

Estratégias Escaláveis para Distribuição de Mídias Contínuas sob Demanda em Redes sem Fio*

Leonardo Bidese de Pinho (Autor) e Claudio Luis de Amorim (Orientador)

¹COPPE Sistemas (PESC) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal 68.511 – 21.941-972 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{leopinho, amorim}@cos.ufrj.br

Abstract. This thesis proposes and evaluates the use of clusters of collocated Access Points (APs) operating in non-overlapping channels, together with mechanisms and policies to manage resources provided by the APs, as an efficient scalable solution for continuous media distribution over wireless networks. Based on the results of this novel study, currently several other research directions are being pursued aligned to the “Grand Challenges in Computer Science Research” as defined by SBC, including a pioneer project of social and economic impact of large-scale distribution of videos on demand in highly-dense areas of the wireless network that will be deployed along the Copacabana shoreline.

Resumo. Esta tese propõe e avalia o uso de aglomerados (clusters) de pontos de acesso (Access Points - APs) co-localizados operando em canais sem sobreposição, aliado a mecanismos e políticas de gerenciamento dos recursos fornecidos pelos APs, como solução escalável efetiva para distribuição de mídias contínuas sob demanda em redes sem fio. Baseadas nos resultados obtidos, novas pesquisas estão em andamento alinhadas com os “Grandes Desafios da Computação” definidos pela SBC, incluindo um projeto piloto de impacto social e econômico de distribuição escalável de vídeo sob demanda em áreas altamente densas da rede sem fio que será instalada na orla de Copacabana.

1. Introdução

Nos últimos anos, uma aplicação que tem despertado grande interesse e desafio, envolvendo transmissão de mídias contínuas, é Vídeo sob Demanda (*Video on Demand* - VoD). Sistemas VoD convencionais permitem que usuários escolham exemplares de um acervo de vídeos a qualquer hora e que comecem a assistí-los pouco tempo depois da seleção, como se estivessem em uma vídeo locadora eletrônica virtual. Genericamente, esses exemplares podem ser vistos como arquivos multimídia compostos por áudio e vídeo comprimidos segundo um padrão conhecido. Sistemas VoD convencionais estabelecem um fluxo de vídeo para cada cliente, o que requer um elevado investimento em *hardware*, com custo proporcional à audiência esperada. Para minimizar a relação custo/audiência, é fundamental adotar estratégias que utilizem os recursos de *hardware* eficientemente. Nos últimos anos foram propostas e amplamente estudadas diversas estratégias para VoD no contexto de redes cabeadas. Contudo, conforme aumenta-se a disponibilidade de aplicações baseadas em VoD, cresce também a necessidade de acesso ubíquo a elas, já

*Versão completa disponível em <http://www.lcp.coppe.ufrj.br/pinho2007tese.pdf>

que cada vez mais pessoas passaram a usar dispositivos móveis – também chamados de estações (*stations* - STA) – dotados de recursos suficientes para exibir vídeos (*laptops*, PDAs, telefones celulares de última geração, *smartphones*, entre outros) e desejam ter acesso às aplicações em qualquer lugar, a qualquer hora. Redes sem fio podem ser a resposta para esta necessidade crescente. Entretanto, o suporte de sistema por trás das aplicações VoD precisa ser escalável para atender a demanda crescente de acessos concorrentes, que geram transmissões simultâneas de grandes quantidades de fluxos de vídeos, ao mesmo tempo em que garanta qualidade de serviço.

Inegavelmente, a disseminação de equipamentos para redes locais sem fio (*Wireless Local Area Networks* - WLANs) vêm crescendo significativamente nos últimos anos, sendo o IEEE 802.11 (incluindo os seus principais suplementos) o padrão de fato do mercado, principalmente operando com pontos de acesso (*Access Points* - APs), ou seja, no modo infra-estruturado. No que se refere à largura de banda, enquanto o 802.11g oferece apenas três canais capazes de coexistir sem interferência, operando na faixa de 2,4 GHz, o 802.11a suporta até treze canais (dependendo das regulamentações vigentes no país) independentes, utilizando a faixa de 5 GHz. Como consequência, é teoricamente possível agrregar as capacidades destes canais, de modo que pode-se ter dezenas de canais paralelos em uma mesma área de cobertura, utilizando para isso APs co-localizados (*collocated APs*) que, conceitualmente, são APs posicionados significativamente próximos uns dos outros, com a mesma área de cobertura, usando diferentes canais sem sobreposição de frequência entre si. Embora cada canal de “a” e “g” tenha 54 Mbps de taxa máxima de *link*, a vazão máxima efetiva usando UDP é próxima a 30,7 Mbps, conforme a literatura, o que acarreta em uma largura de banda agregada total de 491,2 Mbps.

