

Um Algoritmo de Decisão de *Handover* Baseado em QoS e Autonomia Energética

Sávio R. A. A. Silva, Ricardo J. P. de B. Salgueiro, Edilayne M. Salgueiro, William F. Giozza e Anderson S. F. da Silva

Resumo— Em redes sem fio o critério normalmente utilizado na fase de decisão de *handover* é a potência de sinal recebido das redes disponíveis (RSS). Este trabalho propõe um algoritmo de decisão de *handover* baseado em função de custo que leva em consideração, além do RSS, critérios de QoS e de consumo de energia. Resultados obtidos a partir de simulações em ambiente composto por redes Wi-Fi e WiMAX e cenários em que a bateria do terminal móvel está com carga suficiente e baixa, mostraram que o algoritmo contribui para reduzir o número de decisões erradas de modo que não haja uma degradação da QoS.

Palavras-Chave— *handover*, energia, QoS

Abstract— In wireless networks, the usual criterion for *handover* decision is the received signal strength of the available networks (RSS). This work proposes a *handover* decision algorithm based on a cost function that takes into account together the RSS, QoS and energy consumption criterias. Performance evaluation results were obtained by simulation including Wi-Fi and WiMAX networks scenarios, with mobile devices in sufficiently charged and low load battery conditions. It is shown that the proposed algorithm contributes to reducing the number of wrong decisions without QoS degradation.

Keywords— *handover*, energy, QoS

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se uma grande diversidade de tecnologias de redes sem fio. A visão da quarta geração (4G) de redes celulares inclui a coexistência das tecnologias de rede sem fio atuais, tais como *Bluetooth*, *ZigBee*, Wi-Fi, WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) e as redes celulares 3G. Vários dispositivos como *notebooks*, *tablets* e *smartphones* já vêm equipados com mais de uma interface para disponibilizar mais de um tipo de rede sem fio. Esta característica deve ser mantida para as gerações futuras. Para a 5G é prevista a inserção do desenvolvimento WWWW (*World Wide Wireless Web*) e das redes sem fio ad-hoc dinâmicas (*Dynamic adhoc Wireless Networks* - DAWN). Na evolução para a sexta (6G) e sétima geração (7G) é vislumbrada a adição do uso combinado com as redes de fibra óptica e a mobilidade ampliada com a comunicação por satélite, respectivamente [1]. Tanto na atual geração como nas futuras, usuários altamente móveis, isto é, que constantemente estão mudando de localização, desejam estar sempre conectados a uma rede e manter suas aplicações funcionando enquanto estão se deslocando entre vários lugares [2]. Geralmente, a

migração para uma determinada rede ocorre quando a potência do sinal recebido (*RSS-Received Signal Strength*) do ponto de acesso sofre uma degradação. Entretanto, o *handover* também pode ser iniciado levando em consideração critérios como preferências do usuário, parâmetros de Qualidade de Serviço (QoS - *Quality of Service*) da rede alvo e consumo de bateria do dispositivo móvel.

Trabalhos baseados em potência de sinal recebido foram os primeiros a tratar a questão de mobilidade [3]. Outras propostas como a de Sanap e Sambare [4] utilizam a estimação da largura de banda como fator de decisão. Hong e outros [5] usam uma função de custo para o consumo de energia, vazão e valor monetário; enquanto Boussen e outros [6] aplicam lógica difusa em esquema sensível ao contexto para decisão baseada em consumo de energia. Já em [7], a decisão baseou-se em histórico do comportamento do usuário, levando em conta o consumo e vazão.

