

# Otimizando o Consumo de Energia de Dispositivos Móveis em Sistemas de VoD Baseados em Pontos de Acesso Co-localizados

Leonardo Bidese de Pinho<sup>1</sup>, Claudio Luis de Amorim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Computação Paralela (LCP)  
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC)  
COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)  
Caixa Postal 68511 – 21941-972 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{leopinho, amorim}@cos.ufrj.br

**Abstract.** *In this paper we present a study of power consumption reduction on mobile devices when connected to scalable VoD systems based on collocated access points. In particular, we propose and evaluate the combined usage of two energy consumption reduction techniques using the low power sleep mode of 802.11x WNICs, applied in the CINAPS (Cluster of Inexpensive Access Points) system. The first, delayed reassociation, exploits the service latency imposed by the association control heuristics during busy periods, and the second, bursty transmission, extends the WNICs contiguous idle periods between reception of packets. Overall, our results showed that the combination of these techniques achieved average reduction on power consumption of up to 84% in the WNICs.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta um estudo sobre redução no consumo de energia de dispositivos móveis em sistemas de VoD escaláveis, baseados em pontos de acesso co-localizados. Em particular, é proposto e avaliado o uso combinado de duas técnicas de redução de consumo de energia que aproveitam o modo “sleep” de baixo consumo de interfaces 802.11x, aplicadas no sistema CINAPS (Cluster of Inexpensive Access Points). A primeira, “delayed reassociation”, explora a latência de serviço imposta pela heurística de controle de associação durante momentos de escassez de recursos, e a segunda, “bursty transmission”, estende o período ocioso contíguo entre a recepção de pacotes. Os resultados obtidos demonstraram que a combinação destas técnicas foi capaz de diminuir em até 84% o consumo médio de energia das interfaces.*

## 1. Introdução

A crescente oferta de aplicações de vídeo sob demanda (*video on demand* - VoD) para dispositivos móveis com acesso a redes sem fio, tem motivado o desenvolvimento de sistemas de VoD escaláveis capazes de atender a grande e crescente demanda de acessos simultâneos a essas aplicações com garantia de qualidade de serviço (*quality of service* - QoS). Em particular, a disseminação de equipamentos com padrão IEEE 802.11a/g para redes locais sem fio usando DCF no modo infra-estruturado motivou o desenvolvimento em trabalho anterior do sistema CINAPS [Pinho and Amorim 2005, Pinho and Amorim 2006b] (*Cluster of INexpensive APs*). A principal contribuição de CINAPS foi explorar pioneiramente a utilização de pontos de acesso de forma co-localizada (*collocated APs*)<sup>1</sup>, de forma tal que fornecesse uma largura de banda agregada variável,

---

<sup>1</sup>APs agrupados em um único lugar, cobrindo a mesma área, mas operando em canais não-interferentes.

proporcional ao número de APs (limitado em 16 pelo número de canais não interferentes), num total de até 491,2 Mbps (equivalente a dezesseis vezes a largura de banda UDP efetiva de um único AP, que é de 30,7 Mbps, aproximadamente).

Além disso, CINAPS otimizou o uso da alta capacidade de banda disponível, através da combinação de heurísticas de controle de associação de clientes aos APs com um esquema de controle de admissão focado nas características das aplicações de VoD. Em especial, propôs a heurística BERF (*Bounded Early Released First*) que se beneficia da característica conhecida como fator de paciência (*patience factor* - PF). PF expressa a expectativa que o usuário possui em relação a latência de serviço, ou seja, o período de tempo compreendido entre a requisição do vídeo e o estabelecimento do fluxo (*stream*) de vídeo para o cliente.

Por outro lado, a capacidade limitada das baterias dos dispositivos móveis e o alto consumo de bateria das aplicações de VoD, tornam essencial que os sistemas de VoD em geral, e CINAPS em particular, ofereçam técnicas de economia de energia. Estudos anteriores [Chandra and Vahdat 2002, Wei et al. 2004] mostraram que a interface de rede sem fio (*wireless network interface card* - WNIC) contribui com cerca de 50% do consumo em um PDA durante a recepção e exibição de *streams* de vídeo. Neste artigo, propomos e avaliamos o uso combinado de duas técnicas de economia de energia em sistemas de VoD escaláveis para WLANs, utilizando CINAPS como referência.

A primeira, denominada *bursty transmission*, proposta anteriormente [Chandra and Vahdat 2002], explora o fato do tempo de comutação da interface WNIC ser significativo. Assim, esse trabalho propôs aumentar o período ocioso da WNIC de modo a aumentar a eficácia do uso de modos de baixo consumo de energia (*sleep*) ou mesmo do desligamento da interface, em uma aplicação de *streaming*. Além disso, a técnica pode ser implementada de maneira simples através de controle de tráfego (*traffic shapping*) no servidor.

A segunda, é uma nova técnica que introduzimos neste trabalho, denominada *delayed reassociation*, que se beneficia das características de CINAPS para economizar energia durante o período referente à latência de serviço, descrita anteriormente. Basicamente, nossa técnica explora o fato de que em CINAPS usando BERF o cliente é avisado sobre o momento no qual começará a receber o fluxo de vídeo e em qual dos APs, permitindo que ele aguarde em modo de baixo consumo até o momento estipulado quando então se reassocia ao AP sinalizado.

Além da proposta do uso combinado destas duas técnicas, este artigo avalia também o impacto de cada uma delas, isoladamente ou combinadas, na redução do consumo de energia, utilizando como base as especificações de um PDA amplamente adotado na literatura.

Em resumo, as principais contribuições deste trabalho são:

1. Modelagem do consumo de energia no CINAPS usando a heurística BERF de controle de associação;
2. Proposta do *Power-aware* CINAPS - versão do CINAPS incorporando as técnicas de redução de consumo de energia *bursty transmission* e *delayed reassociation*;
3. Avaliação do impacto das combinações das técnicas no consumo de energia médio por dispositivo no *Power-aware* CINAPS com clientes homogêneos usando PDAs.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte maneira. A Seção 2 descreve sucintamente trabalhos relacionados. Na Seção 3 é apresentada uma visão geral do CINAPS, o seu modelo de consumo de energia e as técnicas de redução do consumo que integram o *Power-aware* CINAPS. A Seção 4 descreve a avaliação experimental do *Power-aware* CINAPS, com diferentes níveis de fator de paciência, seguida das conclusões e trabalhos futuros, que compõem a Seção 5.

## 2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção são descritos brevemente trabalhos relacionados representativos, divididos em duas categorias: sistemas de VoD escaláveis e consumo de energia.