Embora a largura de banda agregada oferecida por pontos de acesso co-localizados seja significativa, as variantes do padrão 802.11 não dispõem de um mecanismo eficiente que otimize o uso dos pontos de acesso. Especificamente, o 802.11 requer um procedimento adequado para a escolha do AP onde o dispositivo do cliente deve ser associado quando este adentra a área de cobertura de múltiplos APs, sejam estes co-localizados ou não, operando em canais não sobrepostos. Na literatura, este procedimento é denominado “controle de associação” (*Association Control* - AC). A heurística básica adotada no 802.11 para AC é conhecida como *Strongest Signal First* (SSF), caracterizada por priorizar a escolha de APs de acordo com o indicador de intensidade do sinal (*Receive Signal Strength Indicator* - RSSI). Porém, diversos trabalhos mostram que a SSF freqüentemente atinge um insuficiente balanceamento de carga (uso dos canais) entre os APs, além de não prover garantias de largura de banda mínima. Em particular, quando aplicado em APs co-localizados, a SSF tende a apresentar um comportamento aleatório pois todos os APs estarão na mesma distância em relação aos clientes. Além da SSF, outra heurística amplamente adotada em soluções proprietárias e não interoperáveis é a denominada *Least Loaded First* (LLF). Na LLF, um cliente que entra na rede se associa ao AP com maior largura de banda disponível. Embora a LLF otimize o uso dos APs [Bejerano et al. 2004], a falta de interoperabilidade entre diferentes marcas de equipamentos sem fio restringe a eficiência da LLF. Além disso, alguns fabricantes estenderam a LLF para suportar aplicações que requeriam garantia de largura de banda mínima, exacerbando ainda mais o problema de interoperabilidade. Note que estas heurísticas são genéricas no sentido de que elas foram projetadas sem ter uma aplicação alvo. Como resultado, elas tendem a ser incapazes de explorar as singularidades de certas aplicações

para melhorar a utilização dos recursos providos pelos APs.

O tema desta tese pode ser resumido pelo seu título: “Estratégias Escaláveis para Distribuição de Mídias Contínuas em Redes sem Fio”. Em particular, note que optou-se por concentrar o foco na análise de um subproblema – sistemas de vídeo sob demanda em redes 802.11 infra-estruturadas – e, a partir das soluções propostas e avaliadas, discutir eventuais generalizações. Nesta direção, esta tese objetiva validar a seguinte hipótese básica, não encontrada na revisão bibliográfica realizada: “o uso de aglomerados (*clusters*) de pontos de acesso co-localizados, em conjunto com mecanismos e políticas de gerenciamento de recursos conscientes da aplicação, constitui-se em uma solução escalável eficiente para sistemas de VoD em redes 802.11 infra-estruturadas”. Para avaliar esta hipótese, bem como as demais hipóteses derivadas, foram adotadas duas abordagens – simulada e prática – buscando uma validação recíproca.

Para a simulação foi desenvolvida a ferramenta TCHE (*Transmission of Continuous Media over Hybrid Environments*) que emula a interação entre os principais componentes do ambiente alvo – servidor de vídeo, clientes, pontos de acesso, gerenciador de recursos e *links* parametrizados. Já a abordagem prática foi dividida em duas: implementação de emulador e protótipo. A implementação do emulador, denominado WiAssess (*Wireless Assessment*), foi necessária para permitir a avaliação do comportamento do ambiente de APs co-localizados com perfil de tráfego similar ao esperado para o protótipo real – um servidor centralizado parametrizado capaz de escalar a transmissão de fluxos UDP para os clientes associados aos APs co-localizados, contabilizando a taxa de pacotes recebidos e perdidos em um determinado intervalo de tempo. Paralelamente, a implementação do protótipo foi planejada como uma extensão para o sistema GloVE (*Global Video Environment*) de VoD para redes cabeadas desenvolvido em trabalhos anteriores [Pinho et al. 2002, Pinho et al. 2003, Pinho and Amorim 2004, Pinho and Amorim 2006a]. Além disso, optou-se por aproveitar a oportunidade de obter *feedback* de revisores anônimos nas diversas fases desta tese, através de submissões de artigos com inovação incremental. Conforme os resultados obtidos, a originalidade do trabalho realizado não foi questionada, tanto em âmbito nacional quanto internacional.

