

Consumo Ótimo de Energia em Redes *Ad Hoc* Aleatórias Aloha com Múltiplos Saltos

Bruna A. da Silva e Renato M. de Moraes

Resumo— Este trabalho apresenta um estudo do consumo de energia em redes *ad hoc slotted Aloha*, em um cenário em que os nós estão distribuídos de maneira uniformemente aleatória na rede. A fim de obter redução no consumo de energia na comunicação entre os nós, um modelo é apresentado para obtenção da potência ótima de transmissão como função da taxa de transmissão de dados (R) e do tamanho do pacote (N_b), considerando a realização de múltiplos saltos desde o nó fonte até o nó destino. Os resultados indicam que é possível se obter consumo ótimo mínimo de energia em função de R e N_b , além de outros parâmetros de camada física e de enlace e também considerando o roteamento.

Palavras-Chave— Comunicação por múltiplos saltos, consumo de energia, protocolo Aloha, redes *ad hoc*.

Abstract— This paper presents a study of energy consumption in slotted Aloha ad hoc networks, in a scenario where the nodes are uniformly random distributed on the network. In order to obtain energy consumption reduction for communication among the nodes, a model is introduced to obtain the optimum transmission power as a function of the data transmission rate (R) and packet size (N_b), considering multihop communication from source to destination. The results indicates that it is possible to obtain optimum energy consumption as a function of R and N_b , as well as other physical and link layers parameters, also considering the routing scheme.

Keywords— Ad hoc networks, Aloha protocol, energy consumption, multihop communication.

I. INTRODUÇÃO

Com o surgimento de novas tecnologias, os dispositivos de comunicação vêm sendo desenvolvidos com tamanhos cada vez mais reduzidos. Por este motivo, redes como as sem fio *ad hoc*, e também de sensores, vêm recebendo cada vez mais atenção [1].

As redes sem fio *ad hoc* são caracterizadas por serem de baixo custo, serem constituídas de dispositivos autoajustáveis e não necessitarem de infraestrutura [2]. No entanto, por seus dispositivos operarem à bateria, apresentam limitações no que diz respeito ao consumo de energia [3].

Por outro lado, em redes *ad hoc* a comunicação entre os nós pode acontecer por múltiplos saltos em que nós intermediários entre a fonte e o destino funcionam como roteadores repassando os pacotes de dados.

Alternativas considerando as camadas física e de enlace vêm sendo estudadas a fim de promover maior longevidade de operação nessas redes [4], [5], [6] e [7]. Tendo em vista que a comunicação entre os dispositivos que as compõem é a ação que mais influencia no consumo de energia da rede como um

Bruna A. da Silva e Renato M. de Moraes estão com o Centro de Informática (CIn), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, Brasil, CEP 50740-560. E-mails: {bas4,renatomdm}@cin.ufpe.br.

todo, é importante considerar o protocolo de acesso ao meio (MAC, do inglês *Medium Access Control*) integrado com o consumo da camada física, assim como também o esquema de roteamento. Aqui, no caso do protocolo MAC, foi considerado o *slotted Aloha* [8] que, embora apresente baixa vazão, é amplamente utilizado devido a sua baixa complexidade que combinado com outras técnicas de comunicação como NOMA (do inglês *Non-Orthogonal Multiple Access*) e SIC (do inglês *Successive Interference Cancelation*) pode melhorar substancialmente o desempenho de sistemas de comunicação sem fio [7], [9].

Este trabalho tem como objetivo integrar o roteamento, o protocolo de acesso ao meio e o consumo da camada física de comunicação e obter a potência ótima de transmissão em função dos parâmetros dos dispositivos e da rede que resulte o menor consumo de energia. Mais especificamente, as análises são realizadas considerando o tamanho do pacote, a taxa de transmissão de dados e o protocolo de controle de acesso ao meio *slotted Aloha* em redes *ad hoc* de múltiplos saltos, onde os nós estão distribuídos de maneira uniformemente aleatória.

