

Algoritmo DTN com Controle de Energia Aplicado em Redes de Sensores Corporais Sem-Fio

Creyton B. de M. Ferreira¹, Raphael M. Guedes², Felipe da R. Henriques¹

Resumo—Redes de Sensores Corporais Sem-Fio (WBANs), com suporte a mobilidade, estão sujeitas a desconexões devido a variações posturais típicas do movimento humano; ou seja, WBANs deste tipo apresentam comportamento semelhante a redes DTN (*Delay Tolerant Networks*). Desta forma, propomos o α -ProPHET, uma modificação de um algoritmo de DTN que incorpora a energia residual do sensor na decisão de encaminhamento. Através de simulações avaliamos o algoritmo proposto em conjunto com outros da literatura. Utilizamos um padrão de movimento baseado em situações reais e posturas típicas do ser humano, a fim de se obter resultados mais próximos da realidade. Por fim, pôde-se verificar que os algoritmos de DTN foram mais eficientes que o tradicional, quando submetidos a redes WBAN com mobilidade.

Palavras-Chave—WBAN, DTN, energia, mobilidade.

Abstract—Wireless Body Area Networks (WBANs), with mobility support, are subject to disconnections due to postural variations typical of human movement; that is, WBANs of this type exhibit similar behavior to DTN (*Delay Tolerant Networks*). In this way, we propose the α -ProPHET, a modification of a DTN algorithm that incorporates the residual energy of the sensor in the forwarding decision. Through simulations, we evaluate the proposed algorithm with others from the literature. We use a pattern of movement based on real situations and typical postures of the human being, in order to obtain results that are closer to reality. Finally, it was verified that the DTN algorithms were more efficient than the traditional when submitted to WBANs with mobility.

Keywords—WBAN, DTN, energy, mobility.

I. INTRODUÇÃO

Nas Redes de Sensores Sem-Fio (RSSFs) [1], nós sensores espalhados em uma dada região de interesse, a ser monitorada, são capazes de coletar dados do ambiente, processá-los, e transmiti-los utilizando uma topologia sem-fio para comunicação, como em uma rede *ad hoc* [2]. Há uma miríade de aplicações para as RSSFs, tais como: agricultura [3], monitoramento de minas subterrâneas [4], aplicações da área militar [5], entre outras.

Neste trabalho, consideramos RSSFs aplicadas no monitoramento de dados biométricos de pacientes [6], tais como ECG (eletrocardiograma) ou saturação de oxigênio do sangue. Tais redes são comumente chamadas de Redes de Sensores Corporais Sem-Fio (*Wireless Body Area Networks* - WBANs) [7]. Os nós sensores em WBANs podem estar dispostos sobre a pele de pacientes, ou até mesmo implantados. Esta disposição traz novos desafios para a comunicação de dados [8], tais como: temperatura dos nós sensores [9], que podem causar danos a

tecidos, e o próprio canal de comunicação, devido a potência de transmissão.

Como a potência de transmissão utilizada em redes corporais sem-fio costuma ser baixa, da ordem de -10dBm [10], pequenos movimentos corporais podem causar desconexões entre os nós sensores, e consequente perda de pacotes. Logo, neste trabalho, investigamos o impacto da movimentação de pacientes monitorados por nós sensores corporais na comunicação de dados.

Uma das formas de mitigar estas perdas de pacotes provenientes de desconexões e atrasos na comunicação, é a utilização de algoritmos próprios para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTN - *Delay-Tolerant Network*) [11]. Assim, propomos o algoritmo α -ProPHET, que é uma variação do algoritmo ProPHET [12] próprio de DTN. O algoritmo original utiliza a previsibilidade de entrega entre dois nós A e B, que é atualizada após cada encontro. A previsibilidade de entrega leva em conta a probabilidade de encontro entre dois nós. Desse modo, nós que se encontram mais tendem a se comunicar mais. O α -ProPHET inclui a energia residual dos nós no cálculo desta previsibilidade. Assim sendo, espera-se que o algoritmo proposto tenda a retardar desconexões provenientes do esgotamento de energia de algum nó.