### 2.1. Sistemas de VoD Escaláveis

Embora diversos trabalhos tenham sido desenvolvidos no contexto de redes cabeadas com o objetivo principal de aumentar a escalabilidade - capacidade de atendimento de clientes simultâneos - de sistemas de VoD, dentre os quais merecem destaque o uso de técnicas de reuso em sistemas *peer-to-peer* (P2P) [Ishikawa and Amorim 2001, Pinho et al. 2002, Pinho et al. 2003, Pinho and Amorim 2004, Pinho and Amorim 2006a], para LANs, e técnicas baseadas em *proxies* dinâmicos [Ishikawa and Amorim 2003], para MANs e WANs, o mesmo não ocorre para redes sem fio. Neste contexto, até onde sabemos, o CINAPS [Pinho and Amorim 2005, Pinho and Amorim 2006b] pode ser considerado um dos pioneiros, junto com o MobiVoD [Tran et al. 2004]. O MobiVoD é um projeto de sistema VoD para clientes móveis em redes ad hoc, o qual emprega a técnica de *broadcast* periódico para aumentar a escalabilidade. Em contraste com o CINAPS, MobiVoD não explora a largura de banda agregada de APs co-localizados, e sua avaliação se restringe a resultados para apenas um vídeo.

### 2.2. Consumo de Energia

Apesar de não existirem outros trabalhos que explorem o uso de APs co-localizados para a construção de sistemas de VoD escaláveis para dispositivos móveis, vários trabalhos atacam a questão do consumo de energia em aplicações de *streaming* de vídeo. Em particular, [Chandra and Vahdat 2002] foi o primeiro a propor o uso de transmissão em rajada (*burst*) para reduzir o consumo nas interfaces 802.11, através do modo *sleep*. Além da proposta, os autores demonstraram que a WNIC permaneceu ociosa durante mais de 56% do tempo, mesmo com fluxos de 2 Mbps, e que o modo de economia de energia do 802.11 era ineficiente para fluxos com taxa superior a 56 Kbps. Eles apresentaram também um estudo sobre o impacto de técnicas de redução de consumo em WNICs para diferentes formatos de *streaming* em estratégias baseadas no servidor (através de controle de tráfego) ou no cliente (através de previsão de intervalos ociosos). Entretanto, o trabalho [Wei et al. 2004] mostrou que estratégias baseadas no cliente que utilizam previsão linear alcançavam melhores resultados em relação a abordagem inicial, que considerava apenas a média. No entanto, [Korhonen and Wang 2005] argumentou que o uso do modo *burst* podia aumentar o congestionamento, propondo como solução a adoção de um esquema adaptativo com tamanho de rajada variável. Por outro lado, [Acquaviva et al. 2004] defendeu o uso de políticas de escalonamento e gerenciamento de *buffers* que exploram o modo *off*. Outra estratégia para redução de consumo é a aplicação de *transcoding* para diminuir o tempo em que a WNIC permanece em modo *receive*, empregada em trabalhos

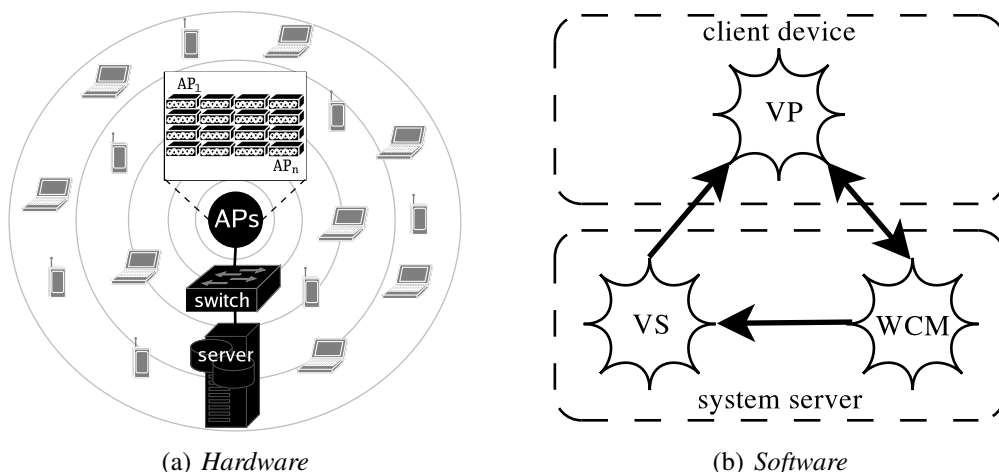


Figura 1. Componentes empregados no CINAPS

como [Mohapatra and Venkatasubramanian 2003] e [Tamai et al. 2004]. Entretanto, os trabalhos descritos não consideraram o potencial de economia decorrente da latência de serviço, analisado no presente trabalho em conjunto com o uso do modo *burst*.

### 3. CINAPS

Nesta seção é apresentada uma visão geral da arquitetura do sistema escalável de VoD para redes 802.11, denominado “*Cluster de Pontos de Acesso de Baixo Custo (Cluster of INexpensive Access PointS - CINAPS)*”, e uma breve descrição de seus componentes de *software*. Após, é descrito o modelo de consumo de energia das interfaces de rede sem fio (WNICs) no CINAPS, seguido de um detalhamento das técnicas de redução de consumo introduzidas na solução.

#### 3.1. Visão Geral

A Figura 1(a) mostra o diagrama, no que se refere a *hardware*, usado pelo CINAPS. Ele consiste de um *cluster* de APs 802.11 convencionais, posicionados de uma maneira colocalizada onde os APs ficam praticamente na mesma posição, permitindo que estes APs atendam a mesma área de cobertura através de canais não interferentes. No CINAPS, os APs são interconectados entre si e ao servidor de VoD por um comutador (*switch*) com uma matriz de comutação com vazão superior a vazão agregada dos APs. Em particular, a porta onde é conectado o servidor não deve representar um “gargalo” para os pacotes transmitidos por ele. Por exemplo, tendo em vista as limitações de vazão de cada canal das variantes do padrão 802.11 explorados neste trabalho (“a” e “g”), e o número máximo de canais não interferentes entre si proporcionados por elas, um *switch ethernet* com dezessete portas, sendo dezesseis *fast* e uma *gigabit* (na qual é ligado o servidor), mostra-se suficiente.