As demais seções deste artigo estão descritas conforme a seguir. Na Seção II encontram-se os trabalhos relacionados. Na Seção III são revistas as modelagens de [10], [11] e [12] que em seguida são ampliadas para incluir o efeito do protocolo de comunicação *slotted Aloha* e roteamento, agora com foco no consumo de energia em função da taxa de transmissão de dados (R) e do tamanho do pacote (N_b). Os resultados e discussão são apresentados na Seção IV e a conclusão na Seção V.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Em redes *ad hoc* o consumo de energia é visto como um fator crítico que pode influenciar no desempenho da rede como um todo. Tendo em vista problemas comuns na transmissão, como a colisão de pacotes de dados, estratégias para a redução do consumo de energia vêm sendo amplamente discutidas.

O estudo desenvolvido por [5] mostra que há um tamanho de pacote ótimo para cada cenário estudado visando o aumento do tempo de vida dos nós da rede. O principal objetivo do trabalho foi caracterizar o impacto do tamanho do pacote e dos níveis da potência de transmissão no que diz respeito ao tempo de vida da rede.

Em [13], [14] e [10] um modelo de consumo de energia detalhado é apresentado considerando diversos parâmetros de camada física a fim de controlar o consumo de energia de um par de nós que se comunicam.

Partindo para a comunicação a múltiplos saltos, o trabalho proposto em [11] estuda o desempenho da taxa de erro de bit

(BER, do inglês *Bit Error Rate*) em uma rede aleatória Aloha. Em trabalhos mais recentes, como os apresentados em [7], [9] e [15], este protocolo também foi utilizado pois ainda possui aplicações práticas válidas por sua menor complexidade, se comparado a outros protocolos MAC mais novos.

O consumo de energia também é investigado em [6] para uma rede em que os nós se comunicam através da realização de múltiplos saltos. Em seu trabalho, contudo, não faz menções à utilização de protocolos de comunicação que auxiliam no gerenciamento do consumo de energia da rede.

Os trabalhos citados não consideraram em seus modelos o roteamento, o acesso ao meio e a camada física conjuntamente para o cálculo do consumo de energia. No artigo aqui estudado, é feito um estudo do consumo de energia em uma rede de múltiplos saltos com distribuição aleatória dos nós onde se considera a camada física e o protocolo de comunicação *slotted* Aloha empregado na camada de enlace, assim como também um esquema de roteamento da fonte ao destino. É considerado aqui a obtenção da potência de transmissão ótima (P_0) como função do tamanho do pacote (N_b) em bits e da taxa de transmissão de dados (R) em bits por segundo (bps).

III. CONSUMO DE ENERGIA

Aqui faremos uma abordagem *top-down* para integrar a modelagem do roteamento, o protocolo de acesso ao meio e a camada física de forma a obter o consumo de energia.

A. O Roteamento

Para modelar a rede utilizou-se a distância média do salto aproximada para uma distribuição aleatória dos nós conforme estudado em [12]. Assim, foi considerado um cenário em que os nós estão distribuídos de maneira uniformemente aleatória em uma superfície toroidal [11], cuja área pode ser mapeada num quadrado de lado D tal como na Fig. 1, em que um par de nós fonte e destino desejam se comunicar considerando como ângulo máximo de abertura da rota, o ângulo θ , em relação a linha reta que liga cada nó transmissor ao longo da rota e o destino. Portanto, o roteamento escolherá como o nó de salto seguinte o nó mais próximo dentro do ângulo de abertura θ na direção do destino.

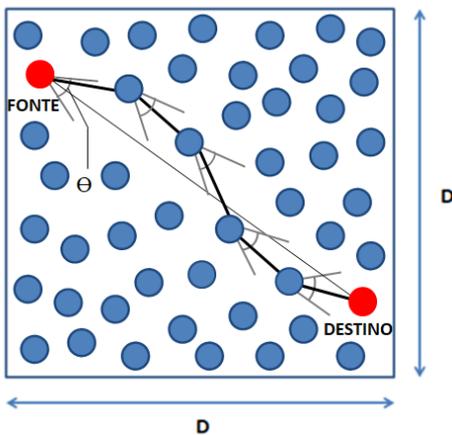


Fig. 1. Rede aleatória de múltiplos saltos entre a fonte e o destino.

