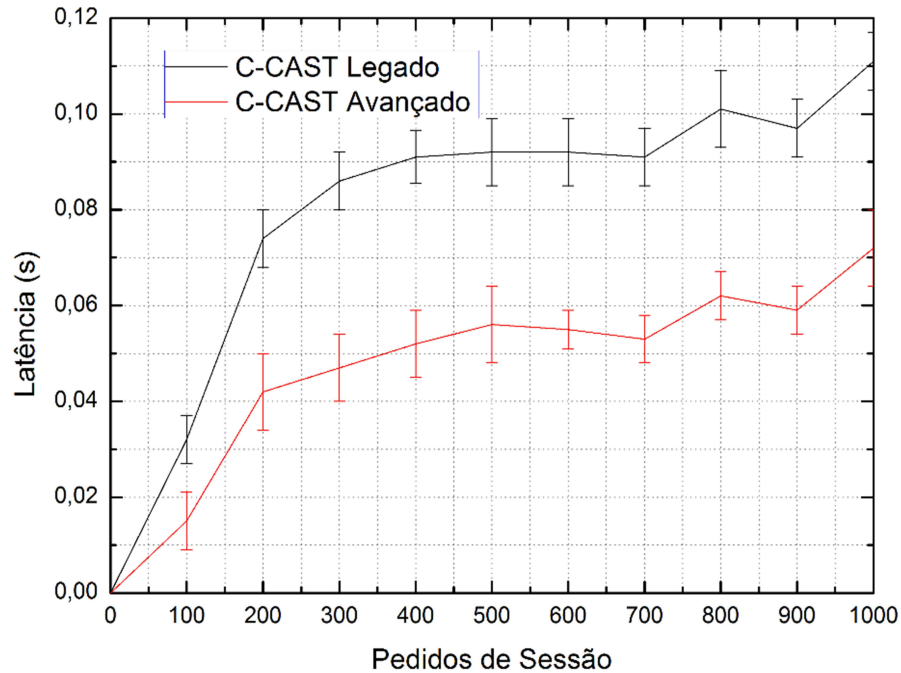


Figura 5.3 -A Latência Ante as Configurações do C-CAST Avançado e Legado (Produção Própria)

Conforme pode ser observa na Figura 5.3, novamente é possível verificar que, com procedência no experimento com 200 pedidos de sessões, a expressiva ascendência do comportamento da latência é diminuída em ambos os experimentos, chegando a um valor médio de 0,075 segundos no C-CAST Legado contra 0,042 segundos por parte do C-CAST Avançado.

Seguindo análise gráfica, observa-se que a partir de 200 pedidos de sessão até um limite de 500, seguem em ambas as arquiteturas um gradativo e leve aumento da latência, tendo picos para 800 pedidos, cujo congestionamento atinge seus níveis mais expressivos e assim requerem mais sinalizações para resiliência. Esse fato sobre o intervalo de 200 e 500 pedidos de sessão continua a ocorrer em decorrência da necessidade de reajuste de recursos a serem sobreaprovisionados para as sessões na rede. No intervalo de 500 pedidos de sessões até um valor médio de 700, verifica-se leve diminuição da latência em ambas as arquiteturas, sendo mais perceptível no C-CAST Avançado. O motivo para uma leve redução na latência seria em decorrência, de certo, do encerramento de sessão ocorridos na rede, o que permite a liberação de recursos, naturalmente, conduz à diminuição da latência pela menor frequência de sinalização para reajuste. Desde 700 pedidos de sessão até ao limite de 1.000, ocorre uma alternância entre aumento e diminuição da quantificação da latência. Especificadamente, no intervalo de 800 a 900 pedidos de sessões, observa-se uma diminuição mais gradativa da latência em ambas as arquiteturas.

A diminuição mais gradativa da latência sucede em razão da existência mais intensa dos eventos de encerramento de sessão. No intervalo de 900 a 1.000 pedidos de sessões, no entanto, se verifica um novo e gradativo aumento da latência. Os motivos para esse comportamento é que, com o aumento dos pedidos, excedeu-se o limite de reservas, de modo que novos reajustes de limiares de reservas de recursos foram necessários, conduzindo novas operações para o provisionamento de recursos.

Pelos resultados da Figura 5.3, pode-se confirmar que a abordagem de sinalização restrita do C-CAST Avançado supera significativamente a abordagem por-fluxo do C-CAST Legado. Os resultados numéricos anunciam redução na latência em torno de 43,16% (de 0,095 ms no C-CAST Legado para 0,054 ms). Com isso, é possível concluir que o C-CAST Avançado permite diminuir o tempo para estabelecimento de uma sessão em comparação com o C-CAST Legado, bem como reduz a sobrecarga de processamento e, possivelmente, o consumo de energia.

Na sequência, é avaliado o comportamento do RTT alcançado pelos mecanismos C-CAST Legado e Avançado no modelo de simulação. Com origem, métrica de RTT, é possível aferir o impacto nas operações de controle dos recursos de rede e na aquisição do contexto das sessões a serem estabelecidas. Por esse motivo, um conhecimento detalhado do comportamento dos RTTs na rede é importante para as operações de controle de reserva e as funcionalidades das aplicações. Entende-se por RTT, no âmbito deste relatório de pesquisa, como sendo a quantidade de tempo transcorrido entre o momento em que um pedido de seção foi solicitado e o restante de sua admissão.

