

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CODIFICADORES DE VOZ (CODECS) EM REDES CONVERGENTES

CARLOS JOSÉ DOS SANTOS¹
LUIZ EDIVAL DE SOUZA²
BENEDITO GIOVANI MARTINS PAIVA³

RESUMO

Em processos de implementação de qualidade em serviços, muitas variáveis necessitam ser consideradas. Essas variáveis podem ser descobertas através da investigação dos fatos ou amparadas por dados advindos de análises numéricas. Geralmente, as descobertas dos fatos relevantes são propiciadas devido às experiências anteriores do especialista e possuem estruturas não numéricas, isto é, são dados empíricos. Normalmente, no trato de redes computacionais, inúmeros dados são gerados a cada segundo. Apesar de haver especialistas capacitados para analisar esses dados, o processo pode ser extenuante devido ao altíssimo volume. O uso de ferramentas que auxiliem na análise e decisão das ações a serem tomadas cada vez mais se torna necessária. Assim, análises heurísticas devem ser somadas a análises minuciosas de modelos matemáticos dos sistemas utilizados para apoio a decisões. O objetivo principal deste trabalho é identificar a influência de diferentes Codificadores de Voz (Codecs) utilizados em redes convergentes para otimização de QoS.

Palavras Chave: CODECs, QoS, redes convergentes, VoIP.

¹ Especialista em Desenvolvimento Tecnologias para Aplicações Web – Mestrando em Engenharia Elétrica pela UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. Professor do IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. E-mail: carlos.santos@ifsuldeminas.edu.br.

² Doutor em Engenharia Elétrica pela USP – Universidade de São Paulo. Pesquisador visitante na Universidade de Pittsburgh, EUA. Professor Associado IV da Universidade Federal de Itajubá. E-mail: edival@unifei.edu.br.

³ Doutor em Administração pela PUC/SP - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Professor do IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. E-mail: benedito.paiva@ifsuldeminas.edu.br.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT VOICE ENCODERS (CODECS) IN CONVERGENT NETWORKS

ABSTRACT

In quality implementation processes in services, many variables need to be considered. These variables can be discovered by investigating the facts or supported by data from numerical analyses. Generally, the findings of the relevant facts are provided due to the previous experiences of the specialist and have non-numerical structures, that is, they are empirical data. Typically, in the computing network tract, numerous data are generated every second. Although there are specialists trained to analyze this data, the process can be strenuous due to the very high volume. The use of tools that help in the analysis and decision of the actions to be taken is increasingly necessary. Thus, heuristic analyses should be added to thorough analyses of mathematical models of the systems used to support decisions. The main objective of this work is to identify the influence of different Voice Encoders (Codecs) used in convergent networks for QoS optimization.

Keywords: CODECs, QoS, Converged networks, VoIP.

1. INTRODUÇÃO

A crescente convergência das redes de comunicação de computadores demandam cada vez mais ajustes mais finos quanto a qualidade dos serviços prestados. Em um ambiente onde cada vez mais recursos tem sido compartilhados, decisões erradas quanto a demanda, uso e correto gerenciamento dos recursos podem inviabilizar grandes investimentos na área de redes de computadores em pequenas, médias e grandes instituições.

O objetivo deste trabalho é demonstrar os efeitos dos codificadores de voz, utilizados em telefonia sobre protocolo de internet, sobre rede de dados. Serão utilizados diferentes codificadores a fim de identificar suas influências diante de estados distintos de tráfego. Estes levantamentos podem contribuir para ajustes nas métricas dos parâmetros da rede, influenciando na eficiência da Qualidade do Serviço (QoS).

Para a coleta de dados, será utilizado a modelagem de uma rede de dados real em software específico. Nesta etapa serão obtidas características de cada um dos codificadores e os efeitos sobre a rede. Busca-se abranger situações distintas ligadas a consumo de banda em redes que compartilham recursos de voz e dados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A QoS pode ser definida como a capacidade da rede de ofertar e suportar bons serviços a seus clientes. Em outras palavras, a QoS mede o grau de satisfação do usuário e o desempenho da rede. Aplicações FTP, HTTP, videoconferência e e-mail não são sensíveis ao atraso das informações transmitidas, enquanto outros aplicativos, como voz e vídeo, são mais sensíveis à perda, atraso e instabilidade das informações.

A aplicação de QoS em redes de dados se mostra viável pois tem por principal objetivo fornecer serviços melhores e mais previsíveis, fornecendo características melhoradas para a rede. O QoS atinge esses objetivos, fornecendo ferramentas para gerenciar o congestionamento e formação de tráfego, utilizando-se de quantificadores de recursos da rede e definindo políticas de tráfego desta. O QoS oferece serviços de

rede inteligente que, quando corretamente aplicadas, ajudam a fornecer desempenho consistente e previsível (CISCO SYSTEMS, 2019).

Segundo Tsiaras et al. (2014), as métricas de Qualidade de Serviço (QoS) são utilizadas para avaliar a qualidade alcançada dos serviços entregues, sob a perspectiva dos operadores de rede. Essas métricas são adequadas para dimensionar com base em atividades tais como velocidade de carregamento de uma página web, qualidade de vídeo ou voz em um serviço de VoIP, dentre outros.

Ademais, o QoS serve para mensurar, de forma quantitativa (discreta), a qualidade dos serviços oferecidos em uma rede de comunicações, ou seja, refletir o quanto ela é capaz de atender às expectativas de seus usuários através dos serviços que a mesma oferece.

2.1 Dificuldades na implementação de QoS

O desenvolvimento inicial de políticas de QoS geralmente são um desafio, pois deve-se equilibrar inúmeras variáveis (largura de banda, atraso, jitter e perda de pacotes) para obter o desempenho desejado das aplicações. É necessário, a princípio, identificar e categorizar o tráfego de rede gerado por cada aplicação (CISCO SYSTEMS, 2019).

Não obstante disso, dispositivos de rede precisam ser programados com o conjunto correto de recursos e parâmetros para implementar essas políticas. Embora haja documentação rica sobre QoS, o processo de implementação efetiva é moroso.

Os administradores de rede são geralmente inundados com grandes quantidades de dados, entretanto, pouca informação é relevante para ajudar a identificar a causa de um problema ou quaisquer tendências importantes (por exemplo, padrões de tráfego e exceções).

2.2 QoS em aplicações VoIP

A Voz sobre Protocolo de Internet ou ainda *Voice over Internet Protocol* (VoIP) é a tecnologia que permite o estabelecimento de chamadas e transporte da voz utilizando a rede IP. Além disso, diz-se que uma rede está preparada para oferecer o serviço de VoIP quando ela possui o tratamento adequado para tal, desde permitir

este tipo de tráfego através de seus *firewalls* até utilizar práticas de QoS para garantir a qualidade das ligações (BORDIM, 2010).

Em suma o VoIP permite o tráfego de voz pelas redes de computadores. Alternativa extremamente viável dada a crescente implantação de redes de dados e por até pouco tempo, ser possibilitada apenas pela rede de telefonia tradicional. Com a implantação de Voz sobre IP, permite-se efetuar ligações telefônicas entre computadores, telefones comuns, telefones IP, celulares e centrais telefônicas (PABX) que podem, facilmente, ser substituídas fisicamente por versões virtualizadas em servidores de rede, com qualidade muitas vezes superior à telefonia convencional.

Ainda, segundo Bordim (2010), as vantagens da implantação da tecnologia VoIP perpassam pelos custos reduzidos de comunicação, proteção ao investimento, possibilidade de utilização de infraestrutura existente, infraestrutura demandada para implantação simplificada, possibilidade portabilidade e acréscimo de funcionalidades em tempo real de operação. Enfim, cita como benefícios de sua utilização a redução de custos, alto retorno sobre o investimento e integração com a rede de telefonia comutada convencional.

