

# Um Novo Mecanismo de Acesso ao Meio para o Padrão HomePNA

Aurelio Amodei Jr. , Luís Henrique M. K. Costa , Otto Carlos M. B. Duarte\*

<sup>1</sup>Grupo de Teleinformática e Automação  
COPPE/Poli - Programa de Engenharia Elétrica  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Caixa Postal 68504 - CEP: 21945-970  
Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
<http://www.gta.ufrj.br>

{aurelio, luish, otto}@gta.ufrj.br

**Resumo.** Este artigo apresenta um novo mecanismo acesso ao meio para os padrões HomePNA v2 e v3, que utiliza uma técnica de agregação de prioridades para evitar colisões e aumentar a vazão desses protocolos. Para isso, foi feita a análise de desempenho desses padrões utilizando o simulador de redes ns-2. O mecanismo proposto também foi implementado no simulador, e os resultados obtidos mostram que este mecanismo é capaz de obter ganhos de até 44% na vazão da rede para o HomePNAv2, e de até 36% para o HomePNAv3. Além disso, foi feita uma comparação entre os dois padrões utilizando o mecanismo proposto neste artigo.

**Abstract.** In this paper we propose a new medium access mechanism for the HomePNAv2 and v3 standards. This mechanism uses a priority aggregation mechanism to avoid collisions, increasing these protocols throughput. First, we analyze the throughput of the two protocols using the ns-2 network simulator. Then, we also implement the proposed mechanism in the simulator. Results show that the proposed mechanism is able to increase the throughput up to 44% for the HomePNA v2, and 36% for the HomePNAv3. Moreover, we also compare the use of the proposed mechanism with these two standards.

## 1. Introdução

Uma rede domiciliar tem como objetivo fazer a interconexão dos computadores e dispositivos de rede dentro de nossos lares, fornecendo, entre outros serviços, compartilhamento de acesso à Internet e de recursos como impressoras e *scanners* [Velloso et al., 2004]. Uma forma possível de implementar uma rede domiciliar, sem utilizar novos fios, é reutilizar a fiação telefônica. Esse tipo de rede de dados foi padronizado na norma HomePNA [HomePNA, 2003] [Home Phoneline Network Alliance, 1999].

Neste trabalho, são abordadas as versões 2 e 3 do padrão HomePNA. O HomePNAv2 possui taxas de transmissão de até 32 Mbps e um método de acesso ao meio baseado no CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), utilizado no padrão de redes locais IEEE 802.3 (Ethernet). Este padrão foi utilizado como base para as recomendações G.989.1 [ITU-T, 2001a], G.989.2 [ITU-T, 2001b] e G.989.3 [ITU-T, 2003a], que estão disponíveis publicamente. Baseado na segunda

---

\*Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES, FAPERJ, FINEP, RNP e FUNTTEL.

versão [Frank e Holloway, 2000], foi criado o HomePNAv3, que possui 2 modos na camada MAC (*Medium Access Control*), o modo síncrono (*Synchronous MAC - SMAC*) e o assíncrono (*Asynchronous MAC - AMAC*) [Sterenson, 2003] [ITU-T, 2003c]. O HomePNAv3 possui taxas de transmissão de até 128 Mbps, com possível extensão para até 240 Mbps no modo SMAC [ITU-T, 2003b]. Será abordado neste artigo o protocolo AMAC do HomePNAv3, que se baseia no HomePNAv2, com algumas modificações para melhorar o seu desempenho.

Alguns trabalhos estudam a camada física do HomePNA. Em [Bisaglia et al., 2002], é apresentada uma modelagem do canal para o HomePNA, e uma análise da sua camada física. Em [Bisaglia e Castle, 2001a] e [Bisaglia e Castle, 2001b], Bisaglia e Castle analisam arquiteturas de um receptor HomePNA e técnicas de equalização. Em relação à subcamada MAC que é o foco principal deste trabalho, Chung *et al.* [Chung et al., 2003] apresentam uma análise matemática da vazão de saturação do HomePNAv2. Esse trabalho faz uma análise do número médio de colisões em função do número de nós na rede. A vazão de saturação é definida como a vazão agregada da rede para um dado número de nós quando todos os nós transmitem quadros um após o outro, ininterruptamente. Esta é a mesma abordagem utilizada nesta tese. Kim *et al.* [Kim et al., 2004] fazem uma análise similar para o modo assíncrono do HomePNAv3, apresentando o mecanismo de gerenciamento de colisões utilizado por este padrão. Em [Amodei Jr. et al., 2004b], é apresentada uma análise matemática, e também por simulação, da vazão de saturação do HomePNAv2. Em [Kangude et al., 2003] é apresentada uma análise do protocolo MAC do HomePNAv2 e do seu mecanismo de resolução de colisão. Eles mostram que o número de *slots* da resolução de colisão definido pelo padrão não é ótimo em alguns casos. É sugerido então que esse número seja aumentado para melhorar a eficiência da rede, de acordo com a sua carga.

Entre os trabalhos relacionados apresentados, a maior parte se detém em análises do desempenho do HomePNA, e comparações dos resultados apresentados com resultados reais ou de simulação. Apenas Kangude *et al.* [Kangude et al., 2003] apresentou uma proposta para melhorar o desempenho da rede.

Neste trabalho é proposto um novo mecanismo de acesso ao meio para a subcamada MAC dos padrões HomePNAv2 e HomePNAv3. Este mecanismo faz a agregação de alguns *slots* de prioridades mais altas, fazendo com que os quadros de maior prioridade escolham um desses *slots* aleatoriamente. Com isso, consegue-se diminuir o número de colisões na prioridade mais alta e, conseqüentemente, aumentar a vazão agregada da rede. Para analisar o desempenho da rede, foi utilizado o simulador de redes *ns-2* (*Network Simulator 2*) [Fall e Varadhan, 2002], onde foram implementados os protocolos originais e o mecanismo proposto. Dessa forma, fez-se então uma comparação entre os resultados obtidos para os dois padrões com a utilização desse novo mecanismo.

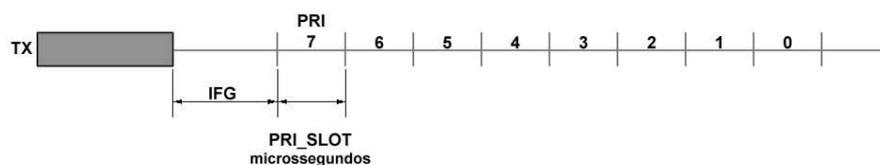
Este trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 descreve o funcionamento dos padrões HomePNA v2 e v3. Na Seção 3 faz-se uma análise da vazão do HomePNAv2 e HomePNA v3 AMAC. O mecanismo proposto é apresentado na Seção 4, e a Seção 5 apresenta os resultados das simulações. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões deste trabalho.

