

Classificação e Seleção de Redes via Tomada de Decisão Multicritério

Douglas Chagas da Silva¹, Claudio de Castro Monteiro², Lucas S. Batista³

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

²Departamento de Informática - Instituto Federal do Tocantins
Quadra 310 sul, Plano Diretor Sul, Palmas, TO, Brasil

³Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

douglaschagas@ufmg.br, ccm@ifto.edu.br, lusoba@cpdee.ufmg.br

Resumo. Este trabalho realiza um estudo sobre a utilização de ferramentas computacionais para classificação de redes, visando subsidiar o processo de escolha através do emprego de métodos de auxílio à tomada de decisão. São sugeridos dois métodos de decisão multicritério, Promethee II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) e TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Para validação dos experimentos, as abordagens apresentadas são comparadas com outras estratégias que utilizam o AHP (Analytic Hierarchy Process), GRA (Grey Relation Analysis), e hibridizações com lógica nebulosa. O intuito geral é verificar a similaridade entre estas metodologias, e a aplicação no processo de classificação e seleção de redes considerando-se um cenário específico. Os resultados obtidos indicam a viabilidade real de implantação das propostas em dispositivos móveis. O método Promethee II mostrou-se mais interessante em termos de qualidade de seleção e custo computacional.

Palavras-chave: Seleção de redes, tomada de decisão, decisão multicritério, lógica nebulosa.

Abstract. This work presents a study regarding the use of computational tools for networks classification, in order to support the selection process by employing decision aid methods. Two multicriteria decision methods are suggested, i.e., Promethee II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). For the experiments validation, the approaches presented are compared to other popular strategies, such that the AHP (Analytic Hierarchy Process), GRA (Grey Relation Analysis), and hybridizations with fuzzy logic. The overall aim is to check the similarity between these methodologies, and their application in the process of classification and selection of networks, considering a specific scenario. The results obtained indicate the real feasibility of the implementation of the given proposals in mobile devices. The Promethee II method has shown to be more interesting in terms of quality selection and computational cost.

Keywords: Selecting networks, decision making, multicriteria decision fuzzy logic.

1. INTRODUÇÃO

A convergência entre redes de tecnologias distintas tem se tornado cada vez mais uma realidade nos dias de hoje. A capacidade de processamento dos dispositivos móveis e a diversidade de serviços que podem ser utilizados com os mesmos têm impulsionado a maneira como as tecnologias de infraestrutura de acesso são modeladas. Neste contexto, o termo convergência refere-se, portanto, a possibilidade de prover acesso ao usuário, através de diferentes tecnologias, possibilitando uso de diversos serviços, tais como vídeo, voz, e dados em geral [1], [2].

As principais questões que surgem nesse processo são: Como escolher a melhor rede? A rede escolhida provê os requisitos necessários para o usuário? Os critérios de seleção são modelados de forma genérica e independente da tecnologia de acesso?

Diversas soluções têm sido propostas para tratar tais questões. De maneira geral, a literatura propõe abordagens que contemplam a seguinte situação: Dado um conjunto de critérios ou parâmetros de rede, verificar em um dado momento e entre as redes disponíveis, qual rede melhor se adapta às necessidades do usuário e, por conseguinte, sugerir a mudança de rede (processo de *handover*) pelo dispositivo móvel [3], [4], [5], [6]. Nesse

caso, o processo de escolha da rede é condicionado a uma série de critérios.

Este trabalho realiza um estudo sobre a utilização de ferramentas computacionais para classificação de redes, visando subsidiar o processo de escolha através do emprego de métodos de auxílio à tomada de decisão. Nesse sentido, são sugeridos dois métodos de decisão multicritério, i.e., Promethee II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) e TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [7]. Para validação dos experimentos, as abordagens apresentadas são comparadas com o estudo realizado em [8], onde são discutidas as estratégias AHP (Analytic Hierarchy Process), GRA (Grey Relation Analysis), e hibridizações com lógica nebulosa. O intuito geral é verificar a similaridade entre estas metodologias, e sua aplicação no processo de classificação e seleção de redes, considerando-se um cenário específico. Os resultados obtidos indicam a viabilidade real de implantação das propostas em dispositivos móveis.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a contextualização geral do problema; a Seção 3 descreve o cenário e a metodologia utilizada nos experimentos; a Seção 4 reporta os resultados, análises e discussões; e, por fim, a Seção 5 conclui o trabalho e apresenta as considerações finais.

2. CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE REDES

De acordo com [5], o processo de seleção de redes pode ser dividido em três fases ou blocos: a coleta de dados, o processamento, e a classificação das redes de acesso. Assim, o problema de seleção de redes é parte integrante do mecanismo de *handover* que, de maneira geral, pode ser explicado como o processo que conduz um dispositivo móvel na realização da transição de uma rede A para uma rede B [2]. Convém salientar que essa transição pode ocorrer entre tecnologias de acesso semelhantes (e.g. WLAN para WLAN), ou entre tecnologias de acesso distintas, como é o caso de uma transição de uma rede 3G (UMTS) para uma rede WiMax (rede sem fio metropolitana) ou para Wlan (rede sem fio local) [10].

2.1. Critérios de Seleção de Redes

Fundamentalmente, os critérios de seleção de rede estão intimamente relacionados às demandas ou aplicações em uso. Dessa forma, parâmetros que mensuram a Qualidade de Serviço (*Quality of Service - QoS*) das redes, bem como métricas objetivas de qualidade para aplicações específicas como QoV (*Quality of Video*), PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), além de métricas subjetivas, ou seja, baseadas na experiência do usuário (*Quality of Experience - QoE*) e MOS (*Mean Opinion Score*), podem ser consideradas no momento de realizar o processo de seleção de redes e, por conseguinte, o procedimento de *handover* [2].



Figura 01. Demanda por aplicações [3].

A Fig. 1 ilustra de maneira genérica essas demandas através da relação volume de dados por atraso de transferência. Nota-se que diferentes aplicações impõem restrições específicas de requisitos de rede. Considerando, por exemplo, uma aplicação de videoconferência de alta definição, esta exigirá requisitos altos, do ponto de vista de desempenho da rede, para um bom funcionamento. Entretanto, se comparada aos requisitos de uma transferência de arquivos, ou navegação web, os requisitos serão mais conservadores. Desta maneira, as redes disponíveis devem permitir a utilização dessas aplicações, proporcionando sempre que possível a melhor experiência para os seus usuários (conceito de redes ABC - *Always Best Connected*) [3].

Em suma, diversos são os critérios que podem ser utilizados para avaliação, classificação e seleção das redes disponíveis em um determinado ambiente. Estes critérios

podem ser organizados em grupos, conforme Fig. 2, nos quais podem ser priorizados determinados subcritérios de acordo com o perfil de cada usuário, de maneira a subsidiar o procedimento de *handover* e propiciar sempre a melhor conexão.

2.2. Técnicas de Classificação de Redes

Selecionar redes em um ambiente de redes heterogêneas é um problema difícil, visto que não existe ainda uma solução ou técnica totalmente aceita nesse campo, em razão das muitas variáveis e cenários existentes. Isto pode ser evidenciado com as soluções que consideram ou não o processo de mobilidade inter-redes.

Desta maneira, a implementação de novas técnicas de seleção de redes se torna bastante viável, inclusive pela demanda na crescente utilização em redes veiculares, monitoramento de pacientes, cidades inteligentes, dentre outras tecnologias e cenários envolvendo convergência de redes [12].

Os métodos mais comuns reportados na literatura, para solução do problema de seleção de redes, compreendem o uso de Lógica Fuzzy, métodos MADM (*Multiple Attribute Decision Making*), Algoritmos Genéticos e Redes Neurais Artificiais. Dentre os métodos MADM mais utilizados, têm-se: AHP (*Analytic Hierarchy Process*), SAW (*Simple Additive Weighting*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), MEW (*Multiplicative Exponential Weight*), SMART (*Simple Multiattribute Rating Technique*) e GRA (*Grey Relation Analysis*) [8], [9].

No que tange os modelos que consideram soluções híbridas, uma vertente que tem conseguido resultados relevantes são as técnicas que compreendem o uso de Lógica Fuzzy e Métodos MADM [11]. De maneira geral, esses modelos funcionam de forma parecida, ou seja, após o processo de coleta dos dados, de acordo com os critérios delineados na seção anterior, ocorre o tratamento pela lógica nebulosa, e em seguida a classificação pelo método de decisão. Neste caso, para cada critério é dado um determinado peso, de forma a priorizar alguns serviços em detrimento de outros, direcionando assim a escolha da nova rede de acordo com a aplicação em uso.



Figura 02. Métricas de Handover [3].

3. DEFINIÇÃO DO AMBIENTE E METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho é similar à descrita em [8], onde os autores propuseram duas arquiteturas distintas para resolução do problema de seleção de redes.

A primeira utilizando lógica *fuzzy* para tratamento dos dados obtidos no cenário de testes, juntamente com os métodos de tomada de decisão AHP e GRA, e a segunda empregando apenas lógica *fuzzy*.

