

**REDES VERDES:
uma reflexão sobre eficiência energética nas estações bases**

Roberto P. Nascimento*

RESUMO

Durante a última década, houve um crescimento exponencial no mercado de redes celulares, devido ao aumento astronômico do número de usuários e da demanda de tráfego celular. O aumento do tráfego e a necessidade de acesso ubíquo desencadeou uma expansão na infraestrutura de redes e um rápido crescimento da demanda de energia, que impacta diretamente no custo operacional das operadoras das redes celulares. Diante da importância de reduzir o consumo de energia nas redes celulares, este trabalho traz uma reflexão sobre a eficiência energética do atual modelo de infraestrutura e dos dispositivos das redes de telecomunicações móveis, além de apresentar o conceito de redes verdes e os seus diferentes pontos de vistas.

Palavras-chave: Redes verde. Eficiência energética. Rede Celular.

ABSTRACT

During the last decade, there was an exponential growth in the market of cellular networking, due to an astronomical increasing in the number of users and the demand of cellular traffic. The increasing of traffic and the necessity of ubiquitous access unleashed an expansion of the infrastructure of networks and a fast growth in the demand of energy, which directly affects the operational costs of the cellular networking operators. In face of the importance of reducing the energy consume of cellular networking, this work brings a reflection about the energetic efficiency of the current model of infrastructure and devices of mobile telecommunications networks, also presenting the concept of green networking and its different points of view.

Keywords: Green networking. Energetic efficiency. Cellular networking.

1 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.

*Professor do Programa de Computação da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém - PA

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).

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%, como afirma Webb (2008).

Percebe-se que esse aumento tem causado um efeito em cadeia que precisa ser combatido. Os operadores de serviço celular tem que encontrar formas de atender essa nova demanda de recursos enquanto minimiza os custos, e umas das tendências têm sido o estudo das redes verdes (do inglês *green network*). O objetivo da rede verde varia conforme a ótica. Do ponto de vista estritamente ambiental, a rede verde visa minimizar a emissão do GEE. Do ponto de vista econômico, é responsável por reduzir o custo operacional da rede. Já do ponto de vista da engenharia, é a prática da seleção de produtos e tecnologias de redes com eficiência de energia, minimizando o uso dos recursos sempre que possível, ou seja, tem como meta reduzir o custo do consumo de energia com foco na energia necessária para operar a rede.

Como o consumo de energia nas redes celulares continua crescendo, a comunicação de rádio verde está atraindo grandes esforços de pesquisas, tanto da academia quanto da indústria. Assim, demonstrou-se que, com auxílio da cooperação das redes, o desempenho da rede celular, em termos de rendimento e de cobertura pode ser melhorado de forma significativa. Contudo, o potencial de cooperação para melhorar a eficiência energética da rede celular ainda deve ser explorada.

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 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 móveis e sensores sem fio, devido às suas capacidades de energia limitada. Há pouco tempo, 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.

O crescimento exponencial do tráfego de dados e a necessidade de acesso ubíquo desencadeou uma expansão na infraestrutura de redes e um rápido crescimento da demanda de energia. O aumento do consumo de energia das redes sem fio, resulta diretamente no aumento do GEE e, tem sido reconhecido como uma grande ameaça para a proteção ambiental e desenvolvimento sustentável, além de impactar diretamente no custo operacional dos operadores de redes celulares.

Marsan (2011) diz que o grande problema dos equipamentos de rede, atualmente, é o consumo independente da carga de tráfego, ou seja, 80-90% da energia consumida é gasta assim que o equipamento (estação base) é ligado e o restante depende do tráfego. Isso significa que ligar algum equipamento para servir uma quantidade pequena de tráfego pode ser bastante oneroso do ponto de vista energético. Por essa razão, desligando alguns componentes da rede em período de baixa densidade de tráfego, desde que o nível desejado de Qualidade de Serviço (QoS) possa ser oferecido com componentes alternativos, permite uma redução no consumo de energia.

Nesse caso, o *sleep mode*¹ é necessário enquanto o consumo de energia dos elementos da rede forem independentes da carga. Segundo Han (2011), a análise da carga de tráfego nas redes sem fio (RSF) mostra que a carga de tráfego é tipicamente muito desigual entre as redes, pois mesmo no horário de pico, 90% da carga do tráfego é transmitida por apenas 40% das redes sem fio.

2 REDES VERDES

¹ Refere-se a um modo de baixo consumo de energia.