## **2. O Padrão HomePNAv2**

O HomePNAv2 baseia-se no método CSMA/CD para o controle de acesso ao meio. Ao protocolo de acesso ao meio do HomePNAv2 foi acrescentado um mecanismo de prioridade para dar suporte à qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*). Este mecanismo possui oito níveis de prioridade de acesso ao meio. Assim, diferentes tipos de tráfego

podem ser rotulados com diferentes prioridades que variam de 0 a 7, sendo 7 a maior prioridade. Com base na prioridade de cada quadro, sua transmissão é feita no intervalo de tempo (*slot*) correspondente, após o espaçamento obrigatório ao final de cada quadro (*Inter-Frame Gap* - IFG), de  $29 \mu s$ .

Como mostra a Figura 1, os intervalos de tempo são ordenados em ordem decrescente de prioridade. Desta forma, estações com fluxos de maior prioridade começam a transmitir mais cedo, sem competir com o tráfego de menor prioridade. Esse esquema é similar à alguns esquemas de prioridade utilizados em redes *ad hoc* IEEE 802.11 [Rubinstein e Rezende, 2003]. A duração de cada intervalo de tempo de prioridade, PRI\_SLOT, é de  $21 \mu s$ . As estações devem transmitir no início de um *slot* de prioridade igual ou menor que a prioridade do quadro sendo transmitido. Após o *slot* 0, os quadros transmitidos são considerados de prioridade 0.



**Figura 1: Slots de prioridade no HomePNAv2.**

Estações que tenham quadros para transmitir devem monitorar a portadora e adiar o uso do canal caso seja detectada a portadora antes do início do intervalo de tempo relativo à prioridade da estação. Caso isto ocorra e outra estação controle o meio antes do início da transmissão, a contagem dos intervalos de tempo deve ser reiniciada.

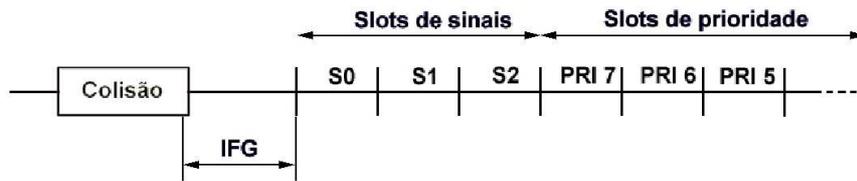
Todas as estações monitoram o meio para detectar colisões entre transmissões de outras estações. Estações podem detectar uma colisão a partir da duração da transmissão. Enquanto a duração mínima de um quadro válido é de  $92,5 \mu s$ , uma estação que detecte a colisão de seu quadro deve parar a transmissão em até  $70 \mu s$  após o seu início [Frank e Holloway, 2000]. Por outro lado, a duração máxima de um quadro não pode ultrapassar  $3122 \mu s$ . Transmissões muito curtas, ou muito longas, são consideradas como colisões por estações monitorando a rede.

Caso haja uma colisão, as estações iniciam um procedimento distribuído de resolução de colisão chamado *Distributed Fair Priority Queuing* (DFPQ) [Frank e Holloway, 2000]. Após a execução do algoritmo, as estações envolvidas na colisão são organizadas em níveis de *backoff* (*Backoff Level* - BL), que indicam a ordem em que as estações vão transmitir. A saída esperada do procedimento é que apenas uma estação esteja no nível 0, acessando o meio. Após uma transmissão, todas as outras estações decrementam seu BL para que uma nova estação no nível 0 assuma o controle do meio.

Todas as estações, mesmo as que não estão esperando para transmitir, devem monitorar o meio para ter conhecimento do nível de *backoff* máximo (*Maximum Backoff Level* - MBL) atual. Desta forma, estações que não estavam envolvidas na colisão original podem saber quando todas as estações envolvidas na colisão já transmitiram seus quadros. Estas estações só podem transmitir após todas as estações envolvidas na colisão terem transmitido.

Como mostra a Figura 2, após uma colisão, são utilizados três *slots* especiais de sinalização (S0 a S2) antes dos intervalos de tempo de prioridade. Os contadores de BL são determinados através destes *slots* de sinalização. Os intervalos de tempo de

sinalização têm a duração de  $32 \mu s$  e só são usados após uma colisão, nunca após uma transmissão bem sucedida.

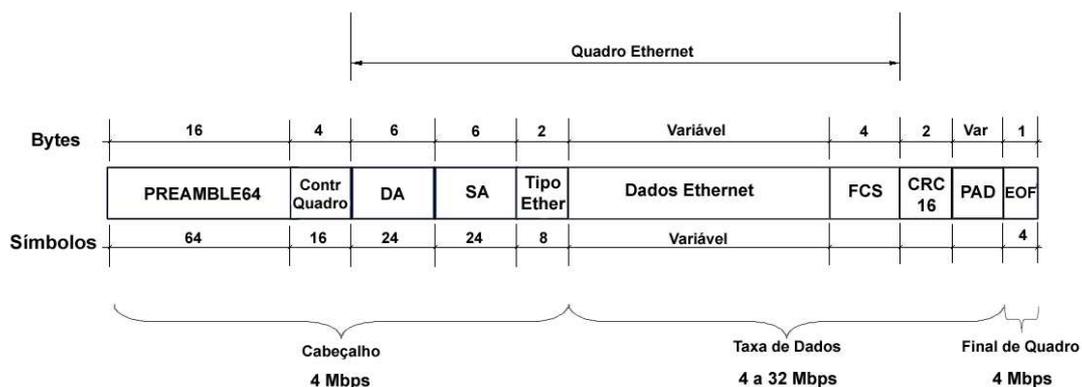


**Figura 2: Sinalização após uma colisão no HomePNAv2.**

Cada estação participando da resolução de colisão escolhe aleatoriamente um dos três intervalos de tempo de sinalização para transmitir o sinal de *backoff* que determinará os BLs. Estações participando da resolução de colisão incrementam seu BL ao receberem um sinal de *backoff* em um intervalo de tempo de sinalização anterior ao escolhido pela estação. As estações com BL 0 iniciam suas transmissões no intervalo de tempo correspondente à sua prioridade, logo após os intervalos de tempo de sinalização, e colidem novamente, até que haja somente uma estação com BL 0. O contador MBL é incrementado a cada sinal de *backoff* recebido e decrementado a cada transmissão bem sucedida [ITU-T, 2001a]. Desta forma, enquanto a resolução de colisão estiver ocorrendo, o MBL será diferente de zero.

