

## Análise e proposição de uma solução VoIP para o IFPB

Adan Miller Agostinho Pereira <sup>[1]</sup>, Nierember José Pereira Lyra Ramos <sup>[2]</sup>, Thiago Pierre Mota de Alencar <sup>[3]</sup>, Suzete Élide Nóbrega Correia <sup>[4]</sup>, Michel Coura Dias <sup>[5]</sup>, Adaildo Gomes D'Assunção Júnior <sup>[6]</sup>

[1] adan.miller@gmail.com. [2] nieremberg@live.com. [3] thiagopma@gmail.com. [4] suzete@ifpb.edu.br. [5] michel.dias@ifpb.edu.br. [6] adaildo@ifpb.edu.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Av. 1° de Maio, 720, Jaguaribe, João Pessoa - PB - CEP: 58.015-430

### RESUMO

O estado atual das tecnologias IP e seus respectivos dispositivos permite estabelecer uma solução de telefonia que agregue as vantagens de oferecer novos serviços, aproveitar a infraestrutura de rede existente e reduzir o custo por chamada telefônica estabelecida. Neste sentido, o serviço conhecido como VoIP (Voice over IP – Voz sobre IP), se firma como uma alternativa. Este trabalho propõe e valida uma solução VoIP que atende às necessidades de telefonia dos campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). A proposta sugere a criação de uma rede telefônica intercampi integrada estabelecida utilizando a Rede Ipê da RNP (Rede Nacional de Pesquisa) integrada aos sistemas existentes de telefonia de cada campus. Demonstra-se que a solução permitirá uma redução significativa do custo das chamadas telefônicas intercampi, mobilidade entre as redes de cada campus e integração com a rede telefônica existente. Aspectos técnicos e econômicos são abordados. A proposta elaborada foi validada através de simulação utilizando o software OPNET Modeler e testes em um cenário piloto.

Palavras Chave: Voz sobre IP (VoIP), Redução de Custos de Telefonia, OPNET Modeler.

### ABSTRACT

*The current state of IP technologies and their devices allows establishing a telephony solution that aggregates the advantages of offering new services, leveraging the existing network infrastructure and reducing the cost per phone call established. In this sense, the service known as VoIP (Voice over IP - Voice over IP), it stands as an alternative. This paper proposes and validates a solution that meets VoIP telephony needs of the campuses of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Paraíba (IFPB). The proposal suggests creating a telephone network intercampi established using the Network Ipê of RNP (National Research Network) integrated with existing telephony systems of each campus. It is shown that the solution will reduce significantly the cost of phone calls intercampi, will provide mobility between each campus networks and integration with the existing telephone network. Technical and economic aspects are addressed. The proposal was drafted validated by simulation using OPNET Modeler software and testing in a pilot scenario.*

Keywords: Voice Over IP (VoIP), Telephony Cost Reduction, OPNET Modeler.

## 1 Introdução

Diante do atual crescimento das tecnologias IP e da melhoria dos dispositivos que compõem a Internet, como também sua popularização na última década, mais serviços passaram a compor a camada de aplicação do conjunto de protocolos TCP/IP usado pela rede mundialmente. Voz, dados e vídeo passaram a compartilhar o mesmo meio de transmissão e conjunto de protocolos de comunicação. Dentre os serviços que passaram a ser oferecidos, destaca-se a telefonia, que está ganhando interesse e atraindo investimentos cada vez maiores, tanto para aplicações de uso pessoal quanto empresarial.

O conceito de utilizar a Internet como uma rede telefônica surgiu por volta de 1995, onde foi concebido o primeiro softphone capaz de realizar essa tarefa (QADEER e IMRAN, 2008). O novo meio de comunicação traria a redução dos custos de chamadas telefônicas de longas distâncias, bem como o surgimento de novos serviços à telefonia. Desde então, vem sendo desenvolvidos uma série de protocolos e práticas que permitem que esse serviço seja implantado de forma segura e eficiente (SPINSANTE et al., 2008; WALSH e KUHN, 2005).

Porém, transportar voz digitalizada pela rede não é uma tarefa tão simples quanto o seu conceito. Uma série de fatores estão envolvidos em uma chamada VoIP (Voice over Internet Protocol, em português, Voz sobre IP), dentre esses fatores podemos citar o CODEC de fala, o processo de empacotamento da voz digitalizada, perda de pacotes durante a transmissão, atraso (delay), variação do atraso (jitter), a arquitetura da rede, os protocolos de sinalização da chamada, questões de segurança, entre outros (GOODE, 2002). Podemos citar o atraso como um fator determinante para se obter um bom nível de QoS (Quality of Service), pois até mesmo os processos necessários para uma chamada VoIP incluem atrasos, e, caso o atraso fim-a-fim seja elevado, a inteligibilidade da voz é comprometida.

A Figura 1 mostra, de forma simplificada e abstrata, o princípio de funcionamento de uma chamada VoIP, abordando as etapas básicas necessárias para que a voz seja transmitida por uma rede IP.