Para ambas as propostas, desenvolveu-se um *framework* conforme mostrado na Fig. 3. Nas propostas supracitadas, os autores utilizam os seguintes critérios de redes: custo monetário, *jitter*, *delay*, e perda de pacotes. O sistema nebuloso implementado nas propostas consiste basicamente em um sistema de quatro entradas e uma saída. Os parâmetros empregados para definição dos conjuntos nebulosos, no que tange os parâmetros de QoS, considerou os limites para tráfego de áudio (VoIP) que, conforme justificado em [8], dispõem de uma documentação já bem definida na literatura. Em relação à variável custo monetário, a mesma considerou valores fixos, de acordo com o contrato de serviço de duas operadoras de telefonia móvel.



Figura 03. Arquitetura do *Framework* (adaptado de [8])

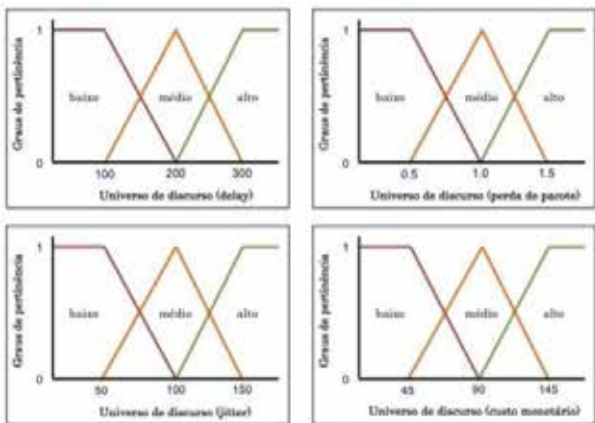


Figura 04. Processo de Fuzzificação [8].

Os autores em [8] construíram o modelo nebuloso a partir de funções de pertinência triangulares, utilizando o modelo de Mamdani. Os parâmetros para cada uma das variáveis lingüísticas consideradas nas funções de pertinência triangulares podem ser visualizados na Fig. 4, onde é possível perceber que para o tráfego de áudio, o *jitter* não pode ser superior a 150ms (milissegundos), o *delay* não pode ser maior que 300ms, e a perda de pacotes não pode ser superior a 3% do total de pacotes transmitidos.

Em relação ao processo de desfuzzificação, os autores consideram uma métrica baseada no MOS (*Mean Opinion Score*), onde as redes são classificadas de acordo com os parâmetros obtidos pelo módulo coletor do *framework*.

Na Fig. 5, observa-se que a qualidade da rede (nota da rede) é definida no intervalo entre 0 e 5, após o tratamento nebuloso realizado. Como o sistema *fuzzy* considerado possui quatro entradas e três variáveis lingüísticas, utilizou-se na implementação do *framework* um total de 81 regras, empregando o método de inferência de Mamdani na abordagem usando somente lógica *fuzzy*.

3.1. Cenário dos Testes

Para realizar a replicação das propostas apresentadas em [8], implementou-se o cenário de testes conforme Fig. 6. Neste trabalho considerou-se apenas o *handover* horizontal [3], i.e., entre tecnologias de redes de acesso iguais, especificamente entre WLANs IEEE 802.11g.

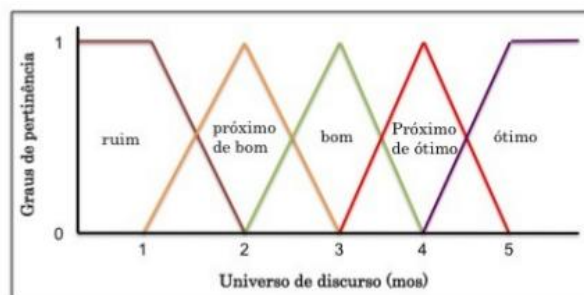


Figura 05. Processo de Desfuzzificação [8]