Para canais com boa resposta pode ser usada uma taxa de símbolos de 4 Mbaud, que utiliza a modulação adaptativa de amplitude em quadratura (*Adaptive Quadrature Amplitude Modulation - AQAM*) [Bisaglia e Castle, 2001b]. Esta técnica possibilita variar a codificação de 2 a 8 bits por símbolo, oferecendo transmissões a até 32 Mbps. A taxa básica de símbolos, no entanto, é de 2 Mbaud, e permite a transmissão de dados a taxas entre 4 e 16 Mbps. Quando o sistema opera a 2 Mbaud, é utilizada uma técnica mais robusta chamada de *Frequency Diverse QAM (FDQAM)* [Bisaglia e Castle, 2001b].

Apesar de se poder atingir taxas de transmissões de até 32 Mbps, como o meio está sujeito a muitos ruídos e interferências, pode-se utilizar taxas mais baixas para garantir uma maior imunidade a estes ruídos e interferências. Além disso, também utiliza-se uma taxa de transmissão básica de 4 Mbps para os campos de cabeçalho e final de quadro. Somente o campo da carga útil de dados é transmitida na taxa nominal, que pode ser de até 32 Mbps. Isso acarreta uma perda de eficiência, mas garante a maior robustez do sistema.



**Figura 3: Quadro do HomePNAv2.**

Na Figura 3 [Frank e Holloway, 2000] é representado o quadro MAC HomeP-

NAv2. Este consiste de um preâmbulo de 16 bytes, um campo de controle de quadro (*Frame Control* - FC) de 4 bytes, um campo correspondente ao quadro Ethernet, o campo de CRC de 2 bytes, o campo de enchimento (PAD) de tamanho variável e o campo EOF de 1 byte. Na figura são representados os campos que são transmitidos na taxa básica, de 4 Mbps, e o campo de carga útil, que é transmitido na taxa nominal. O campo de enchimento é utilizado apenas para taxas mais altas, para que o tempo mínimo de transmissão do quadro completo seja de pelo menos 92,5  $\mu$ s, como definido pela especificação.

## 2.1. HomePNAv3

O padrão HomePNAv3 possui dois modos de operação diferentes na camada MAC, o síncrono (SMAC) e o assíncrono (AMAC). Enquanto o padrão antigo só chegava a uma taxa de transmissão de 32 Mbps, o HomePNAv3 é capaz de atingir taxas de transmissão de até 128 Mbps, com possível extensão para 240 Mbps no modo SMAC [ITU-T, 2003b].

O modo síncrono foi criado para oferecer uma qualidade de serviço determinística, que não é garantida pelo HomePNAv2. Para isso, o modo SMAC utiliza o método de acesso ao meio CSMA/CA em um modo mestre-escravo, e técnicas de controle de admissão e reserva de recursos, que permitem que a rede ofereça qualidade de serviço. Além disso, o modo SMAC também utiliza uma técnica de agregação de pacotes, que permite aumentar a eficiência do protocolo de acesso ao meio [Sterenson, 2003] [ITU-T, 2003c].

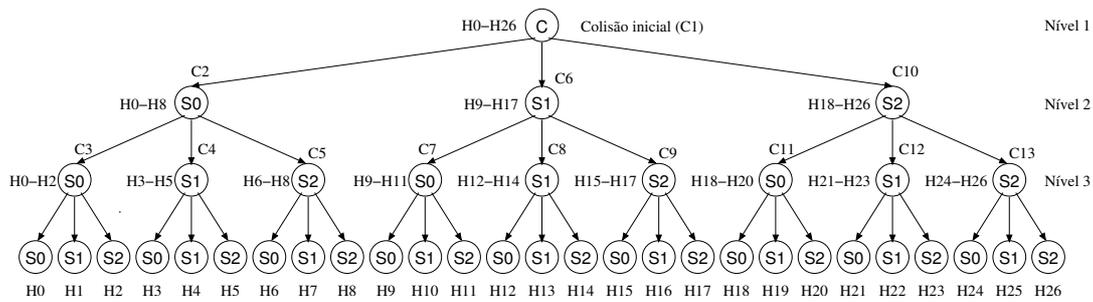
O modo assíncrono é usado para manter a interoperabilidade com o padrão v2. Para alcançar taxas mais altas, há duas modificações do modo AMAC para o HomePNAv2. A primeira é a taxa de transmissão que pode chegar agora a até 128 Mbps, utilizando maiores constelações QAM e uma banda passante maior. No entanto, é mantida a taxa básica de transmissão de 4 Mbps para os campos de cabeçalho e fim de quadro, o que diminui a eficiência da rede. Além disso o modo AMAC não utiliza a técnica de agregação de pacotes utilizada no SMAC, mantendo o tamanho máximo quadro em 1500 bytes. Neste artigo as análises são feitas com a taxa máxima de 128 Mbps.

A segunda modificação é um novo esquema de gerenciamento de colisões utilizado para diminuir o número de colisões na rede. Agora, cada nó da rede possui um conjunto de 3 *slots* de resolução de colisão (A, B e C) pré-definidos, e nenhum desses conjuntos pode ser igual para dois nós. O HomePNAv3 possui um protocolo de gerenciamento de colisão para garantir que dois nós na rede não utilizem o mesmo conjunto. Cada um dos *slots* A, B e C pode ser definido como um dos 3 *slots* de resolução de colisão existentes, S0, S1 ou S2. Quando houver uma colisão, o nó irá utilizar o primeiro *slot* do seu conjunto, o *slot* A, para a resolução de colisão. Em caso de uma nova colisão para este mesmo quadro, ele irá utilizar então o segundo *slot* do conjunto, o *slot* B, e no caso de mais uma, o terceiro *slot*, C. Como não há um conjunto de *slots* repetido, isso garante que cada quadro irá colidir no máximo três vezes, e que após a terceira colisão, todo quadro conseguirá ser transmitido. Essa técnica diminui o número de colisões e aumenta a eficiência da rede, mas, em contrapartida, limita o número de nós na rede a 27, que é o número de conjuntos diferentes possíveis.