Durante a última década, tem havido um enorme crescimento no mercado de redes celulares devido ao aumento astronômico do número de usuários e da demanda de tráfego celular. Com a introdução de *smartphones Android e iPhone*, uso de *tablets* como *iPad* e *Kindle* e o sucesso das grandes redes sociais como o *Facebook* e *Twitter*, a demanda por tráfego de dados em redes celulares também cresceu significativamente nos últimos anos. Assim, as operadoras móveis tem que encontrar formas de atender a essa nova demanda de recursos, enquanto mantém o mínimo de custos, como afirma Hasan (2011).

Os autores Aliberti (2011) e Liu (2011) afirmam que com o aumento da demanda por conteúdo multimídias móveis, espera-se que a próxima geração de redes sem fio garanta a atuação conjunta de diversas tecnologias de acesso sem fio, novas e atuais, visando cobertura ubíqua, elevadas taxas de transmissão e provimento de serviços multimídias com garantias de QoS para usuários com alto padrão de mobilidade.

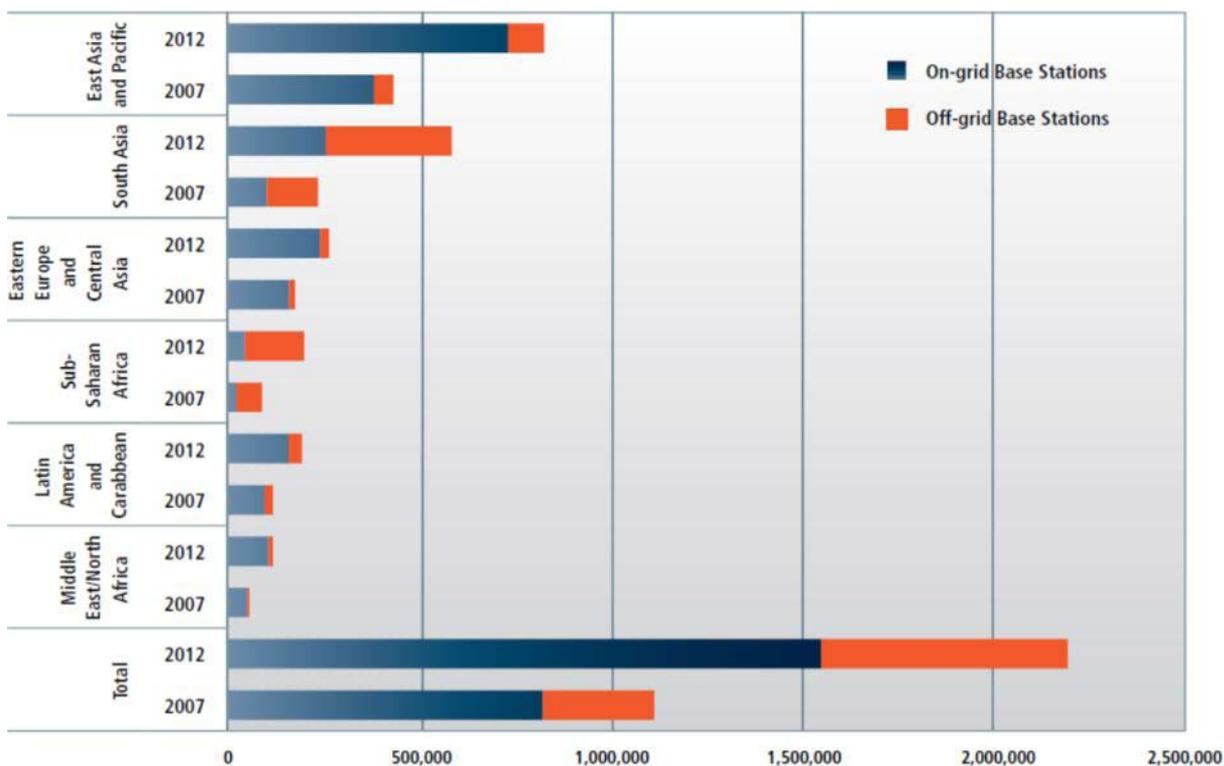
Esse aumento desencadeou uma expansão na infraestrutura de redes e um rápido crescimento da demanda de energia. O aumento do consumo de energia das redes sem fio resulta diretamente no aumento do gás de efeito estufa (GEE) e, tem sido reconhecido como uma grande ameaça para a proteção ambiental e desenvolvimento sustentável, além de impactar diretamente no custo operacional dos operadores de redes celulares.

