

OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM REDES DE COMUNICAÇÃO DE RÁDIO

Roberto P. Nascimento

Professor da Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém - PA, Brasil

Stenio Fernandes

Professor at CIn/UFPE -Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Djamel F. H. Sadok

Professor Adjunto I do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil
E mail. {rpn, sflf, jamel} @cin.ufpe.br

RESUMO

O crescimento exponencial da carga de tráfego e a necessidade de acesso ubíquo provocaram uma expansão na infraestrutura de rede e uma demanda crescente de energia. Portanto, os operadores de redes de telecomunicações móveis têm de encontrar formas de atender essa nova demanda de recursos, enquanto minimiza os custos do consumo de energia. Diante da importância de reduzir a emissão do gás de efeito estufa, tem-se este tema como foco principal deste trabalho. Além da confecção de um modelo baseado em programação linear inteiro misto (PLIM) para otimizar o consumo de energia nas redes sem fio, um estudo é realizado buscando avaliar o impacto da cooperação das redes sem fio na otimização do consumo de energia para minimizar a emissão do gás de efeito estufa. O *framework* proposto, pode efetivamente reduzir a emissão do gás de efeito estufa otimizando a energia. Os resultados numéricos demonstram a eficácia do *framework*.

Palavras-chave: Otimização de energia. Programação linear mista. Rede verde.

ABSTRACT

The exponential growth of the traffic and the necessity of ubiquitous access caused an expansion on the infrastructure of the network and a growing demand of energy. Therefore, the operators of mobile telecommunication network have to find a way to attend this new demand of resources, while minimizing the costs of energy consumption. Given the importance of reducing the emission of greenhouse gas, this theme is the principal focus of this research. Beyond the confection of a model based on mixed integer linear programming (MILP) to optimize the consume of energy in the wireless networks, a study is realized in order to soften the impact of the cooperation of wireless networks in optimization of energy consumption to minimize the emission of greenhouse gas. The proposed framework may effectively reduce the emission of greenhouse gas, optimizing the energy. The numerical results demonstrate the efficacy of this framework.

Keywords: Optimizing the energy. Mixed linear programming. Green networking.

INTRODUÇÃO

Durante a última década, houve um enorme crescimento no mercado de redes celulares e, no que tudo indica, esse setor continuará crescendo a ritmo acelerado para atender a crescente

demanda dos usuários móveis por conteúdos multimídias, garantindo-os acesso ubíquo com altas taxas de transmissão.

Esse aumento no número de usuários e da demanda de tráfego celular dá-se basicamente pela introdução de um grande volume de dispositivos móveis e ao seu barateamento. A expansão na infraestrutura de redes, em virtude desse aumento, desencadeou o crescimento na demanda de energia impactando diretamente no custo operacional dos operadores das redes celulares e no aumento do gás de efeito estufa (GEE).

Percebe-se que esse aumento tem causado um efeito em cadeia que precisa ser combatido, urgentemente, pois os operadores de serviço celular tem que encontrar formas de atender essa nova demanda de recursos enquanto minimiza os custos.

As tecnologias da informação e comunicação (TIC) estão desempenhando um papel cada vez mais importante nas emissões globais de GEE, devido o aumento do consumo de energia, puxado pelo crescimento do número de estação base (BS) nas regiões em desenvolvimento nos últimos anos. Segundo (Li et al. 2011), a energia consumida atualmente pela infraestrutura de redes celulares, redes de comunicações (*wireless e wired*) e internet são responsáveis por aproximadamente 3% do consumo mundial de energia elétrica. Este número é semelhante ao exibido pelo setor aéreo global, mas com perspectivas de aumento. Além disso, se considerar apenas países desenvolvidos como Reino Unido, esse número sobe para 10% [Webb 2008].

Para uma região geográfica onde duas ou mais redes coexistem, a cooperação entre as redes pode alcançar a economia de energia. Estas redes podem alternadamente ligar e desligar seus recursos explorando a flutuação da carga de tráfego e, a carga de tráfego é transmitida pelos recursos ativos restantes. Nesse caso, a alocação e a tomada de decisão ótima da troca do modo de operação dos recursos é necessário para adaptar os recursos disponíveis para as condições da carga de tráfego para obter a economia de energia enquanto mantém a qualidade de serviço.