Realizamos simulações utilizando o ambiente Omnet++ [13], no qual uma rede corporal sem-fio transmite dados sobre o padrão IEEE 802.15.6 [14], desenvolvido em 2012 para aplicações médicas das RSSFs ¹.

Comparamos o algoritmo proposto, o ProPHET original, um algoritmo tradicional de WBAN e um algoritmo que usa um modelo epidêmico de disseminação de dados. Pôde-se verificar que o α -ProPHET superou ambos os algoritmos de DTN, tanto em termos de taxa de entrega de dados, quanto ao consumo de energia dos nós sensores.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção II apresenta os dois algoritmos DTN utilizados neste trabalho; a Seção III apresenta o algoritmo proposto; a Seção IV apresenta o cenário considerado nas simulações e as discussões acerca dos resultados obtidos; e a Seção V conclui o presente trabalho.

II. ALGORITMOS PARA REDES DTN

A. Algoritmo Epidêmico

O modelo de roteamento epidêmico foi projetado para fornecer uma alta taxa de entrega de pacotes, em cenários

¹CEFET-RJ, campus Petrópolis, Petrópolis, Brasil. ²LAND-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. E-mails: creytonbarretobmf@gmail.com, raphael@land.ufrj.br, felipe.henriques@cefet-rj.br.

¹Em [9], verificou-se que o padrão IEEE 802.15.6 superou o IEEE 802.15.4 em aplicações WBAN, no que diz respeito ao consumo de energia dos nós e a taxa de entrega da dados.

onde se conhece pouco a respeito da topologia da rede. Em seu funcionamento, dois sensores compartilham sua lista de pacotes sempre que estiverem em contato e, posteriormente, esses pacotes são replicados.

Nesse sentido, o algoritmo trabalha com a ideia de que quanto maior a quantidade de réplicas de um pacote, maiores são as chances de entrega ao destino, sem levar em consideração o uso dos recursos da rede. Além disso, devido a maior disponibilidade, o atraso é menor quando comparado com algoritmos não tolerantes à desconexões e atrasos [15], como o AODV (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*) [16]. Entretanto, esse modelo é extremamente custoso, devido a grande quantidade de cópias que um determinado pacote circulando na rede pode ter. O excesso de cópias ocupa um considerável espaço na memória do sensor, que por sua vez, pode ficar incapacitado de processar dados. Em casos extremos, pode haver uma menor probabilidade de entrega dos pacotes, como também um maior atraso médio na rede devido à grande alocação dos recursos.

B. Algoritmo ProPHET

Para reduzir a alocação de recursos da rede, pode-se utilizar o algoritmo ProPHET (*Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity*), que encaminha os pacotes baseado na probabilidade de entrega. Dado os sensores A, B e C, o sensor A tenderá a se conectar com B se a probabilidade de entrega for maior, quando comparado ao sensor C. O algoritmo beneficia-se da não aleatoriedade dos movimentos dos sensores e, a partir do histórico de encontro dos nós, decisões de encaminhamento são tomadas, conforme apresentado em [17]. Dado um sensor, para cada destino previamente conhecido é atribuído um valor de probabilidade de entrega, que é atualizado a cada encontro dos sensores. Dadas as variações posturais típicas do movimento humano, dois pares de sensores podem não se encontrar diretamente e, por isso, aplica-se uma propriedade transitiva. Nesse sentido, uma métrica de qualidade do contato intermediário é estabelecida a fim de eleger o sensor mais adequado para realizar o chaveamento (mediação) do pacote até o destino.

III. ALGORITMO α -PROPHET

A proposta de modificação do ProPHET, o α -ProPHET, parte do princípio de que a trajetória de movimento dos sensores em redes WBAN é mais estável que em outros modelos de rede onde se aplica o ProPHET, como é o caso das redes VDTN (*Vehicular Delay Tolerant Network*), por exemplo. Pôde-se observar, a partir de [18], que não existe uma distribuição uniforme na probabilidade de escolha de qual nó encaminhará/replicará os dados.