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, como mostra a Figura 1. Além dos aspectos ambientais, os custos de energia também representam uma parcela significativo dos gastos totais dos operadores de rede. Enquanto a BS conectada a rede elétrica (*on-grid*) pode custar cerca de 3.000 dólares por ano para operar, a BS *off-grid*, geralmente operadas com geradores de energia a diesel, podem custar dez vezes mais, segundo Hasan (2011).

Chen (2011) destaca que rede verde e eficiência energética são temas de pesquisa que tornaram-se uma necessidade urgente nas redes sem fio para atender aos desafios levantados pelas altas demandas de tráfego sem fio e consumo de energia.

Roberto P. Nascimento

Figura 1: Expansão das estações base nas regiões em desenvolvimento (Taverner 2010).



2.1. Definição

Antes de iniciar qualquer discussão sobre redes verdes, o autor Hasan (2011) levanta a discussão sobre o que realmente é “verde”? E como é possível medir e definir o grau de “verde” em redes de telecomunicações? A emissão de carbono é naturalmente considerada uma medida verde, mas a parcela de emissões de carbono para redes de telecomunicações é bastante baixa (menos de 1%). Contudo, observa-se que há outras motivações para obter o “verde” em tecnologias wireless como os benefícios econômicos (custo de energia mais baixo) e o melhor uso das baterias dos aparelhos, isto é, eficiência energética nos sistemas finais. Daí a avaliação de economia de energia ou aferição de eficiência energética parece ser uma escolha mais apropriada para medir o “verde”.

Do ponto de vista estritamente ambiental, redes verdes visa minimizar a emissão do GEE. O primeiro passo óbvio nesta direção é fazer cumprir, tanto quanto possível, o uso de energias renováveis no domínio das TICs. No entanto, outro caminho natural é projetar componentes de baixa potência, capaz de oferecer o mesmo nível de desempenho. Embora, estas não sejam as únicas formas, uma outra opção seria reformular a arquitetura da rede em si, como por exemplo, trocar a localização dos equipamentos de redes para locais estratégicos, poderá resultar em uma

economia substancial de energia, desde que atenda os problemas de perda de energia durante o transporte e o resfriamento dos dispositivos eletrônicos, segundo Bianzino (2012).

Bianzino (2012) considera que a deslocalização geográfica também é uma abordagem promissora do ponto de vista econômico. O mercado global de energia oferece preços voláteis e variáveis no tempo. Os preços podem mesmo tornar-se negativo quando um excedente de produção aparece. A energia não pode ser armazenada de forma eficiente, e apesar de previsões de consumo baseado nos históricos dos dados com alta precisão, o excesso de produção é sempre possível. Esta variabilidade pode ser explorada através do deslocamento da computação, onde a energia tem um custo menor.

Finalmente, do ponto de vista da engenharia, pode ser melhor visto como uma forma de reduzir a energia necessária para realizar uma determinada tarefa, mantendo o mesmo nível de desempenho. Pode ser definido também como a prática da seleção de produtos e tecnologias de redes com eficiência de energia, minimizando o uso dos recursos sempre que possível. Esse ponto de vista será adotado no restante deste trabalho, pois relaciona-se profundamente com os demais, como afirma os autores Bianzino (2012) e Marsan (2011).

2.2 Estratégia Verde

Tradicionalmente, os sistemas de redes são projetados e dimensionados de acordo com princípios que estão inerentemente em oposição com os objetivos de redes verdes.

Devido à “falta” de QoS na arquitetura da internet, o excesso de provisionamento é uma prática comum. As redes são dimensionadas para suportar o tráfego no horário de pico, com capacidade extra para permitir eventos inesperados. Como resultado, durante os períodos de baixo tráfego, o excesso de provisionamento das redes significam também excesso de consumo de energia. Além disso, para resistência e tolerância a falhas, as redes também são projetadas de forma redundante. Pois os dispositivos extras adicionados à infraestrutura, muitas vezes tem como único propósito assumir o serviço quando outro dispositivo falhar, o que aumenta ainda mais o consumo global de energia. Esses princípios, radicalmente opostos à economia de recursos e energia, faz a rede verde, um campo de pesquisa interessante e tecnicamente desafiador. Uma grande mudança é realmente necessária na pesquisa e desenvolvimento de redes para introduzir a consciência energética no projeto de rede, sem comprometer a QoS e confiabilidade da rede.