A eficiência de energia nas redes sem fio tem sido estudada há bastante tempo em dispositivos moveis e sensores sem fio, devido às suas capacidades de energia limitada. Recentemente, esse estudo foi estendido para incluir as estações bases das redes celulares, motivado pelas considerações financeiras e ambientais. Boa parte dessa energia é gasta pelos geradores, sistemas de refrigeração e equipamentos de redes existentes nas estações bases, que permanecem em funcionamento mesmo em células ociosas. Dessa forma, soluções como a cooperação de redes sem fio para economizar energia são viáveis e devem ser propostos.

Este trabalho investiga a cooperação celular para otimizar o consumo de energia nas redes sem fio. Para a modelagem, foi utilizado o modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM). O modelo proposto considera a existência de múltiplas RSFs e classes de serviços com custo de admissão associado. Ainda, explora a flutuação da carga de tráfego na rede para determinar o modo de operação (ativa/inativa) ótimo da RSF.

1 TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos trabalhos com adoção de estratégias eficientes de economia de energia, nas redes celulares sem fio foram propostos na literatura. Para iniciar, alguns trabalhos são endereçados à cooperação de rede e exploram a flutuação da carga de tráfego para alternar o modo de operação das BSs (ativa/inativa). Assim, os autores em [Hossain et al. 2012] exploram a disponibilidade de múltiplas redes de acesso rádio celular (*radio access networks* - RANs) e propõem dois níveis de cooperação na rede de acesso: intra-rede e entre-redes. Através da aplicação conjunta dos dois tipos de cooperação, a BS dentro da RAN bem como as BSs de várias RANs comunicam e cooperam de forma inteligente minimizando dinamicamente o número das BSs ativas. O trabalho desenvolvido em [Han e Ansari 2013] explora as transmissões multipontos coordenados para melhorar a eficiência de energia e discute as características das futuras redes celulares.

Em (Ismail e Andweihua 2011), um esquema de cooperação de redes é apresentado como forma de economia de energia na comunicação de rádio. O autor desenvolveu um *framework* que permite as redes com cobertura sobreposta cooperar entre si para alcançar a economia de energia. Além disso, explora a flutuação da carga de tráfego para determinar o modo de operação das BSs sob restrição de QoS. Qian *et al.* [Qian et al. 2010] utiliza teoria dos jogos para alocação de potência ótima multi-usuários em redes de comunicação cooperativa. Na alocação de potência é considerada a transmissão multi-serviço e adotado o algoritmo de jogo *Stackelberg*.

O [Yaacoub 2012] implementa o método de comunicação verde nas redes *Long Term Evolution* (LTE) desligando as BSs com baixa carga de tráfego, levando em conta QoS dos usuários, alocação de recursos *uplink* (UL) e *downlink* (DL) e a interferência intercelular. Chen e Wu (Chen and Wu 2012), propõem um esquema que minimiza a troca de operação *on/off* da *femtocell* mantendo-a no modo ocioso tanto quanto possível e utiliza o protocolo de decisão de *handover* para reduzir o número de *handover* e o custo de sinalização durante a mobilidade do terminal móvel (TM). Em [Hunukumbure et al. 2011], os autores discutem os possíveis mecanismos de *handover* aplicável a uma estrutura multicamadas e propõem um mecanismo de *handover* “forçado” que deve ser executado de forma a minimizar as falhas de *handover*.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na seção 2 descreve o modelo do sistema. Os resultados serão analisados na seção 3. Finalmente, é concluído o trabalho na seção 4.

2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O objetivo desta seção é mostrar o modelo analítico proposto para minimizar o consumo de energia nas redes sem fio. O modelo de eficiência de energia apresentado é formulado através do problema de otimização, utilizando PLIM, o qual é possível otimizar a alocação dos recursos para determinar o modo de operação da RSF.

