UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CAMPUS QUIXADÁ

CENTRO DE REDES DE COMPUTADORES

FRANCISCA LUZIA NOGUEIRA ARAÚJO

ANÁLISE DE QoS EM APLICAÇÕES VoIP EM DISPOSITIVOS MÓVEIS

QUIXADÁ

2019

FRANCISCA LUZIA NOGUEIRA ARAÚJO

ANÁLISE DE QoS EM APLICAÇÕES VoIP EM DISPOSITIVOS MÓVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnóloga. Área de concentração: Computação.

Orientador: Prof. Dr. Arthur de Castro Callado.

QUIXADÁ

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A689a Araújo, Francisca Luzia Nogueira.
Análise de QoS em aplicações VoIP em dispositivos móveis / Francisca Luzia Nogueira Araújo. – 2019.
34 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Arthur de Castro Callado.

1. Quality of service. 2. Telefonia IP. 3. WhatsApp (Rede social on-line). 4. SOMA Messenger. 5. Avaliação perceptiva da qualidade da fala. I. Título.

CDD 004.6

FRANCISCA LUZIA NOGUEIRA ARAÚJO

ANÁLISE DE QoS EM APLICAÇÔES VoIP EM DISPOSITIVOS MÓVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnóloga. Área de concentração: Computação

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Arthur de Castro Callado(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____
Prof. Me. Antonio Rafael Braga
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____
Prof. Carlos Bruno Pereira Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A minha mãe Maria de Lourdes Nogueira de Araújo e a minha irmã Francisca Jaqueline Nogueira Araújo, por sempre lutarem para proporcionar-me uma boa educação.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr Arthur Castro Callado pelo seu tempo e sua orientação para a realização deste trabalho.

A Profa. Dra. Atslands Rego da Rocha e Profa. Dra. Ticiana Linhares Coelho da Silva, com as quais eu tive a honra de estudar, exemplos de mulheres da TIC que inspiram mulheres da TIC.

A minha família, aos meus colegas de faculdade, aos meus amigos e amigas que me apoiaram e incentivaram durante o curso.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo comparar a QoS das aplicações *Whatsapp* e *SOMAapp* em cenários nos quais foram utilizados fatores de variação das condições de rede o atraso, a perda de pacotes e o *jitter* e como configuração a taxa de transmissão de 10Mbps. As aplicações foram submetidas a todos os cenários planejados. Em cada cenário foram realizadas ligações (uma pelo do *Whatsapp* e outra pelo do *SOMAapp*) entre dois *smartphones* e transmitido um áudio. O áudio capturado no *smartphone* que recebeu a ligação é o áudio que sofreu a degradação da rede e que foi utilizado para análise. No final de cada cenário o áudio degradado coletado é submetido à análise através do método objetivo PESQ que gera um nota equivalente ao MOS de 1 (ruim) a 5 (excelente). O trabalho avaliou primeiramente, em testes preliminares, o quanto a QoS das aplicações é afetada por cada fator e posteriormente pela combinação dos mesmos. Para a criação dos cenários foi utilizada a ferramenta de emulação de condições de rede Core 4.8. Por fim, pôde-se concluir que a aplicação *SOMAapp* obteve de modo geral melhor desempenho do que a *Whatsapp*, pois, nos cenários preliminares, em 06 dos 09 cenários obteve notas PESQ MOS superiores. Nos cenários com nota inferior, a diferenças é inferior a 0,50 scores. Outra observação dos testes preliminares é que ambas foram mais afetadas pelo fator *Jitter*. Nos cenários de avaliação a aplicação *SOMAapp* também apresentou melhores notas PESQ MOS, porém apresentou maior variação das mesmas, enquanto o *Whatsapp* mostrou-se mais estável. No geral, dos 37 cenários, em 91,0% dos casos a aplicação *SOMAapp* teve nota superior.

Palavras-chave: QoS. Aplicações VoIP. WhatsApp. SOMAapp. PESQ.

ABSTRACT

This paper aims to compare the QoS of Whatsapp and SOMAapp applications in scenarios in which factors of variation of network conditions were used such as delay, packet loss and jitter and also a configuration of the transmission rate at 10Mbps. The applications were submitted to all scenarios. In each scenario a call is made by Whatsapp and another by SOMAapp, which are made between two *smartphones* and transmitted audio. The audio captured on the *smartphone* that received the call is the audio that suffered network degradation and is used for analysis. At the end of each scenario the collected degraded audio was subjected to analysis using the objective PESQ method which generates a MOS equivalent score between 1 (poor) and 5 (excellent). The work first evaluated, in preliminary tests, how much QoS of applications is affected by each factor and later their combination. To create the scenarios, the Core 4.8 network condition emulation tool was used. Finally, it could be concluded that the application SOMAapp application generally had better performance than Whatsapp, because, in the preliminary scenarios, in 06 of the 09 scenarios obtained a higher PESQ MOS scores. In scenarios with a lower grade, the difference was less than 0.5 scores. Another observation from the preliminary tests is that both were more affected by the *jitter* factor. In the evaluation scenarios, the application SOMAapp also presented better grades PESQ MOS, but presented greater grade variation, while whatsapp was more stable. Overall, out of 37 scenarios, in 91.0% of cases the SOMAapp application scored higher.