Há várias vantagens que o sistema de telefonia VoIP proporciona em relação ao sistema telefônico tradicional, dentre os quais podemos destacar, segundo Zourzouvillys e Rescorla (2010):

**Figura 1** – Diagrama simplificado de uma chamada VoIP



Uma infraestrutura compartilhada. Com o atual sistema, é necessária duas infraestruturas distintas, uma para o tráfego telefônico, e outra para o tráfego IP. Com um sistema VoIP, a voz e dados compartilham da mesma rede e, conseqüentemente, os mesmos equipamentos responsáveis para prover tal serviço, gerando uma redução de custo na aquisição de equipamentos.

A “gratuidade” das ligações. Se comparado o custo das chamadas telefônicas geradas pelo atual sistema telefônico, que são tarifadas por chamada, com a taxa fixa mensal da Internet, podemos ver claramente essa redução de custos por chamada.

Qualidade superior de chamada. Com o sistema atual, é feito o uso de apenas um CODEC, o G.711, o qual limita severamente a fidelidade da voz. Em contrapartida, VoIP permite a utilização de uma série de CODECs, como também a negociação desse CODEC, oferecendo, assim, uma qualidade maior na chamada.

Flexibilidade. O motivo de pacotes VoIP serem apenas outro tipo de dado, permite que sistemas VoIP ofereçam serviços integrados com a voz, como vídeo, mensagem instantânea, status de presença, entre outros que porventura vierem a ser desenvolvidos.

### 1.1 Trabalhos relacionados

Vários trabalhos relacionados foram revistos durante a elaboração deste trabalho. Em Wei et al. (2012) é apresentada uma solução VoIP implementada em dois dos campi da Universidade de Moncton, no Canadá. Foi utilizado o Asterisk como software base para os servidores VoIP instalados. O software é gratuito, com uma ampla comunidade na Internet e dispõe de opções de suporte gratuito e pago (MONTORO e CASILARI, 2009). Já no trabalho de Dantu et al. (2008), descreve-se uma rede

interligando duas universidades com vários cenários VoIP para fins de teste. Em Qadeer e Imran (2008), descreve-se a utilização de um software livre para servidores VoIP, o Asterisk, como uma alternativa a utilização de centrais telefônicas privadas convencionais. Spinsante et al. (2008) e Walsh e Kuhn (2005) descrevem problemas e soluções relacionados à utilização do VoIP.

## 1.2 Organização do trabalho

O trabalho está organizado como se segue: na seção 2 são descritos os materiais e métodos utilizados e na seção 3 são apresentados e discutidos os resultados. Por último, são apresentadas as considerações finais e referências.

## 2 Material e métodos

Inicialmente foi levantada a topologia da rede de comunicação que interliga os campi e as tecnologias utilizadas. Foi constatado que os campi do IFPB estão conectados por meio da Rede Ipê da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa – RNP. A infraestrutura desta rede alcança todas as 27 unidades da federação, provendo a comunicação entre as instituições e o backbone nacional, para atividades de apoio à educação, e pesquisa científica e tecnológica.

Uma vez esboçada e definida a solução, montou-se as seguintes estratégias para validação e teste da solução:

- Montagem de um cenário piloto no Laboratório de Telefonia e Redes Convergentes.
- Simulação utilizando o software OPNET Modeler ([www.opnet.com/](http://www.opnet.com/)).

No cenário piloto, além do teste de funcionamento de softwares e protocolos, fez-se a homologação dos equipamentos para uso dos usuários: o telefone IP e o ATA (Adaptador para Telefone Analógico). A simulação foi fundamental para definir o CODEC a ser utilizado e avaliar o desempenho das chamadas VoIP, face ao perfil de tráfego de dados da RNP nos enlaces de comunicação de acesso dos campi do IFPB.

## 3 Resultados e discussão

Embora o VoIP envolva a transmissão de voz digitalizada em pacotes pela rede IP, o telefone em si pode ser digital (telefones IP) ou analógico (GOODE, 2002). Para conectar a interface de um telefone

analógico à rede, é necessária a utilização de um ATA em série com o terminal telefônico analógico, que funciona como um gateway de VoIP.

As redes IP do IFPB, em sua maioria, apresentam características semelhantes, em termos de topologia. Portanto, sua topologia interna não foi detalhadamente estudada, o que não apresentou malefícios ao desenvolvimento da solução VoIP, pois para tal, o fundamental a ser considerado são os protocolos permitidos, softwares, equipamentos e métodos de segurança que essas redes adotam.

O problema foi abordado em quatro cenários distintos para melhor entendimento e descrição da solução: 1) Comunicação intracampus; 2) Comunicação intercampi; 3) Comunicação com a RTPC (Rede Telefônica Pública Comutada); 4) Mobilidade de ramais entre os campi.

