

# Arquitetura de Mobilidade IPv6 entre Cidades Digitais

Fabio P. Nunes, Gean D. Breda, Bruno B. Zarpelão, Rodrigo S. Miani e Leonardo de S. Mendes

**Resumo**— Esse trabalho tem como objetivo criar um modelo de arquitetura de mobilidade IPv6 entre cidades digitais. O propósito desta arquitetura é implantar suporte a IPv6 nas redes metropolitanas destas cidades e criar uma forma única de conexão e autenticação do usuário, independentemente da sua localização, mantendo o mesmo endereço IPv6 da sua rede de origem por meio da mobilidade IPv6. O resultado será a integração das cidades, permitindo aos munícipes total mobilidade no consumo e prestação de serviços executados sobre as cidades digitais.

**Palavras-Chave**— *Redes Metropolitanas de Acesso Aberto, Cidades Digitais, Mobilidade, IPV6, IPV4.*

**Abstract**— This work proposes a Mobile IPv6 architecture for digital cities. The objective of this architecture is to enable the IPv6 support at metropolitan networks of these cities and create a single way of connection and authentication, independent of physical location, keeping the same IPv6 address of the home network using the IPv6 mobility. The result will be the cities integration, allowing the citizen mobility to access any service provided by the home digital city.

**Keywords**— *Open Access Metropolitan Networks, Digital Cities, Mobility, IPV6, IPV4.*

## I. INTRODUÇÃO

A Internet tem sido fundamental para a expansão do conhecimento e agilidade na troca de informações no mundo moderno. De acordo com dados de setembro de 2011 do Ibope Nielsen Online [1], cerca de 77,8 milhões de brasileiros possuem acesso à Internet. Com incentivos oferecidos pelo governo, como o Plano Nacional de Banda Larga (PNBL) [2], esse número tende a ter um crescimento ainda maior nos próximos anos. O acesso à rede mundial de computadores está passando por mudanças, já que há uma tendência em oferecer Internet como um serviço público ao cidadão, como pode ser observado em projetos de Cidades Digitais e/ou nas Redes Metropolitanas de Acesso Aberto (Open MANs) [3].

De acordo com Mendes et al. [3], a Cidade Digital pode ser definida como “uma rede multimídia convergente que oferece acesso para toda a população de um município”. Entre as vantagens desse modelo, é possível destacar “a possibilidade de convergência e democratização das diferentes formas de comunicação, permitindo a troca de dados multimídia, tais como: imagens médicas, videoconferência, ensino a distância, banco de dados educacional e serviços de comunicação de voz”. Esse tipo de projeto beneficia toda a comunidade do município, pois insere a tecnologia no cotidiano de todos os cidadãos, permitindo que a cidade se mantenha a par dos principais acontecimentos e novidades do mundo, mesmo que não seja um município próximo aos grandes centros.

Outros países também têm demonstrado preocupação em melhorar o acesso à banda larga para os cidadãos. A União Europeia estabeleceu no eEurope 2005 e no i2010 que o acesso à banda larga deve ser uma importante prioridade na agenda política dos países membros, pois ele é elemento essencial na implementação da Sociedade da Informação. Uma das saídas propostas para melhorar o acesso à banda larga é a construção de redes metropolitanas de acesso aberto a partir do incentivo dos governos. Na Grécia e na Espanha, países que apresentam taxas baixas de penetração de banda larga quando comparados com outros países da UE, tem se investido na construção destas redes [4, 5].

Na Grécia, temos como exemplo o caso da rede metropolitana de Patras, a terceira maior cidade do país. A rede metropolitana criada em Patras interliga os principais órgãos públicos da cidade. Os provedores de serviço também podem utilizar a rede construída a preços mais baixos que os praticados pela principal operadora local. Isto é possível, pois a rede metropolitana é organizada segundo um modelo de acesso aberto, ou seja, a todos os interessados são oferecidas as mesmas condições para utilizar a rede [4].

Na Espanha, há o projeto de Xarxa Oberta, na Catalunha. O objetivo do governo da Catalunha é atender 946 municípios com acesso de alta velocidade, oferecendo serviços a 5.843 órgãos públicos. Além disso, a capacidade excedente deste *backhaul* será disponibilizada de maneira neutra aos provedores que tiverem interesse [5].

Esse trabalho tem como objetivo criar um modelo de arquitetura de mobilidade IPv6 entre cidades digitais. O propósito desta arquitetura é implantar o suporte a IPv6 nas redes destas cidades e integrá-las de forma a proporcionar uma forma única de conexão e autenticação aos cidadãos em diversas cidades.