Entretanto, o autor também cita que podem ocorrer desvantagens levando-se em consideração que tal implementação necessita de aquisição e modernização de equipamentos, certa escassez de mão de obra especializada, além da limitação da rede e/ou problemas relacionados a QoS.

A Voz sobre IP usa o Protocolo da Internet (IP) para transmitir a voz como pacotes em uma rede IP, em vez do sistema tradicional de telefone fixo que chamado Serviço de Telefonia Fixa Comutada (STFC).

O VoIP pode ser alcançado em qualquer rede de dados que use IP, por exemplo, Internet e redes locais (LANs). Por VOIP, o sinal de voz primeiro é digitalizado, compactado e convertido em pacotes IP e, em seguida, será transmitido pela rede IP. Com esta tecnologia, há um potencial para alcançar transmissão da voz a custos muito baixos ou até de forma gratuita. O aumento da capacidade da Internet, além da popularidade, aumenta a necessidade de fornecer serviços de voz e vídeo em tempo real à rede (ELMAHDY et al., 2009).

Segundo Kazemitabar et al, (2010) a QoS em VoIP pode ser medido de acordo com as recomendações do ITU-T (*International Telecommunication Union* -

Telecommunication *Standardization Sector*) com base em diferentes parâmetros como (atraso, jitter e perda de pacotes), esses parâmetros podem ser alterados e controlados dentro da faixa aceitável para melhorar o desempenho das comunicações. Alguns dos fatores que afetam a QoS são brevemente descritos a seguir:

I. Latência

Por se tratar de uma aplicação sensível ao atraso, a voz não pode tolerar muito o retardamento dos pacotes. A latência pode ser definida como o tempo médio que leva para um pacote viajar da origem até o destino. O ideal é manter o atraso o mais baixo possível, mas se houver muito tráfego na linha (congestionamento) ou se um pacote de voz ficar preso atrás de vários pacotes de dados (como um anexo de email), o pacote de voz sofrerá atraso a ponto de comprometer a qualidade da chamada (SALAMA et al., 2009). A quantidade máxima de latência que uma chamada de voz pode tolerar sem perda evidente de qualidade é de 150 milissegundos (0,15 segundos), mas é preferível que seja de 100 milissegundos (0,10 segundos) (MOHAMMED et. al, 2013).

Segundo Tawfeeq (2009) a equação utilizada para o cálculo do atraso é descrita a descrita em Eq. 2.1:

$$D = \sum_{i=1}^N di / N \quad (2.1)$$

Onde, D (atraso médio) é expresso como a soma de todos os atrasos (di), dividido pelo número total de medições (N).

II. Jitter

Para que a voz seja inteligível, os pacotes de voz devem chegar a intervalos regulares. O Jitter descreve o grau de flutuação no acesso a pacotes, que pode ser causado por alto tráfego na linha (SALAMA et. al, 2009). Os pacotes de voz podem

tolerar apenas cerca de 75 milissegundos (0,075 segundos), mas é preferível que seja de 40 milissegundos (0,040 segundos) de atraso (MOHAMMED et. al, 2013).

De acordo com Tawfeeq (2009), a equação (Eq. 2.2) mostra o cálculo do Jitter (J). O atraso médio e o jitter são medidos em segundos. Obviamente, se todos os valores de atraso (d_i) são iguais, então $D = d_i$ e $J = 0$ (ou seja, não há jitter).

$$J = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i - D)^2} \quad (2.2)$$

III. Perda de pacotes

Perda de pacotes é o termo usado para descrever os pacotes que não chegam ao destino pretendido quando um dispositivo (roteador, comutador e link) está sobrecarregado e não pode aceitar nenhum dado recebido em um determinado momento (MOHAMMED et. al, 2013). Ainda, segundo autor, os pacotes serão descartados durante os períodos de congestionamento da rede. O tráfego de voz pode tolerar menos de 3% de perda de pacotes, sendo 1% é o ideal, antes que os chamadores sintam as lacunas na conversa.

A equação (Eq. 2.3) mostra o cálculo da taxa de perda de pacotes (P) definida como uma razão entre o número de pacotes perdidos e o número total de pacotes transmitidos, onde N é igual ao número total de pacotes transmitidos durante um período de tempo específico e N_L é igual ao número de pacotes perdido durante o mesmo período de tempo.

$$P = (N_L/N) \times 100\% \quad (2.3)$$

Portanto, A QoS atrelada a sistemas VoIP é de suma importância para garantir que os pacotes de voz não sofram atrasos ou sejam perdidos enquanto transmitidos pela rede (KAZEMITABAR et. al, 2010).

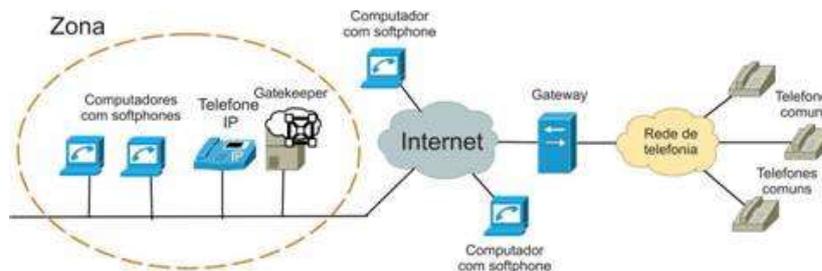


Figura 1 - Arquitetura típica de rede com VoIP.
Fonte: <http://teleco.com.br> (2019)

De forma geral, a Voz sobre Protocolo de Internet tem sido amplamente utilizado em redes locais (LAN) IEEE 802.3 e (WLAN) IEEE 802.11 devido ao seu baixo custo e conveniência. No entanto, os atrasos de todos os fluxos de VoIP aumentam dramaticamente quando a capacidade da rede é abordada. Além disso, a distribuição injusta do tráfego entre os fluxos de downlink e uplink em redes afeta a qualidade de VoIP percebida.

Em VoIP, o uso de codecs diferentes, proporcionam diferentes taxas de amostragem e conseqüentemente diferentes *bitrates* (taxas de utilização de bits) podem reduzir o congestionamento de rede e melhorar a utilização de banda disponível (ADISESHU, 2005).

Existem vários codecs padrão usados para aplicações de VoIP. Alguns deles utilizam modulação por pulsos (PCM), modulação por código de pulso diferencial (DPCM), modulação por código de pulso adaptativo delta (ADPCM), codificação preditiva linear (LPC), codificação codificada por código excitado (CELP), etc. Estes, produzem diferentes taxas de utilização de recursos e também de qualidade de áudio.

Segundo Bordim (2012), o conceito de voz sobre IP é relativamente simples. Basta transformar a voz em um fluxo de bits que pode ser constante ou variável, dependendo do codec. O fluxo de bits assim obtido é encapsulado em datagramas do protocolo UDP, que por sua vez são encapsuladas em pacotes IP. Os pacotes IP assim obtidos são transportados pela rede, como qualquer pacote de dados, sem distinção.

O serviço de chamadas de VoIP é, segundo Hartpence (2013), um serviço de voz que opera sobre uma rede IP e que se baseia em comutação de pacotes, diferentemente do Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC), que emprega comutação de circuitos. Nesse cenário deve-se considerar também o conceito de

Internet Protocol Multimedia Subsystem (IMS), que é uma arquitetura de controle de serviço global, de acesso independente e de conectividade baseada no padrão IP, que permite vários tipos de serviços multimídia para os usuários finais utilizando protocolos de Internet comuns (POIKSELKA; MAYER, 2013).