A Figura 4 apresenta um processo de resolução de colisão entre 27 nós. H0 a H26 representam os 27 nós, e C1 a C13 representam as colisões, na ordem em que elas ocorrem. Nota-se que a resolução de colisão no HomePNAv3 ocorre em no máximo 3 níveis, o que garante que nenhum quadro irá colidir mais de 3 vezes.

## 3. Análise da Vazão do HomePNA

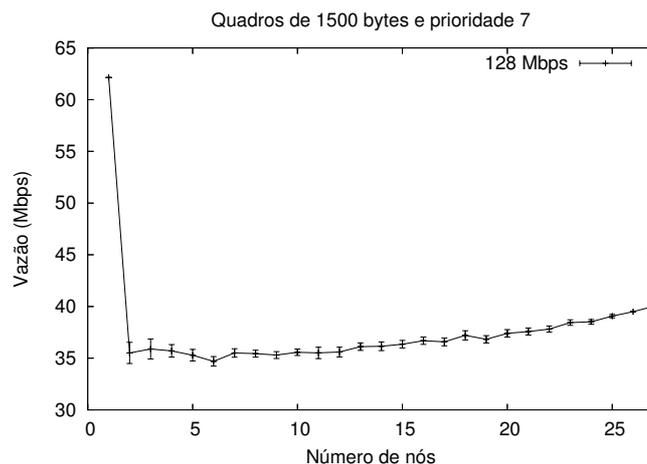
Nessa seção são apresentados os resultados de simulação da análise de vazão do HomePNA. Os resultados relativos ao HomePNAv2 foram apresentados



**Figura 4: Resolução de colisão entre 27 nós no HomePNAv3.**

em [Amodei Jr. et al., 2004b], onde foi feita também uma análise matemática que valida os resultados encontrados na simulação.

Para as simulações, foi utilizado o simulador de redes *ns-2*, onde foram implementados módulos para o HomePNAv2 e para o HomePNAv3. O cenário de simulação para a análise do HomePNAv3 é constituído de um nó receptor para todos os transmissores, e o número de nós transmissores na rede varia de 1 a 27. Os conjuntos de *slots* de resolução de colisão dos nós são escolhidos aleatoriamente em cada rodada de simulação, de modo a se obter um resultado que é a média de todos os casos. No entanto, uma técnica de escolha destes conjuntos poderia ser utilizada para minimizar o número de colisões, e aumentar a eficiência. Nestas simulações foi utilizada a taxa de transmissão de 128 Mbps. Cada simulação dura 100 segundos. Para todas as medidas, foram calculados intervalos de confiança de 95% relativos à média das amostras, que são representados nos gráficos por barras de erro verticais. Em todas as simulações todos os nós possuem prioridade 7, pois para esta prioridade obtém-se a maior vazão [Amodei Jr. et al., 2004b]. Para a ocupação máxima da rede, todos os nós transmitem quadros ininterruptamente, o que garante que sempre que o meio estiver livre, todos os nós irão tentar transmitir, causando uma colisão e iniciando o processo de resolução de colisão. Essa é a mesma condição de ocupação de rede de outros trabalhos encontrados na literatura [Chung et al., 2003] [Kim et al., 2004].



**Figura 5: Análise de vazão do HomePNAv3.**

A Figura 5 mostra a variação da vazão da rede na taxa de 128 Mbps, variando-se o número de nós, utilizando quadros de 1500 bytes. É importante notar que, enquanto no HomePNAv2 a vazão tendia a se estabilizar para um grande número de nós, agora esta vazão cresce junto com o número de nós. Isso acontece devido à técnica de gerenciamento de colisão utilizada pelo HomePNAv3, que é capaz de diminuir o número de colisões com o aumento do número de nós aumenta. Para se avaliar essa melhora, pode-se utilizar

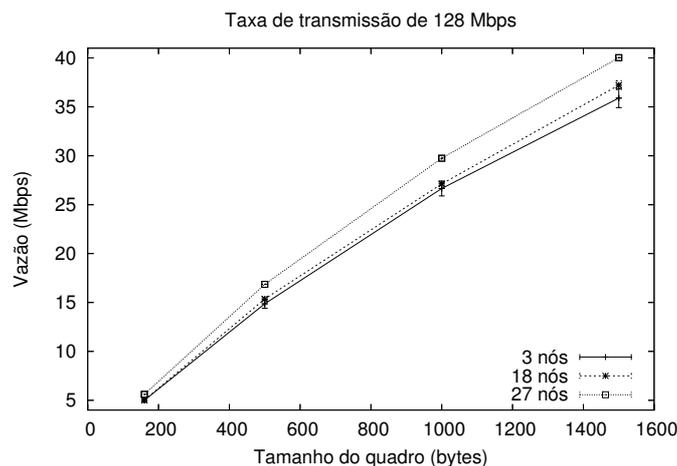
o parâmetro  $C/n$ , que é o número médio de colisões por quadro transmitido. Quanto menor esse valor, maior a eficiência da rede. Em [Amodei Jr. et al., 2004b] mostrou-se que para o HomePNAv2 esse parâmetro se estabiliza em 0,93 para mais de 15 nós. No HomePNAv3, para o caso de 27 nós, observa-se pela Figura 4 que na primeira colisão entre os 27 nós, eles são divididos em 3 grupos de 9 nós, que geram mais 3 colisões, se dividindo novamente em 9 grupos de 3 nós, que geram mais 9 colisões para a transmissão de todos os quadros. Assim, tem-se um total de  $C = 1 + 3 + 9 = 13$  colisões, para a transmissão de  $n = 27$  quadros. Logo, no caso do HomePNA v3 com 27 nós, tem-se:

$$\frac{C}{n} = \frac{1 + 3 + 9}{27} = 0,48, \quad (1)$$

donde pode-se notar a maior eficiência do novo padrão, que gera menos colisões por quadro transmitido.

Na Figura 5 é interessante notar também a grande diferença entre a taxa de transmissão nominal da rede e a máxima vazão obtida. Para a taxa de 128 Mbps, com apenas 1 nó transmissor tem-se uma vazão máxima de 62,1 Mbps, ou seja, eficiência de 48,5%. Para mais de um nó, essa taxa caiu para quase a metade, chegando a 34,7 Mbps. Essa diferença deve-se à taxa básica de transmissão de 4 Mbps utilizada para a transmissão dos campos de cabeçalho e fim de quadro. Além disso, para a taxa de 128 Mbps o tempo gasto com uma colisão é maior que o tempo de transmissão de um quadro.