Os sistemas de autenticação dos usuários das cidades digitais serão interligados, permitindo que os usuários consigam conectar seus dispositivos móveis nas células de distribuição da rede metropolitana de acesso aberto de qualquer município que utilize esta mesma arquitetura. Em todos os municípios, o usuário se conectará a rede metropolitana utilizando as mesmas credenciais obtidas na cidade de origem, a mesma tecnologia de conexão sem fio e o mesmo SSID (*Service Set Identifier*). Além disso, o usuário irá sempre manter seu endereço IP da cidade de origem, permitindo que o dispositivo conectado se comporte como se estivesse em sua rede nativa. Desta forma, um cidadão poderá utilizar e prover os serviços das cidades digitais independente da sua localização.

Com esse trabalho, será possível criar uma rede integrada de cidades digitais que compartilham informações entre si e

---

Fabio Pessoa Nunes, Fac. de Eng. Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, Brasil, E-mail: [fpnunes@decom.fee.unicamp.br](mailto:fpnunes@decom.fee.unicamp.br).

Gean Davis Breda, Fac. de Eng. Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, Brasil, E-mail: [gean@decom.fee.unicamp.br](mailto:gean@decom.fee.unicamp.br).

Bruno Bogaz Zarpelão, Fac. de Eng. Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, Brasil, E-mail: [bzarpe@decom.fee.unicamp.br](mailto:bzarpe@decom.fee.unicamp.br).

Rodrigo Sanches Miani, Fac. de Eng. Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, Brasil, E-mail: [rsmiani@decom.fee.unicamp.br](mailto:rsmiani@decom.fee.unicamp.br).

Leonardo de Souza Mendes, Fac. de Eng. Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, Brasil, E-mail: [lmendes@decom.fee.unicamp.br](mailto:lmendes@decom.fee.unicamp.br).

permitem que seus usuários tenham uma forma de extensão da sua rede local em outros municípios. Existem diversas aplicações que podem se beneficiar desta arquitetura de mobilidade. Um exemplo é a tecnologia de redes de sensores móveis, tendo em vista que sensores poderão ser deslocados de uma cidade para outra e continuarem acessíveis pelo mesmo endereço IP, executando sua atividade normalmente. Entre vários tipos de sensores que poderão ser utilizados, pode-se destacar a monitoração de uma pessoa com problemas de saúde que poderá ser assistida mesmo viajando para outra cidade.

A seguir apresentamos a organização do artigo. No capítulo 2 apresentamos os principais trabalhos relacionados. No capítulo 3 é feita uma introdução sobre os protocolos envolvidos, enquanto no capítulo 4 é apresentada a arquitetura proposta de mobilidade. No capítulo 5 são comentados os resultados parciais do trabalho. No capítulo 6 são apresentadas as conclusões.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Como mencionamos anteriormente, projetos de Redes Metropolitanas de Acesso Aberto que distribuem Internet para os seus municípios estão se tornando cada vez mais comuns, o que tem propiciado a inclusão digital. Em [6], é proposta a criação de um framework para um modelo de rede de baixo custo que pode ser implantado em países em desenvolvimento, principalmente em áreas rurais, utilizando a tecnologia WiMAX. Já em [3], é apresentado um modelo de redes metropolitanas de acesso aberto e cidades digitais. De acordo com os autores, o modelo consiste em interligar os principais órgãos da prefeitura de uma cidade através de fibras óticas e implantar pontos de distribuição de Internet sem fio em vários desses locais. Tal projeto já foi implantado com sucesso em várias cidades, entre elas Pedreira, Itatiba e Vinhedo no estado de São Paulo. O caso de Pedreira, que iniciou no ano de 2007, atingiu em meados de 2011 mais de 4000 residências conectadas, utilizando o serviço de distribuição gratuita de Internet pela prefeitura. A cidade de Vinhedo iniciou a operação de sua rede metropolitana no final de 2011. Devido ao seu potencial de crescimento, ela foi escolhida juntamente com Pedreira para fazer a implantação da arquitetura de mobilidade IP entre cidades digitais.