Como se trata de uma transmissão por múltiplos saltos em uma rede aleatória, o número médio de saltos agora passa a ser calculado em função do número de nós n através de [11]

$$i = \frac{(\sqrt{2} + \ln(1 + \sqrt{2}))^2}{3 \left(\sqrt{\frac{\pi}{2n\theta}} \right)^{\frac{2}{\theta}} \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)}. \quad (1)$$

O número de nós n e o ângulo θ foram ajustados de tal modo a gerar os números de saltos $i = 1, 2, 4$ e 8 de forma a avaliar o comportamento do desempenho do consumo de energia em casos distintos.

B. O Acesso ao Meio

Considerando um canal não-confiável, a probabilidade de sucesso de transmissão de um pacote contendo N_b bits é $pr_s(\gamma) = (1 - BER(\gamma))^{N_b}$ em que $BER(\gamma)$ é a taxa de erro de bits em função da relação sinal-ruído (γ) [14]. Como se busca incluir o efeito do protocolo MAC *slotted* Aloha [8], aqui esta probabilidade é modificada. Neste contexto, a probabilidade de acesso ao meio com sucesso de um nó é dada por $\delta(n) = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-2}$ para n nós na rede. Assim, a probabilidade de transmissão com sucesso de um pacote a cada salto é dada como

$$Pr_s = pr_s(\gamma)\delta(n) = \frac{(1 - BER(\gamma))^{N_b} \left(\frac{n-1}{n}\right)^{n-2}}{n}. \quad (2)$$

C. A Camada Física e o Consumo de Energia

Parte-se da formulação da energia consumida para a realização de um salto com retransmissão desenvolvida em [10], que atualizou a descrição de [16], e empregou as propostas de [13] e [14]. O motivo dessa escolha foi o fato da modelagem em questão incorporar detalhados parâmetros de camada física, e aqui foi ampliada para considerar o protocolo MAC e a modelagem para múltiplos saltos com o roteamento numa rede com nós distribuídos de forma aleatória.

A energia consumida (E_p) para o envio de um pacote em um salto é obtida através da soma entre a energia empregada na transmissão E_{Tx} e a energia gasta para recepção E_{Rx} . Deste modo, resulta que [10]

$$E_p = E_{Tx} + E_{Rx}. \quad (3)$$

E_{Tx} e E_{Rx} são, respectivamente, [16]

$$E_{Tx} = T_{start}P_{start} + \frac{N_b}{R}(P_{txElec} + P_{amp}) \quad (4)$$

e

$$E_{Rx} = T_{start}P_{start} + \frac{N_b}{R}P_{rxElec}, \quad (5)$$

em que N_b é o número de bits por pacote, R é a taxa de transmissão de dados, P_{txElec} é a potência para alimentação do circuito de transmissão, P_{rxElec} é a potência para alimentação do circuito de recepção, T_{start} é o tempo de inicialização do circuito e P_{start} é a potência requerida para inicialização. P_{amp} é definido como a potência para amplificação do sinal na transmissão, e é dada por

$$P_{amp} = \alpha_{amp} + \beta_{amp}P_t, \quad (6)$$

em que α_{amp} é um nível constante de potência e β_{amp} é uma constante de proporcionalidade da potência de transmissão P_t .

Como se deseja obter o consumo médio de energia por bit para uma transmissão por múltiplos saltos com sucesso, deve-se dividir o consumo para transmissão de um pacote pelo

número de bits N_b deste pacote e considerar o número de saltos realizados até chegar no destino. Com essa finalidade, o consumo de energia por bit E_b (expresso em Joules por bit (J/bit)) para um único salto é definido como sendo

$$E_b = \frac{E_p}{N_b} = E_c + K_1 P_t, \quad (7)$$

em que E_c e K_1 são dados, respectivamente, por

$$E_c = \frac{2T_{start}P_{start}}{N_b} + \frac{P_{txElec} + P_{rxElec} + \alpha_{amp}}{R}, \quad (8)$$

$$K_1 = \frac{\beta_{amp}}{R}. \quad (9)$$

A relação sinal-ruído é definida como sendo

$$\gamma = C_2 P_t \bar{w}^{-\alpha} R^{-1}, \quad (10)$$

em que α é o coeficiente de atenuação do sinal com a distância, R é a taxa de transmissão de dados e P_t é a potência de transmissão. A constante $C_2 = \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 N_0}$, e \bar{w} indica a distância média do salto descrita em [12] por

$$\bar{w} = \sqrt{\frac{\pi}{2\theta \frac{n}{D^2}}}, \quad (11)$$

onde D^2 é a área da rede na qual os nós estão distribuídos de maneira uniformemente aleatória.