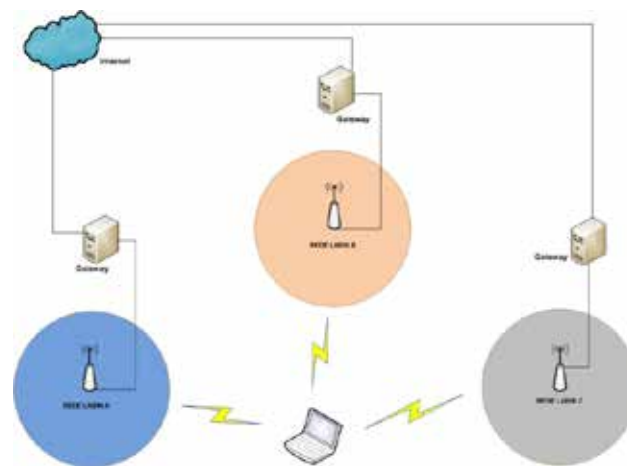


Figura 06. Cenário dos Experimentos

O cenário é constituído de um computador com a função de cliente; três pontos de acesso no padrão IEEE 802.11b/g/n; duas placas de rede sem fio USB TP-Link, modelo TL-WN722N com *throughput* de até 150Mbps; e antena externa acoplada de 4 dBi. No computador cliente utilizou-se o sistema operacional Linux Ubuntu 13.10. As redes sem fio utilizadas no cenário de testes estão em produção, sendo redes funcionais de três laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG. Não foram realizados procedimentos para aumentar ou diminuir o tráfego dessas redes. Além disso, não se considerou a saturação (quantidade de clientes) dos pontos de acesso das redes, bem como o nível de sinal (RSSI) do cliente em relação ao ponto de acesso (AP), visto que a intenção era representar de fato um ambiente

real, no qual o usuário (cliente móvel) dispõe de várias opções de redes com características distintas.

As medidas dos parâmetros de rede considerados foram obtidas a partir do comando ping, através de requisições ICMP aos *gateways* de cada uma das redes envolvidas nos experimentos. Os módulos de coleta, processamento e decisão, implementados pelo *framework* conforme visualizado na Fig. 3, foram desenvolvidos utilizando as linguagem de programação C e *Shell Script*, e a IDE *Eclipse Kepler*. Convém salientar que neste cenário de testes, o dispositivo cliente não se movimentou, ou seja, os experimentos foram realizados sem mobilidade.

3.2 Experimentos Realizados

Foram realizadas medições nos turnos matutino, vespertino e noturno, durante um dia típico de utilização. Cada medição constitui-se de 33 iterações, sendo que cada iteração utilizou 2 *rounds* de coleta. Para cada *round*, realizou-se 10 requisições ICMP para cada uma das redes. Desta forma, em cada uma das redes foram realizadas 660 requisições ICMP em cada um dos turnos. Para cada iteração coletou-se os valores de *delay*, *jitter*, e perda de pacotes, calculando-se a média, desvio padrão, erro médio, e limites superiores e inferiores para cada uma das redes avaliadas.

Ao final de cada iteração, a melhor rede era escolhida segundo cada uma das abordagens analisadas:

- Abordagem 1: Lógica *Fuzzy*
- Abordagem 2: Lógica *Fuzzy* + AHP + GRA
- Abordagem 3: Promethee II
- Abordagem 4: TOPSIS

Os vetores de peso considerados para os critérios *delay*, *jitter*, perda de pacotes e custo monetário, em cada uma das abordagens, foram respectivamente: 0.27, 0.19, 0.47 e 0.07 para a abordagem 2; 0.24, 0.14, 0.57 e 0.05 para a abordagem 3; 0.25, 0.18, 0.52 e 0.05 para a abordagem 4. Os pesos considerados descrevem a importância de cada critério para o serviço de VoIP. Para a abordagem 2 os valores dos pesos foram definidos pelo método AHP, através da matriz de importância de cada critério em relação ao outro, enquanto nas abordagens 3 e 4 foram definidos por um especialista. A abordagem 1 não utilizou um vetor de pesos, pois emprega no seu processo de escolha apenas as relações entre os valores de entrada e de saída, de acordo com as regras definidas no processo de inferência de Mamdani. Para esse caso, uma regra *fuzzy* tem o seguinte formato: Se *delay* é baixo e *jitter* é baixo e perda de pacotes é baixo e custo monetário é baixo, então nota da rede é ótima [8]. Convém salientar que para o cenário de testes considerado neste trabalho, o custo monetário assumiu valor nulo para as redes avaliadas, ou seja, não existe tarifação no uso das mesmas.

4 RESULTADOS

Para compreender os resultados mensurados por cada uma das abordagens, observou-se o comportamento de cada um dos critérios, em cada uma das iterações para todas as redes avaliadas. Além disso, utilizou-se o recurso estatístico *boxplot* para avaliar a simetria dos dados para cada um dos critérios considerados, sua dispersão e a

existência ou não de *outliers* nos mesmos. É importante salientar que para os parâmetros considerados, quanto menores forem os valores obtidos, melhor é a rede em relação ao parâmetro em questão.