No restante deste resumo estendido, são brevemente expostos os sistemas propostos e as principais considerações sobre o desempenho e aplicabilidade destes. Após, são elencados os resultados mais significativos coletados no ambiente de testes real, seguidos das considerações finais que, além de incluirem as principais contribuições desta tese, apontam indicadores acadêmicos e de relevância do tema dentro das grandes áreas de pesquisa em Ciência da Computação no Brasil.

2. Sistemas Propostos

Tendo em vista as lacunas expostas acima, esta tese propõe e avalia uma série de sistemas que exploram eficientemente o uso de APs co-localizados, descritos brevemente a seguir.

Sistema Básico: Este sistema preliminar¹ utiliza a heurística LLF para controle de associação, levemente modificada para prover garantia de largura de banda mínima. A

¹Publicado inicialmente como relatório técnico do PESC [Pinho and Amorim 2005b] e aceito posteriormente para publicação como artigo completo na conferência LANOMS 2005 [Pinho and Amorim 2005c], onde foi escolhido como um dos cinco melhores trabalhos e cuja versão estendida foi aceita para publicação no JNSM em 2008 [Pinho and Amorim 2008].

heurística resultante (LLF+) é aplicada em um modelo de sistema VoD usando APs co-localizados. A avaliação experimental deste modelo mostrou que, apesar de usar efetivamente a largura de banda agregada, o sistema baseado na heurística LLF+ conseguiu atender com sucesso apenas cenários com vídeos curtos ou com taxa de chegada de requisições moderada, apresentando fraco desempenho (i.e., crescente quantidade de requisições bloqueadas) quando a duração do vídeo ou a taxa de chegada aumenta.

Sistema com Heurísticas Focadas na Aplicação: Usando como base os resultados obtidos com o sistema básico, é realizado um estudo focado no desenvolvimento de novas heurísticas que se beneficiam das características particulares das aplicações de VoD para aumentar a eficiência do sistema. Como resultado deste estudo², é proposto o sistema CINAPS (*Cluster of INexpensive Access PointS*) através do qual são introduzidas e avaliadas duas novas heurísticas de controle de associação focadas na aplicação, denominadas *Early Release First* (ERF) – que dá prioridade de escolha ao canal que teria largura de banda liberada mais cedo – e *Bounded ERF* (BERF) – que é uma versão de ERF com limitação de espera máxima –, as quais garantem largura de banda mínima através de mecanismos de reserva de recursos. Estas heurísticas exploram uma característica de VoD conhecida como “Fator de Paciência” dos usuários, permitindo que a unidade de controle de associação aceitasse requisições para alocação futura de canais de comunicação. Os resultados simulados confirmaram que estas novas heurísticas foram capazes de reduzir substancialmente a taxa de bloqueio de requisições, de modo que o CINAPS superou significativamente o sistema básico, baseado na heurística genérica LLF+.

Sistema Consciente do Consumo de Energia: Tendo em vista a significância da questão de consumo de energia em ambientes que envolvam dispositivos móveis, é proposto e avaliado o uso combinado de duas técnicas que reduziram efetivamente o consumo médio de energia das interfaces 802.11 no *Power-aware CINAPS*, versão do CINAPS consciente do consumo de energia e que opera com a heurística BERF³. A primeira delas, *Delayed Re-association*, introduzida nesta tese, explora a latência de serviço imposta pela heurística de controle de associação durante momentos de escassez de recursos, e a segunda, *Bursty Transmission*, adaptada da literatura, beneficia-se da extensão do período ocioso contíguo entre a recepção de pacotes. Na avaliação de desempenho, realizada utilizando-se a heurística BERF, constatou-se que o nível mais alto de otimização de energia, referente a combinação das duas técnicas introduzidas, foi capaz de diminuir significativamente o consumo médio de energia da WNIC, chegando próximo a 84% de redução em relação ao nível sem otimizações.