É importante notar também que a relação sinal-ruído não deve considerar a interferência causada pelos demais nós da rede. Assim, se houver transmissão simultânea de dois ou mais nós, os pacotes de dados colidem entre si e a informação é perdida ocasionando necessariamente a retransmissão. Ou seja, tal efeito é incorporado no protocolo *slotted* Aloha.

Usando os resultados das Eqs. (7), (2) e (1), obtém-se a energia média total por bit para realizar i saltos entre o par de nós comunicantes (fonte e destino)

$$\bar{E}_{ihop} = \bar{E}_{1hop} \cdot i = \frac{(E_c + K_1 P_t)}{(1 - BER(\gamma))^{N_b}} \cdot \frac{n}{\left(\frac{n-1}{n}\right)^{n-2}} \cdot \frac{(\sqrt{2} + \ln(1 + \sqrt{2}))^2}{3 \left(\sqrt{\frac{\pi}{2n\theta}}\right)^{\frac{2}{\theta}} \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)}. \quad (12)$$

O canal de comunicação que esta modelagem considera é o que emprega o desvanecimento Rayleigh que é bastante empregado para modelar redes sem fio. Nesse caso, os valores de α_m e β_m são 1 e 2, respectivamente [10].

Deste modo, resulta que

$$\bar{E}_{ihop} = \frac{E_c + K_1 P_t}{\left(1 - \frac{\alpha_m}{2\beta_m C_2 P_t (\bar{w})^{-\alpha} R^{-1}}\right)^{N_b}} \cdot \frac{n}{\left(\frac{n-1}{n}\right)^{n-2}} \cdot \frac{(\sqrt{2} + \ln(1 + \sqrt{2}))^2}{3 \left(\sqrt{\frac{\pi}{2n\theta}}\right)^{\frac{2}{\theta}} \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)}. \quad (13)$$

É possível, ainda, determinar a potência de transmissão ótima (P_0) como uma função da taxa de transmissão (R) e do tamanho do pacote (N_b). Para isso, primeiramente se resolve

$$\frac{\partial \bar{E}_{ihop}}{\partial P_t} \Big|_{P_t = P_0} = 0. \quad (14)$$

A partir do desenvolvimento da Eq. (14), obtém-se a potência de transmissão ótima em função R , N_b e também dos demais parâmetros, ou seja,

$$P_0(R, N_b) = \frac{(\bar{w})^{-\alpha} \alpha_m (1 + N_b)}{4C_2 \beta_m R^{-1}} + \frac{\sqrt{(\bar{w})^{-\alpha} \beta_{amp} \alpha_m [(\bar{w})^{-\alpha} \beta_{amp} \alpha_m (1 + N_b)^2 + 8\beta_m C_2 R^{-1} (C_3 R + C_4 N_b)]}}{4C_2 \beta_{amp} \beta_m R^{-1}}. \quad (15)$$

As constantes C_3 , C_4 são representadas, respectivamente, por

$$C_3 = 2T_{start}P_{start}, \quad (16)$$

$$C_4 = P_{txelec} + P_{rxelec} + \alpha_{amp}. \quad (17)$$

Diante dos resultados anteriormente apresentados, se propõe avaliar o consumo médio de energia por bit para uma transmissão bem sucedida, por múltiplos saltos, em função da taxa de transmissão de dados (R) e do tamanho do pacote (N_b) empregando-se a potência ótima de transmissão (isto é $P_t = P_0(R, N_b)$). Assim, R e N_b podem ser variados para atingir valores mínimos de consumo de energia fixando os demais parâmetros que estão descritos na Tabela I que, como exemplo, representam as características físicas do transceptor μ AMPS-1 [16].

TABELA I
PARÂMETROS PARA O MODELO DE CONSUMO DE ENERGIA ADAPTADA DE [16], [10] PARA REDE ALEATÓRIA *slotted* ALOHA.