Assim, a integração de serviços de voz e dados aumenta a produtividade e a efetividade global, enquanto o desenvolvimento de aplicações integrando voz, dados e multimídia irá criar demandas por novos serviços o que, conseqüentemente, aumentará o consumo de recursos de rede. A habilidade de combinar a mobilidade e a rede IP será crucial para o sucesso destes serviços no futuro (POIKSELKA; MAYER, 2013).

Adicionalmente, com a crescente oferta de serviços, principalmente levando-se em consideração o maior acesso à banda larga móvel disponibilizado pelas as operadoras, as comunicações realizadas por telefonia móvel serão cada vez mais comutadas por pacotes através de chamadas VoIP. Conforme dados publicados pelo Relatório Anual de 2018 da ANATEL em Brasil (2019), verificou-se o crescimento das plataformas convergentes e baseadas em redes IP (Internet Protocol) e suas interfaces com o setor regulado. Tal fato reitera a premência pela modernização da atuação regulatória, com destaque à adoção de medidas que permitam o equilíbrio entre os setores regulados e seus novos competidores.

2.3 Codificação e Decodificação

De acordo com Hartpence (2013), no modelo atual, as conversações de voz e vídeo são capturadas do meio analógico, digitalizadas, transmitidas e convertidas de volta na outra extremidade, para que o receptor possa compreender o conteúdo transmitido. Esse processo é realizado por um codificador/decodificador de voz, denominado Codec: acrônimo de codificador/decodificador de voz. Sua utilização pode ser implementada nos meios de telefonia convencionais bem como em infraestruturas de VoIP.

Há várias técnicas diferentes utilizadas para tratar estes fluxos de áudio e vídeo. A maioria dos Codecs utilizados atualmente são padronizados nas recomendações ITU-T (*Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunications Union*), embora haja vários outros, esses padrões exigem dos

fabricantes a implementação de um conjunto mínimo de ações e formas de compressão de áudio e vídeo.

A maior parte do trabalho realizado pelos Codecs é um esforço para reduzir a quantidade de largura de banda consumida pelos fluxos de voz por meio do uso de compressão. Aplicações de VoIP requerem o mesmo processo de conversão, embora nem sempre exista à preocupação com largura de banda das topologias de rede tradicionais (HARTPENGE, 2013).

Uma técnica bastante utilizada em telefonia para codificação de áudio é a PCM (*Pulse Code Modulation*). O PCM analisa o sinal analógico em instantes uniformes de tempo, obtém a magnitude do sinal nestes instantes e representa esta magnitude de forma numérica (binária), conforme pode ser observado na Figura 2.

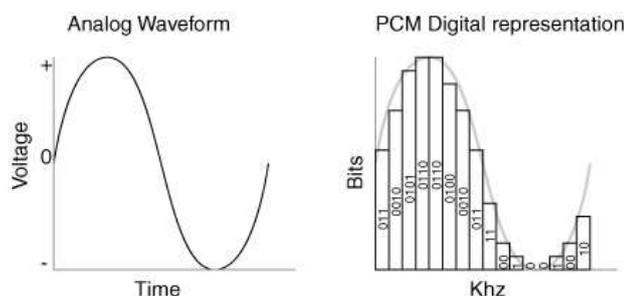


Figura 2 - Pulse Code Modulation (PCM).
Fonte: Journey into Communication System (2019)

As amostras de áudio utilizadas neste trabalho usam os Codecs definidos pelas Recomendações ITU-T G.711 (ITU-T, 2000), ITU-T G.726 (ITU-T, 2005), ITU-T G.728 (ITU-T, 2014), ITU-T G.729 (ITU-T, 2017), ITU-T G.723 (ITU-T, 1988) e suas variações. Além disso também foi utilizado o codec GSM (*Global System for Mobile communications*), frequentemente utilizado em telefonia móvel, sob a recomendação RPE-LTP (ITU-T, 1988).

2.4 Arquitetura e Protocolos

Do ponto de vista da arquitetura, sistemas VoIP operam de forma diferente do utilizado em STFC, onde são alocados recursos para cada chamada individualmente. As redes IP utilizam comutação de pacotes, e cada pacote enviado é semiautônomo, tem seu próprio cabeçalho IP, e é transmitido separadamente pelos roteadores ao

longo da rede, aumentado as ocorrências na rede de tráfego de pacotes, além de possibilitar perda de qualidade em outros serviços (HARTPENGE, 2013).

Ainda, de acordo com Hartpence (2013), os aparelhos telefônicos utilizados no sistema VoIP, denominados telefones VoIP, adicionalmente, para que funcionem necessitam de dois tipos de protocolos: os de sinalização, responsáveis pelo processo inicial e final da transmissão (protocolo SIP), e os protocolos de transporte (UDP e RTP), que se encarregam de transmitir os sinais de voz e/ou vídeo e dados. Esses protocolos serão descritos a seguir.

2.4.1 Protocolos de sinalização

Segundo Hartpence (2013), os protocolos de sinalização mais utilizados são o H.323 da família de recomendações da ITU-T, o Skinny, protocolo proprietário da Cisco e o Session Initiation Protocol (SIP), sendo este o mais recomendado por não ser proprietário. Além disso, o SIP é mais fácil de utilizar e é suportado por diversos fornecedores da indústria VoIP.

Hartpence (2013) destaca que todos praticamente executam as mesmas funções, sendo o H.323 o mais completo e complexo, por isso, o mais pesado. A principal desvantagem do Skinny, como relatado anteriormente, é justamente seu cunho proprietário, o que cerceia o desenvolvimento por outros fornecedores. Assim, então, o SIP se apresenta como o protocolo de maior relação custo/benefício.

Entretanto, Tanenbaum e Wetherall (2010) afirmam que a recomendação H.323 é mais um ajuizamento da arquitetura de telefonia da Internet, isto é, uma especificação do que um protocolo específico. Esse faz referência a um grande número de outros protocolos específicos para codificação de voz, configuração de chamadas, sinalização, transporte de dados e outras áreas, em vez de especificar propriamente cada um desses elementos.

O protocolo SIP opera na camada de aplicação e, além ser utilizado para criar sessões de transmissão de voz, pode ser utilizado para outras sessões de usuário como vídeos, jogos e realidade virtual. Ademais, também foi projetado para configurar e finalizar sessões de mídia, localização do usuário e capacidades, disponibilidade e informação de manipulação de sessão (HARTPENGE, 2013).

2.4.2 Protocolos de transporte

O User Datagram Protocol (UDP) é o principal protocolo de transporte utilizado neste processo. Segundo Tanenbaum e Wetherall (2010), o UDP e o Transmission Control Protocol (TCP) são os dois principais protocolos da Internet para a camada de transporte.

O UDP, protocolo de transporte sem conexão, oferece meios para aplicações enviarem datagramas IP encapsulados sem que seja necessário estabelecer conexões (TANENBAUM; WETHERALL, 2010).

Ainda, Tanenbaum e Wetherall (2010), o UDP transmite segmentos que consistem em um cabeçalho de 8 bytes, seguido pela carga útil. Assim, o principal valor de se ter o UDP em relação ao uso do IP bruto é a adição das portas de origem e destino. Sem os campos de portas, a camada de transporte não saberia o que fazer com o pacote. Com eles, a camada entrega segmentos corretamente. Sua representação gráfica pode ser observada na Figura 3.