Sistema Consciente da Distância: Posteriormente, é estudado o impacto da posição dos clientes no desempenho do CINAPS com 802.11a, contemplando diferentes modos de transmissão e tamanhos de área, buscando soluções de compromisso entre alcance e vazão agregada proporcionada. Para isso, é proposta e avaliada uma nova heurística, chamada de *Distance-aware BERF* (DBERF), que agregou a consciência da distância à heurística BERF, comparando inclusive o desempenho obtido com duas abordagens de escolha de modo de transmissão: estática e dinâmica⁴. A avaliação de desempenho, con-

²Publicado inicialmente como relatório técnico do PESC [Pinho and Amorim 2005a] e aceito posteriormente como artigo completo na conferência ICN 2006 [Pinho and Amorim 2006b].

³Publicado como artigo completo na conferência SBRC 2006 [Pinho and Amorim 2006d].

⁴Publicado como artigo completo na conferência WEBMEDIA 2006 [Pinho and Amorim 2006c].

templando diferentes modos de transmissão e tamanhos de área, comprovou que, para uma distribuição uniforme de clientes pela área de simulação, o impacto do alcance ficou limitado ao coeficiente de área descoberta. Além disso, foi mostrado que, apesar da abordagem adaptativa de escolha de modo de transmissão ter sido capaz de diminuir a taxa de bloqueio média em pouco mais de 6% em relação a média obtida com o modo de transmissão estático de melhor desempenho médio (Modo 6, cujo alcance efetivo é de 60 metros), em casos pontuais a diferença chegou a valores significativos (mais de 19% para uma área de 200x200 m²).

Sistema de Distribuição em Grade: Como a distância possui um impacto significativo no modo de transmissão, estratégias que permitam operar com os modos de maior vazão tendem a maximizar a vazão agregada do sistema. Buscando explorar esta característica, foi concebido o sistema GAPS (*Grid of collocated Access PointS*), o qual extrapola a proposta do CINAPS de tal forma que múltiplos *clusters* são utilizados para a formação de uma grade de distribuição de VoD onde a quantidade de APs por *cluster* pode ser definida estaticamente ou dinamicamente de acordo com o padrão de concentração do clientes (CCP), foi capaz de reduzir significativamente a taxa de bloqueio de requisições de vídeo em comparação ao *Distance-aware* CINAPS. Também foi mostrado que um esquema dinâmico de escalonamento de APs para os *clusters* é fundamental para que o GAPS opere eficientemente em ambientes em que o CCP pode variar.

3. Experimentos Práticos

Além dos experimentos simulados resumidos acima, foram realizados experimentos práticos em um ambiente de testes real construído no Laboratório de Computação Paralela (LCP) da COPPE/UFRJ, os quais confirmam as principais premissas assumidas nos sistemas propostos, reforçando a viabilidade do uso de pontos de acesso co-localizados como solução escalável eficiente para sistemas VoD em redes sem fio.

Os resultados práticos demonstraram que é factível o uso de *clusters* de APs co-localizados e reforçam grande parte das premissas anteriores, com pequenas variações quantitativas em relação aos valores relatados na literatura. Em particular, foi mostrado que o efeito da interferência entre canais adjacentes (*Adjacent Channel Interference - ACI*) – causado pela máscara de espectro do 802.11a/g – aparece de fato em ambientes onde canais adjacentes são usados em uma mesma área, com grande proximidade entre os dispositivos transmissores. Contudo, os experimentos com diversas combinações de parâmetros de potência e de modo de transmissão dos APs co-localizados mostraram na prática que uma redução de 6 dB na potência de transmissão foi suficiente para eliminar o efeito do ACI no Modo 6, permitindo a transmissão com a máxima vazão efetiva deste modo (24 Mbps) usando simultaneamente canais adjacentes. Já para o Modo 8, foi necessário reduzir em 9 dB pra obter o mesmo resultado. O efeito colateral desta diminuição da potência de transmissão em relação ao seu valor original (para 1/4 de 18 dBm no Modo 6 e para 1/8 de 16 dBm no Modo 8) causa uma potencial redução do alcance efetivo do Modo 6 para a metade do seu valor normal (e ainda maior para o Modo 8). Além disso, os experimentos envolvendo reassociação mostraram qualitativamente que o *overhead* de mudança de canal variou de apenas 2 ms até 5006 ms. Mesmo no pior caso, é pouco significativo em relação a duração dos vídeos considerados nos estudos. Além disso, só impactaria nos casos em que a requisição é atendida imediatamente.