A operação do CINAPS envolve três componentes de *software* (Figura 1(b)), onde cada um é responsável por tarefas específicas, assim definidas:

**Video Server (VS).** É executado no servidor do sistema, atendendo as solicitações de criação de fluxos de vídeo como um servidor central (isto é, como o principal ponto de armazenagem de vídeos) ou como um servidor *proxy*, caracterizado anteriormente;

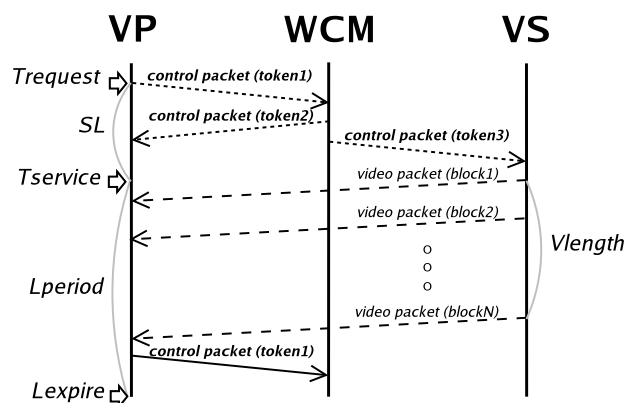


Figura 2. Protocolo usado no controle de associação

**Wireless Channel Manager (WCM).** É executado no servidor do sistema, sendo responsável por gerenciar o controle de associação, sinalizando aos clientes que efetuam requisições de vídeo o AP apropriado ao qual esses devem ser associados, de acordo com a disponibilidade de recursos;

**Video Player (VP).** É executado no dispositivo (estação) móvel do cliente (por exemplo: laptops, PDAs, telefones celulares de última geração, contendo interface WLAN 802.11), onde executa dois tipos de tarefas: relacionadas a vídeo (requisita, recebe e decodifica os vídeos) e relacionadas a reassociação (altera o AP ao qual o cliente está atualmente associado conforme a sinalização do WCM).

### 3.2. Procedimento de Controle de Associação

O procedimento de controle de associação segue o protocolo ilustrado na Figura 2. Toda vez que um cliente requisita um vídeo, o seu VP envia uma mensagem *token1* (*CID*, *VID*) para o WCM através de qualquer um dos APs, onde *CID* e *VID* são, respectivamente, o id do cliente e o id do vídeo. Dependendo da largura de banda disponível nos APs co-localizados, o WCM aceita ou rejeita a requisição. Note que, quando usada a heurística BERF, a aceitação pode ser com atendimento imediato, no caso de existirem recursos livres ( $T_{serviceCID} = T_{requestCID}$ ), ou com uma determinada latência de serviço limitada pelo fator de paciência.

Ao aceitar uma requisição, o WCM envia uma mensagem *token2* para o cliente *CID*, na forma (*CID*,  $T_{serviceCID}$ , *APID*), onde  $T_{serviceCID}$  é o tempo no qual largura de banda é efetivamente alocada para o cliente *CID*, e *APID* é o id do AP ao qual o *CID* deve ser associado. O WCM também solicita ao VS que inicie um novo fluxo do vídeo *VID* tendo como destino o cliente *CID* no tempo  $T_{serviceCID}$  através da mensagem *token3* (*CID*, *VID*,  $T_{serviceCID}$ ). Depois de receber o último pacote de vídeo, o cliente *CID* envia para o WCM uma mensagem *token1* com *VID*=*NULL*, apenas para confirmar a liberação da largura de banda. Por outro lado, quando a requisição é rejeitada, o WCM envia uma mensagem *token2* com  $T_{serviceCID}$ =*NULL* e *APID*=*NULL* para o cliente *CID* (ver [Pinho and Amorim 2006b] para maiores detalhes sobre a operação do WCM).

### 3.3. Modelo de Consumo de Energia

Para descrever o consumo de energia das WNICs, faz-se necessário apresentar inicialmente as variáveis principais do modelo simplificado do CINAPS, usando BERF, considerando vídeos CBR de mesma duração e taxa de consumo (em [Pinho and Amorim 2005, Pinho and Amorim 2006b] é apresentado o modelo completo):

**Video length** ( $V_{length}$ ). Representa a duração do vídeo em segundos;

**Video rate** ( $V_{rate}$ ). Referente a taxa de consumo do vídeo em Mbps;

**Request rate** ( $\lambda$ ). Indica a taxa média de requisições de vídeo por minuto;

**Patience factor** ( $PF$ ). Define o limite máximo em segundos que o cliente está disposto a esperar para ser atendido;

**AP throughput** ( $AP_{throughput}$ ). Identifica a vazão efetiva de cada AP em Mbps;

**AP total** ( $AP_{total}$ ). Representa o número de APs;

**Aggregate bandwidth** ( $AB$ ). Reflete a largura de banda agregada em Mbps, sendo esta função de  $AP_{throughput}$  e  $AP_{total}$ ;

**Average latency** ( $AL$ ). Referente a latência média de serviço em segundos experimentada pelos clientes com requisição aceita, sendo esta dependente de todas as variáveis supracitadas.

Além disso, convém definir os modos de operação nos quais a WNIC pode funcionar (o modo de transmissão foi omitido por não ser usado nesta aplicação):

**Receive**. Modo usado na recepção de pacotes;

**Idle**. Modo no qual a interface permanece enquanto não está transmitindo ou recebendo pacotes;

**Sleep**. Modo de baixo consumo de energia;

**Off**. Modo no qual a interface é desligada completamente.

Onde a relação de potência ( $P$ ) consumida entre os modos é:

$$P_{receive} > P_{idle} > P_{sleep} > P_{off} \quad (1)$$

Conforme dados extraídos da literatura [Chandra and Vahdat 2002] para uma interface Wavelan 2.4 GHz, o consumo aproximado dos modos é:  $P_{receive} = 1425$  mW,  $P_{idle} = 1319$  mW,  $P_{sleep} = 177$  mW e  $P_{off} = 0$  mW. Além disso, o *overhead* de tempo transcorrido durante a transição entre de modos *idle* e *sleep* ( $T_{switch}$ ) é de 250  $\mu$ s.

Com base nas variáveis do modelo do CINAPS e nos modos de operação das WNICs, pode-se dizer que o consumo total de energia é função do tempo em que a WNIC permanece em cada um dos modos e da potência correspondente. Devido às características de VoD<sup>2</sup>, sabe-se que o tempo em que a WNIC permanecerá em modo *receive* ( $T_{receive}$ ) é dado por:

$$T_{receive} = \frac{V_{rate}}{AP_{throughput}} * V_{length} \quad (2)$$

---

<sup>2</sup>Através de “*streaming*”, embora explorando o envio de blocos de vídeo em rajada (*burst*), limitado à vazão máxima dos APs.

Sendo assim, a oportunidade para redução de consumo, considerando o período compreendido entre a requisição do vídeo e a recepção do último bloco de vídeo, se restringe ao tempo restante ( $T_{idle}$ ), no qual a interface ficaria em modo *idle* caso nenhuma estratégia de redução fosse empreendida, dado por:

$$T_{idle} = V_{length} - T_{receive} \quad (3)$$

Considerando o uso do modo *sleep* para economia de energia (neste trabalho não é explorado o desligamento da interface), é necessário computar o *overhead* na transição entre os modos *idle* e *sleep*. Deste modo, o tempo no qual a interface efetivamente permanece em modo *sleep* ( $T_{sleep}$ ) é dado por:

$$T_{sleep} = T_{idle} - (\beta * V_{length} * T_{switch} * 2) \quad (4)$$

onde  $\beta$  é a *taxa de bursty*, que define o número de vezes por segundo que a WNIC chaveia entre os modos *idle* e *sleep*.