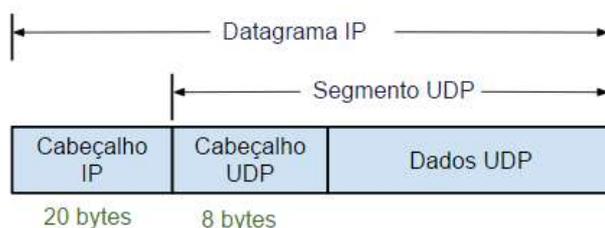


Figura 3 - Segmento UDP encapsulado.
Fonte: /www.wdredes.blogspot.com (2019)

Segundo Tanenbaum e Wetherall (2010), o UDP é especialmente útil em situações que envolvam um ambiente cliente/servidor, o que também abrange aplicações de tempo real. Tal relação parte da premissa de que o cliente envie uma pequena solicitação ao servidor e espera uma pequena resposta de volta. Se a solicitação ou a resposta se perder, o cliente simplesmente atingirá o *timeout* e tentará de novo.

Por outro lado, o TCP é um protocolo confiável e orientado a conexões, que permite a entrega sem erros de um fluxo de bytes originário de uma determinada máquina em qualquer computador da inter-rede (TANENBAUM; WETHERALL, 2010).

Porém esse protocolo não suporta transmissão de voz em tempo real, justamente por sua melhor característica, seu mecanismo de recuperação dos dados perdidos. Em caso de perda de pacotes, a aplicação teria que aguardar a nova recepção dos dados, o que acarretaria atrasos intoleráveis em se tratando de uma comunicação de voz entre usuários.

Cabe então ao Protocolo de Transporte de Tempo Real (Real-Time Transport Protocol, RTP) transportar dados de voz de um telefone para outro, e todos utilizam o, conforme afirma Hartpence (2013).

O RTP utiliza-se de outro protocolo, para obter retorno quanto a qualidade e o desempenho do fluxo RTP, chamado de Protocolo de Controle de Tempo Real (Real-Time Control Protocol, RTCP). Este, monitora os recursos para que sejam alocados sob demanda, melhorando, assim, a qualidade da transmissão (HARTPENGE, 2013).

Desta forma, Hartpence (2013) descreve que a fim de diminuir o tempo de entrega dos pacotes, o RTP encapsula os dados de voz e/ou vídeo processados pelo Codec e, então, os coloca dentro do pacote RTP que, por sua vez, é colocado dentro de um pacote do UDP. A junção destes cabeçalhos, IP, UDP e RTP, acrescenta ao *payload* (carga útil gerada pelo codec), respectivamente 20 bytes, 8 bytes e 12 bytes, totalizando 40 bytes adicionais, conforme a Tabela 1. O receptor deve conhecer o tipo de Codec utilizado e ser capaz de decodificar o payload contido no pacote RTP recebido.

Tabela 1 - Cabeçalho RTP.

IP	UDP	RTP	Payload
(20 bytes)	(8 bytes)	(12 bytes)	(tamanho variável dependente do codec)

Ressalta-se que os principais campos no cabeçalho RTP são o *payload*, e o identificador de sequência, utilizado para reordenar os pacotes no receptor e, assim, reconstruir corretamente o sinal transmitido. O uso deste identificador de sequência se faz necessário, uma vez que o UDP não dispõe de função específica para este fim (HARTPENGE, 2013).

3. METODOLOGIA

Este trabalho tem o objetivo de demonstrar como os codecs podem influenciar na qualidade da entrega de outros serviços como e-mail, navegação e *streaming* de vídeo em redes convergentes, isto é, que transportam vários serviços em um mesmo canal de comunicação conforme ilustrado na Figura 4.

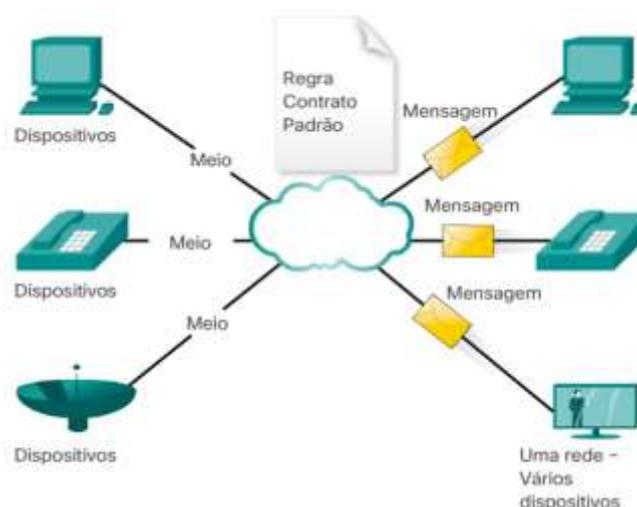


Figura 4 - Redes Convergentes.
Fonte: NetAcad – Cisco (2019)

A convergência no contexto de redes é um termo usado para descrever o processo de combinar voz, vídeo e comunicações de dados em uma infraestrutura de rede comum. Os avanços tecnológicos tornaram a convergência prontamente disponível para grandes, médias e pequenas empresas

As redes convergentes são capazes de oferecer voz, *stream* de vídeo, texto e gráficos entre vários tipos diferentes de dispositivos no mesmo canal de comunicação e estrutura de rede. Em uma rede convergente, ainda existem muitos pontos de contato e muitos dispositivos específicos, como computadores pessoais, telefones, TVs e tablets, mas há uma infraestrutura de rede comum.

Misturar sinais de voz, vídeo e dados em uma infraestrutura de comunicações, permite que as empresas gerenciem melhor a tecnologia, já que a rede usará um conjunto comum de regras e padrões. Não serão mais necessários equipamentos de distribuição diferentes para oferecer voz e dados.

Até que as tecnologias amadureçam totalmente, a configuração e o gerenciamento de voz, vídeo e dados fluindo em um canal pode ser um desafio. Dar prioridade a voz sobre os dados que usam tecnologias de Qualidade de serviço (QoS) pode ser bastante complexo para empresas que não tenham uma equipe de Tecnologia da Informação treinada e capacitada à tirar o melhor da rede.

3.1 Base para modelagem

O estudo foi baseado na rede e equipamentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Avançado Três Corações. Por se tratar de uma rede privada, de cunho público federal e, após autorização da autoridade competente, parte desta foi mapeada e reproduzida com apoio do software Riverbed Modeler, na sua versão *Academic Edition*.

Por se tratar da versão acadêmica, esta versão tem limitação de inclusão de até 80 nós (dispositivos de rede) e até 50.000.000 de capturas de log. Diante do exposto, foi necessário mapear somente o bloco administrativo composto de 68 nós, visto que os demais blocos contém quantidades maiores, como por exemplo o bloco pedagógico que possui 130 máquinas, além de uma gama considerável de dispositivos conectados por rede sem fio.

Ademais, apesar de menor o bloco administrativo conta com maiores recursos de convergência como telefonia VoIP, Servidores de Rede, Sistemas de Videoconferência entre outros recursos pertinentes às redes de computadores.

Com intuito de representar situações distintas e assim poder testar a efetividade do modelo de seleção de codecs proposto, foram utilizados os seguintes ambientes e cenários, como pode ser visto na figura 5:

- 62 dispositivos finais de rede (hosts);
- 2 switches;
- 1 roteador;
- 3 servidores de serviços de rede (E-mail, Web, *Streaming*);
- Configurações necessárias para cada ambiente (*Application Definition e Profile Definition*);
- Conexões baseadas em 100mbps (100 BaseT) Ethernet.