Muitos fatores podem influenciar no tempo de RTT, como a latência nodal e a maneira pela qual os recursos são alocados pelos agentes embarcados nos nós de borda e núcleo da rede (nomeadamente IPT e A-IPT). Outro fator relevante, e que também pode impactar o tempo de RTT, é a frequência de ajustes e reajustes de reservas para as sessões, bem como as possíveis liberações de recursos ocorridos na rede, em decorrência de abandonos de sessão por parte de usuários que se ausentaram da rede. O RTT permite, contudo, que se avaliem de forma ponderada, as conectividades entre os mecanismos operacionais da rede, bem como o estabelecimento das sessões solicitadas, levando em conta o estabelecimento das operações de forma temporal, permitindo uma avaliação das abordagens de alocação de recursos por fluxo e sobreaprovisionada. A Figura 5.4 aponta graficamente o comportamento do RTT nos experimentos, configurados tanto com o C-CAST Legado quanto com o C-CAST Avançado, sobre a quantidade variada de pedidos de sessão.



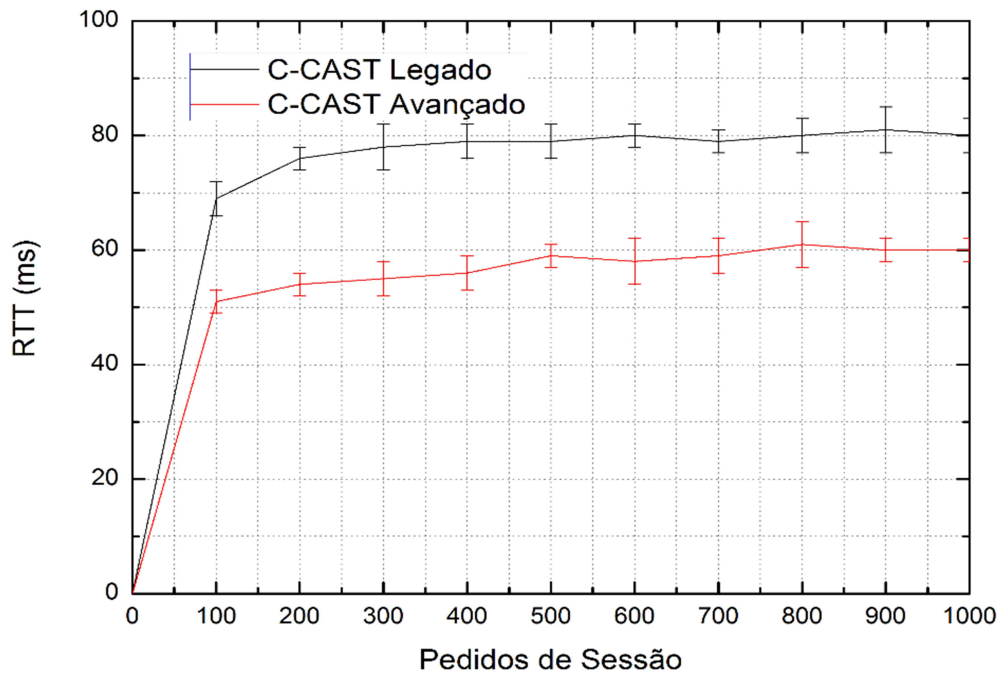


Figura 5.4 - A Latência Frente as Configurações do C-CAST Avançado e Legado (Produção Própria).

Os resultados numéricos da Figura 5.4 confirmam novamente superação do C-CAST Avançado sobre o C-CAST Legado, ao reduzir em 26,86% (de 78,3 ms para 57,3 ms) o RTT médio gerado nos experimentos configurados com o C-CAST Legado.

Esse resultado é justificado mais uma vez pela abordagem de sinalização restrita do C-CAST Avançado, ao permitir redução na frequência de operações para reajustar os padrões de sobrerreservas. Os resultados numéricos evidenciam que o C-CAST Avançado expressa um tempo máximo de RTT em torno de 51 ms, contra um 70 ms alcançado pelo C-CAST Legado. Esse fato demonstra mais uma vez, um quadro de superação do C-CAST Avançado em relação ao C-CAST Legado, ocasionado essencialmente pela otimização da abordagem de sinalização restrita em face da por fluxo. Para o intervalo de 200 a 1000 pedidos, observa-se em ambas as arquiteturas que o tempo de RTT se mantém em uma faixa média com variação aproximada de dez milissegundos (10 ms), fato este que se justifica em razão dos padrões de reservas de recursos estarem estabelecidos e que permanecem operantes, permitindo uma estabilização temporal na rede.

Além das capacidades de redução do custo operacional da rede, a seção seguinte pretende analisar métricas, com o objetivo de aferir a qualidade dos serviços prestados aos pacotes associados às sessões acomodadas no sistema, a fim de identificar relevantes características operacionais a serem cumpridas por parte de ambas as arquiteturas analisadas nos experimentos.

### 5.3.2 Influência na QoS Prestada às Sessões Acomodadas

Para aferir a influência das funcionalidades dos mecanismos C-CAST Legado e Avançado no nível de QoS prestado aos pacotes das sessões acomodadas no modelo de simulação, foi estudado o comportamento das seguintes métricas objetivas: perda de pacotes e atraso de propagação.