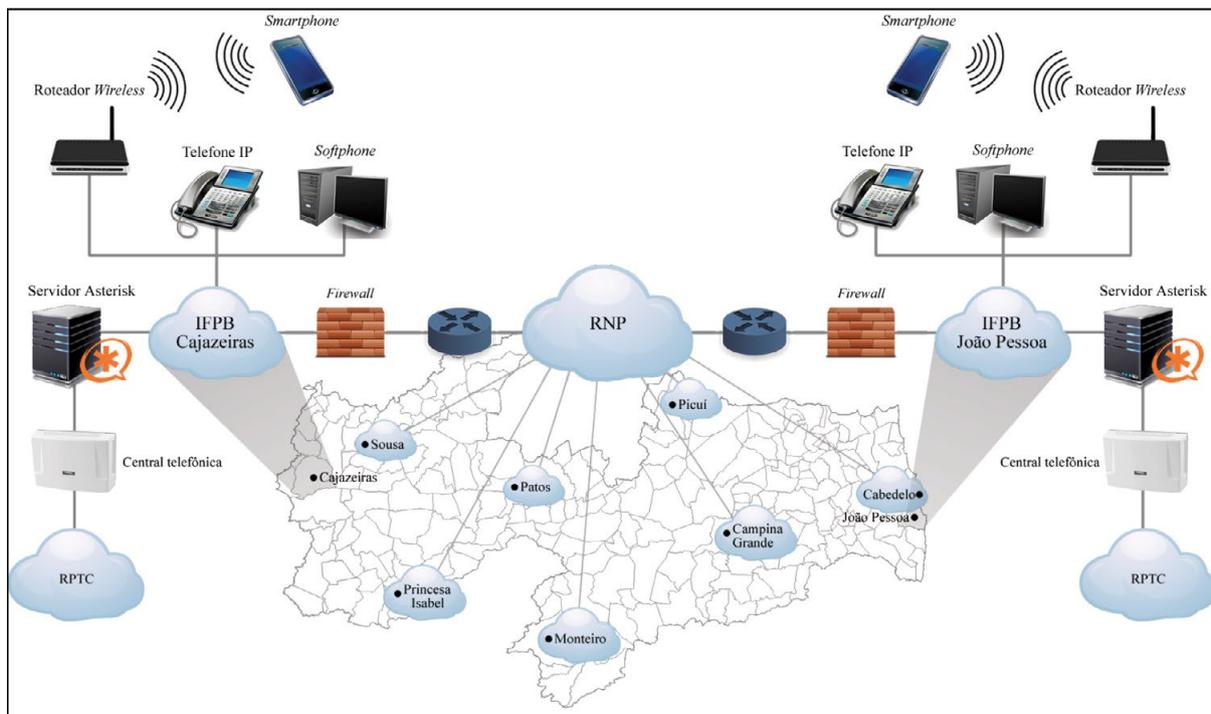
### 3.1 Cenário 1: comunicação intracampus

Neste cenário são consideradas as chamadas que podem acontecer, tanto entre ramais IP da solução VoIP a ser adotada quanto entre ramais IP e ramais analógicos do sistema de telefonia existente. No campus analisado como referência (João Pessoa), encontrou-se uma rede telefônica antiga e sem documentação que permitisse identificar posição de ramal nos vários DGs (Distribuidores Gerais). Também não havia dados disponíveis de medição do tráfego entre os ramais analógicos existentes. Sem poder mensurar o impacto na rede da migração imediata desses ramais para uma solução VoIP, optou-se por manter a rede existente e estabelecer uma conexão com a Central Privada de Comutação Telefônica (CPCT) existente. Dessa forma, os novos ramais VoIP a serem adicionados manteriam a comunicação com a rede existente e os ramais analógicos da CPCT poderiam ser migrados gradualmente para a CPCT VoIP a ser instalada.

Dentre os diferentes tipos de cenários analisados, esse se caracteriza o mais simples, em termos de topologia dos demais. Sua topologia consiste em um servidor rodando o software que fará o papel da CPCT VoIP, ligado à rede telefônica do IFPB, sendo o gateway das chamadas VoIP conforme na Figura 2.

A CPCT é responsável pelo gerenciamento e pelo encaminhamento das chamadas telefônicas locais. Nas tecnologias VoIP, essa central telefônica pode ser substituída por um servidor (um computador convencional), realizando as mesmas funções de uma CPCT.

Figura 2 – Topologia da solução VoIP proposta.



O Asterisk é um software criado pela Digium de código aberto que utiliza tecnologia VoIP e implementa os recursos de um PABX (Public Automatic Branch Exchange). Seu surgimento contribuiu para a resolução de diversos problemas de interoperabilidade entre os diversos protocolos existentes (MONTORO et al., 2009).

É possível utilizar o Asterisk como: CPCT VoIP fazendo o controle de encaminhamento das chamadas; como gateway de mídia, entre a RTPC e a rede IP; correio de voz, com a gravação de recados; servidor de mídia, possibilitando tocar mensagens pré-programadas ou com interatividade, como música de espera ou menu de atendimento. Ele ainda pode assumir as funções de Gateway de Voz, Gateway de Sinalização e Proxy SIP, dentre outras. Tem suporte gratuito através do sítio [www.asterisk.org](http://www.asterisk.org) (documentação, fóruns, comunidades etc.) ou pago através da Digium ([www.digium.com](http://www.digium.com)). Também há várias companhias brasileiras que oferecem suporte para o mesmo.