O sistema a ser analisado consiste de um conjunto J de Redes Sem Fio (RSF) dispostas de maneira co-localizada com diferentes tecnologias de acesso disponível (do inglês *Radio Access Technology* - RAT), $J = \{1, 2, \dots, J\}$. Neste cenário, diversas redes sem fio (Wifi, 3G, WiMAX, etc) estão localizadas numa região geográfica formada por um conjunto de áreas de serviço, N com $N = \{1, 2, \dots, N\}$. Como resultado, cada área de serviço $n \in N$ é coberta por diferentes RSF co-localizadas, formada por macrocélulas, microcélulas e picocélulas. Um exemplo de tal infraestrutura é apresentado na Fig. 1. O exemplo é constituído de BS Celular implantadas como microcélulas, que são totalmente cobertas pela BS WiMAX implantada como macrocélula e parcialmente pelo AP WLAN implantado como picocélula. Na Fig. 1, são consideradas duas áreas de serviço, $n (n=1,2 \in N)$. Na área 1, todas as RSFs estão disponíveis. Na área 2, a rede Celular e WiMAX estão disponíveis. O terminal móvel (TM) na área 1 pode obter recursos em todas as RSFs (WiMAX, Celular e WLAN), ou seja, o número de RSF disponível é $j \square 2$. Na área 2, o TM tem acesso a rede Celular e WiMAX (i.e $j \square 2$).

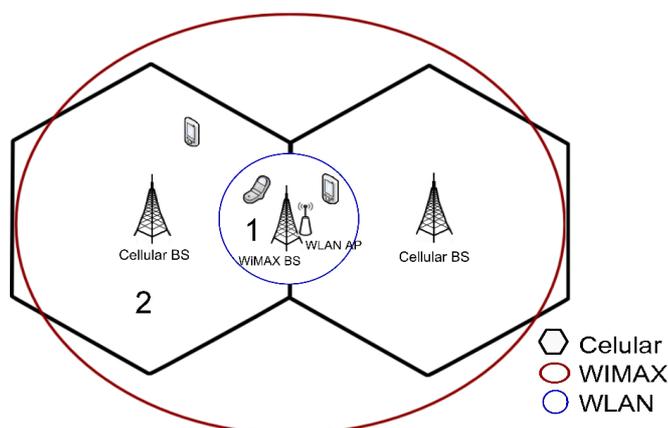


Figura 1: Redes sem fio co-localizadas.

Neste cenário de redes co-localizadas, a j -ésima RSF consiste de um enlace sem fio com b_j recursos de rádio, os quais são compartilhados entre as requisições dos usuários. Ainda nesse cenário, tem-se vários tipos de redes de acesso, com áreas de cobertura diversificada, além de diferentes capacidades e custos. É adotado neste trabalho, que uma unidade de recursos de rádio, b_j , é o número de canais disponíveis na j -ésima RSF ($j \in J$). Cada canal tem uma largura de banda fixa B . Para facilitar a definição do modelo matemático, são feitos os seguintes pressupostos.

1. É definido que uma chamada requer somente um canal de uma das redes para o seu serviço.
2. Cada rede é operada por um único provedor de serviço.

Os usuários móveis, de posse de terminais multimodais, ao chegarem na área de serviço n , formado pelo ambiente de redes cooperativo, poderão ser atendidos na RSF mais adequada, de acordo com os critérios pré-estabelecidos como: custo de serviço, classe de serviço e economia de energia.

A Fig. 2 mostra de maneira conceitual, a visão do sistema. Um usuário, demandando uma conexão característica pela classe de serviço da aplicação, será alocado conforme os critérios pré-estabelecidos. Para cada evento de chegada de um usuário, deverá ser decidido qual a RSF mais adequada.

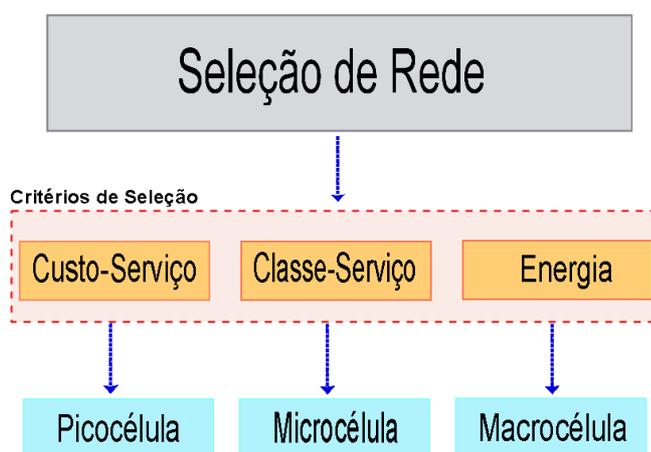


Figura 2: Visão conceitual do sistema.