Keywords: QoS. VoIP Applications. WhatsApp. SOMAapp. PESQ.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ambiente para execução dos experimentos 22

Figura 2 – Ambiente emulado no Core 24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados dos cenários dos testes preliminares 26

Gráfico 2 – Resultados dos cenários de avaliação 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cenários dos Teste Preliminares 25

Tabela 2 – Cenários de Avaliação 27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QoS	Qualidade de Serviço
PESQ	*Perceptual Evaluation pf Speech Quality*
MOS	*Mean Opinion Score*
VoIP	Voz sobre IP
Codec	Codificador e decodificador de voz

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 OBJETIVOS 15
2.1 Objetivo geral 15
2.2 Objetivos específicos 15

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
3.1 Voz sobre IP (*Voice over IP*, VoIP) 16
3.2 VoIP QoS *(VoIP Quality of Service)* 16
3.3 *Mean Opinion Score* (MOS) 16
3.4 *Perceptual Evaluation of Speech Quality* (PESQ) 17

4 TRABALHOS RELACIONADOS 18

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 20
5.1 Identificação de aplicações a serem utilizadas 20
5.2 Definição das métricas 20
5.3 Definição dos fatores e dos níveis 20
5.4 Identificar na literatura técnicas para avaliar aplicações VoIP 21
5.5 Realização dos Experimentos 21
5.6 Ambiente para execução dos experimentos 22
5.7 Coleta dos dados 24
5.8 Análise e interpretação dos dados 24

6 RESULTADOS 25
6.1 Cenários Preliminares 25
6.2 Cenários de Avaliação 27
6.3 Discussão 29

7 CONCLUSÃO 30

REFERÊNCIAS 31

APÊNDICE A - TABELAS COM OS RESULTADOS DOS CENÁRIOS PRELIMINARES 32

APÊNDICE B – TABELAS COM OS RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO 33

1 INTRODUÇÃO

A disseminação de Voz sobre IP (VoIP) é atual e principalmente motivada pela redução de custos de telefonia para empresas e consumidores residenciais (Barbosa et al., 2006). O uso dessa tecnologia de voz sobre redes IP, como a Internet, permite a realização de ligações a baixo custo. Além disso, "Os aplicativos de voz oferecem flexibilidade em vários dispositivos e redes e aumentaram em popularidade à medida que os *smartphones* se tornam cada vez mais onipresente." (Opensignal, 2019, p.3, tradução livre).

Atualmente existem várias aplicações de VoIP amplamente utilizadas tanto na área comercial quanto por usuários finais como o *Whatsapp*[1] e o *SOMAapp*[2]. O *Whatssap*, fundado em 2009, permite que pessoas portadoras de *smartphones* conectados à Internet possam realizar chamadas de voz gratuitas entre outros serviços que a aplicação disponibiliza como troca de mensagens de texto, chamadas de vídeos e compartilhamentos de arquivos, tudo com criptografia de ponta a ponta.

O *SOMAapp* é uma aplicação mais recente, desenvolvida por uma empresa fundada na Universidade de Harvard em 2011, construída usando tecnologia distribuída proprietária com uma rede de servidores no mundo, que promete um sistema altamente seguro e criptografado, chamadas ilimitadas grátis de alta qualidade, com voz e vídeo sem *buffering*.

Pessoa (2004, p.1), afirma que "Apesar da simplicidade e popularidade, redes IP apresentam problemas quando se trata de transmitir mídias sensíveis ao atraso como a voz". O problema está relacionado ao protocolo IP utilizado pela Internet, que presta o serviço sem conexão, o que implica na ausência de algumas garantias. Ainda segundo o mesmo autor, "Não há garantias, por exemplo, de um atraso constante, o que pode tornar uma aplicação de voz em tempo real, como por exemplo, uma conversa telefônica, [em] um serviço de baixa qualidade com a voz entrecortada e muitas vezes ininteligível.".

Considera-se importante a análise da qualidade do serviço que essas aplicações fornecem para seus usuários. Com o passar do tempo e com a evolução dos meios de comunicação, estes usuários estão cada vez mais exigentes. Este trabalho tem como objetivo comparar a qualidade de serviço (QoS) dessas aplicações, ambas gratuitas e que oferecem o serviço de ligações via Internet em dispositivos móveis. Para calcular o QoS das aplicações, este trabalho utilizará o método objetivo PESQ para presumir o MOS equivalente. As definições dos métodos e de QoS podem ser observados no capítulo terceiro deste trabalho.

---

[1] https://www.whatsapp.com/
[2] https://somaapp.com/

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 são descritos os objetivos deste trabalho; no Capítulo 3 está conceituada a fundamentação teórica; no Capítulo 4 são mostrados os trabalhos relacionados; no Capítulo 5 são descritos os procedimentos metodológicos; no Capítulo 6 são mostrados os resultados obtidos; por fim, no Capítulo 7, são apresentados a conclusão e possíveis trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS

Este capítulo descreve os objetivos do trabalho.

2.1 Objetivo geral

Comparar a QoS das aplicações *Whatsapp* e *SOMAapp* em dispositivos móveis.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as aplicações com o método PESQ;
- Comparar os resultados finais das aplicações, tentando diferenciar em que casos uma aplicação é melhor que outra.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Voz sobre IP (*Voice over IP*, VoIP)

VoIP, que significa “voz sobre o protocolo IP”, trata-se da tecnologia que possibilita a transmissão de voz por uma rede de computadores, em particular a rede IP, como é o caso da Internet, permitindo realizar e receber ligações a baixo custo. Para CALLADO et al., (2007, p.2) “A ideia essencial da tecnologia VoIP é utilizar tanto redes privadas como a Internet - uma rede concebida para conduzir dados – para transportar voz e dessa forma, efetuar a convergência nos serviços de transferência de voz e dados em uma mesma rede.”

3.2 VoIP QoS *(VoIP Quality of Service)*

A QoS é definida pela ITU-T como "[...]o efeito coletivo de desempenho que determina o grau de satisfação do usuário deste serviço específico". Nas aplicações VoIP, a QoS sofre um agravante por tratarem-se de aplicações em tempo real, possuindo requisitos bem mais exigentes que as demais aplicações que rodam normalmente na Internet.

CALLADO et al., (2007) afirmam que “Existem diversos fatores que podem prejudicar a qualidade da comunicação, sendo os mais críticos o atraso, o *jitter* e a perda de pacotes.” Um outro fator que pode influenciar a QoS das aplicações é o codificação e decodificador de voz (codec), porém tal fator geralmente não é conhecido e por isso não pode ser estudado mais profundamente. Por isso para este trabalho serão observados os fatores atraso, *jitter* e perda de pacote, pois os mesmo podem interferir ou inviabilizar a comunicação em aplicações VoIP.