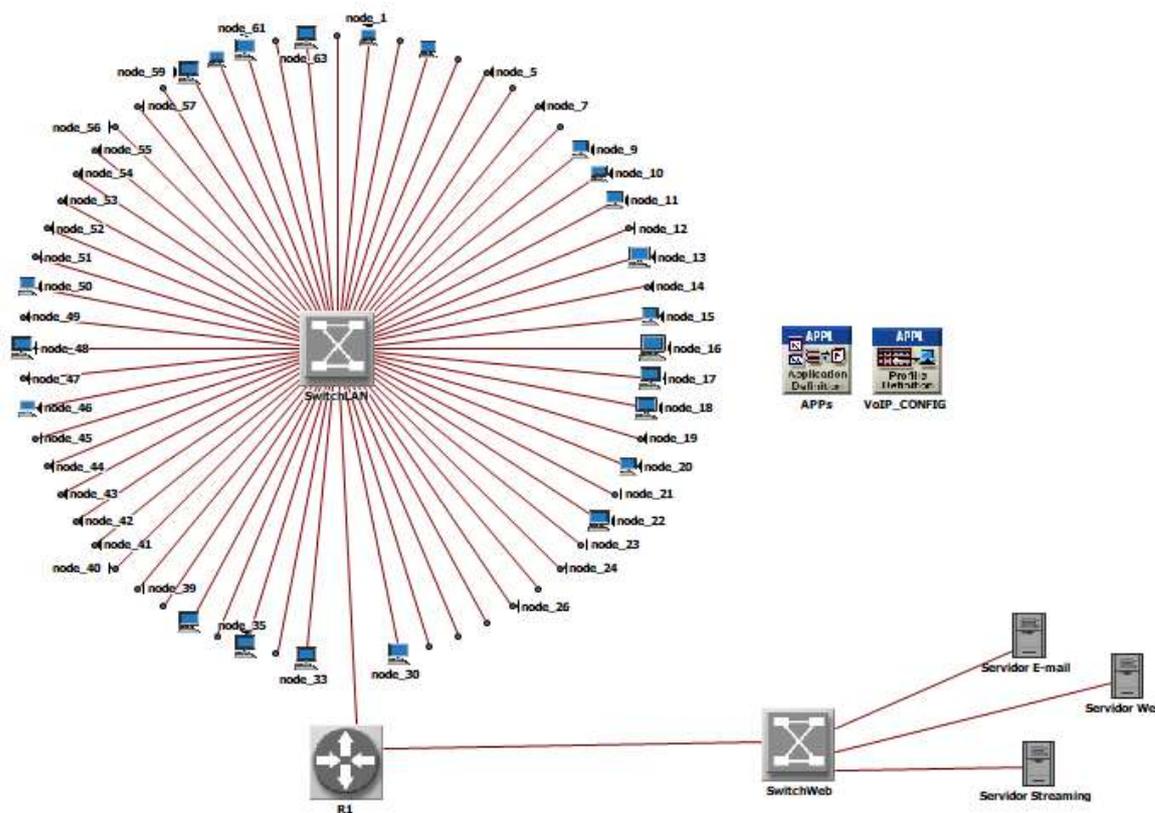


Figura 5 - Modelagem do ambiente.
 Fonte: Elaborado pelo Autor

Os codecs utilizados nos testes foram selecionados de acordo com os utilizados na instituição onde foi baseado o modelo. À seguir na Tabela 2 podemos observar as características destes:

Tabela 2 - Características dos codecs utilizados no modelo.

CODEC	Taxa de Bits (kbps)	MOS Score	Atraso (ms)
G.711	64,00	4,10	0,75
G.726	32,00	3,85	1,00
G.728	16,00	3,61	4,00
G.723a	5,30	3,65	30,00
G.723m	6,30	3,90	30,00
G.729	8,00	3,27	10,00
GSM	13,20	4,32	20,00

Fonte: Cisco (2019)

3.2 Cenários implementados

O Riverbed Modeler permite utilizar algumas predefinições de carga de rede, diante disso foram utilizados características de uso moderado e extremo dos recursos de rede para cada codec testado. Foram observadas as mesmas características de

tráfego para ambos codecs à fim de verificar o impacto causado em sua utilização. Na tabela 3 e 4 estão as definições utilizadas nos modelos de teste.

Tabela 3 - Cenário 0 - Carga baixa de rede.

CENÁRIO	CODEC	HTTP	E-MAIL	STREAMING
0	G711	Light Browsing	Low Load	Video Browsing
0	G723a	Light Browsing	Low Load	Video Browsing
0	G723m	Light Browsing	Low Load	Video Browsing
0	G726	Light Browsing	Low Load	Video Browsing
0	G728	Light Browsing	Low Load	Video Browsing
0	G729a	Light Browsing	Low Load	Video Browsing
0	GSM	Light Browsing	Low Load	Video Browsing

- Light Browsing: uso leve a moderado de navegação web.
- Low Load: uso leve de recursos de envio/recebimento de e-mails.
- Video Browsing: uso moderado de recursos de *streaming*.

Tabela 4 - Cenário 1 - Carga baixa de rede.

CENÁRIO	CODEC	HTTP	E-MAIL	STREAMING
1	G711	Heavy Browsing	High Load	Video Browsing
1	G723a	Heavy Browsing	High Load	Video Browsing
1	G723m	Heavy Browsing	High Load	Video Browsing
1	G726	Heavy Browsing	High Load	Video Browsing
1	G728	Heavy Browsing	High Load	Video Browsing
1	G729a	Heavy Browsing	High Load	Video Browsing
1	GSM	Heavy Browsing	High Load	Video Browsing

- Heavy Browsing: uso acentuado de navegação web.
- High Browsing: uso acentuado de recursos de envio/recebimento de e-mails.
- Video Browsing: uso moderado de recursos de *streaming*.

Nas definições do software não há implementações de cargas distintas para Streaming de vídeo, por este motivo em todos os testes foi utilizada à carga padrão.

3.3 Dados registrados para análise

Foram coletados inúmeros dados dos modelos. Os valores obtidos são médias calculadas a cada 100 eventos capturados. Alguns se demonstraram ineficientes para qualquer tipo de análise devido à reduzida ou inexistente variação entre seus resultados, destacando-se positivamente e/ou negativamente as seguintes métricas:

- **Ethernet Delay:** Estatística que representa o atraso de ponta à ponta contabilizando todos os pacotes recebidos pelas estações.
- **E-mail Download Response Time:** Tempo decorrido entre o envio de solicitação de e-mails e o recebimento de e-mails do servidor de rede. Esse tempo inclui atrasos de sinalização para a configuração da conexão.
- **HTTP Page Response Time:** Tempo decorrido para recuperar a página solicitada com todos os objetos embutidos.
- **Jitter:** variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede, ou seja, pode ser definida como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados.

Em análise prévia dos dados verificou-se que o Jitter era nulo ou irrisório (menor que 1×10^{-10} segundos ou 1 nanosegundo) para o desempenho da rede. Este então foi desconsiderado dos dados extraídos para o algoritmo de determinação do melhor codec.

Segundo Tavares, Lobato e Westphall (2004), para valores de latência que aumentam, o valor do jitter tende a ser positivo, porém quando a latência do pacote atual é menor, seu valor é negativo. Várias vezes ocorreram valores nulos para o jitter, evidenciando que a latência de um pacote em relação ao anterior é nula. O jitter nulo é o valor considerado ideal, principalmente para transmissões de dados em tempo real como som e áudio, pois se o jitter nessas transmissões variar demais, a transmissão poderá sofrer atraso (jitter positivo) ou aceleração da transmissão (no caso de repetidos pacotes com jitter negativo). Em casos como esse é melhor ter uma latência total um pouco maior, mas com um jitter nulo, assim a transmissão vai chegar com um pequeno atraso, mas sem travar ou acelerar.