A perda de pacotes é uma métrica essencial para avaliar qualitativamente o cumprimento aos requisitos de QoS de uma sessão estabelecida. A alocação de recursos deve ser implementada com vistas a prover recursos suficientes para evitar que pacotes de uma sessão sejam perdidos ao longo de seu trajeto, possivelmente alcançados pela exaustão de filas. No caso dos mecanismos C-CAST Legado e Avançado, ambos adotam abordagem baseada na reserva de largura de banda, porém geridas de forma diferente. De maneira pragmática, ambos os mecanismos somente admitem uma sessão, caso a rede atenda a seus requisitos de QoS, quanto a largura de banda mínima, bem como níveis máximos de atrasos e variação do atraso. O C-CAST Legado, todavia, difere significativamente do C-CAST Avançado na maneira como a resiliência é implementada (conforme analisado no sexto parágrafo da sessão anterior), conduzindo a se estimar que o C-CAST Legado leva mais tempo para rerrotear as sessões afetadas em outras AMTs. Com isso, os pacotes das sessões afetadas são descartados no ponto de falha até seu completo rerroteamento. A Figura 5.5 exprime a porcentagem média de pacotes perdidos nos experimentos configurados com o C-CAST Legado e Avançado, variando as requisições de sessões dos possíveis usuários.

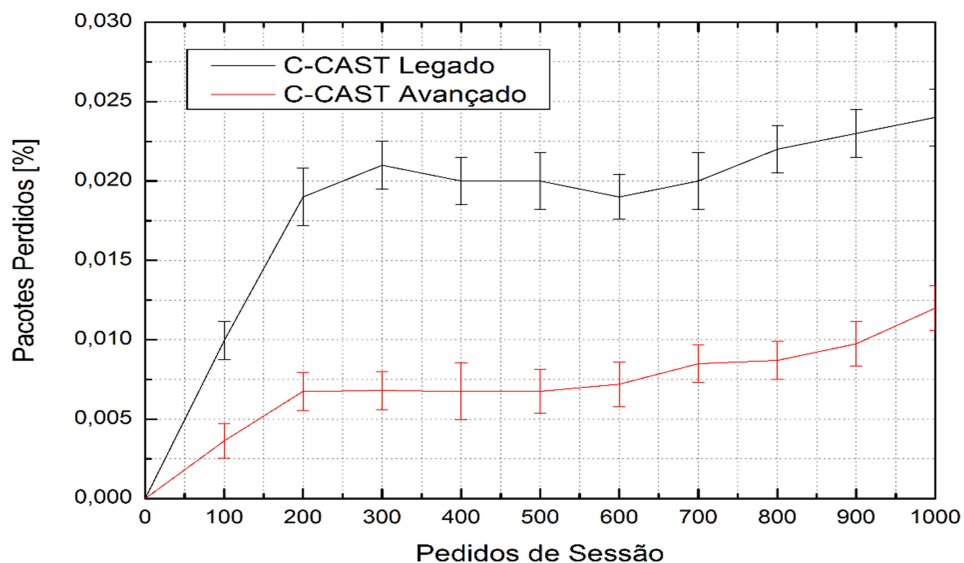


Figura 5.5- Porcentagem de pacotes perdidos com o C-CAST Legado e Avançado (Produção Própria).

Os resultados da Figura 5.5 confirmam que o esquema de controle de admissão centrado em sobreprovisionamento, adotado pelo C-CAST Avançado, permite redução média de 61,19% sobre o esquema por fluxo do C-CAST Legado (de 0,019795% a 0,007683%). Primeiramente, o C-CAST Legado confia na solução de roteamento adotada pela rede (OSPF no caso) para dar assistência na escolha da melhor AMT, enquanto o C-CAST Avançado adota próprio algoritmo de escolha de uma AMT, orientado a informações de QoS. Assim, o C-CAST Avançado é capaz de escolher melhores AMTs do que o C-CAST Legado, portanto, aquele que pode cumprir todos os requisitos de QoS das sessões admitidas/erroteadas.

Além disso, é possível observar um comportamento mais homogêneo das perdas de pacotes nos experimentos do C-CAST Avançado em relação ao C-CAST Legado, em que perdas se mantêm em um nível estatístico relativamente estável, não variando a quantidade no intervalo médio de 200 a 700 pedidos de sessão. Já no C-CAST Legado, é possível notar significativo aumento na taxa de perdas nos experimentos com 300 pedidos de sessões, bem como nos experimentos a partir dos 600 pedidos. A justificativa sucede justamente pelo mecanismo de resiliência, porquanto o C-CAST Avançado demora muito menos tempo para concretizar o rerroteamento das sessões afetadas por uma falha de enlace, em comparação ao C-CAST Legado, e assim, menos pacotes são perdidos em todo o sistema. É fundamental considerar que a rede precisa se adaptar às condições de escassez de recursos de comunicação, fato que pode inclusive contribuir para reduzir capacidade da rede de forma escalar.

No caso do C-CAST Avançado, o componente A-NUM gerencia a alocação dos recursos de maneira avançada, tendo uma visão global da topologia do sistema subjacente, e ciência atualizada das reais capacidades de QoS na rede. Isto faz com que tanto o controle de admissão quanto a seleção de AMTs tenham assistência de informações disponibilizadas de modo antecipado (não requerendo sinalizações para consultas) e mantidas sob demanda. Essas operações podem justificar uma significativa diminuição de perdas de pacotes do C-CAST Avançado em comparação ao seu antecessor.

A análise do atraso de propagação permite qualificar um estudo comparativo em termos da qualidade do nível de experiência tomado pelas sessões admitidas, bem como aferir as capacidades que tanto o C-CAST Legado quanto o C-CAST Avançado tem em garantir o cumprimento dos requisitos de QoS. Os dados referentes aos atrasos de propagação ocultam procedimentos operacionais, sendo estes realizados pelos componentes que integram o arcabouço de transporte de ambas as arquiteturas avaliadas.

A Figura 5.6 exibe os resultados obtidos quanto ao atraso de propagação médio nos experimentos realizados para o C-CAST Legado e C-CAST Avançado.