Por uma questão de modelagem, utilizando problemas de otimização, são definidas as seguintes classes de serviço: chamadas de *handover*, nova chamadas de tempo real e nova chamada de melhor esforço, definido por $I(I = \{1, 2, \dots, I\})$. O padrão de chegada das conexões das classes de serviços segue um processo de Poisson, λ_i , onde $i \in I$.

O tempo de duração das chamadas é exponencialmente distribuído com valor médio $1/\mu_i$, $i \in I$. Todo o tráfego de *handover*, tempo real e de melhor esforço são agregados em uma única classe de serviço cada um. Assim, o tempo de residência, Tr_j , na RSF é exponencialmente distribuído com valor médio $1/\mu_{r_j}$ [Coutinho et al. 2010].

O modelo de otimização proposto, formulado através do modelo de programação inteira mista, tem como objetivo otimizar o consumo de energia via cooperação celular. Assim, o ambiente de redes cooperativo explora a flutuação temporal da carga de tráfego para alcançar a economia de energia. São utilizados dois tipos de flutuação de carga de tráfego. A primeira é a flutuação de grande-escala, que é a carga de tráfego que alterna significativamente de um período para o outro durante o dia. O segundo é a flutuação de pequena-escala, em que a carga de tráfego alterna ligeiramente em torno de algum valor médio. Dessa forma, o tempo de flutuação da carga de grande-escala é dividido em um conjunto de períodos,

$T = \{1, 2, \dots, T\}$, de duração constante τ horas, $T = 24/\tau$. Já o tempo de flutuação da carga de pequena-escala divide cada período $t (t \in T)$ em um conjunto de períodos menores, $D = \{1, 2, \dots, D\}$, cada um com uma duração constante Δ , $D = \tau/\Delta$ [Ismail e Andweihua 2011].

A flutuação de grande-escala na carga de tráfego pode ser explorada desligando a RSF que estiver operando em uma condição de carga baixa ou sem carga. Por outro lado, a flutuação de pequena-escala pode ser explorada desligando alguns canais em cada RSF ativa para reduzir a quantidade de energia consumida.

A solução para o problema de otimização do consumo de energia determina:

- O ótimo modo de operação das RSFs;
- A alocação dos recursos de rádio das RSFs;
- A quantidade de recursos de rádio ativo.

A ótima utilização dos recursos da RSF e decisão do modo de operação da RSF, feita no momento inicial de cada período t , pode ser obtido usando o seguinte modelo baseado em programação linear inteira mista:

$$\begin{aligned} \min & \left\{ \alpha \left[\sum_j^J \sum_i^I (x_{ij} \times c_{ij}) + (y_j \times P_j) + P_{off_j} \right] + (1 - \alpha) \left[\sum_j^J \Delta P_j \right] \right\} & 1 \\ \text{s. a.} & \sum_{i=1}^I x_{ij} \leq b_j \times y_j \quad \forall j \in J & 2 \\ & \sum_{j=1}^J x_{ij} = \rho_i \quad \forall i \in I & 3 \\ & \sum_{j=1}^J y_j \leq 1 & 4 \\ & x_{ij} > 0, y_j \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J & 5 \end{aligned}$$

A função objetivo Eq.(1) representa a minimização do consumo de energia no ambiente de redes cooperativo. As variáveis x_{ij} e y_j são variáveis de decisão que determinam o número de recursos alocados em cada RSF e o modo de operação da RSF (determina o número de RSF ativa), respectivamente.