A partir das Figs. 7–10, observa-se que a Rede 2 apresentou os melhores resultados em relação aos parâmetros *delay* e *jitter*. No entanto, a Rede 1 mostrou-se mais interessante quando avaliada a perda de pacotes, conforme indicado nas Figs. 11 e 12.

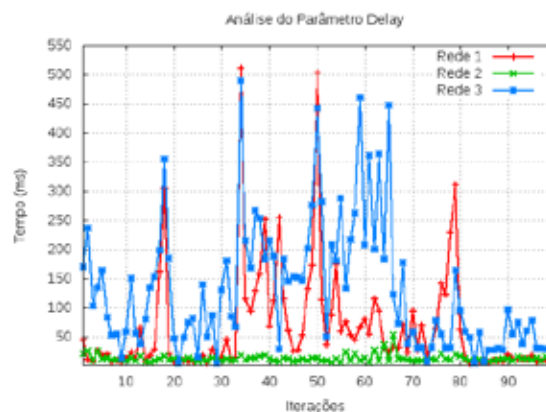


Figura 07. Avaliação das redes em função do *Delay*

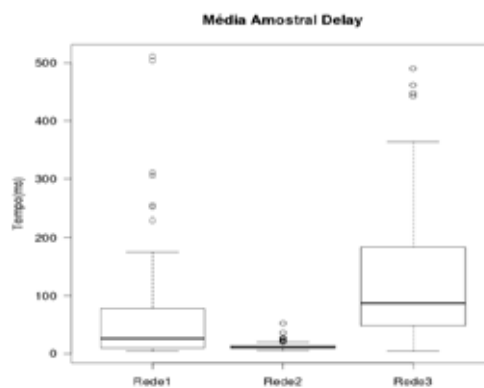


Figura 08. Análise da variável qualitativa *Delay*

Após essa análise prévia do comportamento de cada um dos critérios, adotados como parâmetros de entrada do *framework* implementado, avalia-se então as quatro abordagens com relação à capacidade das mesmas de classificar as melhores redes, considerando os pesos ou preferências definidos a *priori* pelo decisor, e também os requisitos de tráfego do serviço de VoIP.

A partir da análise da Fig. 13, percebe-se que utilizando apenas a lógica *fuzzy*, não se pode definir qual a melhor rede de fato, visto que como os parâmetros definidos para cada variável lingüística são fixos, desta forma ocorre a seleção de mais de uma rede como a melhor. Isso infere em um problema conhecido como efeito *ping-pong*. Nesta situação o cliente fica alterando entre uma rede e outra, sem que, necessariamente, as alterações influenciem na qualidade do serviço percebida pelo usuário. Uma estratégia interessante e mais promissora neste caso seria usar uma modelagem adaptativa para os parâmetros de cada variável lingüística definida nas funções de

pertinência triangulares, possibilitando assim minimizar o efeito *ping-pong*.

Considerando os resultados obtidos pela abordagem 2, conforme Fig. 14, observa-se que a Rede 2 foi escolhida como a melhor em 60% das iterações, tendo em média o seu valor de *delay* em torno de 22ms, o *jitter* em 18msec a perda de pacotes em 3.8%.

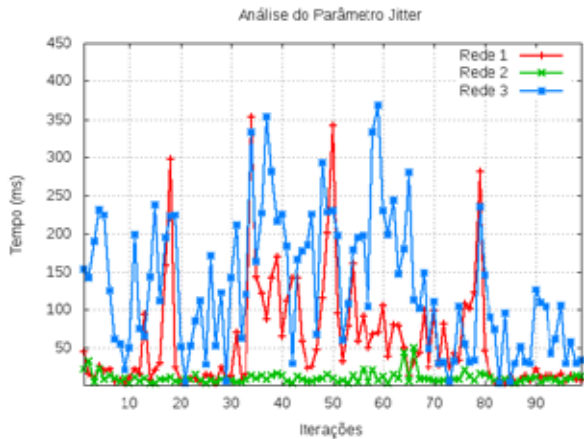


Figura 09. Avaliação das redes em função do *Jitter*

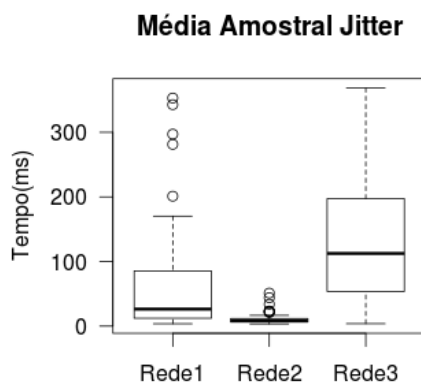


Figura 10. Análise da variável qualitativa *Jitter*

Pela Fig. 15 e observando o comportamento de cada um dos parâmetros (veja Figs. 7, 9 e 11) tem-se que o método Promethee II apresentou resultados muito interessantes. Nesta abordagem, a Rede 2 foi escolhida em 68% das iterações como a melhor, tendo em média o seu valor de *delay* em torno de 19ms, o *jitter* em 16ms e a perda de pacotes em 3%.