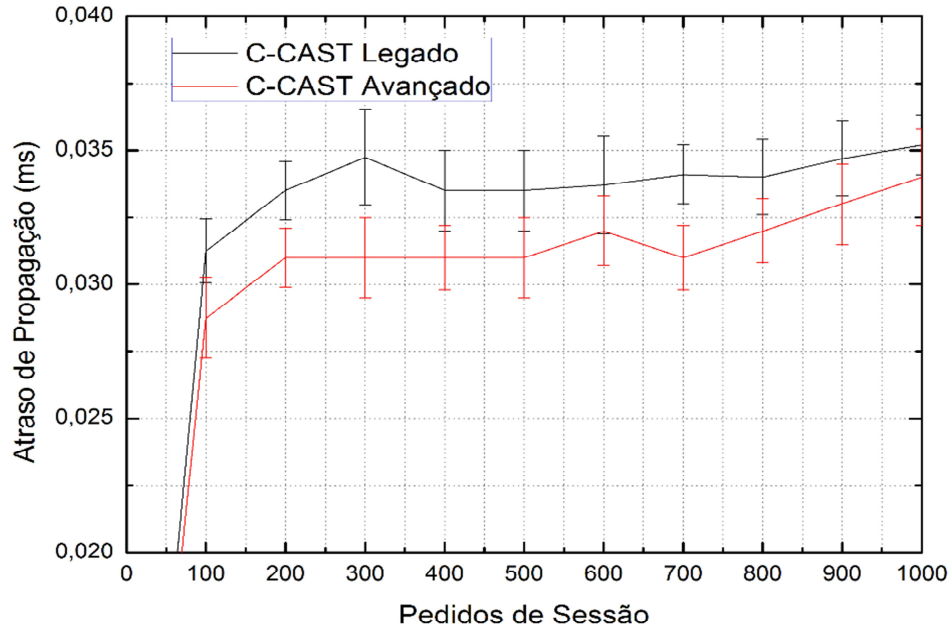


Figura 5.6 - Atraso de propagação médio nos ensaios com C-CAST Legado e Avançado (Produção Própria).

Os resultados da Figura 5.6 comprovam a superioridade do C-CAST Avançado em relação ao C-CAST Legado, ao exibir melhoria aproximada de 8% (de 0,03382 ms para 0,031475 ms) no atraso de propagação aos quais as sessões admitidas foram expostas durante seu tempo de duração. Apesar da menor diferença em relação às demais métricas expostas neste capítulo, é importante considera o fato de que ambas as propostas somente admitem sessões quando a rede é capaz de cumprir seus requisitos de QoS.

A relativa taxa com melhor atraso obtido nos experimentos do C-CAST Avançado se dá, essencialmente, pelo seu algoritmo de escolha de AMTs orientado a QoS, o qual sempre escolhe aquela AMT com maior largura de banda residual, que, portanto, está com menor sobrecarga de processamento.

Por meio do gráfico da Figura 5.6, é possível observar, nos experimentos do C-CAST Avançado, que o comportamento do atraso de propagação aumenta após os experimentos com 700 pedidos de sessão; é quando as AMTs estão mais sobrecarregadas com seus custos operacionais e, assim, naturalmente impactam de forma negativa na QoS aplicada às sessões admitidas. Mesmo assim, o C-CAST Avançado nunca deixa que às sessões admitidas tenham experiência com atrasos de propagação na razão daqueles alcançados no modelo de simulação configurado com o C-CAST Legado.

### 5.3.3 Conclusões gerais dos Experimentos Realizados

Os resultados demonstrados pelo C-CAST Avançado exibem significativa vantagem em relação ao C-CAST Legado sobre o cenário analisado, viabilizando a possibilidade de implementação do mecanismo centrado no sobreaprovisionamento de recursos estabelecidos no arcabouço de transporte multiparte sensível ao contexto em redes convergentes. Os experimentos demonstraram que o C-CAST Avançado melhora o desempenho operacional do arcabouço de transporte analisado, diminuindo a sobrecarga de sinalização na rede. Esse também conduz uma redução da quantidade de pacotes na rede, permitindo uma melhora na redução do tempo de propagação, da latência e do RTT sobre a rede isto em relação aos experimentos comparativos, tomando por base o mesmo cenário sobre o C-CAST Legado.

Para melhorar as avaliações e evoluir os experimentos, é possível avaliar novos métodos, que, por exemplo, explorariam métricas mais refinadas e que levam em conta uma maior quantidade de pedidos de sessões. Outras métricas poderiam analisar o comportamento da arquitetura do C-CAST Avançado ante as questões de roteamento, contexto de sessão e experiência de usuários. Esses aspectos, contudo, não fazem parte do escopo deste estudo, visto que o seu foco foi exploração dos aspectos de sobreaprovisionamento de recursos para as sessões dos usuários na rede, buscando o entendimento para viabilizar as garantias de recursos fim a fim e permitir o desenvolvimento estrutural de aplicações ubíquas plenas. Em trabalhos futuros, entretanto, se poderá explorar a adequação e o tratamento de contexto computacional em rede para o estabelecimento das sessões dos usuários. No próximo capítulo, são feitas as considerações finais, onde se abordam as conclusões no âmbito deste experimento universitário, bem como os possíveis trabalhos a serem desenvolvidos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 Conclusão

A proposta desta dissertação foi rearquitar o C-CAST Legado com vistas a fazer com que seu mecanismo de alocação de recursos seja centrado na técnica de sobreaprovisionamento, na perspectiva de melhorar significativamente os custos operacionais de redes convergentes sensíveis ao contexto. O C-CAST Avançado permite melhor uso de recursos e garante maior eficiência na comunicação sobre o arcabouço de transporte multiparte, sensível ao contexto, ao gerar menor carga de sinalização em todos o sistema, e assim otimizar a sobrecarga de CPU, memória e, possivelmente, energia. Para isso, o C-CAST Avançado adota uma arquitetura híbrida, com elementos centralizados, que assumem a complexidade das decisões e mantêm simples os demais elementos da rede adotantes de uma abordagem distribuída para reagir aos seus comandos, bem como enviar avisos para permitir convergência do sistema e avisar sobre falhas na rede.