Nesse sentido, quase sempre um mesmo nó, ou um pequeno conjunto, é eleito para fazer o chaveamento dos pacotes, sobrecarregando-o e ocasionando a redução de seu período de atuação devido ao esgotamento de energia. Como consequência, após esse sensor (sobrecarregado) ficar inativo, por falta de energia, a taxa média da perda de pacotes aumentará, pois um nó com menor probabilidade de entrega assumirá o posto de novo nó preferencial, para o chaveamento.

A partir dessas considerações, apresentamos o α -ProPHET, que leva em conta as particularidades de uma rede WBAN, anteriormente mencionadas. Para atender tais necessidades foi realizada a inserção de um novo parâmetro no cálculo da previsibilidade de entrega, a energia residual. Dessa forma, adiamos a sobrecarga de um sensor pois os dados também são chaveados de acordo com a energia residual de cada nó apto à recepção do pacote. Utilizamos, no modelo de rede proposto, um padrão de movimento baseado em posturas típicas do ser humano [19], a fim de se obter resultados mais próximos da realidade.

Dados os sensores A, B e C, o sensor A tenderá a se conectar com aquele que possuir uma maior probabilidade de entrega, conforme a Equação 1.

$$P_{(A,B)} \geq P_{(A,C)} \longrightarrow A \xrightarrow{\text{conecta}} B. \quad (1)$$

A Equação 2, contabiliza o consumo de energia do sensor, devido a alguma atividade, tal como: transmissão, recepção ou estado *idle*, conforme especificação do OMNeT++ [13]. E_{rf} , então, guarda a energia residual, enquanto E_t representa a energia inicial do nó sensor e, $t_f > t$.

$$E_{rf} = E_t - \sum_{t=0}^{t_f} E_{consumida}. \quad (2)$$

Para o cálculo da probabilidade de entrega do α -ProPHET, utilizamos como base a proposta original definida pela Equação 3, com um acréscimo do fator α , tal que $\alpha \in (0, 1]$, que representa um peso dado sob a energia residual do sensor, no instante do encontro. Na Equação 3, o cálculo da probabilidade de entrega é realizado levando-se em consideração dois sensores A e B, diretamente conectados. Para o cálculo, utiliza-se $P_{(A,B)old}$, que corresponde ao valor antigo da probabilidade de entrega entre A e B, e i_0 é uma constante de inicialização própria do ProPHET original, onde $i_0 \in (0, 1]$.

$$P_{(A,B)} = P_{(A,B)old} + (1 - P_{(A,B)old}) \times i_0. \quad (3)$$

A Equação 4 define o cálculo da probabilidade de entrega do α -ProPHET, considerando o fator α e a energia residual do nó.

$$P_{(A,B)} = P_{(A,B)old} + (1 - P_{(A,B)old}) \times i_0 \times \left[\frac{\alpha}{1 - E_{rf}} \right]. \quad (4)$$

Dados os sensores A e C, conectados indiretamente através de um sensor intermediário B, é calculada, na Equação 5, a probabilidade dos dois sensores A e C trocarem informações. Para isso, leva-se em consideração a probabilidade de entrega entre A e B, $P(A,B)$, e a probabilidade de entrega entre B e C, $P(B,C)$, avaliando, então, a disponibilidade do nó intermediário no que se refere ao chaveamento (mediação) dos pacotes. O cálculo da nova probabilidade usa como base a probabilidade antiga, semelhante a Equação 3. Uma constante de inicialização ω_0 , $\in (0, 1]$, é levada em consideração no cálculo juntamente com o fator α , comentado anteriormente. Assim como i_0 , ω_0 , também é uma constante própria do

ProPHET original.

$$P_{(A,C)} = P_{(A,C)old} + (1 - P_{(A,C)old}) \times P_{(A,B)} \times P_{(B,C)} \times \omega_0 \times \left[\frac{\alpha}{1 - E_{rf}} \right]. \quad (5)$$