A autenticação de usuário nessas redes é fundamental para garantir que apenas usuários autorizados acessem os serviços disponíveis. Nem sempre é possível encontrar redes de instituições distintas interligadas entre si, entretanto em [7] é proposto um modelo em os que usuários de uma rede se autenticam em localidades não pertencentes à sua rede de origem. A ideia desse projeto é utilizar autenticação IEEE 802.1X em conjunto com o protocolo RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) para criar uma rede educacional na qual os membros de várias universidades podem se conectar utilizando as mesmas credenciais da sua origem em todas as redes interligadas. O projeto é denominado EDUROAM (Education Roaming) e utiliza uma hierarquia de servidores RADIUS, permitindo que membros de universidades que aderiram ao projeto possam visitar outra universidade e utilizar a Internet sem fio da localidade se conectando com as suas credenciais de origem. Esse projeto tem se espalhado pelo mundo acadêmico e já atingiu

universidades brasileiras. O EDUROAM não oferece suporte a mobilidade IP.

O uso da mobilidade em redes IP ainda é pouco difundido e acredita-se que ainda serão criadas várias aplicações para serem utilizadas em conjunto com o IP móvel. Entretanto, alguns trabalhos já têm desenvolvido pilhas de protocolos MIPv6 (*Mobile IPv6*) e apresentado testes e diversas aplicações. Em [8], é feita uma demonstração do uso de mobilidade IPv6 em cenários reais. Os autores adaptaram alguns sensores em uma bicicleta (GPS, direção, temperatura e umidade) e fizeram o percurso do Tour De France, umas mais prestigiadas corridas de bicicleta que percorre a França, para demonstrar o funcionamento do protocolo. As redes de telefonia celular foram utilizadas como meio de comunicação nos testes. Os autores destacaram que, apesar de enfrentarem problemas de instabilidade na rede, os testes se mostraram muito proveitosos e estimulantes para o crescimento do uso do MIPv6. O trabalho de Hussein et al. [9] também demonstra evolução do IPv6 móvel. Os autores estudam os requisitos de QoS em uma rede envolvendo mobilidade IP. O esquema proposto aplica modelos de qualidade de serviço nos pacotes de *update* do MIPv6 e reduz a deterioração do serviço durante a troca de redes.

## III. IPV4, IPV6 E A MOBILIDADE

Os requisitos das redes de telecomunicações mudaram desde que o IP foi especificado no documento RFC 791 em 1981 [10]. Por vários anos, os 32 bits do protocolo reservados para o endereço de rede foram considerados suficientes, já que permitiam o endereçamento de 4 bilhões de hosts. Entretanto, com o rápido crescimento da Internet, este número de endereços propostos no projeto inicial do IP ficou insuficiente. Em 1991, o IETF começou a prever uma futura escassez de endereços e começou a criação de soluções para o melhor aproveitamento dos números IP existentes [11].

Desde a especificação do IP, várias extensões e protocolos foram definidos para contribuir na sua evolução. Propostas como CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*) [12] e NAT (*Network Address Translation*) [13] foram criadas para tentar frear a demanda por novos endereços. Outro protocolo que contribuiu para a sobrevivência do IPv4 foi o DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) [14]. Sem alternativas como essas, os endereços IPv4 disponíveis já teriam se esgotado.

Apesar das alternativas adotadas para prolongar a utilização do IPv4, a contínua expansão da Internet seguiu aumentando a demanda por novos endereços de rede. Além disso, alternativas como o NAT acabam gerando alguns problemas como a quebra da comunicação fim-a-fim, o que causa dificuldades a aplicações P2P (*Peer to Peer*) e VoIP (*Voice over IP*). Assim, o IPv6 [15] foi definido como o protocolo capaz de solucionar os problemas de escassez de endereços presentes no IPv4, permitindo que a Internet continue seu crescimento. Este protocolo começou a ser definido em 1994 e, ao contrário dos aproximadamente 4 bilhões de endereços disponíveis no IPv4, o IPv6 disponibiliza cerca de  $3,4 \times 10^{38}$  endereços de rede.

Além de solucionar problemas de endereçamento e de restabelecer a conectividade fim-a-fim, a adoção do IPv6 também contribui com a mobilidade IP. O objetivo da

mobilidade na camada de rede é possibilitar que o dispositivo se mova de uma rede para outra sem alterar seu endereço IP, mantendo a comunicação fim-a-fim de uma aplicação mesmo que o *host* esteja em movimento. O IP móvel já estava presente no IPv4, entretanto seu uso não é eficiente devido a necessidade de todo tráfego passar pela rede de origem do host mesmo quando ele está em uma rede distante. Este problema foi solucionado na mobilidade com IPv6 utilizando a otimização de rotas [16].

