

## Green Markov – Uma abordagem híbrida de Política Markoviana e Simulação Discreta para Planejamento de Alocação de Usuários em Redes Macro/Femto

Igor Natal<sup>1</sup>, Jorge A. Cardoso<sup>1</sup>, Marcelino Silva<sup>1</sup>, José F. Júnior<sup>1</sup>, Ádamo Santana<sup>1</sup>, Diego Cardoso<sup>1</sup>, Carlos R. Francês<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho – Universidade Federal do Pará (UFPA)

Caixa Postal 15.064 – 66.075-110 – Belém – PA – Brasil

{igorpnatal, jcardoso217, marcelino.silva}@gmail.com,

{jjj, adamo, diego, rfrances}@ufpa.br

**Abstract.** *The use of voice and data communication via mobile devices has increased significantly in recent years. This expansion has been accompanied by some inherent difficulties, such as: steady expansion of networks capacity and energy efficiency. In this context, is consolidating the concept of Green Networks, focuses on the attempt to reduce energy and CO<sup>2</sup> emissions. Thus, this paper proposes to implement a model of a validation policy based on the Markov decision process to optimize energy consumption and quality of service, by allocating users in macrocell and femtocell networks. This model was inserted into the NS-2 simulator, and combined an analytical solution with the characteristic flexibility of the Markov discrete-event simulation.*

**KEYWORDS.** Femtocells, Markov, Green Networks, Quality of Service.

**Resumo.** *O uso da comunicação de voz e dados através de dispositivos móveis vem aumentando significativamente nos últimos anos. Tal expansão traz algumas dificuldades inerentes, tais como: ampliação constante de capacidade das redes e eficiência energética. Neste contexto, vem se consolidando o conceito de Green networks, que se concentra no esforço para economia de energia e redução de CO<sup>2</sup>. Neste sentido, este trabalho propõe validar um modelo de uma política baseado em processo markoviano de decisão, visando otimizar o consumo de energia e qualidade de serviço, na alocação de usuários em redes macrocell e femtocell. Para isso o modelo foi inserido no simulador network Simulator (ns-2), aliando a solução analítica markoviana à flexibilidade característica da simulação discreta.*

**Palavras Chave:** Femtocell, Markov, Redes Verdes, Qualidade de Serviço.

### 1. Introdução

Em âmbito mundial, os sistemas de telefonia celular estão crescendo vertiginosamente. No Brasil, dados divulgados pela Agência Reguladora de Telecomunicações no Brasil (ANATEL) indicam que o país registrou, em 2013, 271,10 milhões de linhas ativas na telefonia móvel e foram registradas 9,92 milhão de novas habilitações. No último mês de 2013, os acessos pré-pagos totalizavam 211,58 milhões (78,05% do total) e os pós-pagos 59,52 milhões (21,95%). A banda larga móvel totalizou 103,11 milhões de acessos, dos quais 1,31 milhões são terminais 4G. Estes dados tendem a crescer nos próximos anos, principalmente devido aos grandes eventos esportivos que serão sediados no Brasil nesse ano de 2014 e no ano de 2016 [Copa Transparente, 2013].

Aliado a essa evolução, outro tema que tem sido abordado é o conceito de *Green Network* (Redes Verdes), que possui foco no esforço para economia de energia e redução de CO<sup>2</sup> (Dióxido de Carbono). Neste contexto, em dezembro de 2008, a CE

(Comissão Europeia) decidiu reduzir a emissão de CO<sup>2</sup> em 20% e melhorar a eficiência energética em 20% até 2020.

Segundo Chandrasekhar & Andrews [2008], *femtocells* são pequenas estações base utilizadas em tecnologias celulares de 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> geração (3G e 4G) com a mesma funcionalidade que as macro-estações, porém as mesmas possuem potência para atenderem somente um ambiente restrito (50 metros), suportam uma pequena quantidade de usuários e são instaladas pelos próprios usuários para uma melhor recepção de voz e dados em ambientes fechados. Esta tecnologia reduz o problema de cobertura em ambientes fechados e possui outras vantagens como baixo custo e alta eficiência energética.