Este trabalho possibilitou o entendimento da viabilização de recursos de rede para a conexão de sessões multiparte personalizadas, destinadas a usuários móveis de redes convergentes (em termos de tecnologias de acesso e transporte), sensíveis ao contexto, baseadas na abordagem do C-CAST Legado, enquanto garante QoS fim-a-fim em todo o tempo de vida de uma sessão, isto com baixos custos operacionais para todo o sistema.

O C-CAST Avançado possibilitou contribuição científica por rearquitar a arquitetura do C-CAST Legado com os módulos A-IPT e A-NUM, destinados a controlar os recursos de rede conforme a estratégia de sobreaprovisionamento, tanto para largura de banda por classe quanto para as AMTs. O modelo de simulação desenvolvido permitiu uma avaliação da alocação de recursos sobre o C-CAST Avançado. Para a simulação, foi feito uso da ferramenta Network Simulator v.2 (NS-2).

O NS-2 foi estrategicamente estendido com os módulos da arquitetura do C-CAST Avançado, sendo de domínio público à implementação. Este trabalho incrementou e abordou novas funcionalidades operacionais sobre redes e permitiu, no âmbito da comunidade acadêmica, um avanço na compreensão de redes convergentes sensíveis ao contexto, bem como a natureza operacional de recursos demandados para satisfazer os requisitos funcionais das redes da próxima geração. Com o uso do NS-2, foi possível montar de forma simulada uma rede com características similares de conectividade para ambas as propostas.

Os resultados demonstraram que o C-CAST Avançado melhora significativamente o desempenho ao nível do arcabouço de transporte do C-CAST Legado, no tocante aos custos impactados na rede para conectar sessões personalizadas multiparte e garantir os níveis de QoS para as sessões admitidas. Essencialmente, o controle de admissão centrado em sobreaprovisionamento de recursos, associado à abordagem de sinalização restrita, permite ao C-CAST Avançado otimizar significativamente os custos operacionais de rede no que concerne a: a taxa de sinalização (45,7%), latência (43,16%), RTT (26,86%), perdas (61,19%) e atraso de propagação (8%), em relação a abordagem por fluxo adotada pelo C-CAST Legado.

Adicionalmente, o esquema centralizado do A-NUM permite ao C-CAST Avançado, eficientemente, controlar múltiplos roteadores de entrada. Dessa forma, os resultados demonstram que o C-CAST Avançado possui potencial capacidade de entrega de conteúdo multimídia a sessões personalizadas com garantias de QoS sobre o tempo e com reduzido impacto de desempenho em relação às configurações originais da arquitetura do C-CAST Legado. Dessa forma, é possível concluir que esta dissertação alcançou seus objetivos ao elaborar e conceber o mecanismo pelo C-CAST avançado, o qual melhora significativamente a eficiência de seu antecessor C-CAST Legado.

## **6.2 Trabalho Futuro**

Como trabalho futuro, pretende-se submeter o C-CAST Avançado a cenários mais complexos para melhor comprovar suas vantagens e real eficácia sobre as configurações do C-CAST Legado, sendo utilizadas novas métricas para análise comparativa na rede e perspectivas dos usuários, como, por exemplo, QoE (*Quality of Experience*). A ideia de QoE ou Qualidade de Experiência, é manter abordagem subjetiva, em que provedores de serviços e gerentes de rede precisam compreender todos os fatores de QoE sobre a rede, bem assim como traduzir esses fatores subjetivos em métricas que possam ser quantificadas usando uma metodologia apropriada. Contudo, pretende-se aperfeiçoar a estrutura do C-CAST Avançado para adequar os recursos necessários aos requisitos de contexto das sessões solicitadas sobre redes convergentes quanto ao transporte.