Para ilustrar esta questão, pode-se usar como exemplo um cenário onde  $V_{rate} = 1$  Mbps e pacotes de 1 KBytes (equivalente a 8 Kbits) enviados de forma intercalada. Como o fluxo de vídeo exige a transmissão de 128 pacotes por segundo, se após cada pacote recebido o cliente chavear para o modo *sleep*,  $\beta$  será igual 128. Ou seja, a cada segundo o *overhead* de transição chega a 6,4% do tempo total.

Por outro lado, caso não sejam utilizadas estratégias de redução de consumo, o uso da heurística BERF tende a contribuir para o aumento no tempo de atividade da WNIC. Isto se deve ao intervalo compreendido entre a solicitação do vídeo e o estabelecimento do fluxo que surge quando uma requisição é aceita com latência de serviço maior que zero, intervalo no qual a interface fica ociosa aguardando o escalonamento do fluxo.

Em virtude do modelo apresentado, o consumo médio de energia ( $P_{total}$ ) nas WNICs dos clientes do CINAPS pode ser computado com a seguinte fórmula:

$$P_{total} = P_{BS} + P_{AS} \quad (5)$$

Onde  $P_{BS}$  (*before scheduled*) é a potência consumida antes de escalonado e  $P_{AS}$  (*after scheduled*) é a potência consumida depois de escalonado. Desconsiderando o uso do modo *sleep*,  $P_{BS_{normal}}$  é o resultado do produto de  $AL$  por  $P_{idle}$  e  $P_{AS_{normal}}$  é o resultado da soma do produto de  $T_{receive}$  por  $P_{receive}$  com o produto de  $T_{idle} * P_{idle}$ .

Na subseção seguinte ver-se-á o impacto das técnicas de redução na formalização de  $P_{BS}$  e  $P_{AS}$ .

### 3.4. Técnicas para Redução de Consumo

A versão *Power-aware* do CINAPS adota duas técnicas de redução de consumo de energia: *delayed reassociation* e *bursty transmission*.

A técnica *delayed reassociation* explora o espaço aberto pelo uso da heurística BERF, relacionado ao intervalo compreendido entre a solicitação do vídeo e o estabelecimento do fluxo. Através desta técnica, quando a requisição é aceita com latência de

serviço maior que zero, a WNIC é colocada em modo *sleep* e o processo de reassociação ao AP sinalizado pelo WCM é postergado para um momento próximo ao escalonamento do fluxo. Assim,  $P_{BS_{delayed}}$  é calculada com a seguinte fórmula:

$$P_{BS_{delayed}} = (AL - (T_{switch} * 2)) * P_{sleep} \quad (6)$$

A técnica *bursty transmission* visa diminuir o *overhead* de transição de modos através do envio de rajadas de pacotes pelo servidor, também chamado de controle de tráfego (*traffic shaping*). O tamanho da rajada depende diretamente da taxa do vídeo, do tamanho do pacote e de  $\beta$ . Retomando o exemplo usado para ilustrar  $\beta$ , pode-se notar que o tamanho da rajada é igual a um pacote para  $\beta = 128$ . Logo, se  $\beta$  fosse fixado em um, o tamanho da rajada mudaria para 128 pacotes, o que, conforme a Equação 4, aumentaria significativamente o tempo em modo *sleep*. Desta forma, com *bursty transmission* a  $P_{AS_{bursty}}$  é calculada da seguinte forma:

$$P_{AS_{bursty}} = P_{AS_{normal}} - ((P_{idle} - P_{sleep}) * T_{sleep}) \quad (7)$$

### 3.5. Níveis de Otimização do *Power-aware* CINAPS

Em virtude das técnicas descritas acima, o *Power-aware* CINAPS é capaz de operar com quatro diferentes combinações destas, traduzidas nos seguintes níveis de otimização de consumo:

**Nível 0.** Nível mais baixo, no qual nenhuma otimização é feita, de modo que  $P_{total} = P_{BS_{normal}} + P_{AS_{normal}}$ ;

**Nível 1.** Nível onde é empregada apenas a técnica *delayed reassociation*, de modo que  $P_{total} = P_{BS_{delayed}} + P_{AS_{normal}}$ ;

**Nível 2.** Nível que adota apenas a técnica *bursty transmission*, de modo que  $P_{total} = P_{BS_{normal}} + P_{AS_{bursty}}$ ;

**Nível 3.** Nível mais alto, no qual as duas técnicas são empregadas em conjunto, de modo que  $P_{total} = P_{BS_{delayed}} + P_{AS_{bursty}}$ .

## 4. Análise Experimental

Nesta seção é apresentado inicialmente o cenário de simulação usado como base para a análise de desempenho das otimizações de consumo de energia do CINAPS, seguido dos resultados obtidos para os quatro níveis usando diferentes taxas de *bursty* ( $\beta$ ).

### 4.1. Cenário de Simulação

Para a avaliação preliminar do CINAPS foi construída uma ferramenta de simulação de eventos discretos. Nesta avaliação, considerou-se um cenário onde milhares de clientes potenciais de vídeo possuem dispositivos móveis, estando eles distribuídos por uma área (200x200 metros) inteiramente coberta pelos APs co-localizados. Por exemplo, este cenário pode representar eventos esportivos em estádios, *hotspots* em aeroportos, centros de conferência ou de exposições, entre outros. Além disso, assumiu-se que a taxa de requisições de clientes segue um processo de Poisson com  $\lambda$  e a escolha dos vídeos segue uma distribuição de Zipf com  $\alpha = 0,7$  (veja [Pinho and Amorim 2005] para outras premissas assumidas na simulação).