3.3 *Mean Opinion Score* (MOS)

Um método bastante utilizado em bibliografia e amplamente aceito é *Mean Opinion Score* (MOS). O MOS é uma abordagem de avaliação subjetiva computada como a média das notas individuais atribuídas por um grande número de pessoas que ouvem um áudio resultante de um processo de codificação e decodificação, onde a nota varia de 1 (ruim) a 5 (excelente) (BARBOSA, 2006). O MOS é padronizado pelo ITU-T através da recomendação P.800. Apesar de o seu resultado ser comprovadamente eficiente, a realização de tal avaliação em larga escala demanda alto custo em relação a tempo e esforço, o que motivou o desenvolvimento de técnicas objetivas para o cálculo do MOS. Uma técnica objetiva desenvolvida pela ITU é o Modelo-E. Segundo CALLADO et al., (2007) “O Modelo-E

implementa um mecanismo baseado na soma de termos que representam distorções na qualidade da voz, tais como atrasos de transmissão, eco e distorções introduzidas pelos equipamentos utilizados.”. O resultado deste modelo é o fator R, que pode ter seu valor convertido para um valor MOS equivalente. Entretanto, para obter-se o fator R é necessário o conhecimento de informações técnicas relacionadas à chamada que em alguns casos não são disponibilizadas, como por exemplo, detalhes do codec. Ainda de acordo com o mesmo autor, “Uma vez que em diversas situações, esses detalhes não são conhecidos, existe a necessidade de se calcular a qualidade de voz com base na comparação entre o áudio falado ou transmitido e o escutado ou recebido.”, Para isso, outra técnica objetiva foi desenvolvida, o *Perceptual Evaluation of Speech Quality* (PESQ).

3.4 Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ)

Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ) padronizada na ITU-T P.862, é uma técnica objetiva para medir a qualidade fim a fim de uma comunicação de voz em condições de rede reais. Barbosa et al. (2006) conceituam o PESQ como um método automatizado para avaliação da qualidade do áudio recebido que faz uma predição do MOS equivalente. Para medir a qualidade, ele baseia-se na comparação do áudio original X com o áudio recebido Y, possivelmente degradado ao ser transportado pelo sistema de comunicação. O resultado da comparação dos sinais é o escore de qualidade, análogo ao MOS, de acordo com a recomendação ITU-T P.800. Como o objetivo desse trabalho é uma análise objetiva das aplicações baseadas na qualidade final da voz transmitida, o método utilizado será o PESQ.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Barbosa et al. (2006) avaliam o comportamento e o desempenho da versão *web* de duas aplicações populares que oferecem o serviço de ligações gratuitas através tecnologia VoIP. Com o objetivo de avaliar o comportamento dessas duas aplicações o autor assumiu como métrica de desempenho a qualidade de áudio recebido. As avaliações aconteceram em três cenários em um ambiente de rede controlado, onde para cada cenário foram definidas condições de rede diferentes e uma transmissão de um mesmo áudio de 60 minutos dividido em 60 transmissões de um minuto cada. O algoritmo utilizado no trabalho citado foi o PESQ *(Perceptual Evaluation of Speech Quality*) para inferir o valor do MOS (*Mean Opinion Score*) baseado na comparação entre o áudio enviado e o recebido.

Este trabalho relaciona-se ao citado, pois apresenta uma análise de qualidade de serviços de duas aplicações que utilizam a tecnologia VoIP para a realização de chamadas de voz pela Internet através do mesmo método. No trabalho citado, as aplicações analisadas foram o *Skype* e *Google Talk* versão *web*, enquanto as aplicações analisadas neste trabalho serão o *Whatssap* e o *SOMAapp*. Ambas possuem versões na *web*, mas neste trabalho serão avaliadas as versões para plataformas móveis, o que é outro diferencial deste trabalho.

Sousa (2007), avalia a qualidade de voz final transmitida no serviço VoIP sobre HSDPA. Para essa análise, o autor utilizou-se dos métodos objetivo PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) e do subjetivo MOS (*Mean Opinion Score*). No experimento,o autor utilizou um simulador, desenvolvido por sua equipe, o qual modela as principais características do sistema HSDPA e o comportamento do trafego do serviço VoIP. Após a realização dos testes, no quais foram transmitidos 04 áudios (02 femininos e 02 masculinos) pelo simulador, Sousa compara os resultados obtidos pelos dois métodos para verificar-se a aproximados entre os valores obtidos. Outro fator interessante do trabalho citado é que o autor busca determinar é a taxa de quadros perdidos (FER, do inglês *Frame Error Rate*), que pode ser generalizada de forma a garantir uma boa qualidade de voz.

Este trabalho relaciona-se ao citado, pois se utiliza também do método PESQ para realizar as análises de qualidade de voz final transmitida pela tecnologia VoIP. Entretanto, o foco do trabalho citado está na utilização do serviço de transmissão de pacotes HSDPA enquanto este trabalho tem foco nas aplicações que usam VoIP para a realização de ligações.

Boyland e Khatri (2019) avaliam o comportamento e o desempenho da versão *mobile* das aplicações *WhatsApp*, *Skype* and *Facebook Messenger* em redes de operadoras de celulares 3G e 4G. Com o objetivo de responder a seguinte pergunta “Quão boa ou ruim é a

chamada de aplicativos de voz como *WhatsApp*, *Skype* e *Facebook Messenger* na rede da minha operadora?" (BOYLAND; KHATRI, 2019, p.4, tradução nossa). Para isso, os autores utilizaram de uma medida pioneira, a *Voice App Experience*, que mede a qualidade da experiência em serviços de *over-the-top* (OTT) nos aplicativos usando um modelo derivado da abordagem baseada na União Internacional de Telecomunicações (ITU) para quantificar a qualidade geral das chamadas de voz. Nesse modelo a qualidade é classificada de 0 até 100, ou de impossível se comunicar até excelente. Para seu estudo os autores analisaram, em 80 países de todo o mundo, usuários de *smartphones* Android e iOS, para ver como a Experiência do aplicativo de voz dos usuários se compara em diferentes mercados móveis, ou seja, fornecidos por operadores diferentes de todo o mundo.