O trabalho aqui apresentado propõe um método de Decisão de *Handover* que se destaca por levar em consideração concomitantemente a potência do sinal, medidas de Qualidade de Serviço e de consumo de energia, sem depender de informações prévias de usuários. Adicionalmente, o algoritmo desenvolvido considera a Probabilidade de Decisão Errada (PDE), o efeito *ping-pong* e o tempo restante da aplicação. Uma decisão errada é tomada quando em um tempo imediatamente posterior a um *handover* efetuado, a rede escolhida passa a ser considerada menos adequada. Neste caso, um outro *handover* para a rede original pode ser derivado resultando no efeito *ping-pong*. Isto pode afetar significativamente o nível de QoS das aplicações em execução, bem como o tempo de vida útil da bateria do terminal móvel. Ademais, do ponto de vista das redes de acesso, a realização de vários *handovers* de forma desnecessária pode causar sobrecarga nas mesmas [8]. O tempo restante de uma aplicação em decurso é considerado na decisão quando, mesmo estando numa rede de maior consumo energético, é mais vantajoso continuar na mesma rede e concluir o serviço, caso esteja próximo de seu final. Este trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta o algoritmo de decisão aqui proposto, enquanto a Seção III realiza sua avaliação de desempenho. A Seção IV apresenta as conclusões.

II. ALGORITMO DE DECISÃO DE HANDOVER

O algoritmo de *handover* proposto, denotado por algoritmo PQE (*Power-QoS-Energy*), é exibido na Figura 1. A execução do mesmo ocorre em três etapas: Avaliação de RSS, Avaliação de QoS e Avaliação de Consumo de Energia. A avaliação de

Sávio R. A. A. Silva, Ricardo J. P. de B. Salgueiro, Edilayne M. Salgueiro, William F. Giozza e Anderson S. F. da Silva, Depto. de Computação, UFS, Aracaju-SE, Brasil, Depto. de Engenharia Elétrica, UnB, DF, Brasil, Emails: savio.roberto@gmail.com, salgueiro@ufs.br, edilayne@ufs.br, giozza@unb.br e andersonsfs@gmail.com. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPITEC/SE/FUNTEC N° 12/2014.

RSS é a etapa responsável por verificar se o nível de potência da rede na qual o dispositivo móvel encontra-se conectado está aceitável para que se possa receber pacotes sem erro. Caso essa condição seja atendida, passa-se para a fase de avaliação de QoS. Caso contrário, o algoritmo permanece na mesma fase. Na fase de Avaliação de QoS, o terminal móvel coleta medições de atraso, taxa de perda de pacotes e *jitter* de ambas as redes. Para avaliar a qualidade das redes candidatas é definida uma função de custo, conforme a Equação (1):

$$F_n = W_A \cdot N(P_{n,A}) + W_P \cdot N(P_{n,P}) + W_J \cdot N(P_{n,J}) \quad (1)$$

onde $P_{n,A}$, $P_{n,P}$ e $P_{n,J}$ são, respectivamente, os valores das medições de atraso, perda de pacotes e *jitter* da rede n , e W_A , W_P e W_J são os pesos atribuídos a cada métrica de acordo com a sua importância, respectivamente. O algoritmo considera que a rede que possuir o maior valor da função definida pela Equação (1) apresenta menor utilidade para o usuário. A probabilidade de decisão errada é utilizada como critério de decisão ao se estabelecer um valor de limite superior para ela (P_{Lim}). Ela é calculada a partir da variação de F e da constante de suavização α , que corresponde a um parâmetro cujos valores se encontram no intervalo $[0, 1]$ [9].

O algoritmo realiza *handover* somente quando o valor da PDE for inferior ao valor limite. Com essa medida evita-se a realização de decisões de *handover* erradas, já que o algoritmo toma a decisão pelo *handover* somente quando a probabilidade de decisão errada for baixa. A qualquer momento pode ser detectada a queda, ou a proximidade de queda, nos valores de RSS da rede em uso para um valor abaixo do exigido. Quando isto ocorre, o algoritmo retorna à fase de avaliação de RSS. Na fase de Avaliação de Consumo de Energia é definida uma função de utilidade [7], mediante a Equação (2):

$$E_n = (P_{n(tx)} \cdot p(tx) + P_{n(rx)} \cdot p(rx) + P_{n(idle)} \cdot p(idle)) \cdot T_R \quad (2)$$

onde $P_{n(tx)}$, $P_{n(rx)}$ e $P_{n(idle)}$ denotam, respectivamente, as taxas de consumo de energia para os estados de transmissão, recebimento e ociosidade para a rede n analisada. De forma semelhante, $p(tx)$, $p(rx)$ e $p(idle)$, correspondem às probabilidades para cada estado. T_R representa o tempo restante da aplicação.