**Tabela 1. Parâmetros da Simulação**

Parâmetro	Padrão	Variação
Tempo de Simulação ( $TS$ ) (s)	3600	N/A
Número de APs ( $AP_{total}$ ) (un.)	16	1-16
Vazão dos APs ( $AP_{throughput}$ ) (Mbps)	30	N/A
Duração dos Vídeos ( $V_{length}$ ) (s)	1200	60-1200
Taxa dos Vídeos ( $V_{rate}$ ) (Mbps)	1	N/A
Número de Vídeos ( $V_{total}$ ) (un.)	100	N/A
Taxa de Requisições ( $\lambda$ ) (req/min)	60	1-60

## 4.2. Experimentos Base

Esta subseção apresenta os resultados de desempenho do CINAPS coletados dentro do contexto exposto acima. Todas as figuras indicam a média aritmética com intervalo de confiança de 95% (representado nos gráficos através de barras de erros) calculada a partir de dez iterações usando diferentes sementes para diferentes combinações dos parâmetros relacionados na Tabela 1 (lembrando que enquanto um parâmetro é variado por curva, os demais são fixados nos seus valores máximos), variando também o fator de paciência dos clientes de acordo com as seguintes categorias qualitativas:

**Pouco paciente.** Cliente aceita uma latência de serviço equivalente a 10% da duração do vídeo ( $V_{length}/10$ );

**Paciente.** Cliente aceita uma latência de serviço equivalente a 25% da duração do vídeo ( $V_{length}/4$ );

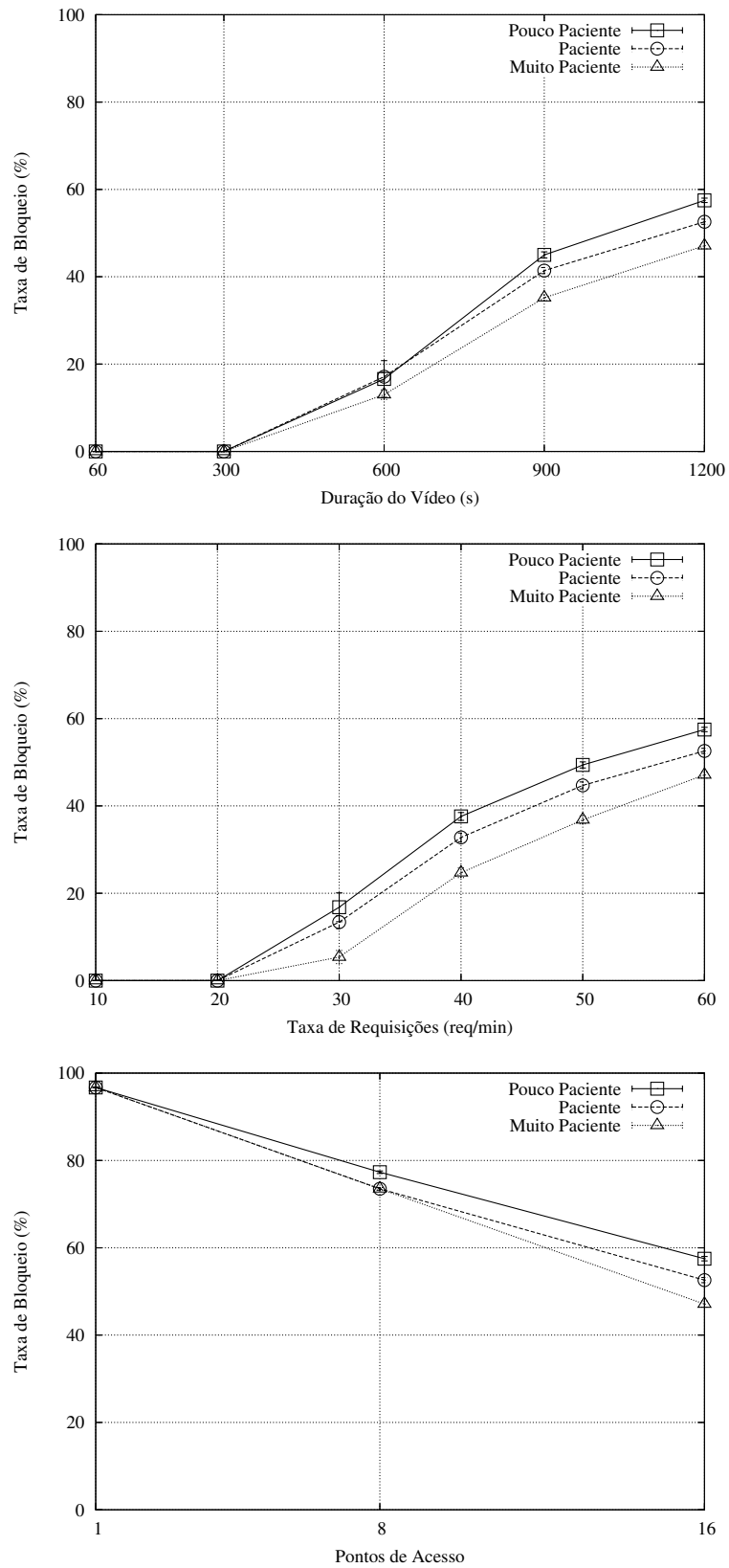
**Muito paciente.** Cliente aceita uma latência de serviço equivalente a 50% da duração do vídeo ( $V_{length}/2$ );

Além de assumir tráfego restrito à aplicação de VoD, este trabalho concentra-se na análise do sistema para vídeos de mesma duração e taxa, variando entre um e vinte minutos, os quais imagina-se que serão mais populares em ambientes com dispositivos móveis. Devido a isso, convém mencionar que o desempenho seria o mesmo no caso de haver apenas um vídeo a disposição dos clientes.