O parâmetro c_{ij} define o custo de admissão de cada classe de serviço i , no RAT j . O parâmetro P_j e P_{off_j} define o consumo de energia em cada RSF, que depende do modo de operação da RSF. O P_j é o consumo total de energia da RSF ativa e P_{off_j} é o consumo de energia de uma RSF inativa. O parâmetro ΔP_j determina o consumo de energia adicional necessário para ativar a BS. O parâmetro α , com $\alpha \in (0, 1)$, é um fator peso que dá uma

determinada importância entre o consumo de energia e custo da troca do modo de operação da RSF, quando a RSF passar de inativa para ativa. Este parâmetro é necessário para minimizar a frequência com que o modo de operação da RSF é alternada. Assim, reduz o custo da troca do modo de operação devido o consumo de energia adicional necessário para ativar a RSF. Na definição da função objetivo, há um *trade-off* entre a redução do consumo de energia -- alcançada por alternar o modo de operação da RSF -- com o custo de troca do modo de operação, devido o consumo de energia adicional necessário para ativar a RSF quando o modo de operação muda de inativa para ativa. A restrição da Eq.(2) garante que a quantidade de recursos requisitados por cada classe de serviço em cada RSF, x_{ij} , não ultrapasse a capacidade individual de cada RSF e total do ambiente de rede cooperativo, $\sum b_j$. A restrição da Eq.(3) define que a quantidade de recursos alocados por cada classe de serviço a uma determinada RSF é igual a demanda do tráfego de grande-escala, ρ_i , no tempo t . O modo de operação da RSF é determinado na restrição da Eq.(4), onde o modo de operação é representado pelo binário 0 e 1 que indica a BS inativa e ativa, respectivamente. Neste ambiente de rede cooperativa há sempre, no mínimo, uma RSF ativa para garantir serviço de rede ao TM. A restrição da Eq.(5) determina que a variável de decisão x_{ij} e y_j seja positiva e binária, respectivamente. Dessa forma, as Eqs.(1 - 5), determinam o ótimo modo de operação para as RSFs no ambiente de rede cooperativo; minimiza o consumo de energia na RSF durante um período de tempo t ; determina a alocação dos recursos das RSFs baseado no tipo de tráfego e limita a frequência de troca do modo de operação das RSFs.

É possível ainda, explorar a flutuação de pequena-escala da carga de tráfego e, otimizar o número de canais ativos para maximizar a economia de energia na RSF ativa. Este valor é calculado no início de cada período $d \in D$ usando o seguinte problema de otimização baseado no modelo [Ismail e Andweihua 2011]:

$$\max \left[\sum_{j=1}^J y_j (P_j - (P_{f_j} + n_j \times P_{v_j})) \right] \quad \forall j \in J \quad 6$$

onde y_j é obtido na solução da Eqs.(1 - 5). O problema de otimização da Eq.(6) está sujeito a restrições das Eqs.(2 - 3). O consumo de energia total P_j é formado por dois componentes: O primeiro é um componente fixo que representa a fonte de alimentação da RSF e a central de refrigeração, determinado por P_{f_j} . O segundo componente depende do número de canais ativos na RSF e conta para o amplificador de potência, *feeder loss* e potência transmitida, determinado por P_{v_j} . O n_j , com $n_j = x_{ij}$, é número de canais ativos na RSF j , $j \in J$. Dessa forma, o consumo de energia da RSF é:

$$P_j = P_{f_j} + n_j \times P_{v_j} \quad 7$$

3 RESULTADOS

Para obtenção dos resultados apresentados aqui são considerados dois cenários com três RSFs co-localizadas, ou seja, $J = 3$. Isso devido a existência de sistemas de telecomunicações dispostos dessa forma, como por exemplo, rede WLAN, Celular e WiMAX [Luo et al. 2009]. No cenário 1, o ambiente de rede analisado é formado por pico, micro e macrocélula. No cenário 2, o ambiente de rede analisado é formado por pico e microcélula. Também é considerada a existência de três classes de serviço.

O ambiente de rede cooperativo formado por $J = \{1, 2, 3\}$ com a cobertura do WLAN, Celular e WiMAX indexado como 1, 2 e 3 respectivamente. É assumido que todas as RSFs iniciam no modo de operação ativo. É considerado três classes de serviço no sistema $I = \{1, 2, 3\}$ *handover*, nova chamada de tempo real e nova chamada de melhor esforço indexado como 1, 2 e 3 respectivamente. Os serviços de *handover* e tempo real são de alta prioridade, o serviço de melhor esforço tem baixa prioridade. Sendo que *handover* tem maior prioridade sob a classe de tempo real, pois parte do princípio que a perda de uma chamada causa uma insatisfação maior ao usuário, quando comparada ao bloqueio de uma nova chamada.