## REFERÊNCIAS

- 4WARD. (2012). **The FP7 4WARD Project**. Disponível em <http://www.4ward-project.eu/> acessado em julho de 2012.
- ALEXANDRE, L.; VENÂNCIO NETO, A.; CERQUEIRA, E.; FIGUEREDO, S.; AGUIAR, R. L.; **Supporting Multimedia Services in the Future Network with Quality-Oriented Routing**, Proc. Third International ICST Conf. on Mobile Networks and Management (MONAMI), Aveiro, Portugal, Sep 2011.
- ANTONIOU, J.; CHRISTOPHOROU C.; VENÂNCIO NETO A.; SARGENTO S.; PINTO F. C.; CARAPETO N. F.; MOTA T.; SIMOES J.; PITSILLIDES A.; **Session and Network Support for Autonomous Context-Aware Multiparty Communications in Heterogeneous Mobile Systems**. *International Journal of Handheld Computing Research*. IJHCR 1(4). PP. 1-24, 2010.
- ANTONIOU, J.; CHRISTOPHOROU, C.; JANNETEAU, C.; KELLIL, M.; SARGENTO, S.; VENÂNCIO NETO, A.; PINTO, F. C.; CARAPETO, N. F.; J. SIMOES. **Architecture for Context-Aware Multi-party Delivery in Mobile Heterogeneous Networks**. IEEE Conference. ICUMT Summit. 2009.
- ARAÚJO, R. B.; **Computação Ubíqua: Princípios, Tecnologias e Desafios**. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. (Org.). Computação Ubíqua: Princípios, Tecnologias e Desafios. 1 ed. Natal - RN: SBRC2003, p. 45 - 115.
- ARK, W. S.; SELKER, T.; **A look at human interaction with pervasive computers**. In: **IBM Systems Journal**, Vol. 38, No. 4, 1999, pp. 504-507.
- AVIZIENIS, A.; LAPRIE, J. C.; RANDELL, B.; LANDWEH C.; **Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing**. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. Vol. 1, no. 1. 2004.
- BAKER, N.; ZAFAR, M.; MOLTCHANOV, B.; KNAPPMAYER, M.; **Context-aware Systems and Implications for Future Internet**, Towards the Future Internet, IOS Press, 2009, pp. 335-344.
- BERNOFF J.; COOPERSTEIN, D. M.; Lussanet, M.; Madigan C. J.; **Competitive Strategy In The Age Of The Customer**. Forrester report. 06 de junho de 2011. Disponível em [http://info.getsatisfaction.com/rs/getsatifaction/images/Get\\_Satisfaction\\_forrester\\_age\\_of\\_Customer.pdf](http://info.getsatisfaction.com/rs/getsatifaction/images/Get_Satisfaction_forrester_age_of_Customer.pdf). Acessado em 07/2012.
- BRADEN, R. *et al.*; **The Design of the RSVP Protocol, ISI Final Technical Report**, July 1996.
- CASTILLO, J. 'A'; CRUZ, E.; VENÂNCIO NETO, A.; SARGENTO, S. e CERQUEIRA, E.; **Context-drive Resource Over-provisioning Approach for Rich Networking**. 21st International Conference on Computer Communications and Networks. ICCCN12. ContextQoS, 2012.
- CASTILLO, J. 'B'; CRUZ, E.; VENÂNCIO NETO, A.; SARGENTO, S. e CERQUEIRA, E.; **Applying Over-provisioning Centric Resource Control in Context-Sensitive Networks**. 15th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium. NETWORKS, 2012.



C-CAST, CONTEXT CASTING; Project, Eu's ICT **Framework Programme**. Disponível em <http://www.ict-ccast.eu>. Acesso em junho de 2012.

CERQUEIRA, E.; VELOSO, L.; VENÂNCIO NETO, A.; CURADO, M.; MENDES, P.; MONTEIRO, E.; **Q3M: QoS Architecture for Multi-user Mobile Multimedia Sessions in 4G systems**. 10th IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia and Mobile Networks and Services (MMNS), 2007.

CISCO, Systems. VNI Forecast Widget. **Projecting global IP traffic growth**. Disponível em [http://www.ciscovni.com/vni\\_forecast/index.htm](http://www.ciscovni.com/vni_forecast/index.htm). 2012. Acessado em Dezembro de 2012.

CONDEIXA, T. S.; Dis. **Avaliação de Controlo de Sessões Multicast em Redes com Contexto**. Mestrado em Eng. Electrónica e Telecomunicações. Universidade de Aveiro. 2009.

COUTAZ, J.; CROWLEY, J. L.; DOBSON, S.; GARLAN, D. Contextiskey.; **Communications of the ACM (CACM)**, Vol.48, No.3, 2005, pp.49-53.

COUTINHO N.; CONDEIXA T.; SARGENTO S.; VENÂNCIO NETO A.; **Energy Efficiency as Input for Context-aware Group-based Communications**". **Journal of Green Engineering**, vol. 1, pp. 329-353, 2011

COUTINHO, N.; CONDEIXA, T.; VALBOM, R.; SARGENTO, S.; VENÂNCIO NETO, A.; **Multi-party Seamless Transport**, IEEE Global Telecommunications Conference (IEEE GLOBECOM 2010), Miami, Florida (USA), December 2010.

FALL, K.; VARADHAN, K.; **The NS Manual**; Network Simulator 2.1b9a, VINT Project; 2002. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em Maio de 2012.

FERNANDES, S. M. M.; **Avaliação de Dependabilidade de Sistemas com Mecanismos Tolerantes a Falha**: Desenvolvimento de um Método Híbrido Baseado em EDSPN e Diagrama de Blocos. Tese de Doutorado. Doutorado em Ciências da Computação, Universidade Federal de Pernambuco. 2007.

HAIGHT, F. A.; **Handbook of the Poisson Distribution**. New York: John Wiley & Sons. 1967.

HANCOCK, R.; KARAGIANNIS, G.; LOUGHNEY, J.; BOSCH, S. V. D.; Next Steps in Signalling (NSIS): Framework, **IETF RFC 4080**, June 2005.

HOURLCADE, J. *et al.*; **Future Internet 2020: Visions of an Industry Expert Group**". European Commission Information Society and Media, Apr. 2009.

JANNETAU, C.; SIMOES, J.; ANTONIOU, J.; CHRISTOPHOROU, C.; KELIL, M.; KLEIN, A.; VENÂNCIO NETO, A.; PINTO, F. C.; ROUX, P.; SARGENTO, S.; SCHOTTEN, H. D.; SCHNEIDER, J.; **Context-Aware Multi-party Networking**. ICT Mobile Summit. 2009.

JANNETAU, C. *et al.*; **Specification of context detection and context-aware multiparty transport**. Deliverable 13 (D13). Disponível em [http://www.ict-ccast.eu/files/C-Cast\\_D13\\_revised.pdf](http://www.ict-ccast.eu/files/C-Cast_D13_revised.pdf). 2009. Acessado em Julho de 2012.