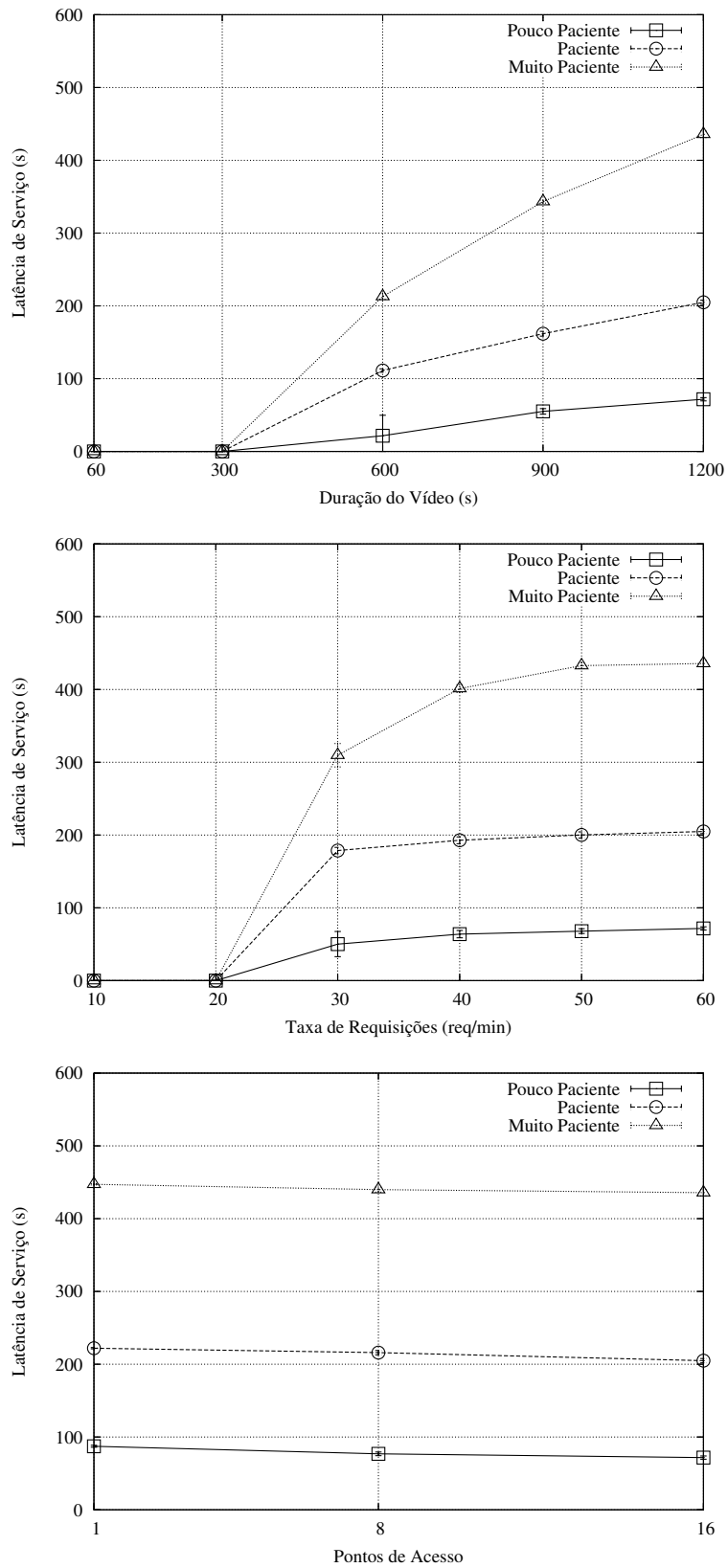
As Figuras 3 e 4 ilustram o desempenho do CINAPS usando a heurística BERF. Em particular, resumem a influência das principais variáveis do modelo no percentual de requisições bloqueadas e na latência média de serviço (ver [Pinho and Amorim 2006b] para uma análise detalhada do impacto das variáveis no desempenho). Cabe ressaltar que a latência média de serviço tende a se aproximar do fator de paciência nos casos onde a taxa de bloqueio é maior que zero, o que, para vídeos longos, ocorre tanto para 1 como para 16 APs. Conforme descrito anteriormente, esta métrica impacta diretamente no consumo de energia, como será mostrado à frente.

## 4.3. Resultados de Consumo de Energia

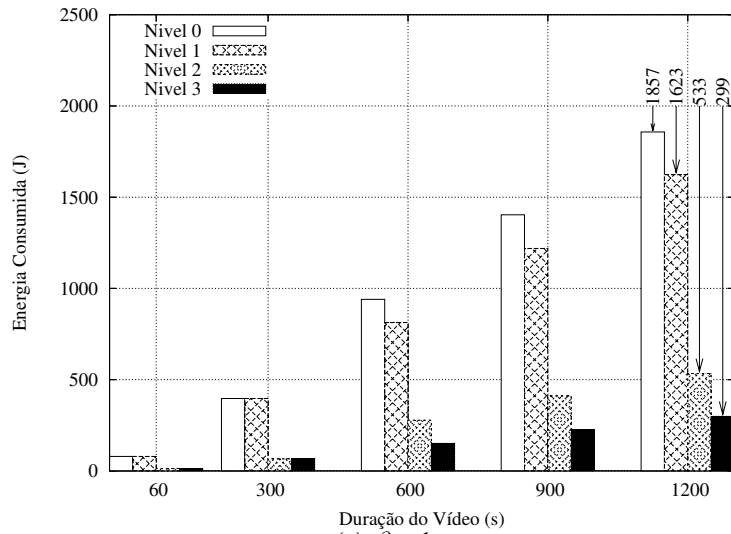
Nesta subseção é analisado o consumo médio de energia ( $P_{total}$ ), medido em Joules, tomando como base os resultados obtidos com a categoria “Clientes pacientes”, isto é, com fator de paciência igual a um quarto da duração do vídeo, usando o número máximo de APs.



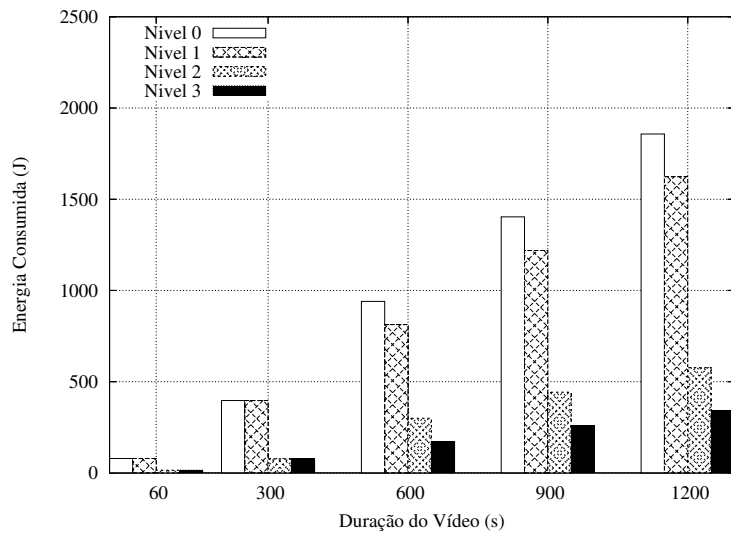
**Figura 3. Influência do fator de paciência na taxa de bloqueio de acordo com a duração do vídeo ( $V_{length}$ ), taxa de requisições ( $\lambda$ ) e número de pontos de acesso ( $AP_{total}$ )**