Este trabalho relaciona-se ao citado, pois apresenta uma análise de qualidade de serviços de aplicações que utilizam a tecnologia VoIP para a realização de chamadas de voz pela Internet em *smartphones*. No trabalho citado, as aplicações analisadas foram *WhatsApp*, *Skype* e *Facebook Messenger* versão *mobile* em redes de operadores 3G e 4G, enquanto as aplicações analisadas neste trabalho serão o *Whatssap* e o *SOMAapp* em uma rede *wireless*. Neste trabalho as aplicações foram avaliadas pelo método objetivo PESQ enquanto no trabalho citado foi utilizado um método *Voice App Experience* derivado do método da ITU, o que é outro diferencial deste trabalho.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Essa seção define os passos para a realização deste trabalho.

5.1 Identificação de aplicações a serem utilizadas

As aplicações escolhidas são *Whatsapp* e *SOMAapp*, a primeira por ser uma aplicação bastante utilizada nos cenários atuais e a segunda por ser uma aplicação mais recente que promete oferecer chamadas ilimitadas grátis via Internet, de alta qualidade de voz sem *buffering*. Outros fatores que favoreceram essa escolha foram: a gratuidade de ambas as aplicações e na pesquisa bibliográfica não foram identificados trabalhos que executassem esses experimentos nessas aplicações utilizando o método escolhido.

5.2 Definição das métricas

Este trabalho assume como métrica o MOS equivalente da qualidade do áudio recebido pelo algoritmo PESQ. Essa métrica pode ser observada nas bibliografias utilizadas como referência para esse trabalho, onde Sousa (2007) utiliza o MOS como medida da inteligibilidade da voz transmitida no serviço de VoIP sobre HSDPA e Barbosa et al. (2006) utilizam o MOS para avaliar o desempenhos de aplicações VoIP P2P submetidas a diferentes condições de rede.

5.3 Definição dos fatores e dos níveis

Os fatores atraso, perda de pacotes e *jitter* foram definidos para atender a métrica e seus níveis definidos a partir de pesquisa bibliográfica. Os níveis dos fatores atraso, perda de pacotes e *jitter* foram estabelecidos baseados na afirmação do Walker (2002 apud CALLADO et al., 2007), que ressaltam que para uma boa qualidade de chamada de VoIP devem ser respeitados " […] atraso fim-a-fim menor que 150 ms, limite máximo de 50 ms para *jitter*, taxa de perda de pacotes máxima de 3% (recomendável que seja inferior a 0,50%)". O atraso refere-se ao tempo entre o envio e o recebimento de uma mensagem transmitida. O *jitter* é a média de variação no atraso da transmissão de mensagens sucessivas. As perdas de pacotes podem ocorrer por causa da ausência de garantia na entrega dos pacotes nas redes baseadas no protocolo IP ou por decorrência de um grande atraso na entrega dos mesmos, fazendo com que a aplicação descarte-os. Uma configuração do experimento é banda disponível, que será de 10Mbps em consideração ao plano básico de banda larga fixa do provedor de Internet

Brisanet que obteve maior nota no Ranking Satisfação Geral-2017 da Anatel (2018) no Ceará. No quadro 1 estão dispostos os fatores e os níveis utilizados nesse trabalho.

Quadro - 1 Descrição dos fatores e níveis do experimento

Fatores	**Níveis**
Atraso	10ms
	50ms
	150ms
Perda de Pacotes	1%
	2%
	3%
Jitter	5ms
	25ms
	50ms

Fonte: Produzido pela autora

5.4 Identificar na literatura técnicas para avaliar aplicações VoIP

Para definir o método utilizadas nesse trabalho, foram pesquisados trabalhos que realizam análise de QoS em chamadas de voz VoIP. Barbosa et al. (2006), utilizam o método PESQ para calcular de forma objetiva a QoS de duas aplicações. Sousa (2007), além de usar PESQ, também utilizou o MOS, um método subjetivo que leva em consideração opiniões individuais para análise e ao fim dos testes comparou ambos os resultados. Magro et al. (2005), afirmam em sua pesquisa que "O PESQ marca um passo importante em direção ao escopo da exatidão comparada aos modelos anteriores de avaliação da qualidade de voz [...]". Assim, o método escolhido para a realização desse trabalho é o PESQ.

5.5 Realização dos Experimentos

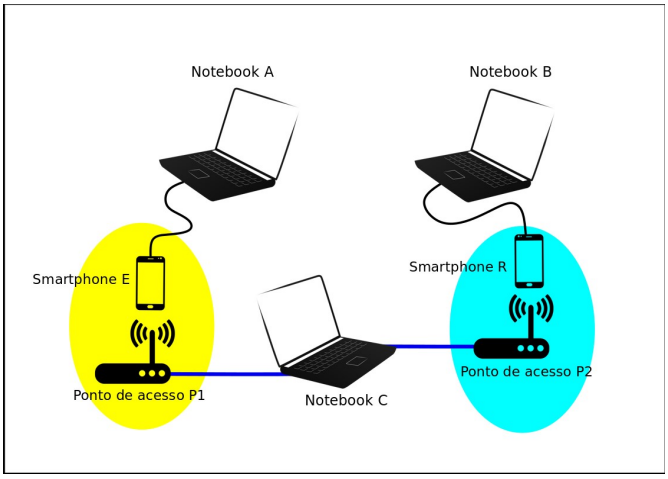
Os testes foram realizados conforme determinado no PESQ padronizado na norma ITU-T P.862. Essa norma recomenda um mínimo de dois falantes masculinos e dois falantes femininos para cada condição de rede testada. Os sinais de teste devem incluir rajadas de fala separadas por períodos de silêncio, para simular pausas naturais, o discurso deve estar ativo entre 40% e 80% do período, ter duração entre 8 a 20s. É desejável evitar distorção adicional como por exemplo quantização, corte de amplitude ou reamostragem, para armazenar os sinais originais e degradados, os áudio devem ser salvos em formato *wave* (.wav), a taxa de amostragem de 8 kHz e PCM linear de 16 bits. Essa última configuração é uma

recomendação, pois o PESQ também possui validação na taxa de amostragem de 16 kHz. Nos experimentos foram emulados conversação unidirecional, para permitir a análise coerente dos dados. Para cada cenários foi realizada uma ligação, totalizando 37 ligações por aplicação. O tráfego gerado na rede foi capturado pela ferramenta Tcpdump na placa de rede do notebook que estava rodando a emulação para posterior análise.