KUNIAVSKY, M.; **SmartThings: Ubiquitous Computer User Experience Design**. Editora: Morgan Kaufmann. Setembro 2010. PPs – 336.

KUROSE, J. F. e ROSS, K.; **Redes de Computadores e a Internet - 5ª ed.** Editora Pearson, 2010.

LOGOTA, E.; VENÂNCIO NETO A.; SARGENTO S.; **COR: An efficient Class-based resource Over-provisioning mechanism for future networks**. **ISCC 2010**: 298-301, 2010.

- LOUREIRO *et al*, A. A. F.; **Computação Ubíqua Ciente de Contexto: Desafios e Tendências**. 27º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Livro Texto dos Minicursos. Capítulo 3. Minas Gerais, 2009.
- MANNER, J.; KARAGIANNIS, G.; and MCDONALD. A.; **NSLP for Quality-of-Service Signaling**. draft-ietf-nsis-qos-nslp-18 (work in progress). Disponível em <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-nsis-qos-nslp-18> 2010. Acessado em Outubro de 2012.
- MOTA, T.; BAKER, N.; MOLTCHANOV, B.; ROUSSAKI, I.; KORBINIAN, F.; **Towards Pervasive Smart Spaces: A Tale of Two Projects**, Future Network & Mobile Summit 2010, Florence, Italy, June 2010.
- NIST (National Institute of Standards and Technology) (2002). **Pervasive Computing Program (2002)**. Disponível em <http://www.itl.nist.gov/pervasivecomputing.html>. Acesso em 06/2012.
- PALLARES, J. J. *et al.*; **Requirements and Global Reference Architecture**. Deliverable 10 (D10). Disponível em [http://www.ict-cast.eu/files/C-Cast\\_D10.pdf](http://www.ict-cast.eu/files/C-Cast_D10.pdf). (2009). Acessado em Julho de 2012.
- PEREIRA, V.; MONTEIRO, E.; MENDES, P.; **Evaluation of an Overlay for Source-Specific Multicast in Asymmetric Routing environments**, in Proc. of IEEE Globecom 2007 Internet Protocol Symposium, Washington D.C., EUA, november 2007.
- RFC 1112. DEERING, S.; **Host Extensions for IP Multicasting**. IETF 1989. Disponível em <http://www.ietf.org/rfc/rfc1112.txt>
- RFC 1633. BRADEN, R.; CLARCK, D; SHENKER, S.; **Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview**. IETF 1994. Disponível em <http://www.ietf.org/rfc/rfc1633>
- RFC 2208. BAKER, F.; BRADEN, B.; BRADNER, S.; ROMANOW, A.; WEINRIB, A.; ZHANG L.; **Resource ReSerVation Protocol (RSVP)**. IETF 1997. Disponível em <http://www.ietf.org/rfc/rfc2208.txt>
- RFC 2475. BLAKE, S.; BLACK, D.; CARLSON, M.; DAVIES, E.; WANG, Z.; WEISS, W.; **An Architecture for Differentiated Services**. IETF, 1998. Disponível em <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>
- RFC 2960. STEWART, R.; XIE, Q.; MORNEAULT, K.; SHARP, C.; SCHWARZBAUER, H.; TAYLOR, T.; RYTINA I.; KALLA, M.; ZHANG, L.; PAXSON, V.; **Stream Control Transmission Protocol**. IETF 2000. Disponível em <http://www.ietf.org/rfc/rfc2960.txt>
- RFC 3569. BHATTACHARYYA, S.; **An overview of Source-Specific Multicast (SSM)**, IETF 2003. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc3569>.
- RFC 3754. BLESS, R.; WEHRLE, K.; **IP Multicast in Differentiated Services (DS) Networks**. IETF 2004. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc3754>.
- RFC 4193. Hinden R.; Haberman, B.; **Unique Local IPv6 Unicast Addresses**. Network Working Group. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc4193>. 2012. Acessado em Outubro de 2012.
- RFC 4601. FENNER, B.; HANDLEY, M.; HOLBROOK; KOUVELAS, I.; **Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)**. Network Working Group. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc4601>. 2006. Acessado em novembro de 2012.