4. Considerações Finais

Em caráter geral, a partir desta tese pode-se concluir que a hipótese base enunciada na introdução é verdadeira, ou seja, o emprego de aglomerados (*clusters*) de pontos de acesso co-localizados operando em canais sem sobreposição, aliado a mecanismos e políticas que permitiram um uso eficiente dos recursos proporcionados pelos APs, é uma solução escalável efetiva para distribuição de mídias contínuas sob demanda em redes sem fio.

4.1. Contribuições

Em resumo, as principais contribuições presentes nesta tese são:

- Modelagem do problema do controle de associação em um sistema de distribuição de mídia contínua, em particular de vídeo sob demanda, empregado em WLANs compostas por APs co-localizados, focando no comportamento dos clientes;
- Proposta e avaliação de um novo projeto para sistemas VoD operando sobre redes 802.11 que utiliza eficientemente a largura de banda agregada de APs co-localizados, ao mesmo tempo em que provê garantias de largura de banda mínima através de mecanismos de reserva atrelados ao procedimento de controle de associação usando a heurística LLF+;
- Proposta e avaliação do CINAPS, através do qual são introduzidas duas novas heurísticas de controle de associação focadas na aplicação, denominadas ERF e BERF, que aproveitam o “Fator de Paciência” das aplicações de VoD que permite à unidade de controle de associação aceitar requisições para uso futuro dos canais de comunicação sem fio;
- Avaliação simulada detalhada do CINAPS comparando o desempenho de uma heurística de controle de associação genérica com as duas novas heurísticas focadas na aplicação;
- Modelagem do consumo de energia no CINAPS usando a heurística BERF de controle de associação;
- Proposta e avaliação do *Power-aware* CINAPS – versão do CINAPS incorporando as técnicas de redução de consumo de energia *Delayed reassociation*, introduzida nesta tese, e *Bursty transmission*, adaptada da literatura;
- Proposta e avaliação, para diferentes modos de transmissão do 802.11a e vários tamanhos de área, de uma nova versão do sistema CINAPS consciente da distância entre clientes e o *cluster* de APs;
- Investigação da eficácia de um esquema adaptativo de escolha do modo de transmissão para a redução da taxa de bloqueio média;
- Proposta e avaliação da arquitetura GAPS – extensão de CINAPS com múltiplos *clusters* formando um *grid*;
- Comparação de desempenho entre GAPS usando quatro *clusters* e CINAPS para os dois modos de transmissão de maior vazão efetiva do 802.11a em cenários onde os clientes estão uniformemente distribuídos pela área;
- Estudo do desempenho potencial de esquemas estáticos e dinâmicos de GAPS para diferentes padrões de concentração de clientes;
- Validação de resultados de simulação através de resultados experimentais práticos obtidos com a ferramenta de emulação implementada;
- Protótipo do CINAPS implementado como extensão do sistema GloVE de VoD.

4.2. Indicadores

A Tabela 1 contextualiza, no tempo, os resultados parciais de pesquisa obtidos ao longo das atividades desenvolvidas nesta tese (2002-2007). Note que são apresentados os resultados (artigos em conferências e periódicos, sem mencionar os diversos relatórios técnicos publicados no PESC/COPPE) e os períodos (divididos em semestre/ano) correspondentes às atividades que os alavancaram. Além disso, podem ser considerados como indicadores substanciais o protótipo de sistema SWVoD (GloVE-CINAPS) e as ferramentas de simulação (TCHE) e emulação (WiAssess) criadas, as quais auxiliarão nos trabalhos futuros sugeridos na tese e em seus desdobramentos.