A Figura 6 apresenta a vazão obtida na rede com a variação do tamanho do quadro. Para quadros menores, o desempenho da rede é pior, como esperado, chegando a uma vazão de apenas 5 Mbps para quadros de 160 bytes. Nota-se também, pelas Figuras 5 e 6, que o comportamento da rede depende somente do número de colisões, que é função do número de nós. Assim, em um mesmo cenário, alterando-se a taxa de transmissão ou o tamanho do quadro, muda-se os valores da vazão, mas o comportamento global se mantém.



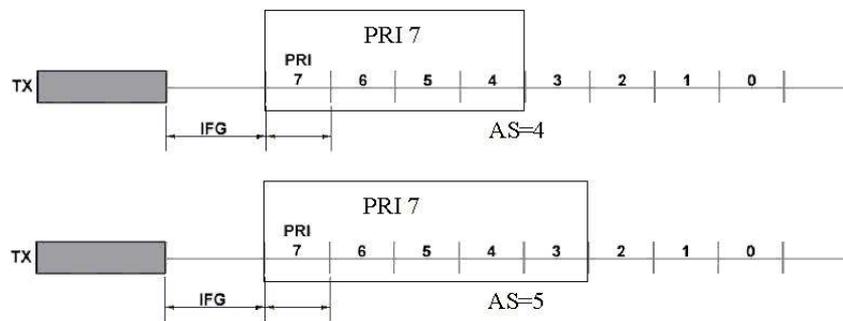
**Figura 6: Análise da influência do tamanho do quadro no HomePNAv3.**

#### 4. Mecanismo Proposto

O padrão HomePNA define oito níveis de prioridade, que possuem uma propriedade importante: quadros de prioridades diferentes não têm que disputar o meio, já que cada prioridade possui seu *slot* correspondente para transmissão. Um quadro de maior prioridade é transmitido primeiro, e, em seguida, um de menor prioridade, não havendo colisão

entre quadros de prioridades diferentes. Logo, em um caso em que três estações com prioridade 7 querem transmitir seus quadros, estes colidem um certo número de vezes, até que os três quadros possam ser transmitidos. Considere então que, em outra situação, esses mesmo três quadros recebam prioridades diferentes, sendo elas 7, 6 e 5. Neste caso, os três quadros não iriam colidir, sendo transmitidos em ordem de prioridade. Economizaria-se então o tempo gasto com as colisões, precisando, para isso, de somente dois *slots* de prioridade, o que é da ordem de 4 vezes menor que o tempo gasto com somente uma colisão. Isso tornaria a rede mais eficiente, e essa foi a motivação para a criação deste novo mecanismo.

Neste mecanismo, propõe-se uma agregação de alguns *slots* de prioridade para o nível de prioridade mais alto, de forma que os quadros de maior prioridade sejam espalhados nestes *slots*, evitando colisões. Cada estação, ao transmitir um quadro de prioridade 7, escolheria então, aleatoriamente, um desses *slots*, que seria utilizado para a transmissão do quadro. O mecanismo funcionaria como uma função de *backoff* aleatório dentro da prioridade 7, onde haveria um *slot* de duração maior, e os quadros poderiam ser transmitidos em tempos diferentes, evitando colisões. Em [Amodei Jr. et al., 2004a] são apresentados os resultados do uso deste mecanismo para o HomePNAv2.



**Figura 7: Mecanismo proposto para AS=4 e AS=5.**

O número de *slots* agregados na maior prioridade foi definido como AS (*Aggregated Slots*). O valor de AS pode variar de 2 a 7, para que se mantenha pelo menos dois níveis de prioridade diferentes. Neste artigo, analisa-se a utilização deste mecanismo nos padrões HomePNAv2 e v3, já que ambos possuem o mesmo esquema de prioridades. É feita, então, a determinação do valor ótimo de AS para cada um dos casos. A utilização de um valor muito grande para AS pode não ser tão eficiente, principalmente em cenários de poucos nós, já que um tempo extra muito grande seria adicionado para os *slots* de prioridade. A Figura 7 apresenta um exemplo de como seria a utilização do mecanismo para os casos de  $AS = 4$  e  $AS = 5$ .

Uma característica importante deste mecanismo, é que ele não requer que o padrão HomePNA v2 ou v3 seja modificado. As modificações propostas podem ser implementadas em uma subcamada acima da camada MAC. Essa camada funcionaria como uma interface de mapeamento de prioridades. A Tabela 1 apresenta um exemplo de como poderia ser feito esse mapeamento, utilizando, por exemplo,  $AS = 4$ . Esse mapeamento pode ser feito da maneira que melhor convier, desde que o número de *slots* de AS seja respeitado.

## 5. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados de simulação para os dois padrões, utilizando o mecanismo proposto, através de modificação dos módulos HomePNAv2 e v3, implementados para o ns-2. Para facilitar a apresentação dos resultados, os padrões HomePNAv2 e

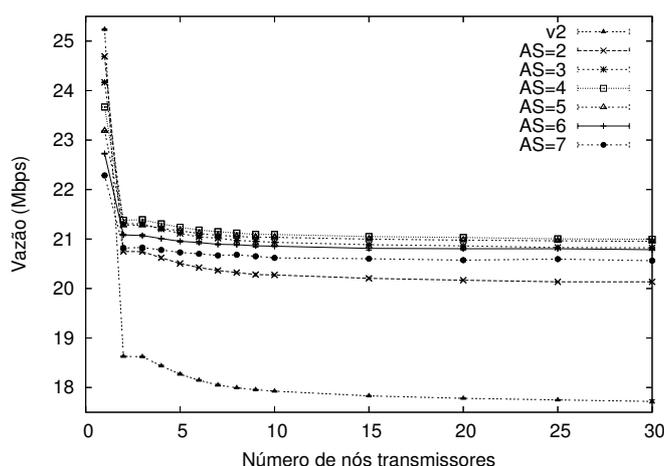
**Tabela 1: Exemplo de mapeamento das prioridades para AS=4.**

Prioridade real	Prioridade no HomePNA
7	7
	6
	5
	4
6	3
5	
4	2
3	
2	1
1	
0	0

v3 utilizando o mecanismo proposto serão doravante denominados HomePNAv2+ e v3+, respectivamente.

### 5.1. HomePNAv2+

Com o módulo HomePNAv2+ pode-se então analisar a eficiência do mecanismo, e descobrir o valor ótimo para AS. Utiliza-se um cenário similar ao usado na Seção 3, onde todas as estações têm prioridade 7 e transmitem quadros de 1500 bytes.