#### IV. PROPOSTA DE INTERCONEXÃO DE CIDADES DIGITAIS PARA PROPICIAR MOBILIDADE

Embora seja possível encontrar em operação vários modelos de distribuição de Internet à população em cidades digitais, esse trabalho propõe uma arquitetura que permitirá que o usuário possa se mover com seus dispositivos móveis entre cidades e manter suas conexões. A ideia envolvida nesse trabalho é que os usuários da rede de uma cidade tenham o benefício de poder se conectar em redes de municípios parceiros utilizando as mesmas credenciais que foram recebidas no cadastro do local que ele reside. Além de poder utilizar os serviços da cidade digital, como o acesso à Internet, normalmente, ele continuará usando o mesmo endereço IP que é atribuído em sua cidade.

A arquitetura proposta, ilustrada pela Figura 1, é dividida em três camadas. A camada de infraestrutura representa as cidades participantes do projeto interligadas logicamente entre si, realizando toda troca de informações para proporcionar a mobilidade do usuário. Já a camada de acesso representa a interface de conexão do usuário à rede, materializada nos *Access Points* presentes em todas as cidades que são configurados de forma padronizada, garantindo a mesma forma de acesso em qualquer localidade. Por fim, a camada de usuário representa os dispositivos móveis que serão conectados em qualquer um dos APs espalhados pelas cidades. Com a utilização dessa arquitetura, a conexão do usuário fica transparente. Os dispositivos são conectados em qualquer localidade, mas se comportam como se estivessem em sua rede local, pois a conexão é feita sempre da mesma forma e seu endereço IP se manterá em todas as redes.

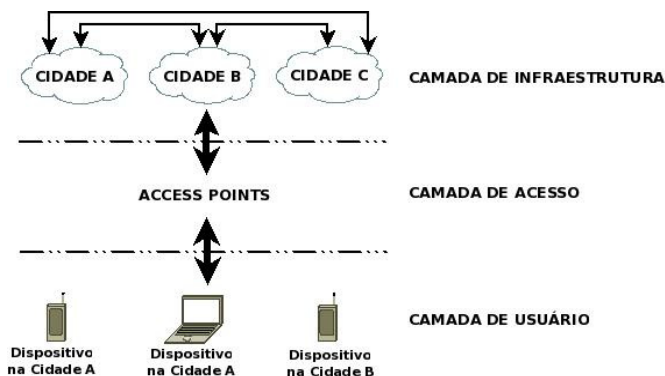


Figura 1 - Arquitetura de mobilidade entre cidades digitais.

Para implantar a arquitetura proposta nesse trabalho, são necessárias as etapas listadas a seguir:

- Implantar suporte a IPv6 nas cidades digitais;

- Implantar as interfaces de conexão física dos usuários à rede, definindo tecnologias e protocolos utilizados e garantindo padrões de qualidade e segurança nas conexões sem fio entre o dispositivo móvel e os *Access Points* (APs);
- Criar modelo de autenticação remota de usuários cujas credenciais pertençam à base de dados de outra cidade digital;
- Aplicar mobilidade IPv6 nas redes dos municípios, permitindo que endereços IP sejam mantidos mesmo quando o dispositivo estiver fora de sua cidade digital de origem;
- Realizar testes de desempenho e de utilização para validar a utilização da arquitetura.

Para realizar o projeto, foram escolhidas duas cidades digitais situadas na mesma região que autorizaram a aplicação dessa nova arquitetura em suas redes, Pedreira e Vinhedo, ambas no estado de São Paulo. A seguir será apresentada a metodologia utilizada ao longo desse trabalho para completar cada um dos passos necessários para chegar ao objetivo final.

##### A. Implantação da Rede IPv6

A implantação do IPv6 em uma rede requer a análise de vários fatores. A princípio, é fundamental que os equipamentos da rede já possuam suporte a nova versão do protocolo IP. Assim, o primeiro passo é o levantamento dos equipamentos que serão utilizados e a atualização do software de cada um deles se necessário. Sistemas operacionais como Windows, Linux e BSD, que já possuem suporte ao novo protocolo. No caso dos roteadores e *Access Points* os principais fabricantes já disponibilizam firmwares com suporte a IPv6.