5.6 Ambiente para execução dos experimentos

A Figura 1 ilustra o ambiente montado para realização dos experimentos, onde foram utilizados 02 *smartphones*, 03 *notebooks*, 02 pontos de acesso e 02 cabos auxiliares para conectar os *smartphones* aos *notebooks* que reproduziram e gravaram os áudios. Os cabos auxiliares foram utilizados para transmitir o áudio dos smartphones para os notebooks sem que os mesmos sofressem interferência do ruído do meio externo.

Figura 1. Ambiente para execução dos experimentos.



Fonte: Produzido pela autora

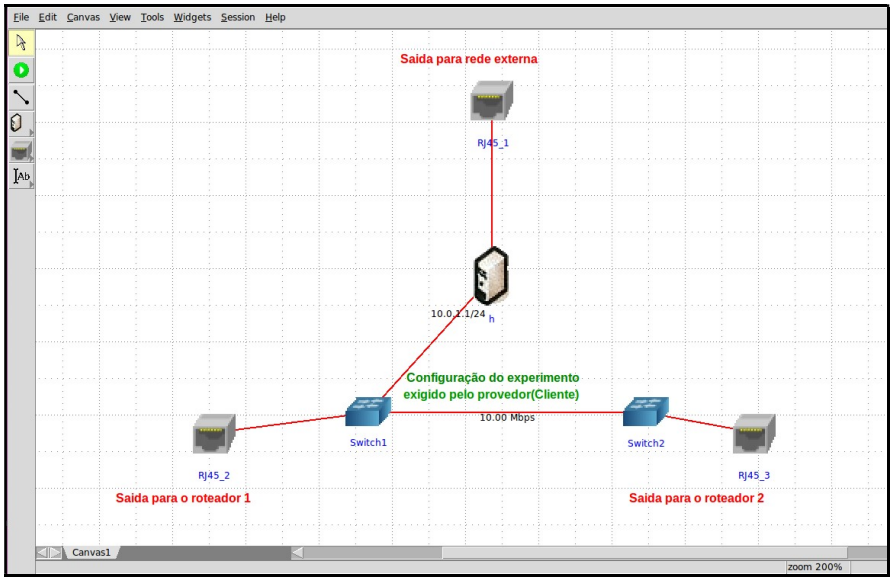
O *notebook* A reproduziu o áudio pré-gravado. O *smartphone* E (emissor) executou a aplicação VoIP, realizou a ligação e estabelece uma chamada e enviou o fluxo de áudio captado *notebook* A. O *smartphone* R (receptor) aceitou a ligação da aplicação VoIP e no *notebook* B foi gravado o fluxo de áudio recebido em R. A gravação do áudio em B serve para o cálculo do MOS, obtido através do algoritmo PESQ padronização ITU-T P.862. O *notebook* C possui o emulador Core 4.8 instalado para emular as condições da rede de acordo com parâmetros específicos para cada experimento. Os pontos de acesso P1 e P2, aos quais os *smartphones* foram conectados, transmitem um sinal *wireless* e são interligados por diferentes condições de rede emuladas no Core.

Os testes foram realizados em 37 cenários, separados em dois grupos. Os 10 primeiros foram cenários preliminares para testar a interferência individual de cada fator e nível e da configuração do experimento na QoS das aplicações. Os cenários de avaliação são a combinação de todos os possíveis fatores entre si. Em cada cenário houve a transmissão de 10 repetições de cada um dos 4 áudios de 10 segundos (dois femininos e dois masculinos) utilizados nos testes, totalizando 40 amostras por cenário.

O *notebook* C é do modelo Positivo Premium XRi7150 , processador Intel(R) Core(TM) i3-5005U CPU 2.00GHz com 4GB de memória RAM e sistema operacional Ubuntu 16.04 LTS. O *smartphone* E (Emissor) é do modelo Galaxy J1 mini, com sistema operacional Android 5.1.1, processador Quad Core 1.2 Ghz com 768MB de RAM e o *smartphone* R (Receptor) é um motorola modelo Moto G7, com sistema operacional Android 9.0, Pie, procesador 1.8 GHz Octa-Core e 4GB RAM. O *notebook* A é do modelo Positivo Stilo XCi7660, processador Intel(R) Core(TM) i3-6006U CPU 2.00GHz com 4GB de memória RAM e sistema operacional Ubuntu 18.04 LTS. O *notebook* B é do modelo Dell Inspiron, processador Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU 2.500GHz com 8GB de memória RAM, SDD de 250GB e sistema operacional Windows 10.

A Figura 2 ilustra o ambiente emulado no Core. Nesse ambiente foram utilizados 03 RJ45, 01 Host e 02 Switches. O Rj45_1 foi utilizado para introduzir taxa de transmissão no ambiente do core, os RJ45_2 e RJ45_3 foram utilizados para conectar o ambiente do core aos pontos de acesso P1 e P2 nos ambientes externos aos quais os *smartphones* foram conectados, para permitir a conexão dos dois pontos de acesso ao mesmo *notebook* foi utilizados 02 conversores de entrada USB 2.0 para saída RJ45. No *Host* H foi configurado Nat, *DHCPclient* e as rotas para permitir o roteamento de IPs para os dispositivos móveis e a realizações das ligações entre aplicações VoIP. Os switch 1 e switch 2 geram um link no qual as configurações dos cenários foram introduzidos.

Figura 2. Ambiente emulado no Core.



Fonte: Produzido pela autora

5.7 Coleta dos dados

Durante os experimentos foram coletados os áudios finais transmitidos pelo *smartphone* E (Emissor) e recebido no *smartphones* R (Receptor), gravado pelo *notebook* B. No *notebook* B o áudio foi gravado diretamente na aplicação *Audacity* 2.2, seguindo a configuração recomendada pelo PESQ, áudio sobre o qual foi realizado a análise.