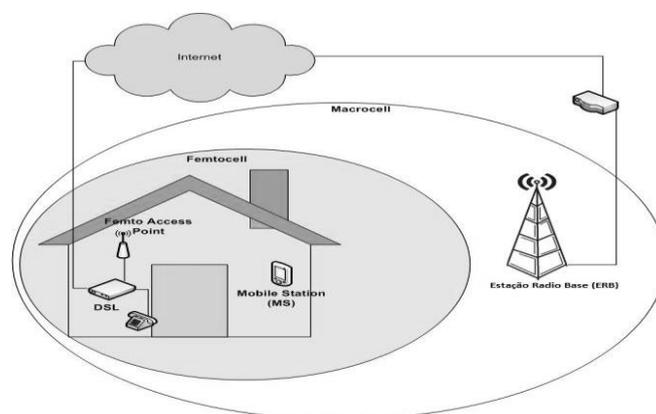
De acordo com Wang et al. [2012], 57% do consumo de energia do setor de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) são atribuídos aos usuários e dispositivos de redes móveis e sem fio, e este número ainda está crescendo explosivamente. Assim, fomentar o crescimento no provisionamento das redes sem fio e ao mesmo tempo reduzir os gastos energéticos é fundamental para a sociedade e, portanto, um dos objetivos mais importantes do setor de TIC para os próximos anos.

Em Cardoso et. al [2012] foi modelado um processo *markoviano* de decisão, o qual é formulado para obter a política, que pode ser aplicado sobre o dispositivo móvel. Diante do exposto, este trabalho alia duas abordagens importantes e que podem potencializar-se mutuamente: uma política de otimização baseada em processo *markoviano* de decisão, aliada a um modelo de simulação, elaborado a partir de um simulador de redes (o NS-2 - *Network Simulator 2*). A ideia é embarcar a política markoviana no simulador, visando a auxiliar a tomada de decisão do dispositivo móvel durante o *handover*, de maneira a prover o melhor consumo de energia na alocação do usuário nas redes *macrocell*/*femtocell* e garantir o QoS.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 é apresentada a arquitetura da rede. Em seguida, a seção 3 demonstra a política inserida na simulação. Os resultados são apresentados na Seção 4. E por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais deste trabalho.

## 2. Arquitetura da Rede

Uma rede móvel é assumida, de forma a atender a estação móvel que se comunica com as células *macrocell* e *femtocell*, por meio do ponto de acesso *femtocell* e pela Estação Radio Base (ERB), as quais fornecem o acesso sem fio conforme a Figura 1.



**Figura 1. Cenário *macrocell* e *femtocell* que está sendo levado em consideração**

As chegadas de chamadas podem ser atendidas por ambas as redes, que têm diferentes distâncias para os nós móveis, diferentes larguras de banda, perdas e diferentes usuários máximos que podem ser conectados.

Quando chega uma nova chamada para o sistema, os parâmetros, tais como o consumo de energia, a largura de banda disponível e a probabilidade de perda de pacotes de cada rede, são usados para decidir qual a rede deve ser escolhida para servir a chamada. Se novas chamadas estão bloqueadas devido à limitação de capacidade, transbordam para a outra rede de serviço possível.

É importante esclarecer que o sistema é modelado como observado pelo usuário. Assim, quando o usuário precisa conectar a fazer uma chamada de voz ou de dados, a estação móvel tem que decidir em qual rede conectar, utilizando as informações de número de conexões, parâmetros de qualidade de serviço e o nível de potência do sinal de cada rede.

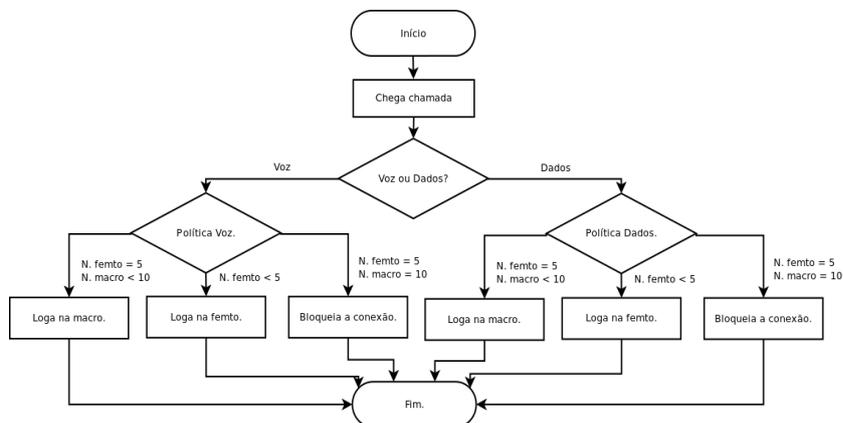
Para as simulações foi escolhido o modelo de bateria não-linear Rakhmatov-Vrudhula (RV), que é tido como um modelo mais realista em relação às baterias utilizadas atualmente pelo fato de considerar os estados do dispositivo móvel, sendo que para cada estado há um valor de descarga elétrica diferente. Este modelo de bateria considera diferentes taxas de capacidade para diferentes tipos de bateria [Rakhmatov & Vrudhula, 2001].