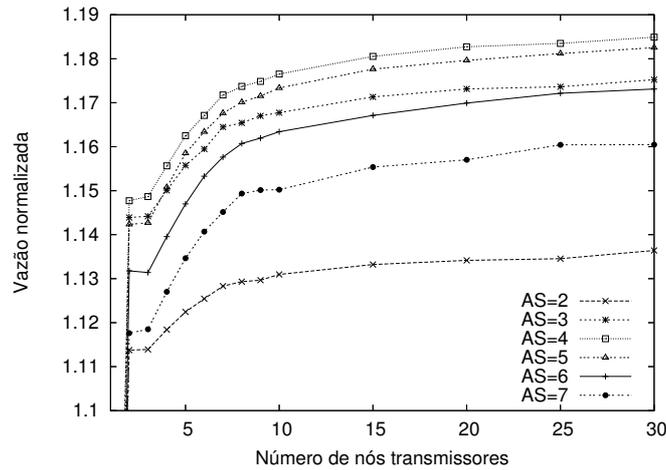


**Figura 8: Vazão do HomePNAv2+ à taxa de 32 Mbps.**

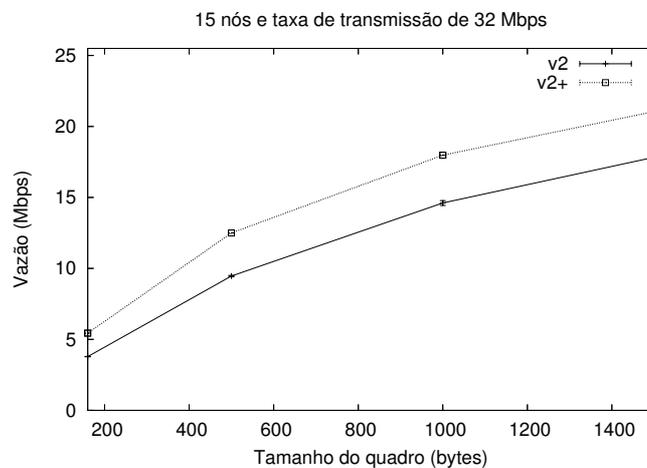
A Figura 8 mostra os resultados para até 30 nós com taxa de transmissão de 32 Mbps. Aqui são apresentados os resultados do HomePNAv2 e do HomePNAv2+ para valores de AS de 2 a 7. Nota-se que para mais de um nó, pode-se obter um ganho considerável para qualquer valor de AS. Pode-se perceber também que para apenas 1 nó há uma pequena perda de vazão, já esperada pois nesse caso não há colisões.

Na Figura 9 são apresentadas as mesmas vazões da figura anterior, porém agora normalizadas pela vazão do HomePNAv2. A partir desta figura, encontra-se o valor ótimo para AS, 4. Com esse valor de AS, conseguiu-se um ganho entre 14,8% para 2 nós e 18,5% para 30 nós, superando os outros valores de AS para qualquer quantidade de nós.

O tamanho do quadro também influencia o ganho que pode ser obtido. Para quadros mais curtos, o tempo de transmissão da carga útil é menor, assim o tempo perdido nas colisões representa uma fração maior do tempo total de transmissão. Logo, espera-se que o ganho aumente para quadros menores. Pelo mesmo motivo, o ganho também deve ser maior para taxas mais altas, razão pela qual utiliza-se a taxa máxima de 32 Mbps. A



**Figura 9: Vazão normalizada do HomePNAv2+ à taxa de 32 Mbps.**



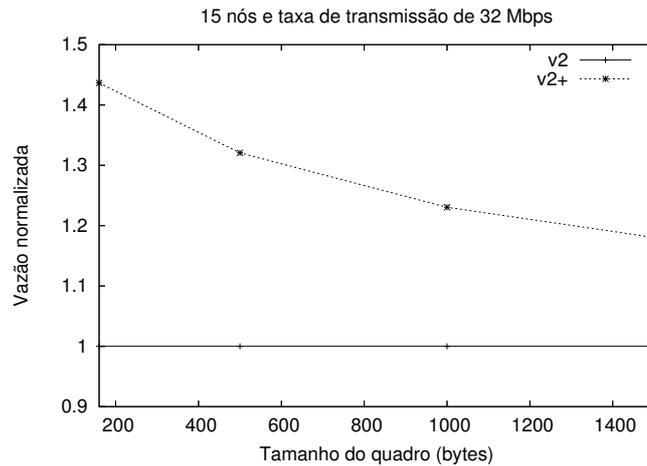
**Figura 10: Vazão do HomePNAv2+ variando o tamanho do quadro.**

Figura 10 apresenta os resultados da vazão quando se varia o tamanho do quadro de 160 até 1500 bytes, mantendo um número fixo de 15 nós. Utiliza-se aqui apenas o valor de  $AS = 4$  para o HomePNAv2+, por ser o valor ótimo. Apesar do ganho absoluto de vazão ser menor para quadros menores, o ganho relativo aumenta, como mostra a Figura 11. Essa figura apresenta as mesmas vazões do gráfico anterior, agora normalizadas, e pode-se observar que, para quadros de 160 bytes, o ganho obtido pelo HomePNAv2+ chega no máximo a 44%.

## 5.2. HomePNAv3+

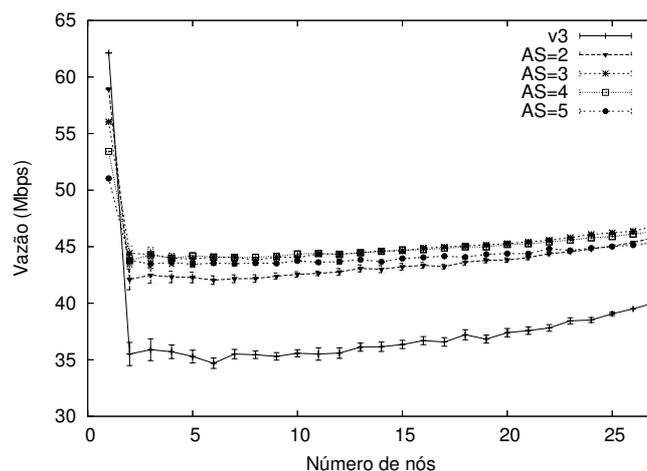
A mesma análise foi feita para o HomePNAv3+, para ser determinado o seu valor ótimo de AS. O cenário utilizado é similar ao anterior, porém limitado ao número máximo de 27 nós, e utilizando uma taxa de transmissão de 128 Mbps. Os conjuntos de *slots* de resolução de colisão foram novamente escolhidos aleatoriamente. Como o HomePNAv3 introduz uma técnica de gerenciamento de colisões que diminui o número de colisões em relação ao HomePNAv2, o esperado é que o valor de AS ótimo seja igual ou menor que o encontrado para o HomePNAv2, já que agora há menos colisões a tratar. Então, nestas simulações, os casos de  $AS = 6$  e  $AS = 7$  foram desconsiderados, por estarem longe do valor ótimo. O valor de  $AS = 5$  foi mantido para que se pudesse analisar o comportamento das curvas.