5.8 Análise e interpretação dos dados

Com o término dos testes e a coleta dos dados, foi analisado o desempenho de cada aplicação em todos os cenários. A análise foi baseada na nota PESQ MOS, utilizando o *software* da padronização P.862 publicada em 25 de maio de 2006 pela ITU no seu *site*, atualizado conforme *Corrigendum* 1 e 2 publicados no dia 08 de maio de 2018. A padronização P.862 original completa foi publicada em 23 de janeiro de 2001, e ao final foram comparadas as performances que ambas obtiveram quando submetidas à mesma condição de rede a fim de determinar em qual cenário cada aplicação obteve o melhor desempenho. Em cada cenário foi realizado uma amostragem de 40 áudios degradados gerando 40 notas de PESQ MOS e a partir dessas notas, foi feito o cálculo da média, do desvio padrão e da margem de erro que foi calculada baseada no nível de confiança de 90%.

6 RESULTADOS

6.1 Cenários Preliminares

Na tabela 1 estão dispostos os cenários de testes preliminares. Tais testes foram realizados para verificar o quanto cada nível de fator afeta individualmente em cada Aplicação VoIP, e servir como base de comparação para observar a variação da nota PESQ MOS em relação os demais cenários, realizados com a combinação dos níveis em todos os fatores. No cenário RL apenas a configuração de 10Mbps da taxa de transmissão foi testada. Nos cenários T1, T2 e T3 os níveis do fator Atraso, nos cenários T4, T5 e T6 os níveis do fator Perda de Pacotes e nos cenários T7, T8 e T9 os níveis do fator *Jitter*.

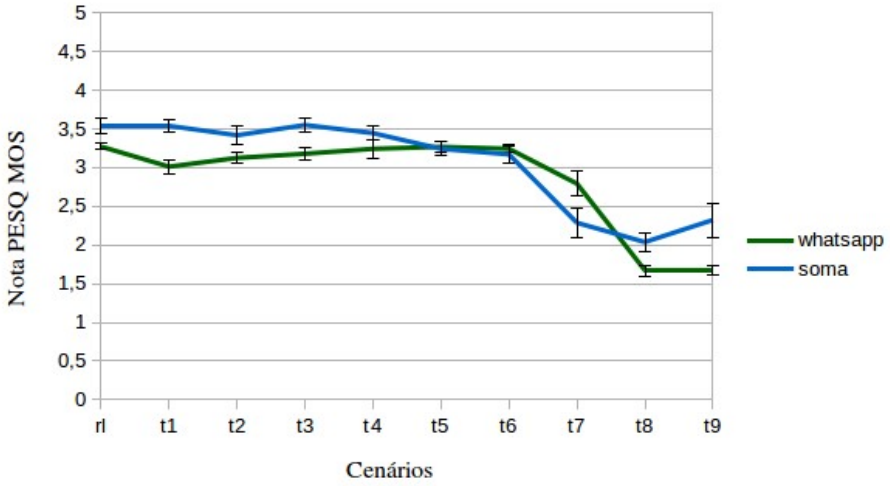
Tabela 1- Cenários dos Testes Preliminares

Cenário	Atraso	Perda de Pacote	Jitter
RL	0	0	0
T1	10ms	0	0
T2	50ms	0	0
T3	150ms	0	0
T4	0	1,00%	0
T5	0	2,00%	0
T6	0	3,00%	0
T7	0	0	5ms
T8	0	0	25ms
T9	0	0	50ms

Fonte: Produzido pela autora

O gráfico 1, mostra ambas aplicações por cenário, média, desvio padrão e margem de erro com margem de confiança de 90%.

Gráfico 1- Resultados dos cenários dos testes preliminares



Fonte: Produzido pela autora

No gráfico 1 é possível notar que houve uma queda nas notas nos últimos 03 cenários que possuem variação do fator *jitter* para ambas as aplicações, mas pode-se observar que a aplicação *SOMAapp* obteve notas inferiores ao *Whatsapp* em apenas 03 de 09 cenários (T5, T6 e T7). A diferença entre a notas médias das aplicações nesses cenários é respectivamente 0.026 , 0.072 e 0.505.

6.2 Cenários de Avaliação

A tabela 2 apresenta as condições de rede dos cenários de avaliação.