Os resultados obtidos para a abordagem 4 foram consideravelmente distintos das demais abordagens estudadas (veja Fig. 16). Isso se deve, particularmente, ao mecanismo de *ranking* empregado por essa técnica. Este método utiliza dois vetores denominados solução positiva e solução negativa. Assim, além de considerar os pesos fornecidos a priori pelo decisor, o método realiza um cálculo de distância utilizando os valores obtidos no processo de coleta dos dados e os seus pesos respectivos, condicionados aos valores calculados como ideais (vetores solução positiva e negativa), e só então define a melhor rede. O TOPSIS selecionou em 61% das iterações a Rede 1 como a melhor, tendo como valor médio de *delay* 106ms, *jitter* em 97ms e perda de pacotes em 0,8%.

Com o intuito de verificar o desempenho das estratégias de seleção de redes para cada um dos critérios e em cada uma das redes avaliadas, gerou-se outros gráficos visando ilustrar de forma mais compacta o desempenho de cada abordagem em relação a cada critério (veja Figs. 17, 18 e 19).

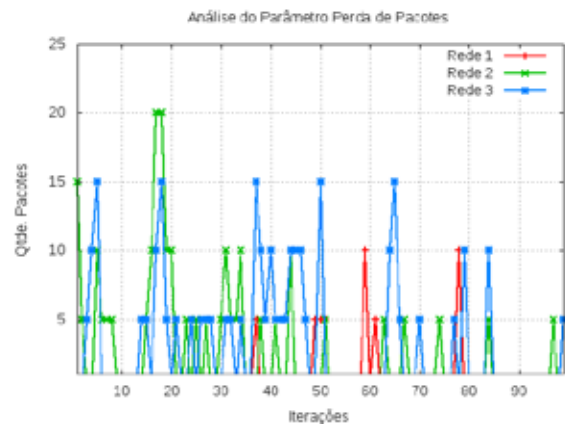


Figura 11. Avaliação das redes para Perda de Pacotes

Média Amostral Perda de Pacotes

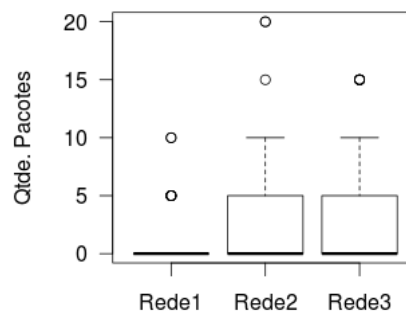


Figura 12. Análise da variável Perda de Pacotes

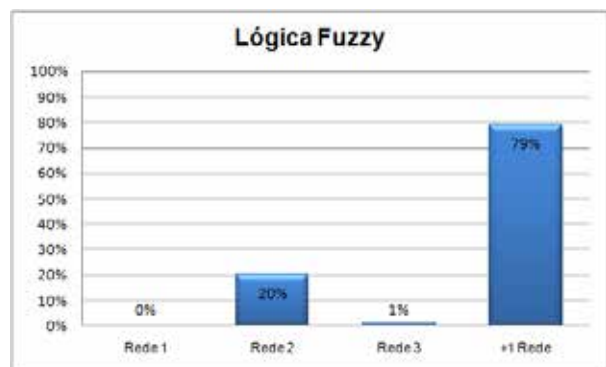


Figura 13. Resultados obtidos para a Abordagem 1.

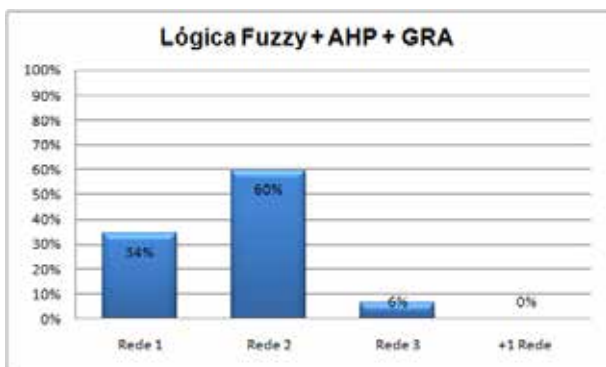


Figura 14. Resultados obtidos para a Abordagem 2.