Mudanças no valor da probabilidade de entrega em cada elemento da lista de contatos do sensor são determinadas a partir do tempo em que a informação foi adicionada. Esse procedimento ocorre para que os valores sejam mantidos atualizados mesmo em grandes períodos de desconexão. Uma constante de envelhecimento η , tal que $\eta \in [0, 1]$, é definida. Dada a probabilidade antiga, $P_{(A,B)old}$, e sendo t o tempo decorrido após o último contato, a atual probabilidade de entrega pode, assim, ser calculada pela Equação 6 que, diferente das Equações 3 e 5, não utiliza diretamente o fator α para o cálculo de probabilidade.

$$P_{(A,B)} = P_{(A,B)old} \times \eta^t. \quad (6)$$

O funcionamento do α -ProPHET² é mostrado no **Algoritmo 1**. Um conjunto de sensores S_1, \dots, S_n , e as constantes de inicialização i_0 , t_0 e ω_0 são carregadas. Assume-se que a condição de parada do algoritmo é o tempo de vida da rede, ou seja, enquanto o sorvedouro recebe mensagens³. Inicialmente, a função *IncrementaTempo()* mantém o tempo de execução atualizado. A função *Prob()* calcula, a partir da previsibilidade anterior (Old) e do fator α a probabilidade atual de entrega (Equação 4), mantida pela função *Atualiza()*, que a partir do tempo corrido desde o último contato, calcula a probabilidade atual (Equação 6). A função *Fila* é responsável por armazenar os valores da previsibilidade de entrega em uma estrutura, em ordem de prioridade, de maneira que o sensor vizinho com maior chance de entrega será gravado na primeira posição. Além disso, a função *AtualizaEnergiaResidual()* é chamada para atualização dos dados a respeito da energia residual dos sensores da rede.

Quando a função *Encontro()* retorna *false*, para contato direto entre dois sensores, a função *Transitividade()* é verificada e, possivelmente, invocada para gravar em *Sensor_y* o nó intermediário eleito para mediação. A probabilidade transitiva é calculada por *ProbTr()* (Equação 5). Por fim, utiliza-se a função *Transmite()* para acessar a fila de prioridade e enviar os pacotes.

IV. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

A. Cenário de Simulação

Consideramos como ambiente de simulação uma rede WBAN com suporte a mobilidade submetida a padrões de movimentações típicas do ser humano utilizando o MoBAN/Omnet++ [19]. O esquema de rede é submetido ao padrão IEEE 802.15.6 para avaliação de desempenho do algoritmo proposto. A distribuição dos sensores no cenário

²O algoritmo ProPHET pode ser obtido desconsiderando o fator α e os procedimentos referentes as atualizações de energia residual de cada sensor.

³Após 30 segundos sem receber dados, o sorvedouro envia um *HELLO* em *broadcast* e aguarda confirmação. Consideramos como tempo de vida da rede, o instante logo após a terceira tentativa sem sucesso.

Algoritmo 1: Algoritmo α -ProPHET

```

Entrada:  $S_1, \dots, S_n, i_0, t_0, \omega_0$ 
início
  repita
    repita
      repita
         $t \leftarrow IncrementaTempo(t_0)$ 
        if (Encontro( $S_i, S_j$ ) == true) then
          Prob( $S_i, S_j, \alpha$ )
           $S_i.Fila() \leftarrow Prob(S_i, S_j, \alpha)$ 
        else
          if Transitividade() == true then
             $Sensor_y \leftarrow Intermediario()$ 
            ProbTr( $S_i, S_j, Sensor_y, \alpha$ )
          end
        até  $j = 0$  até  $n$ ;
        Transmite( $S_i.Fila$ )
        Atualiza(Old)
        AtualizaEnergiaResidual( $S_1, \dots, S_n$ )
      até  $i = 0$  até  $n$ ;
    até Tempo de vida da rede;
fim

```

estabelecido é baseada nas propostas de [20] e [21], e pode ser vista na Figura 1.