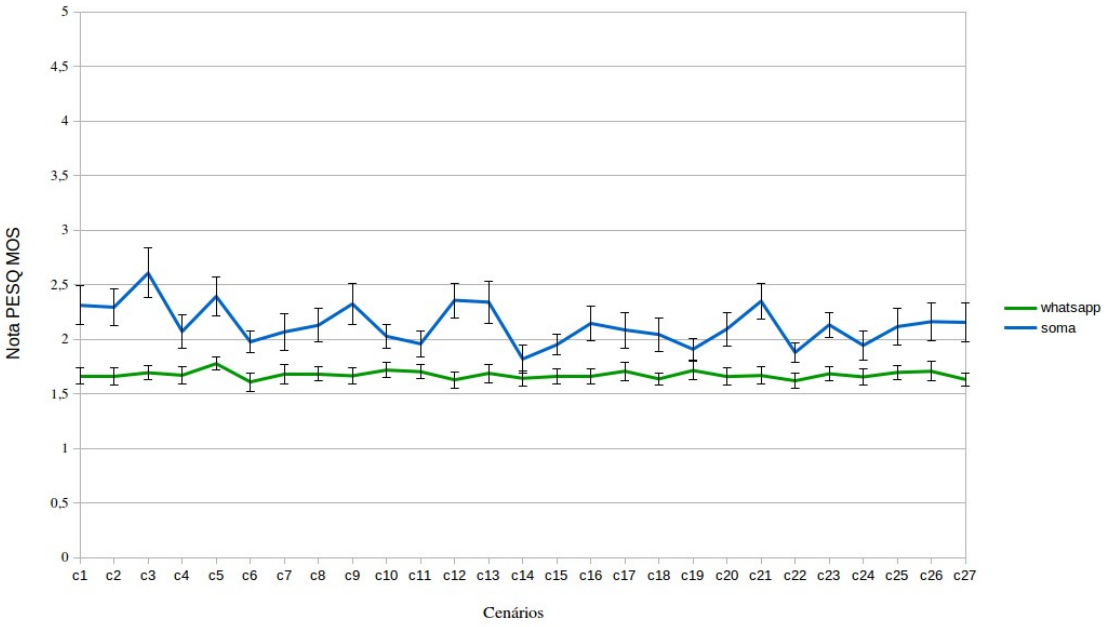
Tabela 2 - Cenários de avaliações

Cenário	Atraso	Jitter	Perda de Pacote
C1	10ms	5ms	1,00%
C2	10ms	25ms	1,00%
C3	10ms	50ms	1,00%
C4	50ms	5ms	1,00%
C5	50ms	25ms	1,00%
C6	50ms	50ms	1,00%
C7	150ms	5ms	1,00%
C8	150ms	25ms	1,00%
C9	150ms	50ms	1,00%
C10	10ms	5ms	2,00%
C11	10ms	25ms	2,00%
C12	10ms	50ms	2,00%
C13	50ms	5ms	2,00%
C14	50ms	25ms	2,00%
C15	50ms	50ms	2,00%
C16	150ms	5ms	2,00%
C17	150ms	25ms	2,00%
C18	150ms	50ms	2,00%
C19	10ms	5ms	3,00%
C20	10ms	25ms	3,00%
C21	10ms	50ms	3,00%
C22	50ms	5ms	3,00%
C23	50ms	25ms	3,00%
C24	50ms	50ms	3,00%
C25	150ms	5ms	3,00%
C26	150ms	25ms	3,00%
C27	150ms	50ms	3,00%

Fonte: Produzido pela autora

O gráfico 2 apresenta o resultado do desempenho de ambas as aplicações quando submetidas aos cenários de avaliação, nos quais houve a interferência dos 03 fatores observados neste trabalho, atraso, perda de pacotes e *jitter*, além da configuração da limitação da taxa de transmissão de 10Mbps (não é um fator porque não varia). Os cenários estão dispostos conforme mostrado na tabela 2. Com base nos cenários de avaliação e nos resultados mostrados no gráfico, não se pode relacionar diretamente a interferência dos fatores combinados ao QoS das aplicações, pois no cenários C1, o melhor caso dos cenários de avaliação, não apresenta a melhor nota PESQ MOS das aplicações e no cenário C27, o pior caso, não obteve a pior nota dos testes. Mas pode-se observar que em todos os cenários, mesmo no que a aplicação *SOMAapp* obteve pior nota PESQ MOS, seu desempenho foi melhor que da aplicação *Whatsapp*.

Gráfico 2- Resultados dos cenários de avaliação



Fonte: Produzido pela autora

6.3 Discussão

Um problema enfrentado na realização dos testes foi obter áudios de vozes femininas que, quando submetidas ao PESQ obtivessem uma qualidade aceitável, ou seja, nota de PESQ MOS superior a 3.0, onde na escala do MOS, 1 é um áudio ruim, 2 pobre, 3 moderado, 4 bom e 5 é excelente. No cenário preliminar RL, onde apenas a configuração da taxa de transmissão foi implementada, os áudios femininos apresentaram PESQ MOS inferiores ao masculino, enquanto os áudios masculinos dos dois primeiros voluntários obtinham notas PESQ MOS dentro do intervalo esperado, considerando a influência do codec não conhecido das aplicações. Um dado interessante que foi observado nos cenários é que a aplicação *Whatsapp* troca mensagem com o servidor a cada 3 segundos, enviando uma mensagem de 6 bytes e recebendo uma de 2 bytes do servidor. Ambas as aplicações realizam a conexão P2P, isto é, o envio da mídia de voz diretamente de um aplicativo ao outro (sem passar pelo servidor), como observado nos tráfegos capturados, mas em todos os cenários, por várias vezes, pode-se observar que as mesmas trocam pacotes de tamanhos parecidos com os trocados entre os IPs dos dispositivos, porém com o servidor, o que pode significar uma triangulação.

7 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi comparar a QoS das aplicações *Whatsapp* e *SOMAapp* sobre influência dos fatores atraso, perda de pacotes e *jitter* usando como métrica o MOS equivalente da qualidade do áudio recebido pelo algoritmo PESQ e executando os experimentos através de emulação de rede para variar as condições de rede a que as aplicações estão submetidas.

Foram definidos 37 cenários com diferentes condições de rede, em dois grupos de cenários distintos. Nos 10 primeiros cenários, as aplicações eram submetidas a apenas um fator para verificar a influência individual do mesmo sobre a QoS das aplicações. Nos cenários restantes, todos os níveis dos fatores foram relacionados entre si. Ao final desse trabalho, podemos concluir que a aplicação VoIP *SOMAapp* apresenta melhor desempenho do que o *Whatsapp* quando submetida aos cenários do experimento deste trabalho e analisada através do método PESQ, considerando a média da notas obtidas pela amostragem. Nos cenários preliminares as notas do *SOMAapp* ficaram entre o intervalo de 2,323 a 3,538 enquanto no *Whatsapp* o intervalo é de 1,673 á 3,272. Nos cenários de avaliação as notas das aplicações, respectivamente, estão dentro do intervalo de 1,820 a 2,607 e de 1,609 a 1,777. Em porcentagem, dos 37 cenários, em 91,0% dos casos a aplicação *SOMAapp* teve nota superior.

Para trabalhos futuros pode-se testar fluxos de tráfego concorrente TCP e qual a influência sobre a QoS das Aplicações VoIP. Outro ponto que pode ser explorado é a QoS em ligações de grupo em aplicações VoIP em redes wireless e em redes celulares (3G, 4G e 5G).

REFERÊNCIAS

ANATEL. **Ranking Satisfação Geral-2017.** [S.l], 2018. Disponível em: http://www.anatel.gov.br/consumidor/pesquisa-de-satisfacao-e-qualidade/2017/ce. Acesso em: 15 nov. 2018.