**Tabela 1. Parâmetros da Macrocell e Femtocell**

Parâmetros	Macrocell	Femtocell
Potência	25dBm	13 dBm
Ganho de antena	1,0 dBi	1,0 dBi
Frequência	2,5 Ghz	2,4 Ghz
Largura de banda	75 Mbps	54 Mbps
Raio de cobertura	1 km	50 m

### 3. Política Inserida na Simulação

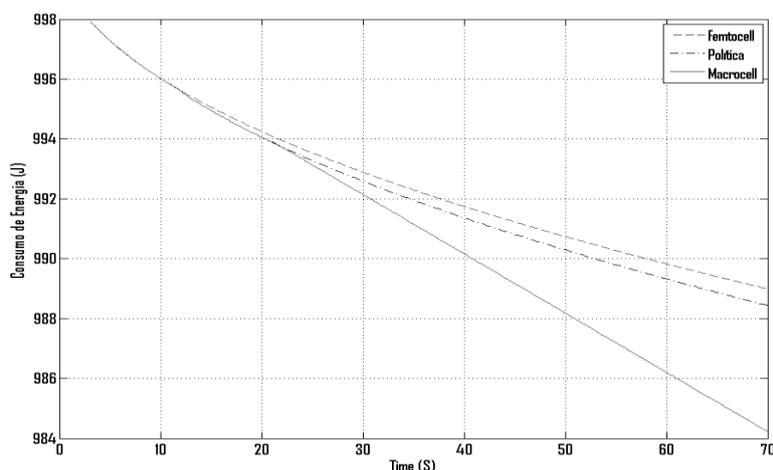
A política obtida visa encaminhar as chamadas a rede *femtocell* até que a mesma esgote sua capacidade. Após esgotada a capacidade desta rede, as chamadas são encaminhadas a rede *macrocell*. Uma vez esgotadas ambas as redes, as chamadas são bloqueadas. A cada chamada terminada, abre-se uma vaga nesta rede que deve ser preenchida com uma nova chamada, sendo priorizando a rede *femtocell* (Figura 2).



**Figura 2. Fluxograma da Política**

#### 4. Resultados

Ao analisar o comportamento das redes em termo de rendimento energético (Figura 3), pode-se observar uma eficácia na utilização do modelo proposto, pois a descarga da bateria para as ligações destinada a rede *femtocell*, foi de aproximadamente 1%, já as ligações que tiveram como saída à rede *macrocell*, apresentaram um gasto de aproximadamente 1,5%. Ao implementar o modelo de alocação com a política a descarga energética foi aproximadamente 1,2%.



**Figura 3. Gráfico do consumo de bateria**

Os valores obtidos para o modelo condizem com o esperado, pois se previa uma porcentagem de consumo que se enquadra entre as duas outras tecnologias testadas (*femtocell* e *macrocell*), significando que o modelo está direcionando as chamadas à rede mais adequada, alcançando níveis de eficiência energética em relação à rede *macrocell*, onde é observada uma redução do consumo em 4%.