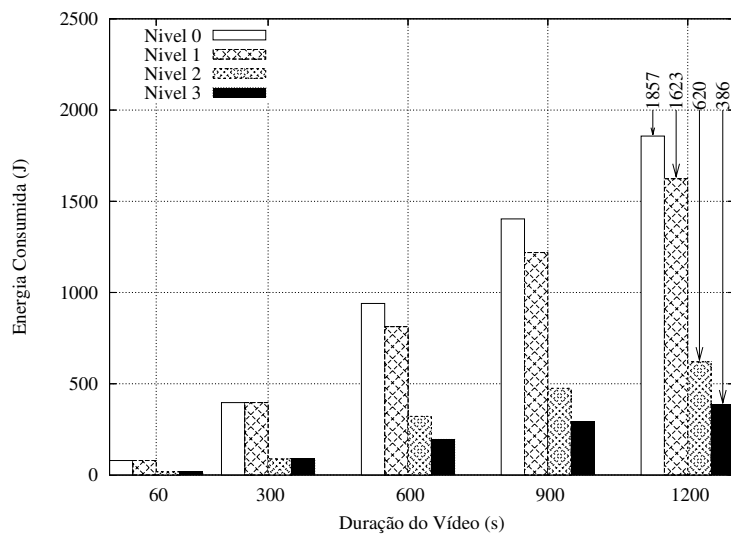
**Figura 4. Influência do fator de paciência na latência média de serviço de acordo com a duração do vídeo ( $V_{length}$ ), taxa de requisições ( $\lambda$ ) e número de pontos de acesso ( $AP_{total}$ )**



(a)  $\beta = 1$

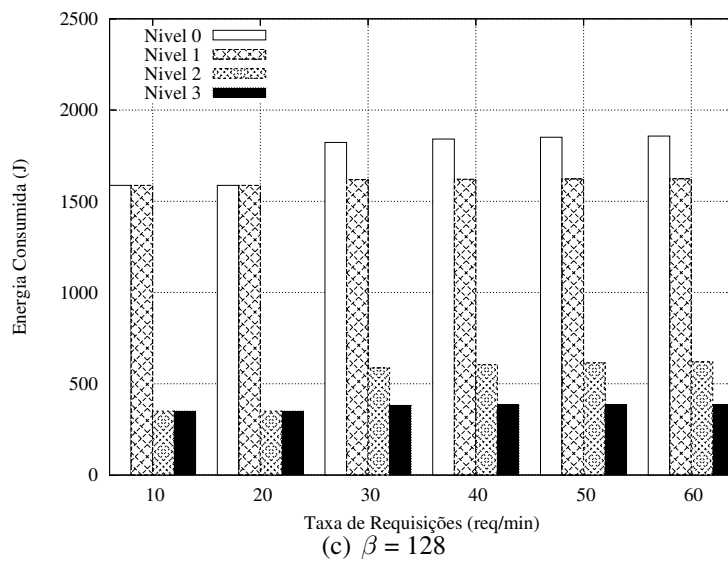
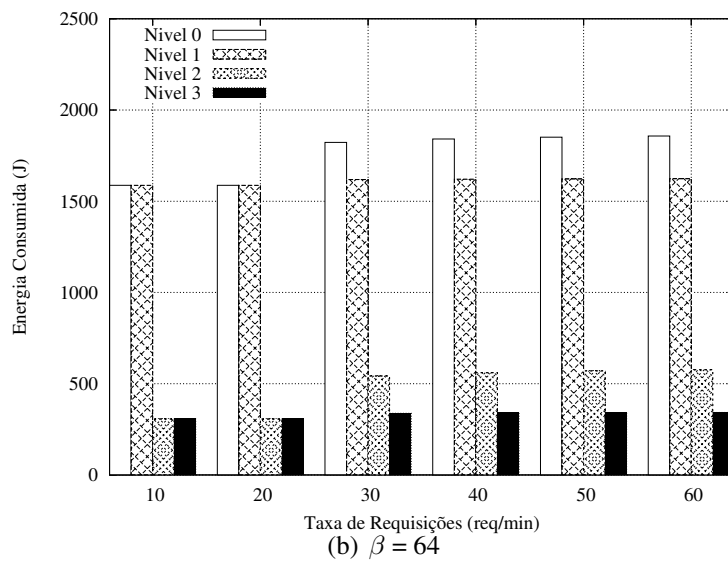
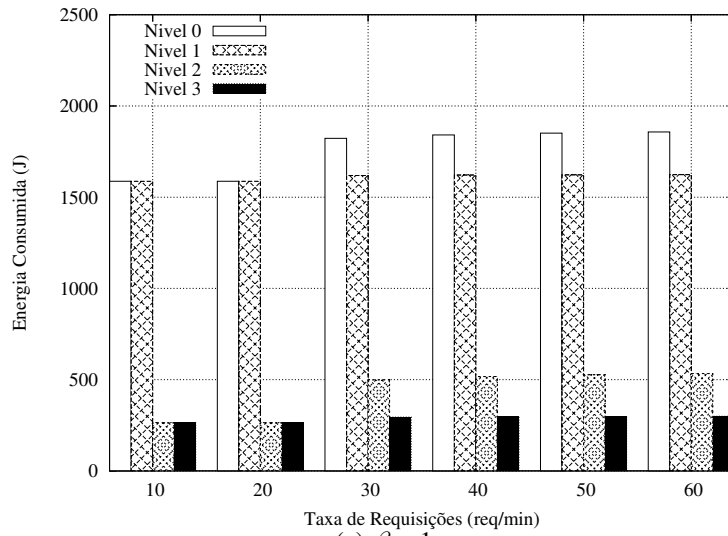


(b)  $\beta = 64$



(c)  $\beta = 128$

Figura 5. Influência da duração do vídeo ( $V_{length}$ ) e da taxa de *bursty* ( $\beta$ ) no Consumo Médio de Energia ( $P_{total}$ )



**Figura 6. Influência da taxa de requisições ( $\lambda$ ) e da taxa de *bursty* ( $\beta$ ) no Consumo Médio de Energia ( $P_{total}$ )**

As Figuras 5 e 6 apresentam o impacto da duração do vídeo ( $V_{length}$ ) e da taxa de requisições ( $\lambda$ ), respectivamente, no consumo de energia nos quatro níveis de otimização, utilizando três taxas de *bursty* ( $\beta$ ): 1, 64 e 128.

Na Figura 5 pode-se verificar que, para  $V_{length} \leq 300$  segundos, não existe a necessidade de aceitar requisições para uso futuro de canais pois sempre existem recursos para atendê-las imediatamente. No entanto, para  $V_{length} \geq 600$ , passam a ocorrer períodos de ocupação total da largura de banda agregada, obrigando o WCM a aceitar requisições com latência de serviço variando entre zero e o valor do fator de paciência (PF). Já que o PF é igual a 1/4 de  $V_{length}$ , este cresce linearmente com a duração dos vídeos, o que implica também no crescimento da oportunidade para aceitação de requisições em momentos de escassez de largura de banda. Isto explica o motivo pelo qual o impacto da técnica *delayed reassociation* aumenta conforme a duração do vídeo.

Na Figura 6 observa-se que  $\lambda$  influencia nos Níveis 0 e 2 de otimização, ou seja, aqueles que são afetados pelo aumento no tempo *idle* causado pela exploração do PF. Excluindo as taxas onde a largura de banda agregada é suficiente para atender imediatamente as requisições ( $\lambda \leq 20$ ), este comportamento ocorre porque conforme aumenta  $\lambda$ , aumenta o percentual de requisições atendidas com latência de serviço maior que zero (69,5% para  $\lambda = 30$  e 72,1% para  $\lambda = 60$ ), muitas vezes com valor próximo ao do PF.