4. Resultados e discussões

A seguir são apresentados os resultados dos experimentos obtidos da rede modelo. Pode-se observar pela análise dos dados coletados que o uso de diferentes codecs exercem influências distintas no desempenho das redes de dados convergentes. Aqui serão apresentados comparativos entre os codecs em cenários formulados no ambiente de teste conforme descrito anteriormente no Capítulo 3.

A primeira análise realizada foi em relação ao tempo de resposta para o download de E-mails, isto é, o tempo decorrido entre o envio de solicitação de e-mails e o recebimento de e-mails do servidor de rede. Esse tempo inclui atrasos de sinalização para a configuração da conexão. Para uma melhor qualidade do serviço, quanto menor o tempo de download melhor.

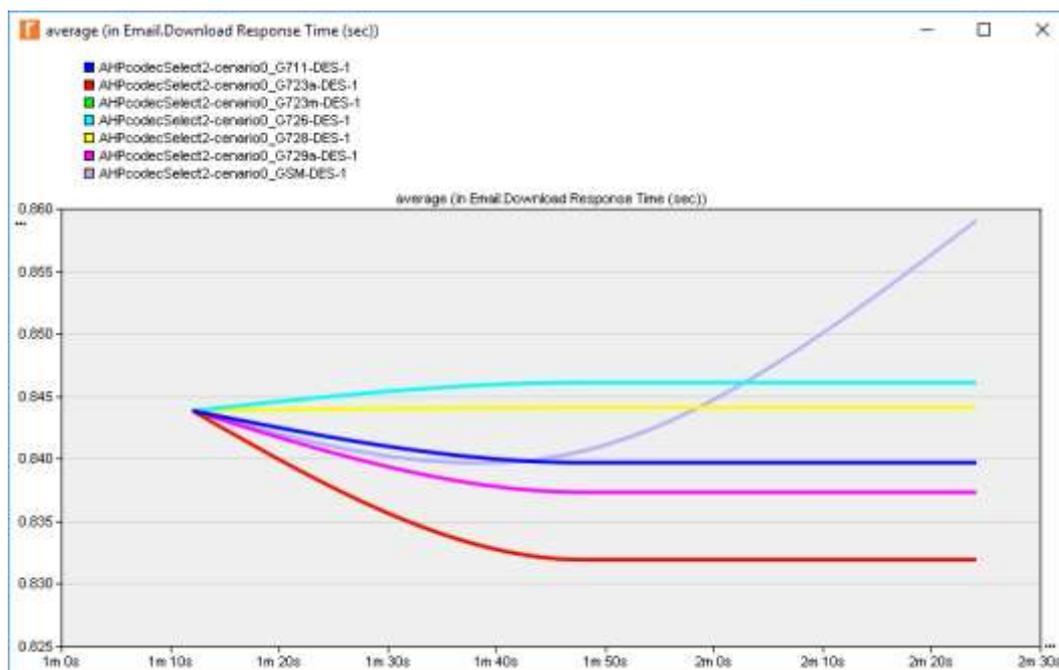


Figura 6 – Cenário 0: Tempo de Resposta E-mail.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pode-se verificar que no cenário de carga reduzida da rede, com baixo consumo dos recursos, que os codecs G.723a e G.723m, após o tempo de estabilização da rede, mantêm um valor contínuo. O mesmo ocorre com os codecs G.729a, G.711, G.728, G.726, mas em escalas distintas. Entretanto, o codec GSM desenvolve uma tendência de aumento do tempo de resposta superior aos demais, conforme Figura 6.

Comparando os mesmos codecs com o cenário de carga alta de rede, com efetivo consumo dos recursos, podemos observar a continuidade de tendência de melhor tempo de resposta e pior tempo de resposta para os codecs G.723a e GSM, respectivamente. Todavia, esta análise muda de patamar quando comparada a ordem dos codecs intermediários. Neste cenário há uma ligeira troca na ordem dos codecs, como pode visto na Figura 7.

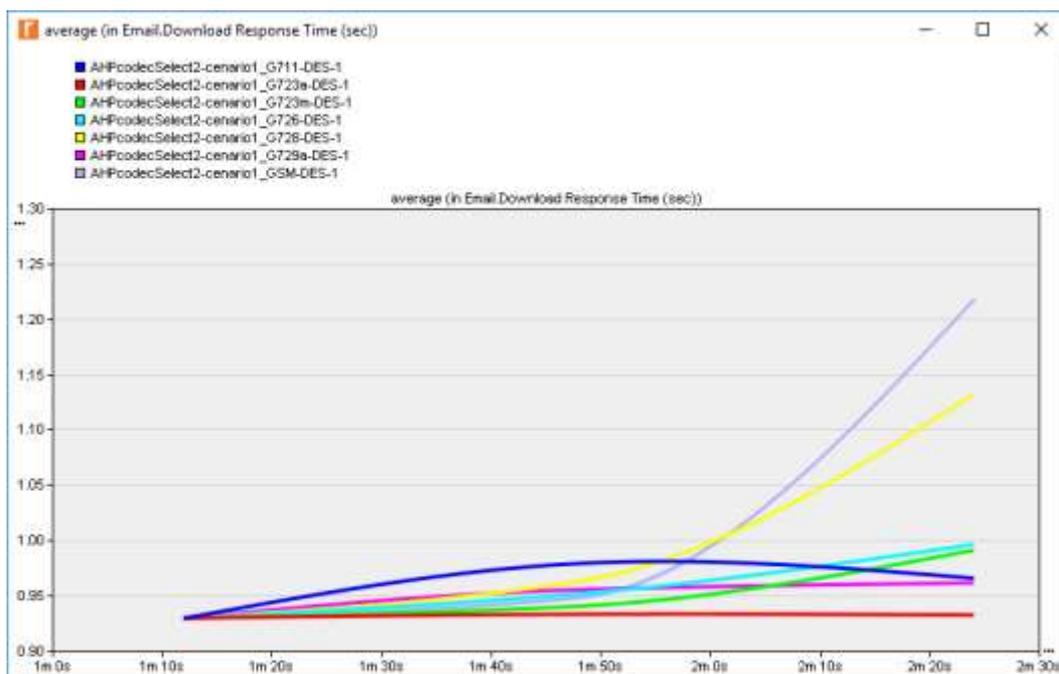


Figura 7 - Cenário 1: Tempo de Resposta E-mail.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda análise foi realizada com os dados do Delay Ethernet (atraso da rede), estatística que representa o atraso de ponta à ponta contabilizando todos os pacotes recebidos pelas estações. Assim como na análise anterior os mesmos codecs foram utilizados em cenários diferentes e os resultados serão apresentados à seguir. Também, como o anterior, quanto menor o tempo de atraso, melhor para a qualidade do serviço.