Outro ponto a ser trabalhado é a aquisição de endereços IPv6. Atualmente, poucos provedores de acesso disponibilizam aos seus clientes endereços IPv6, mesmo que seja em caráter de testes. Assim, deve ser solicitado aos provedores endereços na nova versão do IP juntamente com a versão 4. Se o provedor não puder disponibilizar endereços IPv6, podem ser utilizadas técnicas de tunelamento IPv6 em pacotes IPv4, como tunelamento 6to4 [17], para implantar uma rede com esse novo protocolo enquanto o provedor de serviços não puder prover esses endereços.

##### B. Conexão de Dispositivos Móveis

A conexão dos dispositivos móveis dos usuários se dará através de *Access Points* (AP) espalhados pelo município para atender a população local. Nessas células, serão criados APs virtuais para não prejudicar os usuários que já estão utilizando a rede com o modelo tradicional. Para garantir a segurança e confiabilidade dos dados de cada usuário, é fundamental a utilização de uma forma de autenticação que não envolva uma chave compartilhada e que solicite uma identificação de usuário e senha para conectar ao ponto de acesso. O protocolo escolhido para atender este objetivo foi o WPA2-Enterprise, que é resistente a ataques e utiliza o algoritmo de criptografia AES (*Advanced Encryption Standard*). Esse protocolo requer um servidor de autenticação RADIUS, que armazena os usuários e senhas únicos de cada usuário do município.

C. Autenticação Remota dos Usuários

Como foi mencionado no tópico anterior, as credenciais de cada usuário são armazenadas em um servidor RADIUS. O RADIUS é um protocolo que provê autenticação, autorização e armazenamento de informações de acessos do usuário. Esse protocolo é muito difundido e vem sendo utilizado como padrão nas cidades digitais de Pedreira e Vinhedo, no estado de São Paulo. Entretanto, nestas cidades, não é usada a opção de autenticação de usuários que estão em servidores diferentes. A utilização dos chamados *realms* transforma o servidor em um *proxy*, determinando para qual servidor a solicitação de autenticação deve ser encaminhada para verificação. Os *realms* são especificados juntamente com o nome do usuário na forma “nome do usuário”@”realm”, onde o *realm* é o endereço no formato URL do servidor responsável pela autenticação desse usuário. Assim, no momento que o cidadão da cidade A for digitar seu usuário para conectar na rede da cidade B, obrigatoriamente teria que digitar usuario@cidadeA.com, e o servidor RADIUS da cidade B encaminharia a solicitação para o servidor da cidade A. Desta forma, os cidadãos conectados a cada um dos municípios digitais poderão mover-se para outra cidade e ainda ter conexão aos serviços da cidade digital.

D. Mobilidade IPv6

Até esse ponto foi definida a forma com que o usuário se conecta a diferentes redes IPv6 com as mesmas credenciais. Entretanto, o dispositivo móvel ainda não mantém o endereço de rede da cidade de origem depois da mudança. Os sistemas operacionais Windows, Linux ou Mac OS ainda não possuem suporte nativo a mobilidade habilitados para o IPv6. Por isso, neste trabalho, foi utilizada a implementação de Mobile IPv6 (MIPv6) fornecida pela UMIP.org [19]. Utilizando essa implementação de mobilidade IP, é possível configurar todos os nós necessários para ativar o MIPv6 em uma rede: o *Mobile Node* (MN - nó móvel), *Correspondent Node* (CN - nó com o qual o nó móvel se comunica) e o *Home Agent* (HA - servidor que armazena informações da localização do nó móvel e faz o encaminhamento dos pacotes para o MN quando ele está na sua rede de origem ou em uma rede visitada).

O funcionamento básico do MIPv6 pode ser observado na Figura 2. O *Mobile Node* envia frequentemente updates (Bind Update) para o seu *Home Agent* para informar sua localização. Caso ele tenha se movido para outra rede, ele informará o *Home Agent* que está em outro lugar com um endereço IP de outra rede (Care-of-Address). Assim, todo tráfego destinado ao *Home Address* (HoA - endereço IP móvel da rede de origem) do *Mobile Node* é encaminhado pelo *Home Agent* até o endereço atual do nó móvel por meio de um túnel.

V. RESULTADOS

Para aplicar este projeto nas cidades de Vinhedo e Pedreira, foram analisados os *Access Points* utilizados nessas localidades para distribuição de Internet. Ambos os municípios utilizam equipamentos com total suporte ao método de autenticação WPA2-Enterprise, ao protocolo RADIUS e ao IPv6, fundamentais para a aplicação da arquitetura proposta. A Figura 3 representa o modelo aplicado nas cidades escolhidas e todos os dispositivos envolvidos no cenário proposto,

mostrando que o usuário originado da cidade de Vinhedo pode se conectar em Pedreira utilizando as mesmas credenciais.