A Figura 12 apresenta os resultados da vazão para o HomePNAv3+. Pode-se notar



**Figura 11: Vazão normalizada do HomePNAv2+ variando o tamanho do quadro.**

que, mais uma vez, todas as opções de valores de AS se mostraram mais eficientes que o HomePNAv3 para mais de um nó na rede. Neste caso, as curvas de  $AS = 3$  e  $AS = 4$  ficaram bem próximas. As curvas de  $AS = 2$  e  $AS = 5$  se apresentam um pouco abaixo, mostrando que o valor ótimo é 3 ou 4.



**Figura 12: Vazão do HomePNAv3+ à taxa de 128 Mbps.**

A Figura 13 repete as curvas de vazão, agora normalizadas. Para poucos nós, as curvas de  $AS = 3$  e  $AS = 4$  mantêm um desempenho muito parecido. Entretanto, para mais de 15 nós a curva de  $AS = 3$  apresenta uma ligeira vantagem, além de apresentar também uma menor perda em relação ao HomePNAv3 para o caso de apenas 1 nó. Assim, o valor ótimo de AS encontrado para o HomePNAv3+ foi 3. Nota-se também que obteve-se um ganho entre 16,9% e 27%, para 27 e 6 nós, respectivamente.

A análise do HomePNAv3+ variando-se o tamanho do quadro é apresentada na Figura 14. Nesta simulação, foi utilizado um cenário com 6 nós, por ter apresentado o maior ganho na figura anterior. Do mesmo modo que o HomePNAv2+, o v3+ também apresentou melhores resultados para quadros menores. Isso se deve às mesmas razões, já que o tempo de transmissão da carga útil é menor, e o tempo gasto com uma colisão representa então uma fração maior do tempo total de transmissão. Observa-se que o ganho obtido variou de 27% para quadros de 1500 bytes até 35,8% para quadros de 160 bytes, o ganho máximo obtido com o HomePNAv3+.

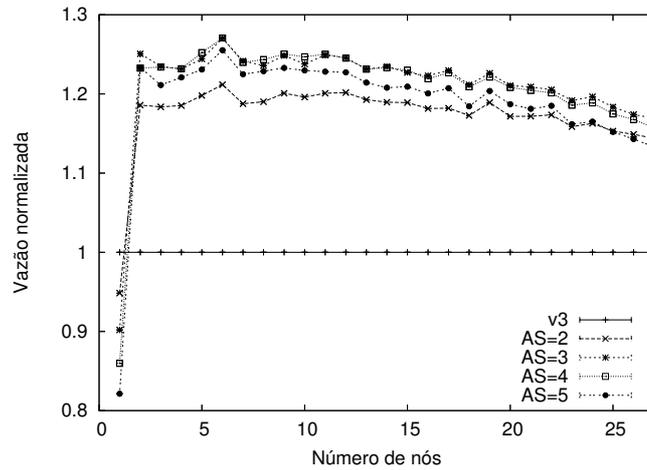


Figura 13: Vazão normalizada do HomePNAv3+ à taxa de 128 Mbps.

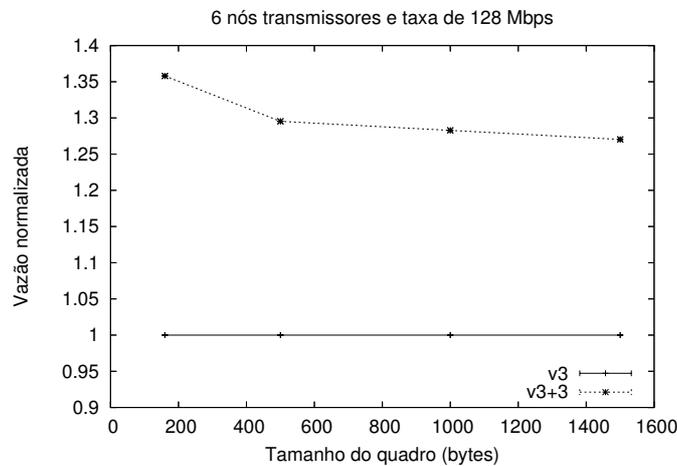


Figura 14: Vazão do HomePNAv3+ variando o tamanho do quadro.

### 5.3. Comparação

Nesta seção são comparadas todas as opções de acesso ao meio apresentadas neste artigo, ou seja, HomePNAv2, v2+, v3 e v3+, em condições iguais. Para isso, foi utilizada a maior taxa de transmissão comum a todos, 32 Mbps, em um cenário com um número de nós que varia de 1 a 27. Os quadros são de 1500 bytes e todos os nós utilizam prioridade 7. O intervalo de confiança utilizado foi de 95%, representado no gráfico por barras de erro verticais.

A Figura 15 apresenta os resultados da comparação. O HomePNAv3+ apresentou a melhor eficiência, chegando a 22,2 Mbps. No entanto, a desvantagem do HomePNAv3+ e v3 é a limitação do número de nós na rede a 27. Nos padrões HomePNAv2+ e v2 não há limitação do número de nós.