Parâmetro	Descrição	Valor
P_{rxElec}	Potência do circuito de recepção	279mW
P_{start}	Potência para inicialização	58,7mW
T_{start}	Tempo de inicialização	446 μ s
P_{txElec}	Potência do circuito de transmissão	151mW
α_{amp}	Nível de potência Eq. (6)	174mW
β_{amp}	Constante de proporcionalidade Eq. (6)	5
N_0	Densidade espectral de ruído	-154dBm/Hz
f_c	Frequência da portadora	2,4GHz
c	Velocidade da luz	3×10^8 m/s
G_T	Ganho da antena de transmissão	1
G_R	Ganho da antena de recepção	1
α	Coefficiente de atenuação com a distância	2 e 3
D	Comprimento lateral	80m
n	Número de nós na rede	2, 5, 20, 70
θ	Ângulo máximo de desvio da rota	$\frac{3\pi}{20}$

Deste modo, e fazendo uso das Eqs. (13) e (15), tem-se que a energia média consumida por bit para realizar a transmissão da fonte até o destino, considerando i saltos, pode ser dada em função de R e de N_b , para o valor ótimo de $P_0(R, N_b)$, da seguinte forma

$$\bar{E}_{ihop}(P_t = P_0(R, N_b)) = \frac{C_3 R + (C_4 + \beta_{amp} P_0(R, N_b)) N_b}{RN_b \left(1 - \frac{\alpha_m}{2\beta_m C_2 P_0(R, N_b) (\bar{w})^{-\alpha} R^{-1}}\right)^{N_b}} \cdot \frac{n(\sqrt{2} + \ln(1 + \sqrt{2}))^2}{3 \left(\frac{n-1}{n}\right)^{n-2} \left(\sqrt{\frac{\pi}{2n\theta}}\right)^{\frac{2}{\theta}} \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)}, \quad (18)$$

em que $P_0(R, N_b)$ é dado pela Eq. (15).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obtenção dos resultados apresentados nessa seção, utilizaram-se os parâmetros contidos na Tabela I. Foram considerados dois valores para o coeficiente de atenuação com a distância que resultam cenários distintos para comunicação sem fio. Ao utilizar $\alpha = 2$, modelamos a atenuação no espaço livre. Já $\alpha = 3$ modela alguns ambientes urbanos.

A Fig. 2(a), para $\alpha = 2$ e $R = 1$ Mbps, ilustra o comportamento do consumo de energia em função do tamanho do pacote. Observa-se que o menor consumo dentre as curvas acontece para comunicação em um único salto com tamanho de pacote ótimo de aproximadamente 400 bits. Para dois saltos, N_b ótimo é de aproximadamente 600 bits, para quatro saltos é de aproximadamente 1000 bits e para oito saltos é de 2000 bits aproximadamente. Consequentemente, à medida que o número de saltos aumenta, o tamanho ideal do pacote e o consumo de energia também aumentam.

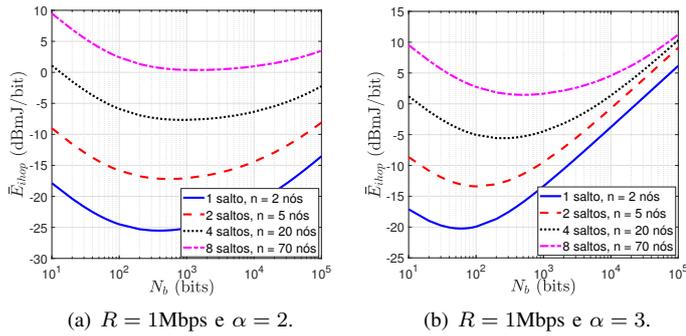


Fig. 2. Energia média por bit da rede aleatória (\bar{E}_{ihop}), em função do tamanho do pacote N_b .

Tal comportamento pode ser justificado pelo fato de que, para saltos mais longos (isto é, distâncias maiores entre fonte e destino), a relação sinal-ruído é menor no receptor. Por este motivo, torna-se vantajoso enviar pacotes mais curtos a fim de reduzir a probabilidade de erro na recepção devido ao ruído do canal. Deste modo, o número necessário de retransmissões é reduzido e tem-se menor consumo de energia.