Para fins de comparação, um limite superior teórico, no que se refere a taxa de entrega, foi estabelecido. Considerou-se o modelo Epidêmico teórico onde cada sensor da rede possui capacidade infinita de encaminhar pacotes sem nenhuma perda de dados (*buffer overflow*). A energia inicial dos sensores é de 18.720 Joules, a potência de transmissão é de -10dBm e a sensibilidade do receptor é de -87dBm, conforme [22].

Devido a natureza probabilística dos algoritmos avaliados, deixamos os 120 segundos iniciais de simulação para um “aquecimento” da rede, permitindo, após o primeiro encontro, que os sensores obtenham dados iniciais para o cálculo da probabilidade de entrega. Neste instante, as constantes de inicialização são determinadas. Todos os resultados apresentados são referentes a média de 30 rodadas de simulação, com um intervalo de confiança de 95%.

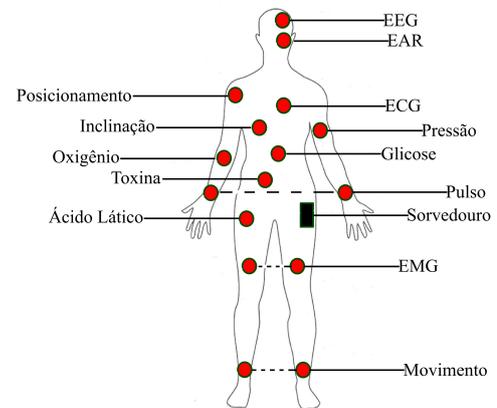


Fig. 1. Cenário de Simulação.

B. Avaliação da Taxa de Entrega de Pacotes

A Figura 2 apresenta a taxa percentual média de entrega de pacotes para todos os sensores da rede em função do tempo de simulação, para uma taxa de transmissão de 5 pacotes por segundo. Inicialmente, o ProPHET possui maior taxa de entrega. A princípio, os pacotes são encaminhados para o sensor com maior probabilidade de entrega independente da questão energética. Decorrido um longo período de tempo (após 50 horas), observa-se uma superioridade do α -ProPHET em relação ao original. Esse ganho ocorre pois, no ProPHET, após um certo tempo, sensores intermediários podem ficar sobrecarregados e até mesmo inativos. Assim, o algoritmo proposto permite, ao fazer o chaveamento levando em consideração a energia residual, uma maior sobrevivência nos sensores da rede. Desse modo, a métrica de energia residual no cálculo da probabilidade implica em uma melhor distribuição do tráfego de pacotes, evitando, assim, sobrecarga nos sensores intermediários. Vale destacar que ainda pode haver perdas de pacotes por colisão.

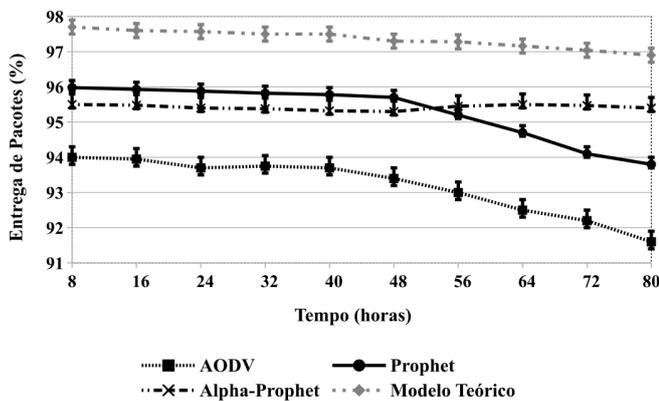


Fig. 2. Avaliação da taxa percentual média de entrega de pacotes, para todos os nós sensores, em função o tempo de simulação, considerando uma taxa de transmissão de 5 pacotes por segundo.