Existe outra opção gratuita para a CPCT VoIP, de código fonte aberto e bastante utilizada, conhecida como FreeSwitch (disponível no sítio [www.freeswitch.org](http://www.freeswitch.org)). No entanto, quando comparada com o Asterisk, dispõe de muito menos documentação e fóruns disponíveis na web. A título de exemplo, uma simples

pesquisa realizada no dia 11/12/2013 na livraria online Amazon ([www.amazon.com](http://www.amazon.com)) utilizando os termos Asterisk PBX e FreeSwitch, resultou em 89 resultados para o primeiro e 9 resultados para o segundo. Uma pesquisa no mesmo dia com os mesmos termos no sítio de pesquisas Bing ([www.bing.com](http://www.bing.com)) da Microsoft teve 834.000 e 145.000 resultados, respectivamente.

Outras soluções como as fornecidas pelos fabricantes Cisco e Avaya foram analisadas, mas apresentaram custo elevado, na casa das dezenas ou centenas de milhares de reais dado o “tamanho” do IFPB. Segundo o relatório de gestão de 2010 (disponível no sítio [www.ifpb.edu.br](http://www.ifpb.edu.br)), o instituto tinha 10.844 alunos, 471 professores e 958 servidores naquele ano. Na época do início deste trabalho o IFPB tinha 9 Campi, espalhados por todo o Estado da Paraíba, também apresentados na Figura 2.

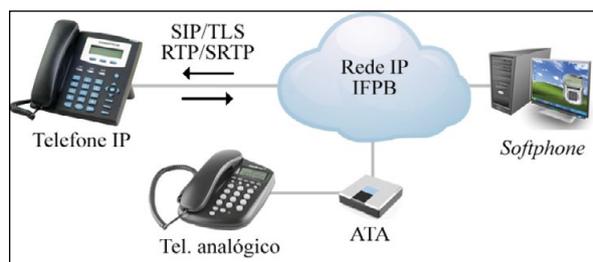
Para avaliar o custo dessas soluções proprietárias, foram efetuadas pesquisas em atas de pregões já realizados, mas ainda válidos, no site ComprasNet ([www.comprasnet.gov.br](http://www.comprasnet.gov.br)), do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão do governo brasileiro.

Diante desse cenário, na solução aqui projetada, a plataforma de software escolhida para o serviço VoIP a ser oferecido no IFPB foi o Asterisk. Como se assumiu a premissa de que todos os campi deveriam

ter seu serviço VoIP local funcionando mesmo no caso de falha da rede da RNP, foi previsto um servidor para funcionar como CPCT VoIP em cada campus.

Para cumprir os requisitos de segurança de privacidade e autenticidade definiu-se que seria utilizado para sinalização o protocolo SIP (Session Initiation Protocol), com solução de criptografia provida através do protocolo TLS (Transport Layer Security). Para garantir a segurança da mídia (voz) transportada utilizou-se o RTP (Real Time Transport Protocol), encapsulado em pacotes SRTP (Secure Real-Time Transport Protocol). O SRTP provê soluções de segurança que proporcionam a confidencialidade, mensagens de autenticação e proteção de reenvio para o controle de tráfego RTP (BAUGHER et al., 2004). Na Figura 3 são mostradas as interfaces de conexão VoIP com os protocolos utilizados.

Figura 3 – Interfaces de conexão VoIP



Como a solução pretende conviver com a rede telefônica existente até a completa migração, uma interligação foi proposta entre o servidor Asterisk e a CPCT de cada campus. Assim, é possível ligar tanto para os ramais VoIP como para os ramais da CPCT. As chamadas para a RTPC são encaminhadas através desta interligação. Com exceção do Campus João Pessoa, nos demais campi será necessário a utilização de um hardware específico. Para Campina Grande será utilizada uma placa E1 Digium TE121 além do hardware específico equivalente para a CPCT, que tem uma capacidade de escoamento de tráfego de 20,3 Erl (GOS de 1%)<sup>1</sup>. Já em João Pessoa, dado que a CPCT permite entroncamentos VoIP, nenhum hardware adicional será necessário. Nos demais campi, será utilizada uma placa Digium TDM808P com 8 portas FXO (Foreign eXchange Office), além do hardware para entroncar até 8 linhas analógicas, o que permitirá o escoamento de um tráfego de 3,13

Erl na rota de entroncamento para um GOS de 1%. A capacidade de tráfego desta conexão pode ser adequada no futuro, à medida que o histórico de tráfego for construído. Todas estas configurações foram testadas no cenário de testes piloto.

### 3.2 Cenário 2: comunicação intercampi

Trata-se de chamadas entre ramais IP localizados em redes em campi diferentes. Por se tratar de redes diferentes, o tráfego VoIP terá que atravessar soluções de segurança como, por exemplo, firewalls. Na Figura 2, observamos que nesse modelo simplificado de topologia, uma chamada de João Pessoa com destino a Cajazeiras passaria, no mínimo, por dois firewalls.