Resultado	2/2	1/3	2/3	1/4	2/4	1/5	2/5	1/6	2/6	1/7	2/7	1/8
SBAC-PAD	X											
EUROPAR				X	X							
LANOMS						X	X					
ICN							X	X				
SBRC							X	X				
WEBMEDIA								X	X			
IJHPCA		X	X									
JNCA								X				
JNSM										X		
GAPS*											X	
PRÁTICOS*										X		X

Tabela 1. Período relacionado aos resultados (*Submissão pendente)

4.3. Relevância

Por fim, cabe destacar a relevância desta tese em função do posicionamento da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), em relação aos chamados "Grandes Desafios da Computação no Brasil". Dentre os cinco desafios identificados pela SBC como prioritários para pesquisa a longo prazo, contemplando simultaneamente o avanço científico da área e a solução de problemas relevantes para o País, esta tese está intimamente associada a três: (1) Gestão da Informação em grandes volumes de dados multimídia distribuídos; (2) Acesso participativo universal do cidadão brasileiro ao conhecimento; e (3) Sistemas disponíveis, corretos, seguros, escaláveis, persistentes e ubíquos. Ou seja, esta tese – e seus desdobramentos atuais (dentre eles a aplicação das soluções na rede sem fio que está sendo implementada na praia de Copacabana, dentro de um projeto da COPPE, patrocinado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro através da sua Fundação de Apoio a Pesquisa, a FAPERJ) e futuros – oferece soluções para sistemas com grandes volumes de dados multimídia (vídeos), necessariamente custo-efetivos para viabilizar o acesso universalizado aos cidadãos, principalmente aos de baixo poder aquisitivo, mais carentes de conhecimento, e que aliem escalabilidade (permitam crescimento no volume atendido) e ubiquidade (forneçam acesso fácil, a partir de qualquer local), em função do tamanho da população e das dimensões continentais do país, representando uma alternativa aos sistemas de transmissão de TV, com suas grades de programação pré-definidas.

Referências

Bejerano, Y., Han, S., and Li, L. (2004). Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control. In *Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pages 315–329, Philadelphia, PA.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2004). A Practical Performance Analysis of Stream Reuse Techniques in Peer-to-Peer Video on Demand Systems. In Danelutto, M., Vaneneschi, M., and Laforenza, D., editors, *Euro-Par 2004 Parallel Processing, 10th International Euro-Par Conference, Pisa, Italy, August 31-September 3, 2004, Proceedings*, volume 3149 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 784–791. Springer.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2005a). CINAPS: A Scalable Solution for VoD over WLANs Using Application-Friendly Association Control. Technical Report ES-681/05, COPPE/UFRJ Systems Engineering Program.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2005b). Investigating the Performance of Video-on-Demand Systems over WLANs Using Generic Association Control. Technical Report ES-677/05, COPPE/UFRJ Systems Engineering Program.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2005c). Investigating the Performance of Video-on-Demand Systems over WLANs Using Generic Association Control. In *Proceedings of the 4th Latin American Network Operations and Management Symposium (LANOMS)*, pages 187–198, Porto Alegre, RS, Brazil.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2006a). Assessing the efficiency of stream reuse techniques in P2P video-on-demand systems. *Journal of Network and Computer Applications (JNCA)*, 29(1):25–45.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2006b). Efficient Support to Scalable Delivery of VoD Systems Using Collocated Access Points. In *Proceedings of the 5th International Conference on Networking (ICN)*, Morne, Mauritius. IEEE Computer Society Press.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2006c). Impact of the clients' position on performance of VoD systems based on collocated APs. In *Proceedings of 12th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web (WebMedia)*, volume 1, pages 253–262, Natal, RN, Brazil.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2006d). Otimizando o Consumo de Energia de Dispositivos Móveis em Sistemas de VoD Baseados em Pontos de Acesso Co-localizados. In *Proceedings of the 24th Brazilian Symposium on Computer Networks (SBRC)*, volume 1, pages 621–636, Curitiba, Brazil.

Pinho, L. B. and Amorim, C. L. (2008). Building Scalable Wireless VoD Systems through Efficient Management of Collocated Access Points. *Journal of Network and Systems Management (JNSM)*, 16(2). (in printing, firm schedule, available online).

Pinho, L. B., Ishikawa, E., and Amorim, C. L. (2002). GloVE: A Distributed Environment for Low Cost Scalable VoD Systems. In *Proceedings of the 14th Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD)*, pages 117–124, Vitoria, ES, Brazil.

Pinho, L. B., Ishikawa, E., and Amorim, C. L. (2003). GloVE: A Distributed Environment for Scalable Video-on-Demand Systems. *International Journal of High Performance Computing Applications (IJHPCA)*, 17(2):147–161.