Na Fig. 2(b), para $\alpha = 3$ e $R = 1\text{Mbps}$, com o aumento da atenuação do sinal recebido, devido ao maior valor do coeficiente de atenuação com a distância, resulta diminuição da relação sinal-ruído no receptor, se tornando vantajoso enviar pacotes no geral curtos (N_b ótimo aproximadamente entre 50 e 600 bits), em comparação com o caso em que $\alpha = 2$. Além disso, também se observa que o menor consumo de energia também acontece ao se enviar em um único salto. Nos cenários cujo número de nós é maior, tem-se maior interferência de nós adjacentes e isso justifica aumento no consumo de energia mediante realização de múltiplos saltos.

No entanto, deve-se observar os limites do rádio na hora de escolher o tamanho do pacote a ser transmitido pois, tal como pode ser visto nas Figs. 3(a) e 3(b), para valores de $\alpha = 2$ e 3, respectivamente, a potência ótima de transmissão necessária aumenta com o aumento de N_b . Isso se deve ao fato de que maiores tamanhos de pacotes exigem maiores potências para lidar com os erros do canal sem fio durante o período de transmissão.

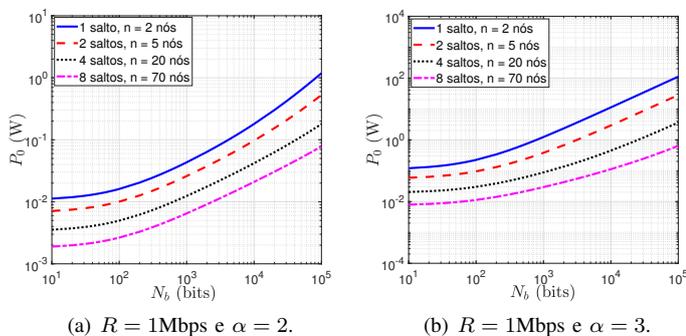


Fig. 3. Potência ótima de transmissão P_0 versus tamanho do pacote N_b .

Nas Figs. 4(a) e 4(b) são apresentados os resultados referentes à Eq. (2), que representa a probabilidade de uma estação transmitir com sucesso. Observa-se em ambos os cenários que

a probabilidade de transmitir um pacote com sucesso diminui com o aumento do tamanho do pacote. Isso se deve ao fato de que o aumento do tamanho do pacote aumenta o seu intervalo de vulnerabilidade, isto é, o tempo que o mesmo fica exposto aos erros do canal e colisões durante a transmissão.

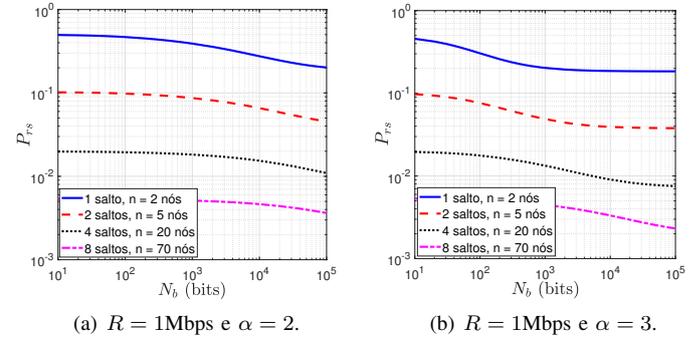


Fig. 4. Probabilidade de transmitir um pacote com sucesso P_{rs} versus o tamanho do pacote N_b .

As Figs. 5(a) e 5(b) apresentam, respectivamente, a energia consumida por bit para $\alpha = 2$ e 3, com $N_b = 1000\text{bits}$, em função da taxa de transmissão. Observa-se em todas as curvas que os menores consumos acontecerão para as maiores taxas. Isso pode ser explicado pelo fato de que quanto maior for o valor de R , menor será o tempo de transmissão do pacote que, por sua vez, resultará na diminuição de seu intervalo de vulnerabilidade no canal, diminuindo as chances de erro e também as colisões por consequência do protocolo *slotted* Aloha.