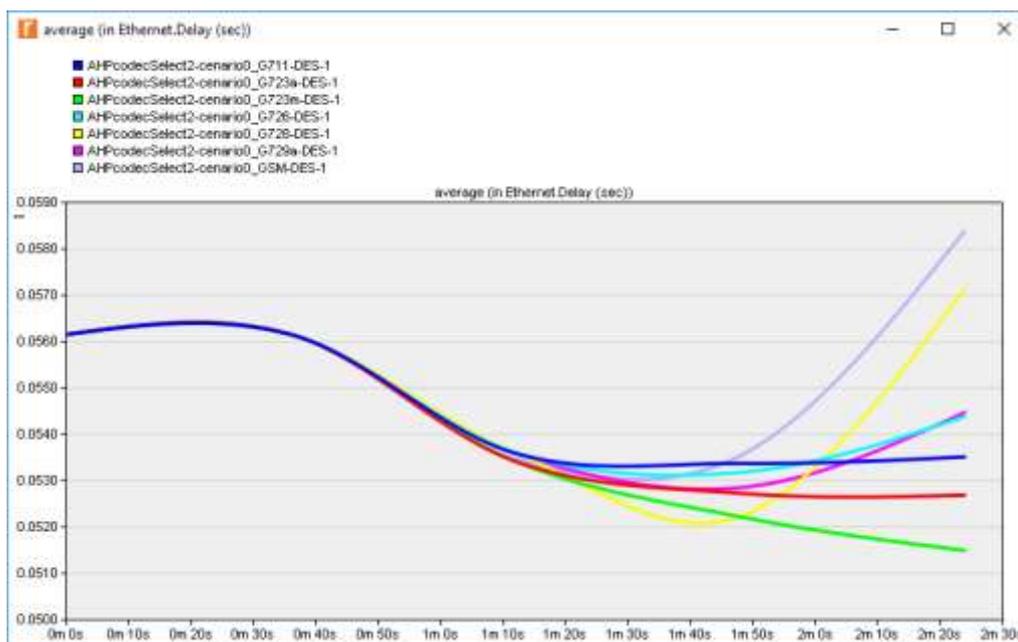


Figura 8 - Cenário 0: Ethernet Delay (atraso).
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os codecs no cenário de carga baixa na rede de dados, Figura 8, pode-se observar uma tendência de aumento do atraso em relação ao tempo decorrido de alguns codecs como o GSM, G.728, G.729a e G.726. Os codecs G.711 e G.723a tendem a manter o atraso em valores constantes no decorrer do tempo, já o codec G.723m apresenta uma tendência de diminuição do atraso da rede no decorrer do tempo.

Com o contexto aplicado ao cenário de carga alta dos recursos de rede, Figura 9, também houve modificações na proposição da ordem dos codecs devido ao desempenho diferente de alguns desses. O codec G.723m melhor avaliado no primeiro cenário, perde lugar para o G.723a. Há também aqui uma variação das tendências vistas no caso anterior, quanto à estabilidade do atraso, com destaque ao G.723a que demonstra indicativo de queda.

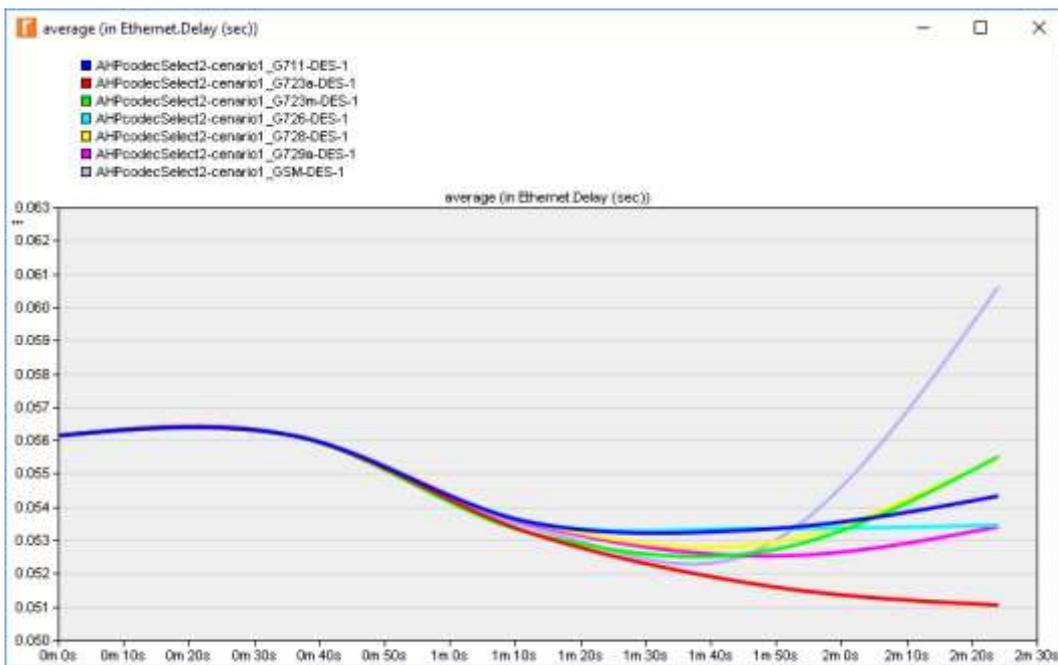


Figura 9 - Cenário 1: Ethernet Delay (atraso).
 Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira análise baseou-se nos dados referentes ao tempo de resposta de páginas web (HTTP Page Response Time), tempo decorrido para recuperar a página solicita com todos objetos embutidos. Para este parâmetro, quanto maior o tempo, pior é a qualidade do serviço prestado.

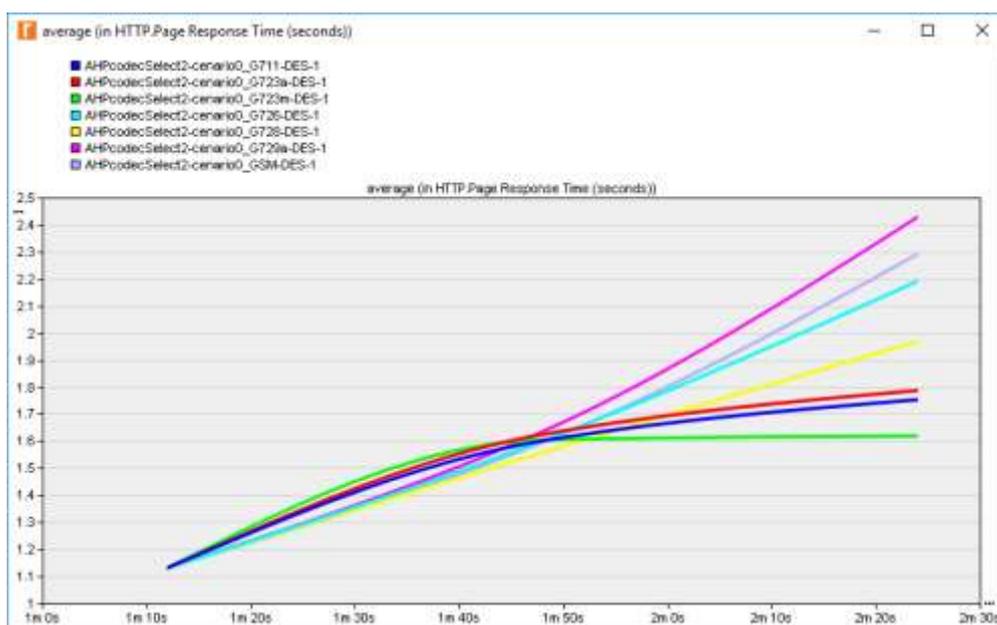


Figura 10 - Cenário 0: Tempo de Resposta HTTP.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Mais uma vez verifica-se que em cenários diferentes os mesmos codecs apresentam comportamentos distintos. Aqui, pela primeira vez, o codec GSM não obteve o pior resultado, ficando este para o codec G.729a (Figura 10). O único codec que não apresenta tendência de crescimento elevado no tempo é o G.723m.