- RFC 4604. HOLBROOK, H.; CAIN, B.; Haberman, B.; **Using Internet Group Management Protocol Version 3 (IGMPv3) and Multicast Listener Discovery Protocol Version 2 (MLDv2) for Source-Specific Multicast. Network Working Group.** Agosto de 2006. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc4604>. Acessado em novembro de 2012.
- RFC 4607. HOLBROOK, H.; CAIN, B.; **Source-Specific Multicast for IP.** IETF 2006. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc4607>. Acessado em outubro de 2012.
- RFC 5201. MOSKOWITZ, R.; NIKANDER, P.; JOKELA, P.; HENDERSON, T.; **Host Identity Protocol.** IETF 2008. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc5201>
- RFC 5462. ANDERSSON, L.; ASATI R.; **Multiprotocol Label Switching (MPLS) Label Stack Entry: "EXP" Field Renamed to "Traffic Class" Field.** IETF 2009. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc5462>
- RFC 768. POSTEL, J.; **User Datagram Protocol.** IETF 1980. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc768>. Acessado em outubro de 2012.
- RFC 793. Darpa Internet Program **Transmission Control Protocol.** IETF 1981. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc793>. Acessado em outubro de 2012.
- RFC 919. MOGUL, J.; **Broadcasting Internet Datagrams.** IETF 1984. Disponível em <http://tools.ietf.org/html/rfc919>. Acessado em outubro de 2012.
- ROSEN, E.; VISWANATHAN, A.; CALLON, R. **Multiprotocol Label Switching Architecture.** IETF RFC 3031, 2001.
- ROXO, G.; SILVA, S. S.; BUSARELLO, R.; Customização, experiência, poder. Capa Conexão Microsoft Advertising Edição 46. **Notícias do mercado, 22/03/10.** Disponível em <http://advertising.microsoft.com/brasil/capaconexao46>. Acessado em 06/2012.
- SARGENTO, S.; MITRANO, F.; GUAINELLA, E.; TAMEA, G.; CASTRUCCI, M.; Di GIORGIO, A.; BENALI, O.; FERREIRA, N. G.; **QoS Management of Multicast and Broadcast Services in Next Generation Networks.** 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 2007.
- SARGENTO, S.; WAGNER, D.; ROCHA, J.; MITRANO, F.; GOZDECKI, J.; MODEKER, J.; **Multicast Mobility in Heterogeneous Technologies: Experimental Validation.** IEEE Global Telecommunications Conference (IEEE GLOBECOM 2009), Honolulu, Hawaii (USA), December 2009.
- SCHNEIDER, J.; KLEIN, A.; MANNWEILER, C.; SCHOTTEN, H. D.; **Environmental Context Detection for Context-Aware Systems,** ICaST Global Community Magazine, ICST, February 2010.
- SCHRÖDER, J.; GÖTZER, M.; MÜLLER, R.; Resource management in next generation networks. *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)* 60 (2006) 116 – 124.
- SILVA, T. R. M. B.; RUIZ, L. B.; LOUREIRO, A. A. F.; Conflict treatment for ubiquitous collective and context-aware applications. **Journal of Applied Computing Research,** 1(1):33-47 January-June 2011.
- SIMÕES, J.; MAGEDANZ, T.; Contextualized User-Centric Multimedia Delivery System for Next Generation Networks, **Telecommunication Systems Journal,** vol. 48, pp. 301-316, December 2011.
- SIMÕES, J.; WEIK, P.; MAGEDANZ, T.; **The Human side of the Future Internet,** Towards the Future Internet, IOS Press, 2010, pp. 183.

- SOLIE, K.; LYNCH, L.; (2003) *CCIE PracticalStudies, Vol. 2 (CCIE Self-Study)*. Ed. Cisco Press. ISBN-10: 1587050722. pp. 1032. 2003. Disponível em [http://www.informit.com/library/content.aspx?b=CCIE\\_Practical\\_Studies\\_II&seqNum=28](http://www.informit.com/library/content.aspx?b=CCIE_Practical_Studies_II&seqNum=28). Acessado em 07/2012.
- SONG, J.; CHANG, M.; LEE, S.; JOUNG, J.; Overview of ITU-T NGN QoSControl, **IEEE Communications Magazine** 45. 2007. PP 116–123.
- VALBOM, R. P. S.; Dis. **Desempenho de QoS e Mobilidade de Sessões *multicast* em redes dinâmicas**. Mestrado em Eng. Electrónica e Telecomunicações. Universidade de Aveiro. 2009.
- VENÂNCIO NETO (a), A.; FIGUEREDO, S.; AGUIAR, R. L.; MARÇAL, L.; FREITAS, L.; **Over Provisioning-Centric QoS-Routing Mechanism for the Communication Paradigm of Future Internet 4WARD Proposal**. FMN, 2010 a: 24-33.
- VENÂNCIO NETO (b), A.; FIGUEREDO, S.; MARÇAL, L.; AGUIAR, R. L.; **QoS-RRC: Integrated QoS routing and resource provisioning mechanism for future internet**. ISCC 2010 b: 807-810.
- VENÂNCIO NETO A.; RISSATO A.; CERQUEIRA E.; MONTEIRO E.; MENDES P.; **A Resource Reservation Protocol Supporting QoS-aware *Multicast* Trees for Next Generation Networks**, 12th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Aveiro, Portugal, 2007.
- VENÂNCIO NETO *et al*, A.; **Multi-party Session and Network Resource Control in the Context Casting (CCAST) project**. Future Multimedia Networking, 2009.
- VENÂNCIO NETO, A. J. V.; Tese. **Alocação de Recursos para Multi-serviços nas Redes de Próxima Geração**. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Doutorado em Engenharia Informática. Universidade de Coimbra. 2008.
- VENÂNCIO NETO, A.; CERQUEIRA, E.; CURADO, M., MONTEIRO, E.; MENDES P.; **Scalable Resource Provisioning for Multi-user Communications in Next Generation Networks**, IEEE Globecom - Next Generation Networks, Protocols, and Services Symposium, New Orleans, LA, USA, 2008.
- VENÂNCIO NETO, A.; Tese. **QoS Architecture for Mobile *Multicast* Multimedia Services**. PHD Teses. Universidade de Aveiro, 2007.
- WEISER, M.; **The Computer for the 21st Century**. Disponível em <http://www.parc.com/about/>. Acessado em 25 de abril de 2012.
- WESTERINEN, A.; SCHNIZLEIN, J.; STRASSNER, J.; SCHERLING, M.; QUINN, B.; PERRY, J.; HERZOG, S.; HUYNH, A.; CARLSON M.; WALDBUSSER, S.; **Terminology for Policy-Based Management**, IETF RFC 3198, November 2001.
- YANG B.; Mohapatra, P.; **DiffServ-awaremulticastingSource**. **Journal of High Speed Networks**, 2004.
- ZAFAR, M. *et al.*; **Specification context casting service enablers, context management and context brokering**. Deliverable 12 (D12). Disponível em [http://www.ict-ccast.eu/files/C-Cast\\_D12\\_revised.pdf](http://www.ict-ccast.eu/files/C-Cast_D12_revised.pdf). Acessado em Julho de 2012.