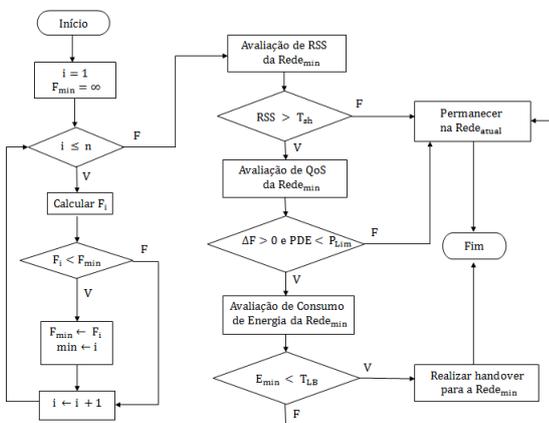


Fig. 1. Fluxograma do algoritmo proposto

Para $\Delta F = F_{Rede_{atual}} - F_{Rede_{min}}$, $\Delta F > 0$ significa que a função de custo para a $Rede_{atual}$ é superior ao da $Rede_{min}$, ou seja, a $Rede_{min}$ apresenta maior utilidade para o usuário. Caso esta condição seja verdadeira e a probabilidade de decisão errada seja inferior ao valor de limite superior P_{Lim} , é iniciada a última fase do algoritmo, que corresponde à Avaliação de Consumo de Energia da $Rede_{min}$. Nesta etapa, é verificado se o consumo de energia da $Rede_{min}$ é inferior ao tempo de limite da bateria do terminal móvel (T_{LB}). Em caso positivo, o algoritmo realiza o *handover* para a $Rede_{min}$; caso contrário, ele permanece na rede atual.

III. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para avaliação de desempenho foi utilizado um cenário que abrange as tecnologias WLAN e WMAN, sendo utilizados três pontos de acesso Wi-Fi, uma estação base WiMAX e um nó correspondente conectados a um roteador via enlaces cabeados Ethernet de 1 Gbps. O raio da área de cobertura das redes WiMAX e Wi-Fi são de 500 e 100 metros, respectivamente. As métricas utilizadas para avaliação do algoritmo são: *Handovers* executados; *Handovers* desnecessários; Atraso médio; Vazão média e Taxa de perda de pacotes. Para realizar uma análise comparativa, há simulações executadas tomando como base o algoritmo denotado por PQ (*Power-QoS*), que executa apenas as fases de Avaliação de RSS e Avaliação de QoS, descritas na Seção II, e baseadas no algoritmo proposto neste trabalho.

Com o objetivo de efetuar uma análise do *handover* em função de P_{Lim} e α foram realizados experimentos que tomaram como base os parâmetros descritos na Tabela I. Utilizou-se vinte nós móveis a fim de se analisar situações em que vários dispositivos móveis estão em processo de *handover*. Além disso, foi utilizado um tráfego UDP correspondente a um fluxo de vídeo. Posteriormente, com a intenção de avaliar a influência da variação do número de nós e da velocidade do nó móvel no processo de *handover*, bem como avaliar a QoS, foram selecionados o valor de 0,5 para P_{Lim} e 1,0 para α . Além disso, foram utilizados cenários com 5, 10 e 20 nós móveis variando a velocidades entre 5 a 20 km/h. Os resultados provenientes deste cenário estão apresentados das Figuras 8 a 22. O nível de confiança aplicado nas simulações foi de 95%.

TABELA I
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO – *handover* versus P_{Lim}

Parâmetro	Valor
Número de nós móveis	20
Número de replicações	50
Velocidade dos nós móveis	50 Km/h
Cobertura WiMAX	500 m
Cobertura Wi-fi	100 m
Tráfego utilizado	Tráfego de vídeo (UDP)
α	0,1; 0,5; 0,9; 1,0
P_{Lim}	de 0,25 a 0,5 com incrementos de 0,01

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam as taxas de *handovers* executados em função dos valores de P_{Lim} e α . O algoritmo PQ (*Power-QoS*) leva em consideração apenas a Qualidade