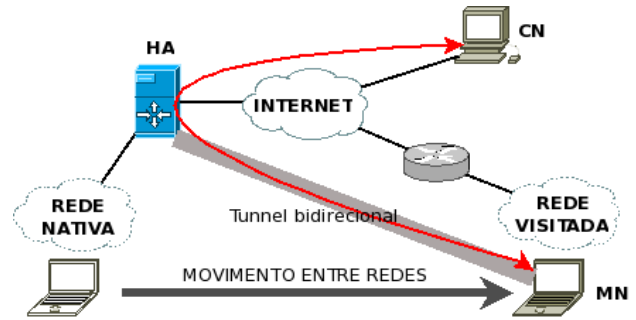


Figura 2 - Exemplo de mobilidade IPv6

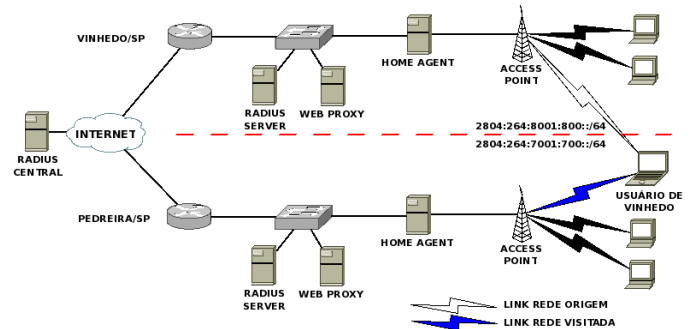


Figura 3 - Arquitetura aplicada nas duas cidades

Com o intuito de validar a arquitetura, foram utilizados dois *Access Points* em ambiente controlado conectados aos endereços IPv6 dos servidores reais de cada cidade. Dessa forma foi possível testar a movimentação de um cidadão entre as células de duas cidades diferentes. Os testes realizados simularam um cidadão de Vinhedo se conectando, primeiramente, à célula de sua cidade de origem para posteriormente migrar para a cidade de Pedreira, ingressando na célula da nova cidade com suas credenciais originais. A Figura 4 mostra a troca de pacotes IPv6 nesse nó móvel ao conectar nas duas células, com destaque para os pacotes MIPv6 Binding Update (BU) que sinalizam ao *Home Agent* o Care-of-Address atual do dispositivo.

Os pacotes de Binding Update são recebidos pelo *Home Agent*, que cria um túnel até o MN para encaminhar os pacotes destinados ao IP móvel. Caso haja a troca de rede do MN, um novo BU é enviado e a comunicação com o IP é restabelecida. A Figura 5 demonstra o processo de recebimento desses Updates e a criação do túnel no *Home Agent*.

Durante o período de troca da célula de origem para a célula visitada, são executados dois procedimentos: registro na nova célula e atualização do *Home Agent*. Esse tempo de movimentação resulta na inacessibilidade momentânea do nó, interrompendo qualquer comunicação que esteja sendo realizada para o IP. Ao terminar a movimentação, toda comunicação pode ser reestabelecida normalmente. A Figura 6 demonstra a perda de pacotes durante a movimentação. Após perder apenas 8 pacotes, a comunicação ao IP móvel é restabelecida e o nó fica acessível novamente.