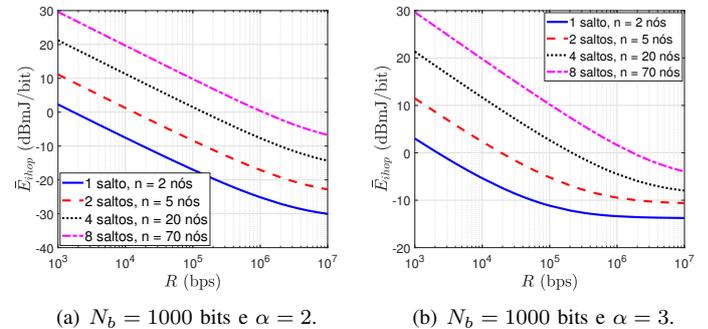


Fig. 5. Energia média por bit da rede aleatória \bar{E}_{ihop} em função da taxa de transmissão R .

Portanto, para tais redes, e para o conjunto de parâmetros aqui considerados, o melhor ponto de operação de R , ou seja, o que reduz o consumo de energia, é o maior valor possível permitido pelo hardware do rádio.

Outro ponto que deve ser levado em consideração na escolha de R é a potência de transmissão. Como ilustrado nas Figs. 6(a) e 6(b), para o esquema aqui adotado, transmitir a altas taxas demanda maior potência de transmissão ficando também seu valor limitado às possibilidades do hardware do rádio.

Por fim, também partindo da Eq. (2), as Figs. 7(a) e 7(b) representam as probabilidades de sucesso na entrega de um pacote em função da taxa de transmissão para $\alpha = 2$ e 3, respectivamente.

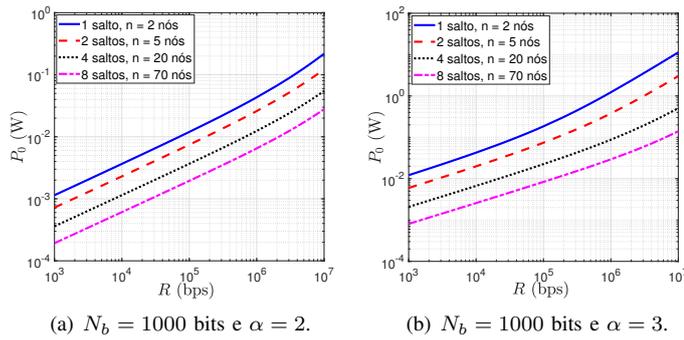


Fig. 6. Energia média por bit da rede aleatória \bar{E}_{ihop} , em função da taxa de transmissão R .

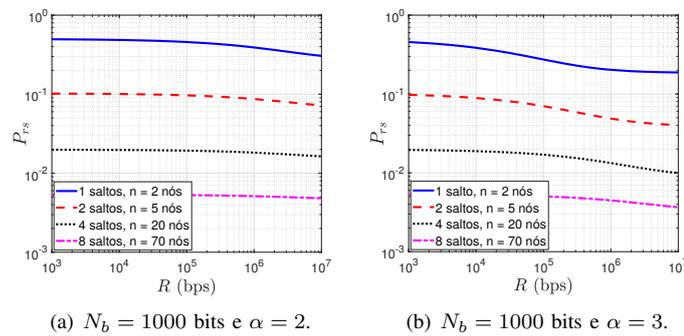


Fig. 7. Probabilidade de transmitir um pacote com sucesso P_{rs} versus taxa de transmissão R .

Assim como verificado para o aumento no valor de N_b , à medida que a taxa de transmissão aumenta, verifica-se que há redução na probabilidade de uma estação transmitir um pacote com sucesso. Transmitir a altas taxas aumenta a probabilidade de erro no sistema, e conseqüente falha na recepção de pacotes, pelo fato de a taxa de transmissão de dados ser função direta da BER. Isso está relacionado à necessidade do aumento da potência ótima de transmissão de forma a compensar os erros na recepção conseqüentes do aumento de R .

Os resultados para os cenários e premissas aqui considerados mostram que é possível se adaptar o tamanho do pacote e a taxa de transmissão para se obter reduzido consumo de energia. Também é possível estabelecer se a transmissão entre a fonte e o destino é mais vantajosa através de um único salto ou por múltiplos saltos, levando-se em consideração os demais parâmetros da camada física e do protocolo de acesso ao meio.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por finalidade investigar o comportamento do consumo médio de energia por bit para transmissão bem sucedida, em uma rede *ad hoc* sem fio aleatória, empregando múltiplos saltos. Uma das contribuições do estudo foi partir de duas formulações de consumo de energia empregadas na literatura e ampliá-las para considerar o protocolo de acesso ao meio *slotted* Aloha e adaptar a análise para considerar redes aleatórias com um esquema simples de roteamento.