Para o mecanismo de prioridade, é definido na RSF diferentes custos para alocação das classes de serviço, c_{ij} . O valor α determina igual importância para minimizar o consumo de energia e reduzir o custo na troca do modo de operação das Bss [Ismail e Andweihua 2011]. Os parâmetros são adaptados de [Chen e Wu 2012] [Ismail e Andweihua 2011] e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de Configuração

| Parâmetros | Valores |
|--|------------------|
| $[P_1, P_2, P_3]$ | [10, 200, 500] W |
| $[P_{off_1}, P_{off_2}, P_{off_3}]$ | [2, 10, 30] W |
| $[\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3]$ | [1, 20, 50] W |
| $[Pf_1, Pf_2, Pf_3]$ | [6, 125, 200] W |
| $[c_{11}, c_{12}, c_{13}]$ | [0.2, 0.5, 0.8] |
| $[c_{21}, c_{22}, c_{23}]$ | [0.4, 0.4, 0.7] |
| $[c_{31}, c_{32}, c_{33}]$ | [0.4, 0.3, 0.7] |
| $[b_1, b_2, b_3]$ | [10, 20, 40] |
| α | 0.5 |
| β | 0.3 |
| τ | 1 hora |
| A | 15 minutos |

A Fig.3 mostra a taxa de chegada das conexões da classe de serviço i na área geográfica n no período de 24h, baseado em [Hossain et al. 2012]. Há uma intensidade de tráfego maior durante o período de 12-19h, já nos períodos mais cedo e mais tarde a intensidade do tráfego é menor. As classes de serviço apresentam diferentes taxas de chegadas devido ao tempo de serviço de cada classe de serviço e o tempo de residência de cada RSF.

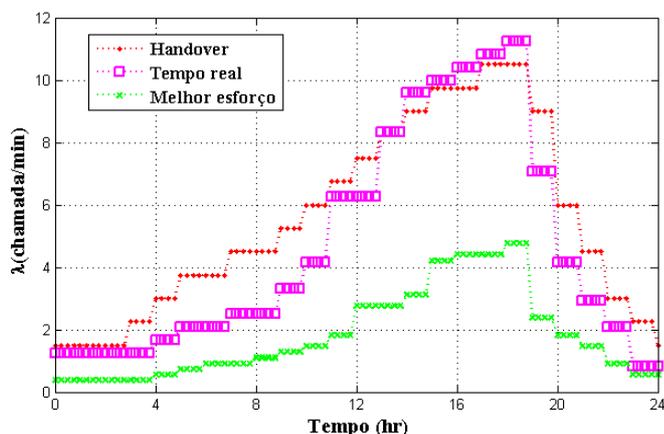


Figure 3. Taxa de chegada das classes de serviço.

A Tabela 2 mostra a decisão ótima do modo de operação da RSF por diferentes períodos. O modo de operação da BS varia de acordo com a flutuação da carga de tráfego alocada em cada RSF, o que possibilita a otimização do consumo de energia, no ambiente de rede cooperativo. O AP (ponto de acesso) da RSF-1 é mantido ativo durante todo o período $t = 24h$, isso ocorre devido a rede ser do tipo picocélula, que tem como característica baixo consumo de energia. Ainda, é possível perceber que pelo menos uma BS é mantida ativa, ao longo do período de 24h, para atender a demanda de serviço.

Tabela 2: Modo de operação das RSFs

| Período | 1 - 10 | 11 - 13 | 14 - 18 | 19 | 20 - 24 |
|---------|--------|---------|---------|-----|---------|
| RSF-1 | On | On | On | On | On |
| RSF-2 | On | Off | On | Off | On |
| RSF-3 | Off | On | On | On | Off |

A Tabela 3 mostra a economia de energia proposto através do modelo de otimização de consumo de energia, no período de 24h. As colunas $F.Obj.1$ apresentam os resultados do problema de minimização do consumo de energia, ou seja, a economia de energia nas RSFs através da troca do modo de operação da RSF com todos os canais ativos. Nas colunas $F.Obj.2$ apresentam a economia de energia do problema de maximização de economia de energia quando os canais das RSFs são otimizados.