24	::	ff02::2	ICMPv6 Router Solicitation
42	::	ff02::2	ICMPv6 Router Solicitation
43	fe80::20c:42ff:fe3d:ff02::1	ICMPv6 Router Advertisement from 00:0c:42	
44	2804:264:8001:800::2	2804:264:8001:800::a	MIPv6 Binding Update
47	fe80::20c:42ff:fe3d:ff02::1	ff08:b6e5	ICMPv6 Neighbor Solicitation for 2804:264
48	2804:264:8000:0:218:cfe80::20c:42ff:fe3d:a	ICMPv6 Neighbor Advertisement 2804:264:80	
49	2804:264:8001:800::a	2804:264:8001:800::2	MIPv6 Binding Acknowledgement
136	2804:264:8001:800::2	2804:264:8001:800::a	ICMPv6 Mobile Prefix Solicitation
138	2804:264:8001:800::a	2804:264:8001:800::2	ICMPv6 Mobile Prefix Advertisement
149	fe80::218:deff:fe08:1fe80::20c:42ff:fe3d:a	ICMPv6 Neighbor Solicitation for fe80::20	
150	fe80::20c:42ff:fe3d:fe80::218:deff:fe08:b	ICMPv6 Neighbor Advertisement fe80::20c:4	
177	fe80::218:deff:fe08:1ff02::16	ICMPv6 Multicast Listener Report Message	
184	fe80::20c:42ff:fe3d:fe80::218:deff:fe08:b	ICMPv6 Neighbor Solicitation for fe80::21	
185	fe80::218:deff:fe08:1fe80::20c:42ff:fe3d:a	ICMPv6 Neighbor Advertisement fe80::218:d	
233	::	ff02::2	ICMPv6 Router Solicitation
327	::	ff02::2	ICMPv6 Router Solicitation
329	fe80::20c:42ff:fe3d:ff02::1	ICMPv6 Router Advertisement from 00:0c:42	
331	::	ff02::16	ICMPv6 Multicast Listener Report Message
333	::	ff02::1:ff08:b6e5	ICMPv6 Neighbor Solicitation for fe80::21
338	::	ff02::1:ff08:b6e5	ICMPv6 Neighbor Solicitation for 2804:264
346	2804:264:8001:800::2	2804:264:8001:800::a	MIPv6 Binding Update
348	2804:264:8001:800::a	2804:264:8001:800::2	MIPv6 Binding Acknowledgement
370	fe80::20c:42ff:fe3d:2804:264:8000:0:218:d	ICMPv6 Neighbor Solicitation for 2804:264	
371	2804:264:8000:0:218:cfe80::20c:42ff:fe3d:a	ICMPv6 Neighbor Advertisement 2804:264:80	
375	fe80::218:deff:fe08:1ff02::16	ICMPv6 Multicast Listener Report Message	
396	fe80::20c:42ff:fe3d:ff02::1	ff5e:9e42	ICMPv6 Neighbor Solicitation for 2804:264

Figura 4 - Pacotes trocados para realizar a Mobilidade IPv6

```
*REGISTRO NO HOME AGENT*
Mon Apr 9 19:10:46 mh_bu_parse: Binding Update Received
Mon Apr 9 19:10:47 ndisc_do_dad: Dad success
Mon Apr 9 19:10:47 __tunnel_add: created tunnel ip6tn11
(24) from 2804:264:8001:800:0:0:0:a to
2804:264:8000:f:218:deff:fe08:b6e5 user count 1
Mon Apr 9 19:10:47 mh_send_ba: status 0
Mon Apr 9 19:10:47 mh_send: sending MH type 6
from 2804:264:8001:800:0:0:0:a
to 2804:264:8001:800:0:0:0:2
Mon Apr 9 19:10:47 mh_send: remote CoA
2804:264:8000:f:218:deff:fe08:b6e5
```

Figura 5 – Binding Update recebido pelo Home Agent

64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=184 ttl=59 time=40.6 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=185 ttl=59 time=42.6 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=186 ttl=59 time=41.3 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=187 ttl=59 time=67.8 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=196 ttl=59 time=96.7 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=197 ttl=59 time=101 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=198 ttl=59 time=40.9 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=199 ttl=59 time=44.5 ms
64 bytes from 2804:264:8001:800::2: icmp_seq=200 ttl=59 time=53.3 ms

Figura 6 - Perda de conectividade durante troca de célula

Por fim, a Figura 7 demonstra um teste de download de um arquivo hospedado no nó móvel. O gráfico demonstra 60 segundos de consumo de banda do MN, e indica que ao realizar a troca de célula o nó restabelece suas conexões no mesmo IP em aproximadamente 10 segundos.

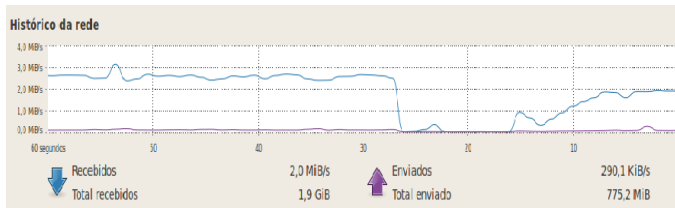


Figura 7 – Teste de banda durante a troca de célula

## VI. CONCLUSÕES

A arquitetura proposta neste trabalho define um modelo de padronização da conexão às cidades digitais, baseado na combinação entre os conceitos de mobilidade IP e de integração de servidores de autenticação. Ao adotar a arquitetura proposta, as cidades digitais permitem que seus cidadãos mantenham o mesmo endereço IP ao se movimentar de uma cidade para outra e que se conectem às diferentes cidades digitais utilizando as credenciais da cidade de origem. Com o mesmo IP e as mesmas credenciais, o usuário

continuará executando transparentemente os mesmos serviços de sua cidade de origem em seu dispositivo móvel, já que continuará acessível na rede através do mesmo endereço.