C. Avaliação do Consumo de Energia

A Figura 3 apresenta o consumo energético de quatro sensores (ECG, EEG, Pulso e Movimento), em Joules, considerando uma taxa de transmissão de 5 pacotes por segundo, e a Figura 4 apresenta o consumo médio de energia dos nós da rede, em Joules, em função da taxa de transmissão (em pacotes por segundo), ambas para os primeiros 1.200 segundos de simulação. Nota-se um melhor aproveitamento de energia nos sensores com menor mobilidade – ECG e EEG – em relação aos sensores localizados nos membros superiores e inferiores – Pulso e Movimento. Observou-se ainda que o algoritmo proposto possui uma melhor eficiência energética quando comparado ao ProPHET e AODV, pois ele leva em consideração a energia residual do sensor, além da probabilidade de entrega, para eleger o sensor apto a chavear os pacotes. O mesmo comportamento também foi observado para o sensor do Pulso.

D. Avaliação do Atraso

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para o atraso médio (em milissegundos), para o mesmo conjunto de sensores,

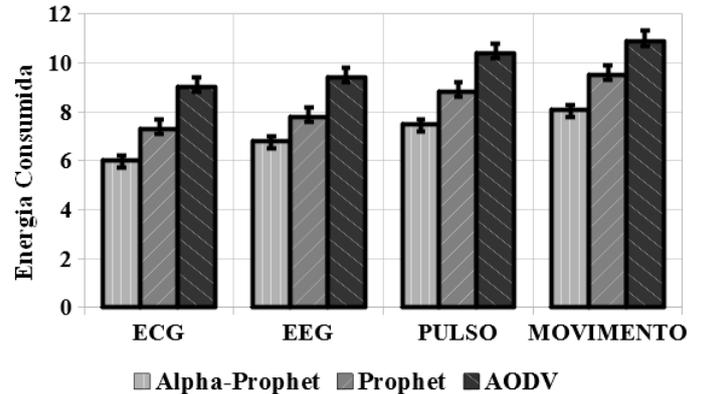


Fig. 3. Avaliação da energia consumida para quatro sensores da rede, em Joules, após 1.200 segundos, considerando uma taxa de transmissão fixa de 5 pacotes por segundo.

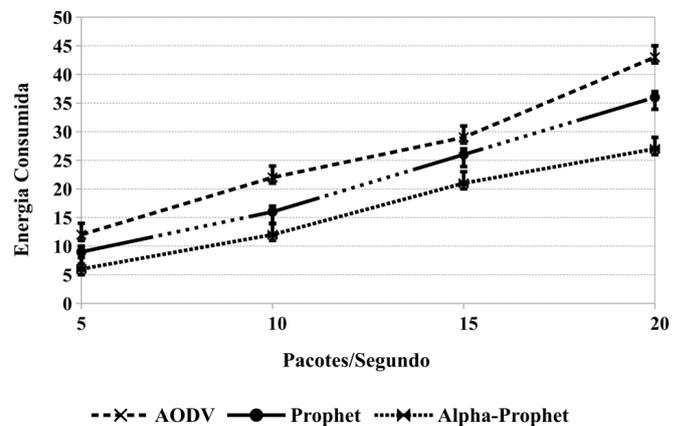


Fig. 4. Avaliação da energia média consumida por todos os nós da rede, em Joules, após 1.200 segundos de simulação, em função da taxa de transmissão.

após 1.200 segundos de simulação e considerando uma taxa de transmissão fixa de 5 pacotes por segundo. Observa-se um menor atraso para o algoritmo proposto em relação aos demais. Notou-se, entretanto, que nos minutos iniciais o ProPHET (algoritmo original) apresentou menor atraso em relação ao α -ProPHET, semelhante ao comportamento observado na métrica de taxa de entrega, e evidenciado na Figura 2. Contudo, devido ao melhor gerenciamento da energia disponível, após os minutos iniciais, o algoritmo proposto adquire, em média, um atraso menor. Esse comportamento ocorre principalmente pela sobrevida que o algoritmo proposto fornece aos sensores.