Tabela 3: Economia de energia

| | Cenário 1 (%) | | Cenário 2 (%) | |
|-------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| | F. Obj. 1 | F. Obj. 2 | F. Obj. 1 | F. Obj. 2 |
| RSF-1 | 0 | 15,83 | 0 | 6,66 |
| RSF-2 | 15,83 | 24,67 | 15,83 | 26,90 |
| RSF-3 | 58,75 | 64,38 | 59,37 | 65,86 |

Para ambos os cenários, a RSF-1 não obteve economia de energia através do problema de minimização do consumo de energia, devido a rede permanecer ativa durante todo o período de 24h. Esse comportamento se deve ao baixo consumo de energia da rede. Nesse sentido, o modelo de otimização opta por manter a rede ativa para atender a demanda de serviço e melhorar o desempenho das demais RSFs.

Os resultados demonstram que explorar a flutuação da carga de tráfego das multi-classes de serviços, macro-escala e pequena-escala, melhora a economia de energia no ambiente de rede cooperativo para ambos os cenários apresentados. Dessa forma, otimizar número de canais ativos após definir o modo de operação das RSFs melhora de forma significativa a economia de energia nas RFSs. Ainda, o cenário 2 se mostrou mais eficiente em economia de energia para RSF-2. Embora a diferença de economia de energia de um cenário para outro, no período de 24h, tenha sido pequena, ainda sim, se pensar a médio e longo prazo, essa economia pode se tornar significativa no custo operacional dos operadores de rede e, conseqüentemente, impactará na diminuição do gás de efeito estufa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foi proposto um *framework* para otimizar utilização dos recursos das RSF heterogêneas para múltiplas classes de serviço num ambiente de rede co-localizada e cooperativa, com base no problema de otimização, para minimizar o consumo de energia na BS. O sistema foi modelado para que haja controle sobre o modo de operação da BS, havendo um *trade-off* entre a otimização da economia de energia e a troca no modo de operação da BS. Os resultados numéricos demonstram a eficiência da otimização na utilização dos recursos para múltiplas classes de serviços e a grande porcentagem de economia de energia alcançada nas RSFs.

REFERÊNCIAS

CHEN, Y.-S. e Wu, C.-Y. (2012). **A green handover protocol in two-tier OFDMA macro-femtocell networks**. Mathematical and Computer Modelling.

-
- COUTINHO, R. W. L., Coelho, V. L., Costa, J. C. W. A., e Carvalho, G. H. S. (2010). **Optimal policy for Joint Call Admission Control in next generation wireless networks**. International Conference on Network and Service Management, 2010, (3):214–217.
- HAN, T. e Ansari, N. (2013). **On greening cellular networks via multicell cooperation**. Wireless Communications, IEEE, (February):82–89.
- HOSSAIN, M. F., Munasinghe, K. S., e Jamalipour, A. (2012). Two level cooperation for energy efficiency in **multi-RAN cellular network environment**. 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pages 2493–2497.
- HUNUKUMBURE, M., Agarwal, R., and Vadgama, S (2011). Handover Mechanisms for Planned Cell Outage in Twin State Green Wireless Networks. In **Vehicular Technology Conference (VTC Spring)**, IEEE 73rd, pages 1–5. IEEE.
- ISMAIL, M. and Weihua, Z. (2011). Network Cooperation For Energy Saving In **Green Radio Communications**. Ieee Wireless Communications, (October):76–81.
- Li, G. Y., Xu, Z., X. C., Yang, C., Zhang, S., Chen, Y., and Xu, S. (2011). **Energy-efficient wireless communications: tutorial, survey, and open issues**. Wireless Communications, IEEE, 18(6):28–35.
- LUO, C., Ji, H., and Li, Y. (2009). Utility-Based Multi-Service Bandwidth Allocation in **The 4G Heterogeneous Wireless Access Networks**. 2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pages 1–5.
- WEBB, M. (2008). Smart 2020: Enabling the low carbon economy in **the information age**. **The Climate Group London**.
- YAACOUB, E. (2012). Performance study of the implementation of green communications in **LTE networks**. 2012 19th International Conference on Telecommunications (ICT), 1(Ict):1–5.