Os experimentos para avaliação da arquitetura foram conduzidos com a construção de duas células WiFi em um ambiente controlado. A primeira destas células foi conectada à cidade digital de Pedreira, enquanto a segunda delas foi conectada à cidade digital de Vinhedo. Os servidores de autenticação das duas cidades utilizam o protocolo RADIUS, o qual permitiu a integração das bases de dados que armazenam as credenciais dos usuários das duas cidades. A questão de mobilidade foi atendida pela implementação MIPv6 utilizada. Os resultados mostraram que o usuário se conectou com sucesso nas duas cidades utilizando as mesmas credenciais. O experimento também mostrou que o nó continuou acessível pelo mesmo IP mesmo quando se movimentou entre as duas células. Em trabalhos futuros serão estudados os impactos nas redes com essa arquitetura e a possibilidade de autenticação do Home Address para evitar o seu uso por outro usuário.

## REFERÊNCIAS

- [1] IBOPE. IBOPE. Disponível em: <www.ibope.com.br/calandraWeb/servlet/CalandraRedirect?temp=6&pr oj=PortalIBOPE&pub=T&nome=home\_materia&db=cald&docid=C2 A2CAE41B62E75E83257907000EC04F>. Acesso em: 20 outubro 2011.
- [2] PNBL. Disponível em: <www4.planalto.gov.br/brasilconectado/pnbl/>. Acesso em: 20 outubro 2011.
- [3] MENDES, L. D. S.; BOTTOLI, M. L.; BREDA, G. D. Digital Cities and Open MANS: A New Communications Paradigm. IEEE Latin America Transactions, 2010.
- [4] ALEXIOU, A., BOURAS, C., PAPAGIANNPOULOS, J. and PRIMPAS, D. "Metropolitan Broadband Networks: Design and Implementation Aspects, and Business Models," In I. Bose (Ed.), Breakthrough Perspectives in Network and Data Communications Security, Design and Applications, 2009, p. 286-301.
- [5] GANUZA, J. J., VIECENS, M. F., Deployment of high-speed broadband infrastructures during the economic crisis: the case of Xarxa Oberta, Telecommunications Policy, v. 35, n. 9-10, 2011, p. 857-870.
- [6] SEDOYEKA, E.; HUNAITI, Z. Low cost broadband network model using WiMAX technology. Government Information Quarterly, p. 400-408, 2011.
- [7] WIERENGA, K.; FLORIO, L. Eduroam: past, present and future. TERENA Networking Conference. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- [8] DHRAIEF, A. et al. E-bicycle demonstration on the Tour De France . Computing in the Global Information Technology, Guadeloupe City, 2007.
- [9] HUSSIEN, L. F. et al. An enhanced scheme for QoS in mobile IPv6 environment. 4th International Conference On Mechatronics (ICOM), 2011.
- [10] RFC791. Internet Protocol. [S.l.]: [s.n.], 1981.
- [11] LOSHIN, P. IPv6 - Theory, Protocol and Practice. [S.l.]: Elsevier, 2004.
- [12] RFC4632. Classless Inter-domain Routing (CIDR): The Internet Address Assignment and Aggregation Plan. [S.l.]: [s.n.], 2006.
- [13] RFC1631. The IP Network Address Translation. [S.l.]: [s.n.], 1994.
- [14] RFC2131. Dynamic Host Configuration Protocol. [S.l.]: [s.n.], 1997.
- [15] RFC4291. IP Version 6 Addressing Architecture. [S.l.]: [s.n.], 2006.
- [16] LI, Q.; JINMEI, T.; SHIMA, K. Mobile IPv6 - Protocols and Implementation. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2009.
- [17] IPV6.BR. Disponível em: <www.ipv6.br>. Acesso em: 20 outubro 2011.
- [18] BEIJNUM, I. V. Running IPv6. [S.l.]: Apress, 2006.
- [19] UMIP. UMIP.org, 2011. Disponível em: <umip.org>. Acesso em: 26 Outubro 2011