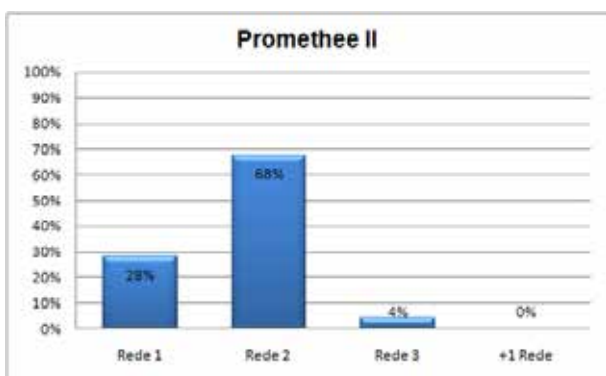


Figura 15. Resultados obtidos para a Abordagem 3.

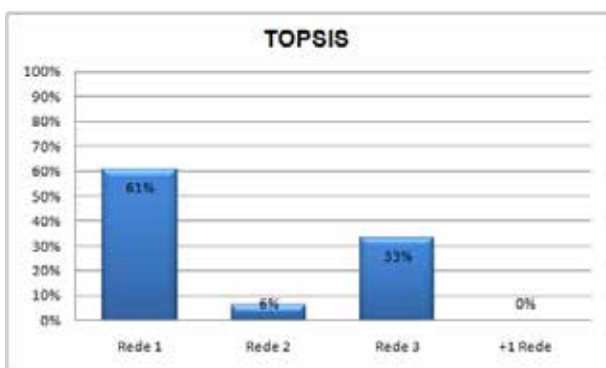


Figura 16. Resultados obtidos para a Abordagem 4.

De forma geral, observa-se pelas Figs. 8, 10 e 12 que as redes 1 e 2 são as mais interessantes (com base nos valores médios dos critérios). Isso fica evidenciado na classificação obtida por cada uma das abordagens de seleção de redes utilizadas neste trabalho. É importante destacar que no método TOPSIS, assim como no método Promethee II, o critério perda de pacotes tem preferência superior a 50% em relação aos demais critérios, entretanto, nota-se uma diferença na classificação obtida pelos mesmos. Na abordagem utilizando o TOPSIS, a rede 1 foi escolhida 61% das vezes, enquanto que na abordagem com o método Promethee II, essa ocorrência foi de apenas 28%. Isso é explicado pelas diferenças na forma como os métodos montam seu *ranking* de priorização, a partir dos cálculos de suas matrizes.



Figura 17. Desempenho das abordagens em relação ao critério *Delay*.

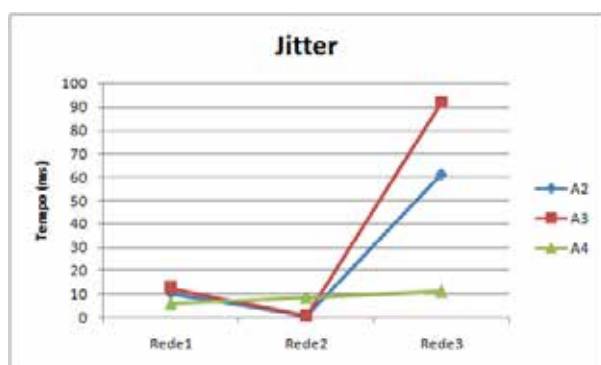


Figura 18. Desempenho das abordagens em relação ao critério *Jitter*.

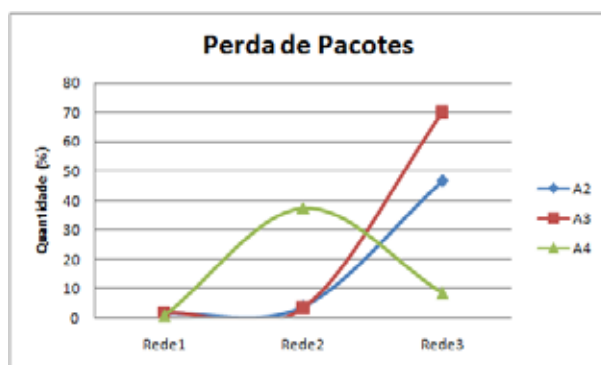


Figura 19. Desempenho das abordagens em relação ao critério Perda de Pacotes.