E. Avaliação de um Cenário com alta Mobilidade

A Figura 6 apresenta a taxa percentual de perda de pacotes para o sensor de movimento em função da taxa de transmissão (em pacotes por segundo), para 1.200 segundos de simulação, em um cenário de alta mobilidade. Neste cenário, consideramos variações posturais correspondentes a atividade de corrida. Pode-se verificar que o algoritmo proposto apresenta uma menor taxa de perda em relação aos demais algoritmos avaliados, mesmo quando há maior mobilidade do indivíduo monitorado e, por consequência, do sensor. Destacamos que o

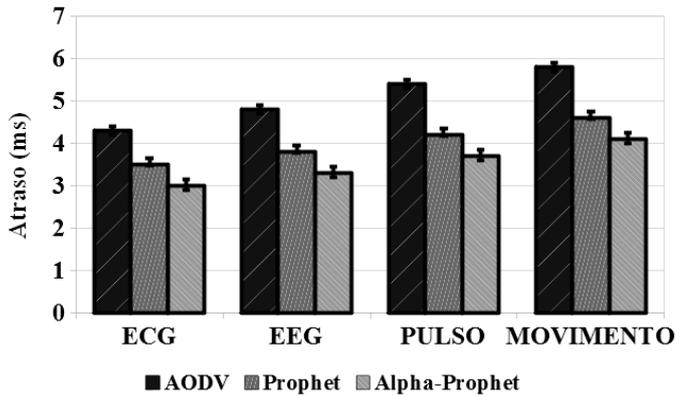


Fig. 5. Avaliação do atraso médio (em milissegundos) para quatro sensores da rede, considerando uma taxa de transmissão de 5 pacotes por segundo e 1.200 segundos de simulação.

mesmo comportamento foi também observado para o sensor de pulso, em que se avaliou atividades como mexer os braços.

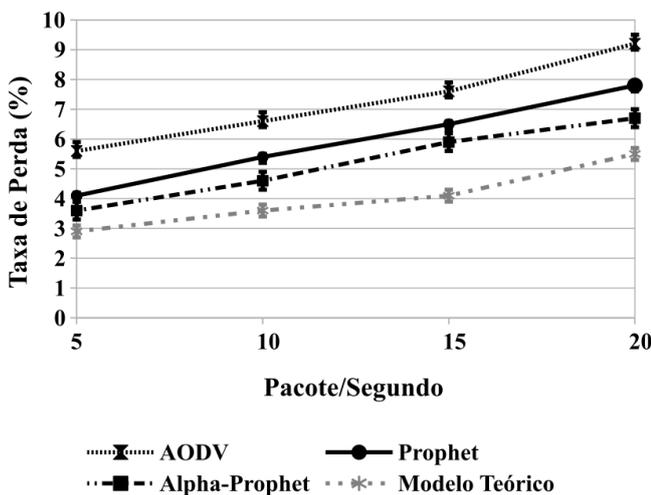


Fig. 6. Avaliação da taxa percentual de perda de pacotes para o sensor de movimento, em função da taxa de transmissão, para 1.200 segundos de simulação, para um cenário de alta mobilidade.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, propomos o algoritmo DTN α -ProPHET, para Redes de Sensores Corporais Sem-Fio, de modo a mitigar possíveis perdas de pacotes referentes a desconexões provenientes de variações posturais. O algoritmo proposto se diferencia do ProPHET (original), pois inclui um termo que considera a energia residual do sensor para o cálculo da probabilidade de entrega e decisão de encaminhamento.