BARBOSA, R. S. B. G.; CALLADO, A. C.; KAMIENSKI, C. A.; FERNANDES, S.; SOUZA, D.M.T.; KELNER, J.; SADOK, D. F. H. Avaliação de Desempenho de Aplicações VoIP P2P. In: **XXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**, 2006, Curitiba. XXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Porto Alegre: SBC, 2006.

BOYLAND, P.; KHATRI, H. **The State of mobile voice app experience.**[S.l]: Opensignal, 2019. Disponível em: https://www.opensignal.com/sites/opensignalcom/files/data/reports/pdf-only/data-2019 10/voice_app_experience_october_2019_opensignal.pdf . Acesso em: 27 de nov. de 2019.

CALLADO, A., FERNANDES, G., SILVA, A., BARBOSA, R., SADOK, D.; KELNER, J. Construção de Redes de Voz sobre IP. Minicursos, **25º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2007.

MAGRO, J. C. **Estudo da qualidade de voz em redes IP**. 2005. 138p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP. 2005. Disponível em: http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258791. Acesso em: 29 nov. 2019.

PESSOA, K. B. et al. **Caracterização da QoS na implantação de soluções Volp**. [S.l], 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Joberto_Martins/publication/309728434_Caracterizacao_da_QoS_na_implantacao_de_solucoes_VoIP/links/581fb10f08aea429b2990f30/Caracterizacao-da-QoS-na-implantacao-de-solucoes-VoIP.pdf . Acesso em: 27 nov. 2019.

SOUSA, L. R. N. **Avaliação da Qualidade de Voz do Serviço VoIP em Sistemas HSDPA**. 2007. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Ceará, Departamento de engenharia de Teleinformática. Fortaleza: UFC, 2007. Disponível em : http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16076/1/2007_dis_lrnsousa.pdf. Acessado em: 27 de nov. de 2019.

APÊNDICE A - TABELAS COM OS RESULTADOS DOS CENÁRIOS PRELIMINARES

Cenários preliminares whatsapp			
Cenário	**Média**	**Desvio Padrão**	**Margem de Erro (90%)**
RL	3,272025	0,1608352	0,04195997
T1	3,012175	0,3504841	0,09143707
T2	3,125718	0,2585325	0,06830725
T3	3,179564	0,2782716	0,07352255
T4	3,2428	0,4740961	0,1236859
T5	3,26925	0,2805499	0,07319207
T6	3,244175	0,2110314	0,05505554
T7	2,79295	0,6344057	0,1655088
T8	1,665225	0,2550296	0,06653413
T9	1,67375	0,2492838	0,06503512

Cenários preliminares SOMAapp			
Cenário	**Média**	**Desvio Padrão**	**Margem de Erro (90%)**
RL	3,538075	0,4109921	0,1072229
T1	3,537775	0,3226746	0,0841819
T2	3,418725	0,4438608	0,1157979
T3	3,551	0,334222	0,08719448
T4	3,446525	0,3310583	0,0863691
T5	3,2423	0,3451566	0,09004719
T6	3,171725	0,4244266	0,1107278
T7	2,287475	0,708554	0,1848532
T8	2,0379	0,4451661	0,1161385
T9	2,323975	0,8479323	0,2212153

APÊNDICE B – TABELAS COM OS RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Cenários de Avaliação Whatsapp			
Cenário	**Media**	**Desvio Padrão**	**Margem de Erro (90%)**
C1	1,663075	0,2842844	0,07416636
C2	1,660769	0,2866791	0,07574391
C3	1,6939	0,2529778	0,06599886
C4	1,671026	0,3004569	0,07938415
C5	1,77705	0,2279749	0,0594759
C6	1,609878	0,3566212	0,08406072
C7	1,682575	0,3423442	0,08931345
C8	1,685075	0,2590597	0,06758554
C9	1,665725	0,2699409	0,07042432
C10	1,7183	0,2611063	0,06811949
C11	1,70345	0,2583715	0,06740601
C12	1,62915	0,2905982	0,07581355
C13	1,68875	0,320897	0,08371814
C14	1,6431	0,2653766	0,06923356
C15	1,656385	0,2620983	0,06924937
C16	1,6613	0,2581622	0,06735139
C17	1,707825	0,3164588	0,08256029
C18	1,63745	0,212994	0,05556757
C19	1,7147	0,3299132	0,08607037
C20	1,65875	0,3057201	0,07975867
C21	1,668425	0,3076251	0,08025566
C22	1,62045	0,2685134	0,07005189
C23	1,68445	0,2522172	0,06580043
C24	1,65585	0,2779386	0,07251082
C25	1,696875	0,2377657	0,06203019
C26	1,707025	0,3484802	0,09091426
C27	1,632575	0,2372319	0,06189093

Cenários de Avaliação SOMAapp			
Cenário	**Média**	**Desvio Padrão**	**Margem de Erro (90%)**
C1	2,31205	0,6915119	0,1804071
C2	2,295	0,6322964	0,1649585
C3	2,607975	0,8733256	0,2278401
C4	2,07195	0,5861047	0,1529076
C5	2,39405	0,6734342	0,1756908
C6	1,97705	0,375117	0,09786349
C7	2,067925	0,6352779	0,1657363
C8	2,1289	0,583516	0,1522323
C9	2,325075	0,7116455	0,1856597
C10	2,028475	0,4288017	0,1118692
C11	1,959	0,4587233	0,1196754
C12	2,35835	0,6077345	0,1585506
C13	2,34175	0,7441166	0,194131
C14	1,82035	0,4794029	0,1250704
C15	1,950575	0,3520805	0,09185356
C16	2,146425	0,6232682	0,1626031
C17	2,086225	0,6284537	0,163956
C18	2,04425	0,587039	0,1531514
C19	1,9093	0,3769436	0,09834002
C20	2,095575	0,5919205	0,1544249
C21	2,350175	0,6400279	0,1669755
C22	1,87985	0,3351924	0,08744766
C23	2,133125	0,448461	0,1169981
C24	1,944925	0,5139494	0,1340832
C25	2,1165	0,6303282	0,164445
C26	2,1618	0,665289	0,1735659
C27	2,1559	0,6910514	0,180287