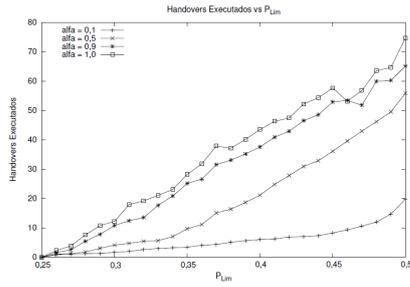


Fig. 2. Algoritmo PQ - *Handovers* executados

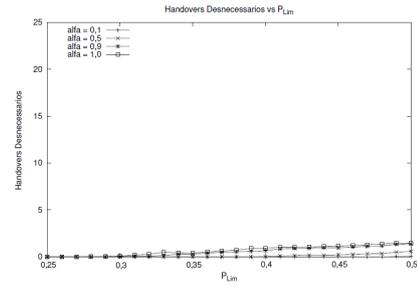


Fig. 7. Algoritmo PQE Bateria Crítica - *Handovers* desnecessários

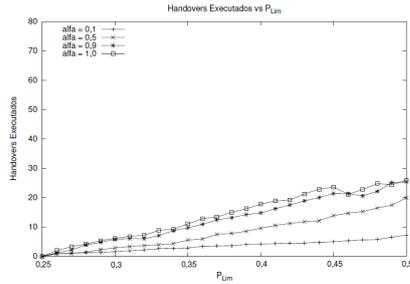


Fig. 3. Algoritmo PQE Bateria Suficiente - *Handovers* executados

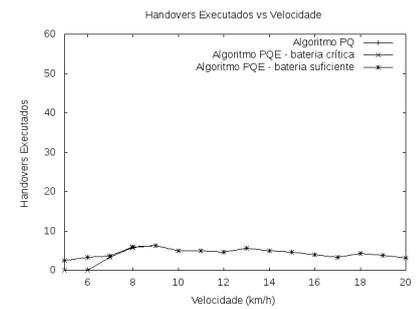


Fig. 8. *Handovers* executados vs Velocidade - 5 nós móveis

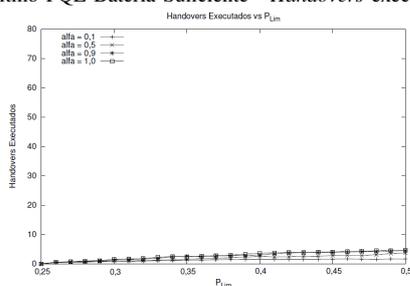


Fig. 4. Algoritmo PQE Bateria Crítica - *Handovers* executados

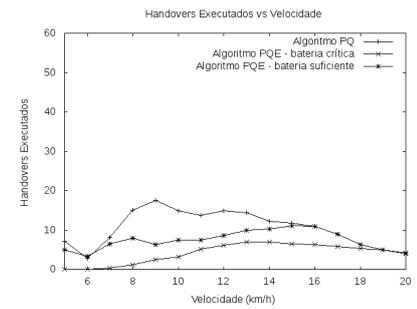


Fig. 9. *Handovers* executados vs Velocidade - 10 nós móveis

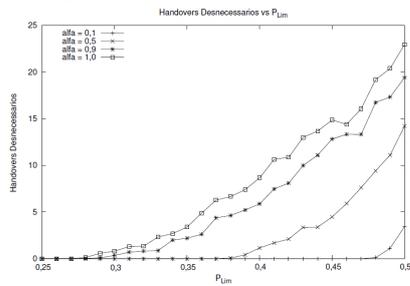


Fig. 5. Algoritmo PQ - *Handovers* desnecessários

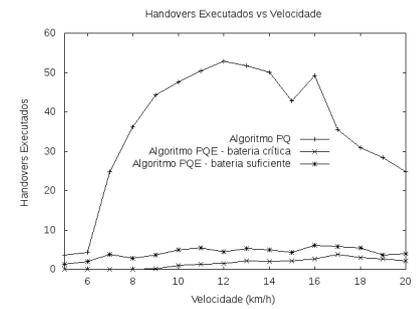


Fig. 10. *Handovers* executados vs Velocidade - 20 nós móveis

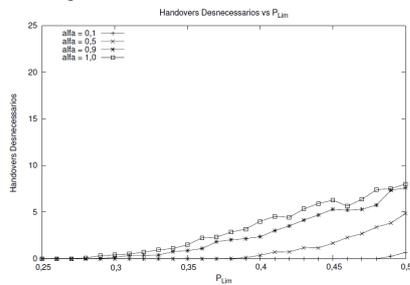


Fig. 6. Algoritmo PQE Bateria Suficiente - *Handovers* desnecessários

de Serviço (QoS) para a tomada de decisão de *handover*, enquanto o algoritmo PQE (*Power-QoS-Energy*) leva em