A abordagem 1 não foi considerada em virtude de 79% das suas escolhas serem realizadas para mais de uma rede simultaneamente (foram sugeridas as redes 1 e 2 como as melhores). Por fim, as abordagens 2 e 3 tiveram resultados bem próximos, sendo priorizado o acesso pela rede 2. Vale enfatizar que o custo computacional da abordagem 2 (Lógica Fuzzy + AHP + GRA) é bastante superior ao da Abordagem 3 (Promethee II), principalmente pela quantidade de regras utilizadas pelo método de inferência de Mamdani. Desta forma, para esse conjunto de testes, a abordagem 3 pode ser considerada a melhor, pois conseguiu identificar a rede 2 com, praticamente, as menores médias de todos os critérios ao longo das medições, e por apresentar um custo computacional menor se comparada às demais técnicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um estudo comparativo entre algumas estratégias de seleção de redes. Utilizou-se um cenário de testes incluindo redes em produção, representando um ambiente real, no qual os usuários se deparam diariamente. A partir dos testes realizados verificou-se que todas as redes apresentam condições de tráfego de dados VoIP, entretanto, tendo em vista a combinação dos pesos dos critérios empregados, a Rede 2 foi escolhida um maior número de vezes como a melhor pelas abordagens 2 e 3. A Rede 1 foi priorizada somente pela estratégia TOPSIS. A abordagem 1 não indicou resultados interessantes visto que considerou mais de uma rede como a melhor, alternando a seleção entre as Redes 1 e 2. O *framework* desenvolvido é escalável e pode ser utilizado para outros tipos de tecnologias de redes de acesso, como 3G, *WiMax*, dentre outros.

A tarefa de seleção de redes constitui um problema ainda em aberto, não dispondo de uma técnica de solução totalmente aceita. Além disso, abordagens mais representativas de contextos práticos podem ser implementadas considerando aspectos de mobilidade do terminal móvel. É importante frisar que algumas melhorias podem ser incorporadas à abordagem utilizando somente lógica *fuzzy*, como por exemplo uma modelagem adaptativa dos parâmetros que definem cada variável linguística nas funções de pertinência. Por fim, outros métodos de auxílio à tomada de decisão podem ser investigados, considerando inclusive aspectos acerca de sua viabilidade de implantação em dispositivos móveis com baixo poder computacional.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Programa Institucional de Auxílio à Pesquisa de Doutores Recém-Contratados (PRPq/UFGM), e pelas agências de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

[1]. C. A. Ricardo, *Otimização do Processo de Decisão no Handover Vertical em Redes Baseadas no Subsistema Multimídia IP (IMS)*. Dissertação de Mestrado. PUC-PR. 2009.

- [2]. C. C. Monteiro, *Um Ambiente para Apoio à Integração de Redes Sem Fio Heterogêneas*. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. 2012.
- [3]. E. Bischoff, *Estudo da Utilização de Algoritmos Genéticos para Seleção de Redes de Acesso*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 2008.
- [4]. M. Alkhwilani and A. Ayesh, *Access network selection based on fuzzy logic and genetic algorithms*. *Advances in Artificial Intelligence*, 8(1): 1–12, 2008.
- [5]. F. Bari and V. Leung, *Automated network selection in a heterogeneous wireless network environment*. *Network, IEEE*, 21(1): 34–40, 2007.
- [6]. G. Ciccarese, M. De Blasi, P. Marra, V. Mighali, C. Palazzo, L. Patrono and M. Stefanizzi, *Vertical handover algorithm for heterogeneous wireless networks*. In *IEEE Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC*, pp. 1948–1954, 2009.
- [7]. J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of The Art Surveys*. Springer Science. 2005.
- [8]. V. M. Rios, P. R. L. Gondim and C. C. Monteiro, *Use of fuzzy logic for networks selection in heterogeneous wireless environment*. *IEEE ICACT*, pp. 798–803, 2012.
- [9]. G. Godor and G. Detari, *Novel network selection algorithm for various wireless network interfaces*. In *IEEE Mobile and Wireless Communications Summit*, pp. 1–5, 2007.
- [10]. A. Singhrova and N. Prakash, *Adaptive vertical handoff decision algorithm for wireless heterogeneous networks*. In *Proceedings of the 2009 11th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications*, pp. 476–481, 2009.
- [11]. F. R. L. Junior, *Comparação entre os Métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no Apoio à Tomada de Decisão para Seleção de Fornecedores*. Dissertação de Mestrado. USP. 2013.
- [12]. J. Martins, P. Levine, B. Stiller, H. M. Sherif, A. Fumagalli, J. Aracil and L. Valcarenghi, *Managing IP Networks: Challenges and Opportunities*. Wiley-IEEE Computer Society. 2003.