Para esse cenário, a utilização do conjunto de protocolos SIP/SRTP poderia ser inviável, pois esse conjunto de protocolos trabalha em portas distintas para cada sessão e como um dos métodos de segurança do firewall implementado atualmente é a filtragem por portas UDP e TCP, a porta destinada aquela sessão SRTP poderia não passar por esta filtragem.

Então, o ideal é transportar as mensagens de controle da chamada juntamente com o fluxo de voz, de várias chamadas, mapeadas em uma única porta. Um protocolo que realiza o transporte desta forma é o IAX (Inter-Asterisk eXchange). Ele é um protocolo da camada de aplicação que apesar de ser um protocolo robusto, ainda é considerado simples (SPENCER et al., 2010). Ele foi o protocolo escolhido para as rotas de interconexão a serem criadas entre os servidores VoIP de cada campus.

Uma solução de segurança ideal para esse cenário é a utilização de VPN (Virtual Private Network). O uso de VPN é uma alternativa para oferecer confidencialidade e integridade no transporte de informações através de redes públicas.

Segundo Chin (1998), são características básicas de uma VPN:

Autenticação de Usuários, restringindo o acesso de pessoas não autorizadas.

Gerenciamento de Endereço, onde o endereço do cliente na sua rede privada não é divulgado, adotando endereços fictícios para o tráfego externo.

Criptografia dos dados. Os dados trafegam na rede pública ou privada num formato cifrado e caso sejam interceptados, não são decodificados, garantindo

<sup>1</sup> Erl é a abreviação de Erlang, unidade de medida de tráfego. Já o GOS, *grade of service* ou grau de serviço, é a probabilidade de bloqueio de uma chamada por congestionamento.

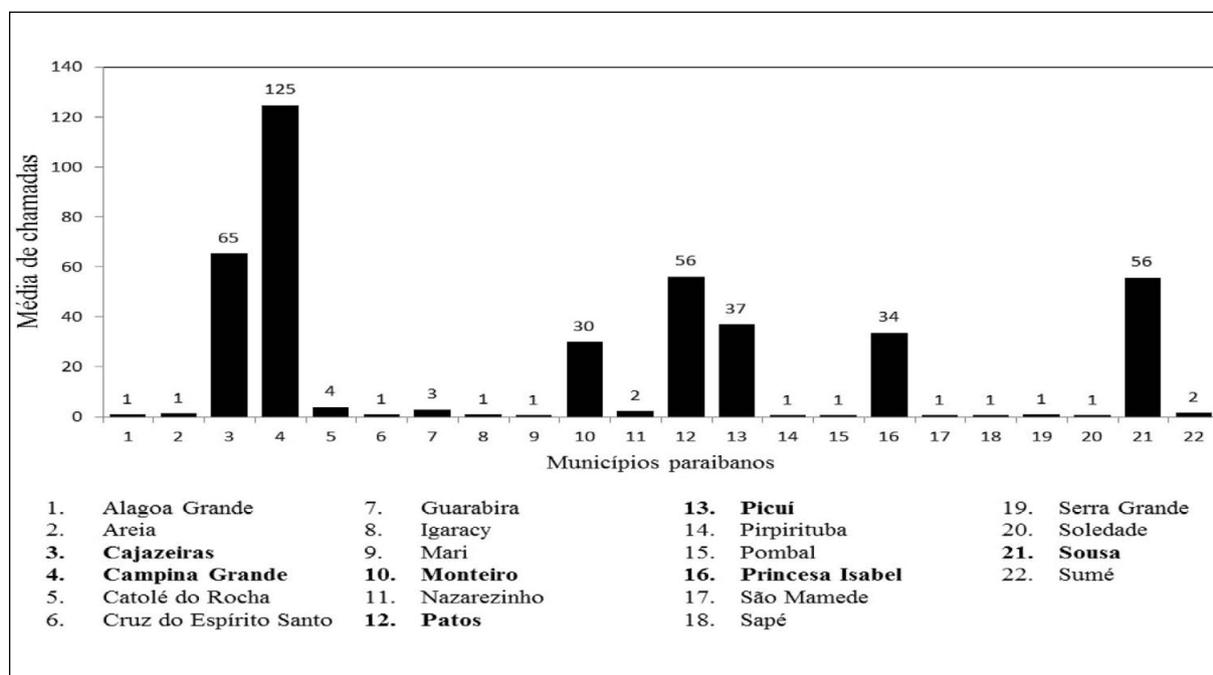
a privacidade da informação. O reconhecimento do conteúdo das mensagens é restrito à usuários permitidos.

Gerenciamento de chaves. A chave de segurança das mensagens criptografadas é conhecida exclusivamente pelas partes envolvidas. O gerenciamento dessas chaves garante sua troca periódica, mantendo a comunicação mais segura.

Neste cenário específico, após o estudo das contas telefônicas do campus João Pessoa, quando analisadas as chamadas de longa distância nacional

(LDN) intermunicipais, verificou-se a grande maioria das chamadas LDN efetuadas eram destinadas aos municípios que possuem campus do IFPB, como é apresentado na Figura 4. Como há rotas de interconexões previstas entre todos os servidores VoIP, este custo será eliminado quando for o caso das chamadas destinadas aos ramais internos de cada campus. As CPCTs existentes devem ser então configuradas para encaminhadas as chamadas interurbanas enquadradas neste caso específico para os servidores VoIP.