O algoritmo roda sobre o padrão IEEE 802.15.6, específico de redes de sensores corporais sem-fio, e é comparado com outros algoritmos DTN, além do AODV, através do ambiente de simulação Omnet++. Os resultados obtidos mostram que o α -ProPHET consegue uma economia de energia em relação aos demais, além de ter um menor atraso e menor taxa de perda de pacotes, inclusive quando se considera um cenário de alta mobilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393–422, March 2002.
- [2] "Redes de Sensores Sem Fio," in *Minicurso do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pp. 179–226, 2003.
- [3] H. M. Jawad, R. Nordin, S. K. Gharghan, A. M. Jawad, and M. Ismail, "Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review," *Sensors*, vol. 17, no. 8, 2017.
- [4] L. Silva, S. Neves, J. Pena, L. Aguayo, A. J. Barreto, A. N. Braga, and L. U. Garcia, "Comunicações em Minas Subterrâneas," in *XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, (Brasil), Setembro 2015.
- [5] T. Azzabi, H. Farhat, and N. Sahli, "A survey on wireless sensor networks security issues and military specificities," in *2017 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (ICASET)*, pp. 66–72, Jan 2017.
- [6] F. R. Henriques, L. C. S. C. Retondaro, E. F. Carneiro, and D. K. T. de Moraes, "Remote Monitoring of Electrocardiogram Signals Transmitted in a ZigBee Network," in *Proceedings of the XXXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações-SBrT 2013*, (Fortaleza-CE), pp. 1–5, 2013.
- [7] G. Yang, "Body Sensor Networks," *Springer*, 2008.
- [8] V. C. Ferreira, H. Balbi, F. L. Seixas, C. Albuquerque, and D. C. Muchaluat-Saade, "Wireless Body Area Networks: An Overview," in *Minicurso do XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais-SBrT 2017*, (São Pedro-SP), pp. 1–14, 2017.
- [9] C. B. M. Ferreira and F. R. Henriques, "Chaveamento de Transmissão Baseado na Temperatura do Nó em Redes de Sensores Corporais Sem Fio," in *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais-SBrT 2018*, (Campina Grande-PB), pp. 1–5, 2018.
- [10] V. Kumar and B. Gupta, "Performance Analysis of IEEE 802.15.6 CSMA/CA Protocol for WBAN Medical Scenario through DTMC Model," *Journal of Medical Systems*, vol. 40, p. 276, Oct 2016.
- [11] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged internets," in *Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, SIGCOMM '03*, (New York, NY, USA), pp. 27–34, ACM, 2003.
- [12] A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, and S. Grasic, "Probabilistic routing protocol for intermittently connected networks," tech. rep., 2012.
- [13] A. Varga, "Omnet++," in *Modeling and tools for network simulation*, pp. 35–59, Springer, 2010.
- [14] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks," in *Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, USA, Standard*, 2012.
- [15] M. Quwaider, M. Taghizadeh, and S. Biswas, "Modeling on-body dtn packet routing delay in the presence of postural disconnections," *EU-RASIP journal on wireless communications and networking*, vol. 2011, no. 1, p. 280324, 2011.
- [16] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (aodv) routing," tech. rep., 2003.
- [17] M. Quwaider and S. Biswas, "Dtn routing in body sensor networks with dynamic postural partitioning," *Ad Hoc Networks*, vol. 8, no. 8, pp. 824–841, 2010.
- [18] S. Grasic, E. Davies, A. Lindgren, and A. Doria, "The evolution of a dtn routing protocol-prophetv2," in *Proceedings of the 6th ACM workshop on Challenged networks*, pp. 27–30, ACM, 2011.
- [19] M. Nabi, M. Geilen, and T. Basten, "Moban: A configurable mobility model for wireless body area networks," in *Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, pp. 168–177, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and ...), 2011.
- [20] L. Huang, M. Ashouei, F. Yazicioglu, J. Penders, R. Vullers, G. Dolmans, P. Merken, J. Huisken, H. de Groot, C. Van Hoof, et al., "Ultra-low power sensor design for wireless body area networks: challenges, potential solutions, and applications," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 3, no. 3, pp. 136–148, 2009.
- [21] M. Verma and R. Rai, "Energy-efficient cluster-based mechanism for wban communications for healthcare applications," *International Journal of Computer Applications*, vol. 120, no. 19, 2015.
- [22] A. Bouayad, E. H. Chaoui, M. E. Ghazi, and M. E. Bekkali, "Energy Efficiency of IEEE 802.15.6 MAC Access Modes for Remote Patient Monitoring Applications," *International Journal of Computer Science and Information Security*, vol. 13, pp. 68–77, Apr 2015.