Outro aspecto interessante a ser analisado é a comparação entre o HomePNAv2+ e o v3. Nota-se pelo gráfico que o HomePNAv2+ apresentou um desempenho melhor que o v3, para qualquer quantidade de nós. Apesar do gráfico apresentar uma tendência de subida para o HomePNAv3, este está limitado a somente 27 nós, logo, essa tendência de subida não pode ser considerada. Isso significa que, quando aplicados em separado ao HomePNAv2, o mecanismo proposto neste artigo é mais eficiente que a técnica de gerenciamento de colisões introduzida no HomePNAv3, além de permitir que a rede tenha mais de 27 nós. No entanto, os dois mecanismos podem ser combinados, e seu uso em

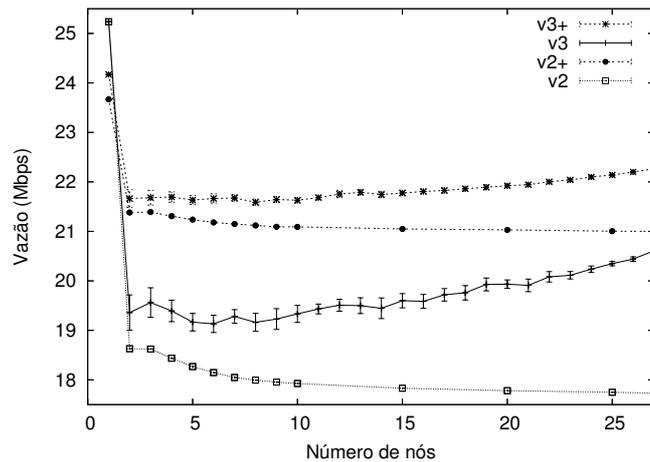


Figura 15: Comparação das versões do HomePNA à taxa de 32 Mbps.

conjunto apresentou a melhor eficiência.

## 6. Conclusões

Este artigo propôs um novo mecanismo de acesso ao meio para os padrões de redes domiciliares através da fiação telefônica HomePNAv2 e v3. O mecanismo faz uma agregação de alguns *slots* de prioridade na prioridade mais alta, de modo que os quadros de prioridade mais alta sejam espalhados aleatoriamente nesses *slots*, diminuindo assim o número de colisões.

Primeiramente, foi determinado o valor ótimo para o número de *slots* agregados (AS) para a utilização do mecanismo em cada um dos padrões, denominados HomePNAv2+ e v3+. Para o HomePNAv2+, foram analisados valores para AS de 2 a 7, e foi encontrado o valor ótimo de  $AS = 4$ . O HomePNAv2+ conseguiu obter ganhos de até 44% em relação ao HomePNAv2, com taxa de transmissão de 32 Mbps e quadros de 160 bytes. Observou-se também que o mecanismo utilizado se comporta melhor para taxas de transmissão mais altas e para quadros menores. Isso acontece porque, nestes casos, o tempo de transmissão da carga útil é menor, então o tempo perdido nas colisões representa uma fração maior do tempo total de transmissão.

Para o HomePNAv3+, o valor ótimo encontrado para AS foi igual a 3. Os resultados mostraram que o HomePNAv3+ possui desempenho melhor que o HomePNAv3, com ganhos de até 35,8%. O ganho máximo também foi obtido para a taxa máxima de transmissão, de 128 Mbps, e com quadros de 160 bytes.

Finalmente, foi feita uma comparação entre todos os métodos de acesso ao meio analisados. Nesta comparação foi utilizado o mesmo cenário com a mesma taxa de transmissão para todos os protocolos, e observou-se que o HomePNAv3+ apresentou o melhor desempenho. No entanto, uma desvantagem apresentada pelo HomePNAv3+ e v3, é a limitação do número de nós na rede a 27. Além disso, o HomePNAv2+ apresentou desempenho melhor que o v3. Isso significa que, se aplicados em separado ao HomePNAv2, o mecanismo proposto neste artigo, além de permitir que a rede tenha mais de 27 nós, foi mais eficiente que a técnica de gerenciamento de colisões apresentada no HomePNAv3 para qualquer quantidade de nós na rede.

## Referências

- Amodei Jr., A., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2004a). Increasing the throughput of the HomePNA MAC protocol. Em *29th IEEE Conference on Local Computer Networks - LCN'2004*, Tampa, USA.
- Amodei Jr., A., Cunha, D. O., Costa, L. H. M. K., Rubinstein, M. G. e Duarte, O. C. M. B. (2004b). Uma análise de desempenho do padrão HomePNA. Em *XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBT'2004)*, Belém, Brasil.
- Bisaglia, P. e Castle, R. (2001a). A comparison of equalizer structures for frequency diverse QAM. Relatório Técnico HPL-2001-186, Hewlett-Packard Laboratories.
- Bisaglia, P. e Castle, R. (2001b). Receiver architectures for HomePNA 2.0. Relatório Técnico HPL-2001-247, Hewlett-Packard Laboratories.
- Bisaglia, P., Castle, R. e Baynham, S. H. (2002). Channel modeling and system performance for HomePNA 2.0. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 20(5):913–922.
- Chung, M. Y., Kim, H. C. e Lee, T.-J. (2003). HomePNA 2.0 - saturation throughput analysis. *IEEE Communications Letters*, 7(11):558–560.
- Fall, K. e Varadhan, K. (2002). *The ns Manual*. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.
- Frank, E. H. e Holloway, J. (2000). Connecting the home with a phone line network chip set. *IEEE Micro*, 20(2):27–38.
- Home Phoneline Network Alliance (1999). Interface specification for HomePNA 2.02.7 10M8 technology. HomePNA 2.0 Standard.
- HomePNA (2003). <http://www.homepna.org>.
- ITU-T (2001a). Phoneline networking transceivers - foundation. Em *Recomendação G.989.1*.
- ITU-T (2001b). Phoneline networking transceivers - payload format and link layer requirements. Em *Recomendação G.989.2*.
- ITU-T (2003a). Phoneline networking transceivers - isolation function. Em *Recomendação G.989.3*.
- ITU-T (2003b). G.PNT: PNT3 proposal overview. Documento temporário MC-107R1.
- ITU-T (2003c). The proposed MAC for PNT3. Documento temporário PF-042.
- Kangude, S., Copeland, J. e Sherman, M. (2003). An analysis of the Home PNA collision resolution mechanism. Em *28th IEEE Conference on Local Computer Networks - LCN'2003*, Bonn/Konigswinter, Germany.
- Kim, H. C., Chung, M. Y., Lee, T.-J. e Park, J. (2004). Saturation throughput analysis of collision management protocol in the HomePNA 3.0 asynchronous MAC mode. *IEEE Communications Letters*, 8(7):476–478.
- Rubinstein, M. G. e Rezende, J. F. (2003). Quality of service in ad hoc 802.11 networks. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 9(1):41–52.
- Sterenson, R. (2003). Guaranteed QoS in the home network environment. Relatório técnico, CopperGate Communications.
- Velloso, P. B., Cunha, D. O., Amodei Jr., A., Rubinstein, M. G. e Duarte, O. C. M. B. (2004). Redes domiciliares: Desafios das tecnologias sem novos fios. Em *Minicursos do XXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC2004*, Gramado, Brasil.