Figura 4 – Média de chamadas do Campus João Pessoa para outros municípios.



### 3.3 Cenário 3: comunicação com a RTPC

Esse cenário permite a comunicação entre a rede telefônica VoIP com a Rede Pública de Telefonia Comutada (RTPC). Nesses casos, as chamadas destinadas à RTPC serão encaminhadas para a central telefônica de cada campus que, por sua vez, encaminhará a chamada para a operadora pública de telefonia.

Com essa solução, também é possível efetuar chamadas de um ramal de qualquer campus para telefones locais das cidades onde há campus do IFPB. Como a chamada é encaminhada para a RTPC pela CPCT do local de destino, em vez de pagar o custo de uma LDN teríamos apenas a tarifa de uma ligação local gerando redução de custos. Nesses casos, as CPCTs

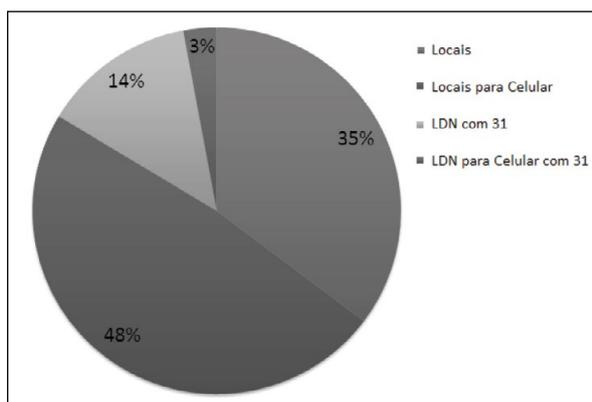
locais de cada campus encaminhariam as chamadas para os servidores VoIP e não mais diretamente para a RTPC. Tomando como referência a Figura 2, uma chamada de um ramal de Cajazeiras para um ramal de João Pessoa seria encaminhada para o servidor VoIP de Cajazeiras que o encaminharia para o servidor VoIP de João Pessoa que, por sua vez, encaminharia para a CPCT local e esta, por sua vez, para a RTPC em João Pessoa.

Como os campi têm orçamentos distintos, todas as ligações seriam registradas em um banco de dados, em registros chamados CDRs (CallDetail Record), de forma a permitir ao Departamento de Tecnologia da Informação (DTI) elaborar um relatório dos custos associados para cada campus.

### 3.4 Cenário 4: mobilidade de ramais entre os campi

Observando a Figura 5, percebe-se que praticamente 50% das chamadas originadas no campus João Pessoa tem destino telefones móveis. O que representa a atual massificação da telefonia móvel em todo o globo.

Figura 5 – Média quantitativa por tipo de chamada.



Uma solução para atenuar o custo, que é relativamente alto, com esse tipo de serviço, é proposto na Figura 2, que consiste na implantação de uma rede sem fio pelas dependências do campus, onde atenderia aos usuários de aparelhos móveis (smartphones) com suporte à interface sem fio e com um aplicativo VoIP ativo.

Teríamos três vantagens neste caso: possibilidade de realizar ligações em qualquer um dos campi do IFPB que implantasse sua rede sem fio, através de smartphones ou similares; mobilidade intercampi e intracampi – seria possível, a título de exemplo, a um funcionário do campus de João Pessoa “portar” seu ramal para o campus de Cajazeiras e tanto realizar como receber ligações; redução do custo de chamadas locais para celular – um levantamento preliminar mostrou que boa parte destas ligações são feitas para funcionários que estão no próprio campus ou em outro campus em viagem.

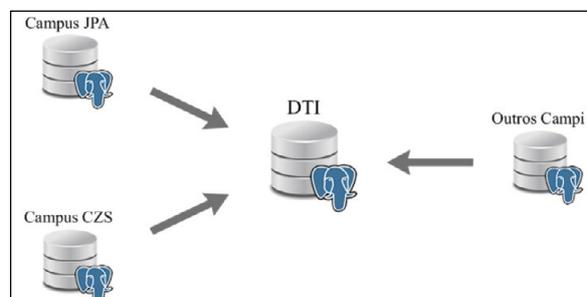
Para tanto, aos servidores VoIP serão atribuídos endereços IPs públicos, de forma que os clientes VoIP possam ter conectividade com o servidor, mesmo no caso do cliente estar “atrás” de um servidor NAT (Network Address Translation). Este último caso foi testado com sucesso no cenário piloto. Assim, um funcionário de João Pessoa com um smartphone e cliente VoIP instalado em Cajazeiras poderia se

registrar e falar utilizando seu servidor VoIP de origem.