consideração além da QoS, critérios de energia. Para os valores de P_{Lim} e α equivalentes a 0,5 e 1,0, respectivamente, a quantidade de *handovers* realizados ao se utilizar o algoritmo PQE em relação ao algoritmo PQ é, aproximadamente, quatorze vezes menor para o cenário com bateria crítica e duas vezes menor considerando o cenário com bateria suficiente. Isto justifica-se por conta do algoritmo PQE levar em consideração, além de requisitos de QoS, o nível de bateria do dispositivo móvel, tornando-se mais rigoroso na decisão de realizar o *handover*. Já nas Figuras 5, 6 e 7 é ilustrado o número de *handovers* desnecessários para os cenários nos quais são

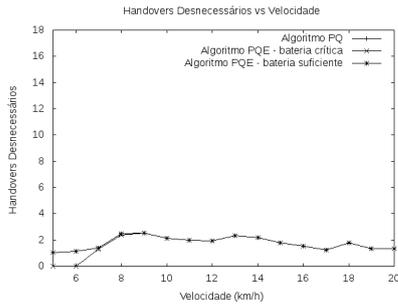


Fig. 11. Handovers desnecessários vs Velocidade - 5 nós móveis

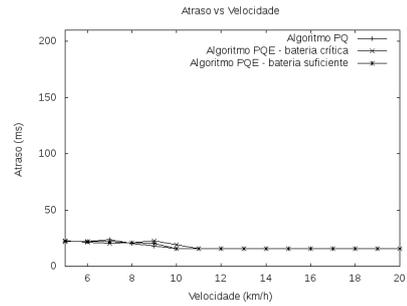


Fig. 15. Atraso médio vs Velocidade - 10 nós móveis

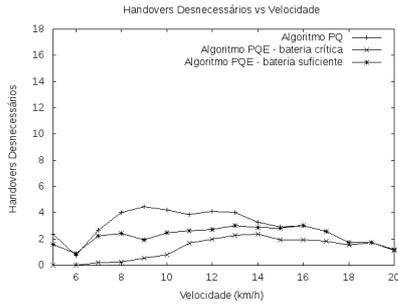


Fig. 12. Handovers desnecessários vs Velocidade - 10 nós móveis

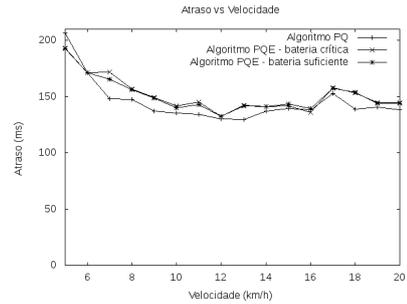


Fig. 16. Atraso médio vs Velocidade - 20 nós móveis

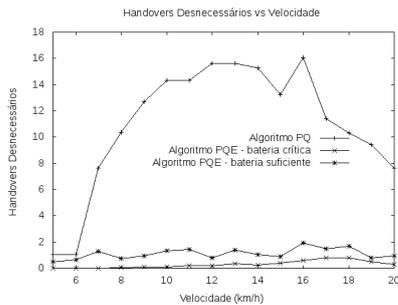


Fig. 13. Handovers desnecessários vs Velocidade - 20 nós móveis

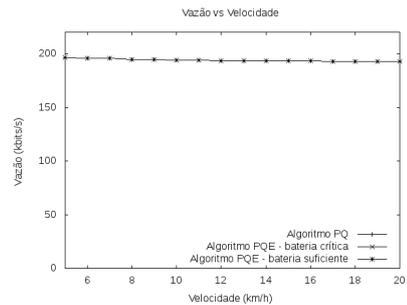


Fig. 17. Vazão média vs Velocidade - 5 nós móveis

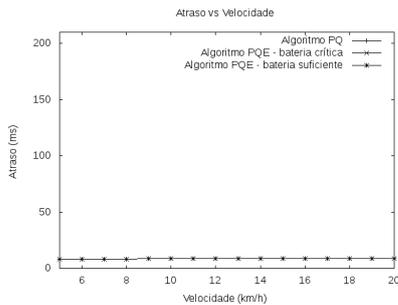


Fig. 14. Atraso médio vs Velocidade - 5 nós móveis

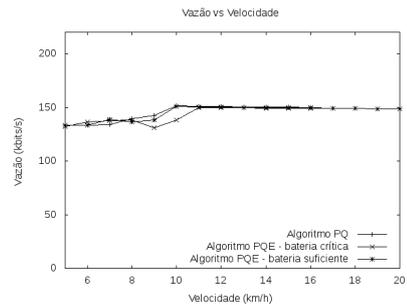


Fig. 18. Vazão média vs Velocidade - 10 nós móveis

utilizados os algoritmos PQE e PQ. Em ambos os algoritmos, o número de *handovers* desnecessários aumenta com os valores de P_{Lim} porque quanto maior o valor de P_{Lim} , menor o rigor na decisão de *handover*. De forma semelhante, para valores maiores de α o algoritmo de decisão efetua uma quantidade maior de *handovers* desnecessários.

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam a quantidade de *handovers* executados para 5, 10 e 20 nós móveis em que a velocidade dos dispositivos móveis varia entre 5 a 20 km/h. Para 10 nós, a quantidade de *handovers* realizados pelo algoritmo PQ foi

superior em relação ao algoritmo PQE, pois o primeiro apenas leva em consideração requisitos de QoS. Isso pode ser mais evidenciado quando se têm 20 nós móveis, em que o algoritmo PQ chega a realizar dez vezes mais *handovers* se comparado ao algoritmo PQE. Já nas Figuras 11, 12 e 13 são mostrados os resultados de *handovers* desnecessários. Para a velocidade de 5 a 6 km/h, o algoritmo PQE para o cenário com bateria crítica destaca-se por não apresentar *handovers* desnecessários mesmo com o aumento do número de nós móveis. Como exibido nas Figuras 14, 15 e 16, com o aumento do número