Outra contribuição do trabalho foi determinar a potência ótima de transmissão em função dos parâmetros das camadas

física e de enlace e a conseqüente faixa de variação da taxa de transmissão e do tamanho do pacote, para diferentes saltos, e observar o mínimo consumo de energia para a transmissão por bit. Foram estudados os casos em que os coeficientes de atenuação com a distância eram, respectivamente, dois e três, os quais modelam distintos cenários de comunicação sem fio.

Como trabalhos futuros, pretende-se empregar otimização multi-objetiva, considerando outros protocolos de acesso ao meio mais sofisticados e outros esquemas de roteamento. Também serão considerados outros modelos de atenuação e desvanecimento do sinal. Pretende-se ainda realizar testes em simuladores de redes e em módulos práticos de comunicação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado em parte pelo Centro de Informática (CIn), pela Propesq-UFPE, e pela FACEPE.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Gupta and P. Saxena, "Energy consumption in wireless ad hoc network," in *3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, Goa, Índia, Nov. 2010.
- [2] M. Kumrawat and M. Dhawan, "Optimizing energy consumption in wireless sensor network through distributed weighted clustering algorithm," in *International Conference on Computer, Communication and Control (IC4)*, Indore, India, Sep. 2015.
- [3] H. Xiao, D. M. Ibrahim, and B. Christianson, "Energy consumption in mobile ad hoc networks," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Istanbul, Turkey, Apr. 2014.
- [4] A. S. Sadiq, T. Z. Almohammad, R. A. B. M. Khadri, A. A. Ahmed, and J. Lloret, "An energy-efficient cross-layer approach for cloud wireless green communications," in *Second International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC)*, Valencia, Spain, May. 2017.
- [5] A. Akbas, H. U. Yildiz, B. Tavli, and S. Uludag, "Joint optimization of transmission power level and packet size for wsn lifetime maximization," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 12, pp. 5084–5094, 2016.
- [6] S. K. Singh, P. Kumar, J. P. Singh, and M. A. A. Alryalat, "An energy efficient routing using multi-hop intra clustering technique in wsns," in *TENCON IEEE Region 10 Conference*, Penang, Malaysia, Nov. 2017.
- [7] J. Choi, "Noma-based random access with multichannel aloha," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 35, no. 12, pp. 2736–2743, 2017.
- [8] L. Roberts, "Aloha packet system with and without slots and capture," *ACM SIGCOMM Computer Commun. Review*, vol. 5, no. 2, pp. 28–42, 1975.
- [9] E. Balevi, F. T. A. Rabee, and R. D. Gitlin, "Aloha-noma for massive machine-to-machine iot communication," in *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kansas City, MO, USA, July 2018.
- [10] R. Zhang and J.-M. Gorce, "Optimal transmission range for minimum energy consumption in wireless sensor networks," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Las Vegas, NV, USA, Mar. 2008.
- [11] P. C. Ghobad and R. M. de Moraes, "Ber analysis with an appropriate friis formula for multi-hop aloha dense ad hoc networks," in *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, Québec, Canada.
- [12] S. Panichpapiboon, G. Ferrari, and O. K. Tonguz, "Sensor networks with random versus uniform topology: Mac and interference considerations," in *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Milan, Italy, May 2004.
- [13] J. Gao, "Analysis of energy consumption for ad hoc wireless sensor networks using a bit-meter-per-joule metric," *IPN Progress Report*, vol. 42, no. 150, pp. 1–19, 2002.
- [14] J.-M. Gorce, R. Zhang, and H. Parvery, "Impact of radio link unreliability on the connectivity of wireless sensor networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, no. 1, pp. 1–16, 2007.
- [15] B. A. Da Silva and R. M. De Moraes, "Um estudo sobre o consumo de energia em redes ad hoc lineares aloha com saltos equidistantes," in *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais*, Campina Grande, PB, 2018.
- [16] H. Karl and A. Willig, *Protocols and architectures for wireless sensor networks*. John Wiley & Sons, 2007.