Como mostrado anteriormente no exemplo utilizado para ilustrar  $\beta$ , pode-se verificar uma redução próxima a 4,7% (em relação ao consumo verificado com o Nível 0) no consumo de energia quando o seu valor foi diminuído de 128 (onde não ocorre envio de rajadas) para 1 (maior rajada possível considerando uma latência máxima de um segundo). Isto ocorre porque a técnica *bursty transmission* tem como objetivo diminuir o *overhead* de transição de modos, o qual responde por cerca de 6,4% do consumo no Nível 0. Quando ocorrem poucas transições (por exemplo, uma por segundo no caso de  $\beta$  igual a um), este *overhead* deixa de ser significativo e a energia consumida se aproxima do valor mínimo que pode ser atingido explorando o modo *sleep*. Uma alternativa a considerar seria o uso do modo *off*, onde o limite mínimo passaria a ser o gasto no modo *receive*, mas esta está fora do escopo deste trabalho.

Analisando o caso onde as otimizações são mais efetivas (todos os parâmetros da Tabela 1 com seus valores máximos), nota-se pelos valores indicados nas Figuras 5(a) e 5(c) ( $V_{length} = 1200$ ), referentes à menor e à maior taxa de *bursty* medidas, que a técnica *delayed reassociation* proporciona uma redução de até 12,6% no consumo de energia (Nível 1), enquanto que *bursty transmission* possibilita uma diminuição de 66,6% com  $\beta = 128$  e 71,3% com  $\beta = 1$  (Nível 2). Assim sendo, aplicando-as em conjunto (Nível 3), obteve-se uma redução total de aproximadamente 84% com  $\beta = 1$ .

#### 4.4. Discussão

Embora a análise tenha sido realizada no contexto do CINAPS, cabe salientar que as técnicas não se restringem a arquiteturas com pontos de acesso co-localizados. Em particular, a técnica *delayed reassociation* será eficaz em qualquer sistema onde a latência de serviço seja significativa (algo que ocorre em diversos projetos de sistemas de VoD, especialmente nos baseados em técnicas de *broadcast* periódico). Por outro lado, a técnica *bursty transmission* será útil em aplicações onde as fontes de tráfego possam ser gerenciadas globalmente, o que é uma constante em sistemas VoD, sejam eles para LANs ou

WANs, cabeadas ou sem fio.

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi apresentado um estudo sobre consumo de energia na versão *Power-aware* do CINAPS (*Cluster of Inexpensive Access Points*), um sistema escalável de VoD para dispositivos móveis baseado na utilização de pontos de acesso 802.11x co-localizados. Nesta versão, o projeto original do CINAPS foi estendido para prover suporte à técnicas de redução de consumo de energia das interfaces de rede dos dispositivos (WNIC), denominadas *delayed reassociation* e *bursty transmission*. Na avaliação de desempenho realizada utilizando a heurística de controle de associação BERF, que permite alocação futura de canais para atender requisições de vídeo em momentos de escassez de recursos, 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 até a 84% de redução em relação ao nível sem otimizações.

Atualmente, além da questão do consumo de energia, esforços estão sendo feitos para a avaliação de desempenho do CINAPS considerando outros três quesitos: suporte à ambientes compostos por dispositivos móveis com interfaces 802.11 heterogêneas; suporte ao mecanismo *automatic fallback rate*; e emprego de técnicas de reuso de fluxo. Voltando a questão do consumo de energia, pretende-se incorporar e avaliar mecanismos no CINAPS que considerem o residual de bateria nos processos de admissão de requisições, sob dois aspectos: (i) pontos de acesso com diferentes de *taxa de bursty* ( $\beta$ ), incluindo valores menores do que um - que influenciam na latência e nos mecanismos de controle de liberação de canais - e (ii) diferentes versões do mesmo vídeo - onde o cliente só teria sua solicitação aceita se houvesse uma versão do vídeo cuja demanda de energia para recebimento e exibição fosse inferior ao resíduo de carga da bateria do seu dispositivo móvel.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao grupo de pesquisadores do Laboratório de Computação Paralela (<http://www.lcp.coppe.ufrj.br>), especialmente ao grupo de multimídia, por sua colaboração no desenvolvimento deste trabalho, e às agências brasileiras de apoio à pesquisa e desenvolvimento - CAPES, CNPq e FINEP - por seu suporte financeiro.

## Referências

- Acquaviva, A., Lattanzi, E., and Bogliolo, A. (2004). Design and Simulation of Power-Aware Scheduling Strategies of Streaming Data in Wireless LANs. In *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, pages 39–46, Venezia, Italy.
- Chandra, S. and Vahdat, A. (2002). Application-specific network management for energy-aware streaming of popular multimedia formats. In *Proceedings of the USENIX Annual Technical Conference*, pages 329–342, Monterey, USA.
- Ishikawa, E. and Amorim, C. L. (2001). Memória Cooperativa Distribuída para Sistemas de VoD Peer-to-Peer. In *Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Computer Networks (SBRC)*, pages 822–837, Florianópolis, Brazil.

- Ishikawa, E. and Amorim, C. L. (2003). Collapsed Cooperative Video Cache for Content Distribution Networks. In *Proceedings of the 21th Brazilian Symposium on Computer Networks (SBRC)*, pages 249–264, Natal, Brazil.
- Korhonen, J. and Wang, Y. (2005). Power-efficient streaming for mobile terminals. In *Proceedings of the ACM 15th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV)*, pages 39–44, Stevenson, USA.
- Mohapatra, S. and Venkatasubramanian, N. (2003). Proactive energy-aware video streaming to mobile handheld devices. In *Proceedings of the IEEE 5th Mobile and Wireless Communication Networks (MWCN)*, Singapore.
- 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., Vaneschi, 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. (2005). 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, 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)*, Mauritius Island. IEEE Computer Society Press. (to appear).
- 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, Vitória, 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.
- Tamai, M., Sun, T., Yasumoto, K., Shibata, N., and Ito, M. (2004). Energy-aware video streaming with qos control for portable computing devices. In *Proceedings of the ACM 14th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV)*, pages 68–73, Cork, Ireland.
- Tran, D. A., Le, M., and Hua, K. A. (2004). MobiVoD: A Video-on-Demand System Design for Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)*, pages 212–223, Berkeley, CA.
- Wei, Y., Chandra, S., and Bhandarkar, S. (2004). A statistical prediction-based scheme for energy aware multimedia data streaming. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 2053–2057, Atlanta, USA.