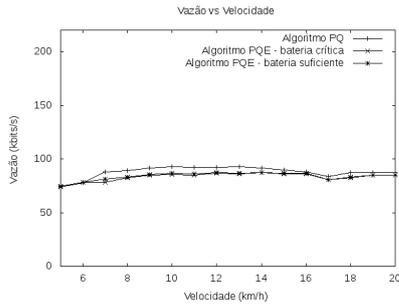


Fig. 19. Vazão média vs Velocidade - 20 nós móveis

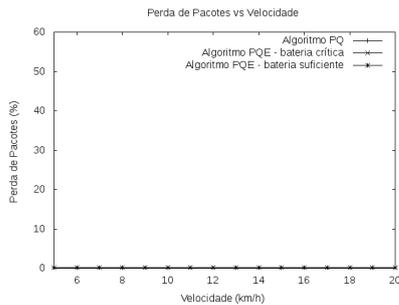


Fig. 20. Taxa de Perda de pacotes vs Velocidade - 5 nós móveis

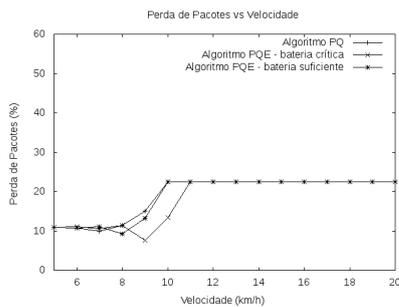


Fig. 21. Taxa de Perda de pacotes vs Velocidade - 10 nós móveis

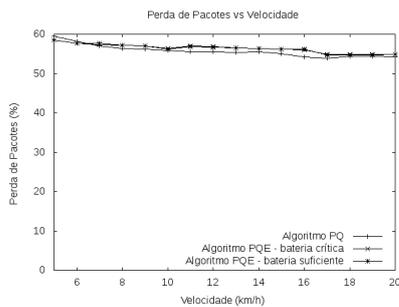


Fig. 22. Taxa de Perda de pacotes vs Velocidade - 20 nós móveis

de nós móveis, há naturalmente um aumento do atraso. Na Figura 16 há um maior valor de atraso para velocidades entre 5 a 10 km/h por conta de uma maior quantidade de *handovers* executados (vide Figura 10). A partir de 10 km/h os valores de atraso se mantêm próximo de 150 ms. Pode-se observar que mesmo com o aumento da carga na rede, os valores de atraso estiveram em faixa de valores aceitáveis para tráfego de vídeo que corresponde ao intervalo entre 200 e 300 ms. Já nas Figuras 17, 18 e 19 pode-se observar que o aumento da quantidade de nós móveis ocasionou na diminuição da

vazão. Isso pode ser explicado pelo fato de que o atraso foi aumentando significativamente com o acréscimo de nós. Desta forma, menos pacotes são enviados ao longo do tempo. Nas Figuras 20, 21 e 22 a perda de pacotes considerando-se 5 nós é muito próxima de zero, mesmo com a variação de velocidade. Quando a carga na rede vai aumentando, a taxa de perda de pacotes sofre acréscimo devido ao congestionamento da rede (em se tratando de rede sem fio, a disputa pelo acesso ao meio é mais intensa) e também à utilização de transmissões de vídeo.

IV. CONCLUSÕES

Com a grande quantidade de tecnologias de rede sem fio e a disponibilidade delas em um mesmo ambiente, faz-se necessário desenvolver métodos que auxiliem no processo de decisão de *handovers* em redes sem fio. Critérios de decisão que levem em consideração, além da potência de sinal ou largura de banda, outros parâmetros tais como qualidade de serviço e consumo de energia, são de suma importância nessa etapa.