Já para o cenário de carga maior da rede, o codec GSM apresenta uma tendência de crescimento discrepante dos demais codecs, levando-o novamente à última posição na lista. Enquanto isso, o codec G.723m cai de qualidade saindo da primeira para penúltima posição, como visto na Figura 11.

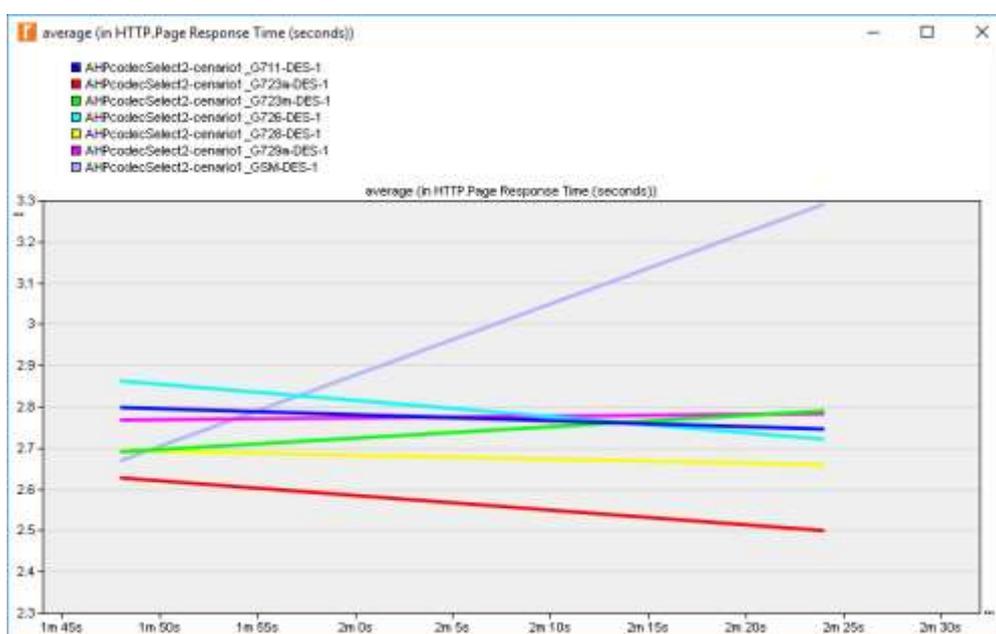


Figura 11 - Cenário 1: Tempo de Resposta HTTP.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da análise conjunta desses dados pode-se verificar que a escolha dos codecs atuou diretamente na qualidade da rede. Porém, não houve uma constância considerável que justifica-se um ou outro. A escolha da melhor solução deve se basear na melhoria de uma métrica em detrimento de outra.

5. Considerações finais

Fundamentalmente, a QoS permite a oferta um melhor serviço a certos fluxos. Isso ocorre aumentando a prioridade de um fluxo ou limitando a prioridade de outro. Conhecer os gargalos de uma rede através da análise de seus dados ou de modelagem e simulações através de software pode colaborar para a correta gerencia dos recursos.

O controle ideal da qualidade deve passar por uma visão minuciosa. Não se devem descartar quaisquer variáveis, por mais irrisórias que possam parecer. Para este fim, várias ferramentas podem ser utilizadas para análise da rede. Qual usar depende do tráfego. Entretanto, a ferramenta utilizada neste trabalho, o Riverbed Modeler, também se mostra viável para inúmeros testes e situações diferentes enfrentadas em uma rede de computadores. A implementação de QoS pode ajudar a aliviar a maioria dos problemas de congestionamento.

Por meio desta pesquisa, acredita-se que foi possível apresentar as influências que os codecs infligem sobre a rede de dados. Desta forma, possibilitará trabalhos futuros relacionados a qualidade de serviços em redes de computadores convergentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADISESHU H.; VOLKER H.; MARKUS H.; DEBASIS M.; IRAJ S.; ANWAR W.; INDRA W. **Intelligent media gateway selection in a VoIP network**. Bell Labs Technical Journal 10(1), 47–57 (2005) • DOI: 10.1002/bltj.20078

BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Relatório anual 2018**. Brasília, DF, 2019. 10 p.

BORDIM, J. L. **Introdução à Voz sobre IP e Asterisk**. Escola Superior de Redes. Rio de Janeiro, 2010.

CISCO SYSTEM INC. **Automation for Quality of Service Deployments: Cisco AutoQoS**. 2019. Disponível em: <https://www.cisco.com/en/US/technologies/tk543/tk879/technologies_white_paper0900aecd803228e0.html>. Acesso em: 15 maio de 2019.

ELMAHDY H. N.; TAHA, M. H. N. **The Impact of Packet Size and Packet Dropping Probability on Bit Loss of VoIP Networks**. Paper in ICGST-CNIR Journal, Volume 8, Issue 2, January 2009, Faculty of Computers and Information, Cairo University, Giza, Egypt.

HARTPENGE, B. **Packet guide to voice over IP: a system administrator's guide to VoIP technologies**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013. 242 p.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE 802.3 Ethernet Working Group**. 2019. Disponível em <<http://www.ieee802.org/3/>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE 802.11 - The Working Group for WLAN Standards**. 2019. Disponível em <<http://www.ieee802.org/11/>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. **Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): an objective method forend-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs**. Genebra, 2007. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862/en>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. **Perceptual objective listening quality prediction**. Genebra, 2018. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/T-REC-P.863-201803-I>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. **Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephone applications**. Genebra, 2007. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.563/en>>. Acesso em 14 de maio de 2019.

JOURNEY INTO COMMUNICATION SYSTEM. **PCM (Pulse Code modulation)**. 2019. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/evocommune/wireless-comm/how-signal-is-transmitted/signal-transfer-3/pcm-pulse-code-modulation>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

KAZEMITABAR, H.; AHMED, S.; NISAR, K.; SAID, A. B.; HASBULLAH, H. B. **A Survey on Voice over IP over Wireless LAN**. Paper in World Academy of Science, Department of Computer and Information Sciences, University Technology, Malaysia, 2010.

MOHAMMED, H. A.; ALI, A. H.; MOHAMMED H. J. **The Affects of Different Queuing Algorithms within the Router on QoS VoIP application Using OPNET**. International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.5, No.1, January 2013

POIKSELKA, M.; MAYER, G. **The IMS: ip multimedia concepts and services**. 3rd ed. Chichester: J. Wiley, 2013. 533 p.

SALAMA, G. I.; SHEHAB, M. E.; HAFEZ, A. A.; ZAKI, M. **Performance Analysis of Transmitting Voice over Communication Links Implementing IPSec**. Paper in 13th International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology (ASAT), Military Technical College, Cairo, Egypt, May 2009.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. J. **Computer Networks**. 5th ed. Boston: Prentice Hall, 2010. 960 p.

TAVARES, R. K.; LOBATO, M. R.; WESTPHALL, C. B.; **Análise de Parâmetros de QoS e Esquemas de Filas em um Ambiente Bluetooth**. IV Congresso Brasileiro de Computação – CBComp 2004.

TAWFEEQ, F. N. **Network Congestion and Quality of Service Analysis Using OPNET**. Thesis, Department of Information Engineering, Al-Nahrain University, March 2009.

TELECO INTELIGÊNCIA EM TELECOMUNICAÇÕES. Voz Sobre IP Em Redes Sem Fio Padrão IEEE 802.11b. 2005. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwirevoip/default.asp>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

TSIARAS, C. et al. **Towards evaluating type of service related quality-of-experience on mobile networks**. In: WIRELESS AND MOBILE NETWORKING CONFERENCE, 7., 2014, Vilamoura: IEEE, 2014. p. 1–8.