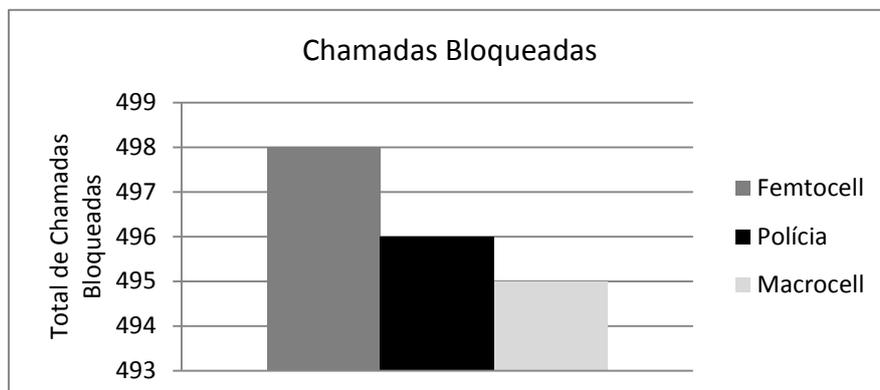
O objetivo da política de alocação proposto, é possibilitar soluções para o melhor consumo da energia e garantir um serviço de qualidade aos usuários, dessa forma foram analisados parâmetros de QoS das aplicações como (Tabela 2): atraso e *jitter*. As das chamadas bloqueadas também servem como parâmetro para o trabalho presente como forma de identificar qual rede atendeu efetivamente mais chamadas (Tabela 2 e Figura 4).

**Tabela 2. Medidas de Desempenho (média)**

Simulação	Atraso (ms)	Jitter (ms)
Macrocell	2.400	17,2
Femtocell	1.180	10,3
Política	800	5,7

Vale ressaltar que a alocação do usuário pela política obtém melhorias nas medidas de desempenho. Em média houve uma diminuição de 66% no atraso obtido em relação à rede *macrocell* e de 32% em relação à rede *femtocell*. Para a medida de desempenho *jitter*, obteve-se aproximadamente uma redução de 66% relacionado a rede *macrocell* e de 44% em relação a rede *femtocell*. Também a política obteve uma redução 0,4% no bloqueio de chamadas em relação a rede *femtocell* e um aumento de, aproximadamente 0,2% relacionado a rede *macrocell* (Figura 6). Observa-se também que as redes *macrocell*, *femtocell* e a política não tiveram nenhum pacote perdido no

resultado da simulação. Desta forma, devido o modelo aplicado na simulação caracterizar uma rede com baixa carga.



**Figura 4. Total de chamadas bloqueadas pela femtocell, macrocell e política**

À vista disso, pode-se observar que a política reduziu o consumo de energia, reduziu o bloqueio de chamadas e proporcionou melhores medidas de desempenho as redes *macrocell* e *femtocell*.

## 5. Conclusão

Este trabalho apresentou estratégias que contribuem para planejamentos mais eficientes de redes que aderem aos conceitos de *green networks*. A estratégia proposta combina os potenciais de soluções analíticas markovianas e modelos de simulação discreta. O modelo de política proposto obteve uma economia significativa no consumo energético, além de melhorar a qualidade de serviço em relação às redes *macrocell* e *femtocell*, demonstrando-se eficaz, de modo a alterar diretamente as métricas de QoS.

## Referências

- Anatel – Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalPaginaEspecialPesquisa.do?acao=&tipoConteudoHtml=1&codNoticia=32359>, acessado em 16/03/2014.
- Cardoso L. D., Santana L. A., Marcelino S. S, Francês L. R. C. and Costa A. W. J., “Green-Markov models - new optimization strategies: a case study for user allocation in co-channel macro/femto networks”. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, Vol. X, No. Y, Month 2012.
- Chandrasekhar V. and Andrews J. G., and Gatherer A., “Femtocell Networks: A Survey”. In *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, pp. 59–67, 2008.
- Copa Transparente – Portal de Acompanhamento de Gastos para a Copa do Mundo de Futebol de 2014 e para os Jogos Olímpicos de 2016. Disponível em <http://www.copatransparente.gov.br/portalcopasobre>, acessado em 09/12/2013.
- Rakhmatov, D. N. e Vrudhula, S. B. K. “An analytical high-level battery model for use in energy management of portable electronic systems”. Em: *Computer Aided Design*, 2001. ICCAD 2001. IEEE/ACM International Conference on, San Jose, CA, USA, 2001.
- Wang X., Athanasios V. V., Chen M. end Liu Y., Ted "Taekyoung" Kwon, "A Survey of Green Mobile Networks: Opportunities and Challenges", in *ACM/Springer Mobile Networks and Applications (MONET)*, Vol. 17, No. 1, pp.4-20, Feb, 2012.