O presente trabalho propôs um algoritmo de decisão de *handover* baseado em uma função de custo que considera os seguintes critérios de decisão de *handover*: RSS, atraso, perda de pacotes, *jitter* e consumo de energia da bateria do dispositivo móvel e que utiliza uma abordagem probabilística para evitar o efeito *ping-pong*. O cenário de estudo foi composto por redes Wi-Fi e WiMAX, sendo analisados o número de *handovers* executados, desnecessários e perdidos, bem como as métricas de QoS comumente utilizadas que correspondem ao atraso médio, vazão média e taxa de perda de pacotes. Os resultados obtidos mostram que o algoritmo proposto contribuiu para reduzir o número de decisões erradas de *handovers*, de modo que não haja uma degradação da Qualidade de Serviço que venha a afetar o desempenho da rede na qual o terminal móvel se encontra conectado.

REFERÊNCIAS

- [1] Jasmine G. e Shaminder S. *Future Prospects of Wireless Generations in Mobile Communication*. Asian Journal of Computer Science and Technology, pp. 18–22, 2015.
- [2] O. Khattab e O. Alani. *A survey on media independent handover (mih) and ip multimedia subsystem (ims) in heterogeneous wireless networks*. Wireless Inf Networks, pp. 215–228, 2013.
- [3] T. Chung et al. *Adaptive momentum-based motion detection approach and its application on handoff in wireless networks*. Sensors, pp. 5715–5739, 2009.
- [4] R. C. Sanap e S. S. Sambare. *An improved qos - based vertical handoff scheme for next generation of wireless network*. International Journal of Engineering and Innovative Technology, 2013.
- [5] Hong et al. *Cost-based vertical handover decision algorithm for WWAN/WLAN integrated networks*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009.
- [6] S. Bousset et al. *A context aware vertical handover decision approach based on fuzzy logic*. Communications and Networking(ComNet), 2014.
- [7] S. B. Freire. *Energy-cost aware vertical handover decision algorithm based on probabilistic time estimation model for video streaming sessions*. Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco - Centro de Informática, 2012.
- [8] S.F. Chien et al. *Smart predictive trigger for effective handover in wireless networks*. IEEE International Conference on Communications, pp. 2175–2181, 2008.
- [9] Gabriele T. et al. *A probability based vertical handover approach to prevent ping-pong effect*. International Symposium on Wireless Communication Systems, pp. 181– 185, 2009.