### 3.5 Registro de ligações e autenticação de usuários

Todas as chamadas realizadas de e para os servidores VoIP serão registradas em um servidor de banco de dados local, sincronizado com um servidor centralizado na DTI em João Pessoa. Esta operação será realizada durante a madrugada, período no qual o tráfego de dados é baixo, conforme dados divulgados pela própria RNP em seu site. Como cada usuário em um sistema Asterisk tem uma identificação e senha próprias, este registro facilitaria a construção desse relatório gerencial por usuário. No cenário de testes utilizou-se o PostgreSQL ([www.postgresql.org](http://www.postgresql.org)) como sistema de gerenciamento de banco de dados. De acordo com a Figura 6.

Figura 6 – Diagrama dos servidores de registro.

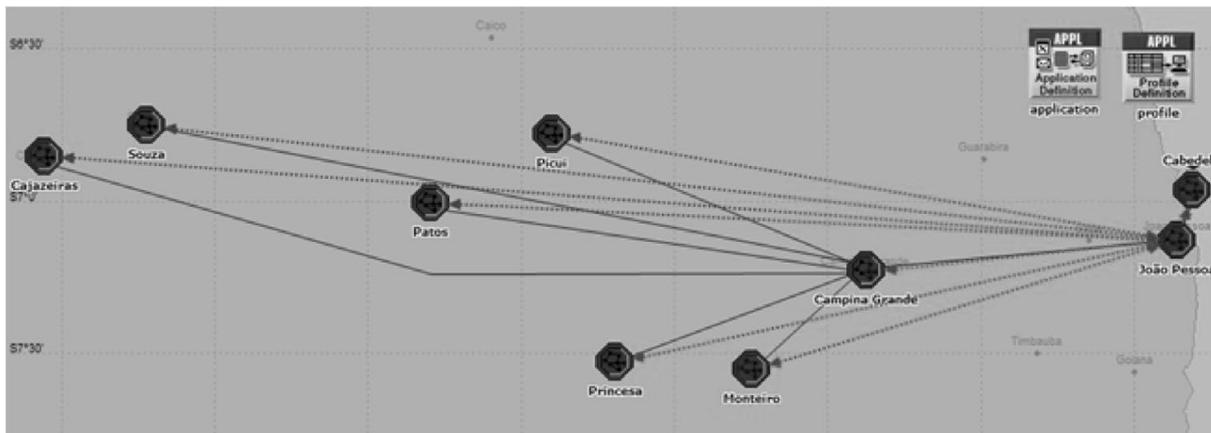


De forma, ao autenticar os usuários de maneira centralizada, propõe-se o uso de um servidor LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) integrado a um sistema de gerenciamento de banco de dados em cada campus. Foram realizados testes com sucesso usando o OpenLDAP ([www.openldap.org](http://www.openldap.org)) e o PostgreSQL.

### 3.6 Simulação no OPNET Modeler/escolha de CODEC

Baseado nas informações de tráfego e topologia de rede obtidas no sítio da RNP ([www.rnp.br](http://www.rnp.br)), foi possível construir um modelo simplificado no simulador de redes OPNET Modeler. Na Figura 7, é apresentado o modelo construído. Neste experimento, o objetivo foi avaliar a qualidade das chamadas geradas entre os campi para os CODECs G.711a, GSM FR e G.729a.

Figura 7 – Topologia de simulação utilizada no OPNET MODELER para o experimento realizado.



Foram considerados cenários onde: 1) Com ocupação dos enlaces de comunicação de acesso em torno de 80%; e 2) com ocupação dos enlaces de comunicação de acesso próximo da capacidade (95%). As métricas utilizadas foram o MOS (Mean Opinion Score), jitter e atraso fim a fim (COLCHER, et al., 2005; GOODE, 2002). A Tabela 1 descreve os resultados obtidos, para um tempo de simulação de 900 segundos e quatro chamadas contínuas geradas a partir de um campus para os demais campi. Assim, a título de exemplo, o campus João Pessoa geraria 32 ligações com duração de 900 s. Os resultados são apresentados na Tabela 1 e mostram os valores medidos em estações de trabalho no Campus Sousa e no Campus João Pessoa, para taxas de ocupação dos enlaces de comunicação de 80% e 95%.

Tabela 1 – Valores Medidos de MOS em Simulação para estações em João Pessoa(JPA) e Sousa(SZA).

Ocup.	G.711a		G.729a		GSM FR	
	JPA	SZA	JPA	SZA	JPA	SZA
80%	4,33	4,33	3,97	3,96	4,33	4,33
95%	4,33	4,33	3,97	3,97	3,97	3,97

A escala de MOS, definida na recomendação P.800 do ITU-T varia de 0 a 5, onde 0 representa a pior qualidade de voz e 5 a melhor qualidade, conforme mostra a Tabela 2. Os resultados obtidos para Sousa e João Pessoa praticamente não há diferença de desempenho entre os CODECs, mesmo em condições extremas (95%) de ocupação do enlace de comunicação de acesso de cada campus, ficando a qualidade da conversação classificada como “boa”.

Resultados de desempenho semelhantes foram encontrados nos outros campi, com exceção de Monteiro, onde, para o G.711a, se chegou a um valor mínimo de 1,9, para o G.729a chegou-se a 2,95 e para o GSM FR chegou-se a 2,1.

Como o uso do G.729a envolve pagamento de royalties e o G.711a necessita de quase seis vezes o valor de vazão de dados do GSM FR, optou-se por este último como padrão para a solução proposta. Na Tabela 3 são apresentados os valores mínimos de vazão para os 3 CODECS.

Tabela 2 – Escala de valores de MOS.

Pontuação (MOS)	Entendimento da Voz	Distorção
5	Excelente	Imperceptível
4	Boa	Apenas perceptível, sem incomodar
3	Regular	Perceptível, leve perturbação
2	Pobre	Perturbando, mas audível
1	Ruim	Perturbando muito, inaudível

Tabela 3 – Necessidades Mínimas de Vazão para os CODECs utilizados na simulação.

CODEC	VAZÃO
G.711a	64 kbps
G.729a	8 kbps
GSM FR	13 kbps

## 4 Conclusões

É de fundamental importância para um órgão público zelar pelo bom aproveitamento de seus recursos. A solução VoIP proposta propicia uma redução considerável de custos com o serviço de telefonia, ainda trazendo melhorias em relação à qualidade do serviço prestado e facilitando a comunicação entre os usuários. O projeto elaborado atende a todas as necessidades atuais do IFPB, em todos os aspectos mencionados no decorrer do artigo.

A primeira etapa de validação da solução consistiu em implementar um servidor VoIP para testes no Laboratório de Telefonia e Redes Convergentes (LTCON) do IFPB Campus João Pessoa. O cenário intracampi foi testado utilizando-se o telefone IP e o softphone escolhido. Também foi testado o cenário com o cliente VoIP dentro de uma rede que utiliza NAT e o Asterisk em uma rede sem NAT, ambas interligadas. Houve sucesso no estabelecimento e manutenção da qualidade, medida através do MOS, em todos os ensaios executados deste experimento. Na segunda etapa fez-se testes por simulação usando o OPNETModeler o que, além de contribuir para a validação do modelo, permitiu a determinação do melhor CODEC a ser utilizado.

Como trabalhos futuros, ter-se-ia a implementação de um protótipo da solução, contemplando inicialmente dois campi, onde seriam avaliados o desempenho e funcionalidade da solução. Além disso, pretende-se aumentar a complexidade do modelo simulado para que ele se aproxime mais do cenário real, e introduzir restrições de QoS para verificar o comportamento do desempenho da solução.

## REFERÊNCIAS

BAUGHER M.; MCGREW D.; NASLUND M.; CARRARA E.; NORRMAN K. The Secure Real-time Transport Protocol (SRTP). Internet Engineering Task Force (IETF), Request for Comments (RFC) 3711, mar. 2004. Disponível em: <<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3711.txt>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

CHIN, L. K. Rede Privada Virtual – VPN. Boletim bimestral sobre tecnologia de redes. v. 2, n. 8, nov. 1998. Disponível em: <<http://www.rnp.br/newsgen/9811/vpn.html>>. Acesso em: 18 jun. 2012.

DANTU, R.; SCHULZRINNE, H.; SROUFE, P. Experiences in Building a Multi-University Testbed for Research in Multimedia Communications. In: Parallel and Distributed Processing, 2008. IPDPS 2008. IEEE International Symposium on.

GOODE, B. Voice Over Internet Protocol (VoIP). In: Proceedings of the IEEE, v. 90, n. 9, p. 1495-1517, set. 2002.

MONTORO, P.; CASILARI, E. A Comparative Study of VoIP Standards with Asterisk. In: Fourth International Conference on Digital Telecommunications. Colmar, França. p. 1-6, jul. 2009.

QADEER, M. A.; IMRAN, A. Asterisk Voice Exchange: An Alternative to Conventional EPBX. In: International Conference on Computer and Electrical Engineering, 2008. ICCEE 2008. Phuket, Tailândia. p. 652-656, dez. 2008.

REDE NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA, RNP. Mapa do backbone da rede ipê. Disponível em: <<http://www.rnp.br/backbone/index.php>>. Acesso em: 19 jul. 2012.

SPENCER, M.; B. CAPOUCH; F. MILLER; K. SHUMARD. IAX: Inter-Asterisk eXchange Version 2. Internet Engineering Task Force (IETF), Request for Comments (RFC) 5456, fev. 2010. Disponível em: <<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5456.txt>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

SPINSANTE, S.; GAMBI, E.; BOTTEGONI, E. Security solutions in VoIP applications: State of the art and impact on quality. In: IEEE International Symposium on Consumer Electronics. p. 1-4, abr. 2008.

WALSH, T. J.; KUHN, D. R. Challenges in securing voice over IP. In: IEEE Security & Privacy, v. 3, n. 3, p. 44-49, mai./jun. 2005.

WEI, X.; BOUSLIMANI, Y.; SELLAL, K. VoIP Based Solution for the Use Over a Campus Environment. In: Electrical & Computer Engineering (CCECE), 2012 25th IEEE Canadian Conference on.

ZOURZOUVILLYS, T.; RESCORLA, E. An Introduction to Standards-Based VoIP: SIP, RTP and Friends. In: IEEE Internet Computing, v. 14, n. 2, p. 69-73, mar./abr. 2010.