Esta seção ilustra algumas estratégias fundamentais que a infraestrutura de rede pode explorar para alcançar os objetivos “verde”. Apresenta-se três classes de solução: a consolidação de recursos, conectividade seletiva e computação proporcional. Estas três categorias representam as três direções de pesquisa, segundo Bianzino (2012).

Consolidação dos recursos - reagrupa todas as estratégias de dimensionamento para reduzir o consumo global de energia dos dispositivos subutilizados em um determinado período. Dado que o nível de tráfego numa determinada rede segue aproximadamente um comportamento diário e semanal bem conhecido, existe uma oportunidade de “adaptar” os recursos ativos disponíveis às condições atuais da rede. Em outras palavras, ainda será garantido o nível de desempenho exigido, mas utilizando uma quantidade de recursos que é dimensionado para atual demanda de tráfego da rede, ao invés de uma demanda por pico.

Conexão seletiva - segundo Allman (2007), permite alguns componentes entre no sleep mode por um determinado período de tempo, de forma transparente para os demais dispositivos da rede, desligando os recursos não utilizados da borda da rede.

Computação proporcional - segundo Barroso (2007), pode ser aplicada a um sistema como um todo, para protocolos de rede, bem como em dispositivos e componentes individuais. Dessa forma, os projetistas de sistemas e componentes devem procurar desenvolver equipamentos que tem o consumo de energia proporcional a carga de trabalho executada.

2.3 Economia de energia nas estações base

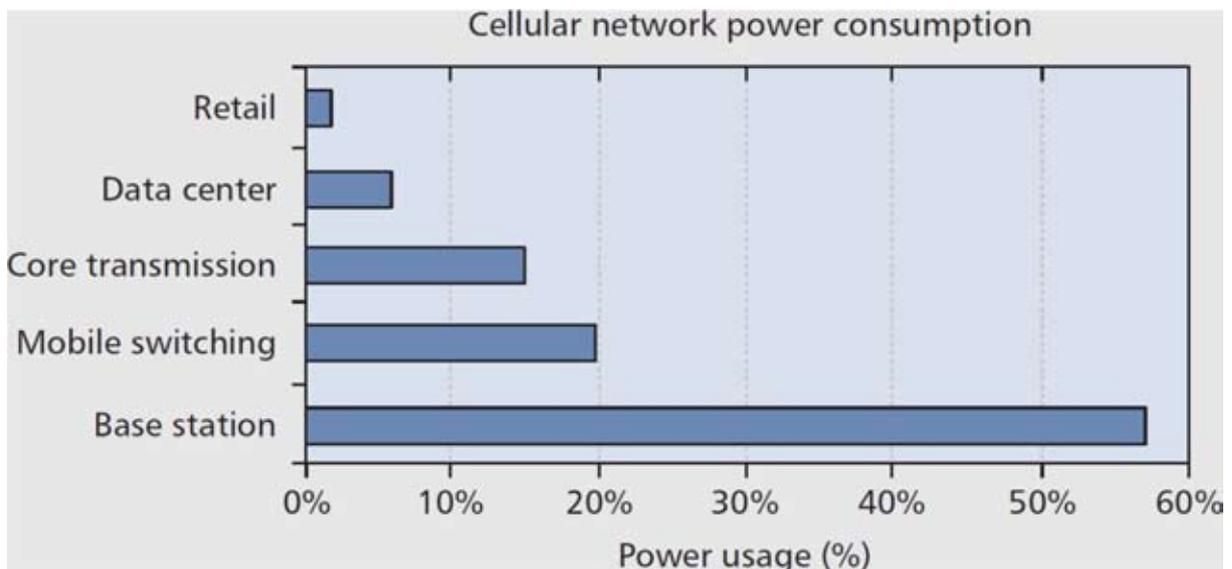
Com o advento do uso intensivo de dados através do celular, Baker (2010) afirma que o consumo de energia de cada BS pode aumentar até 1.400 Watts e com emissão de carbono de 11 toneladas de CO₂. O típico consumo de energia de diferentes elementos da atual rede sem fio é apresentado na Figura 2. Hasan (2011) afirma que a rede via rádio representa aproximadamente 80% do consumo total de energia de uma operadora. Por isso, os fabricantes de equipamento da BS começaram a oferecer uma série de soluções amigáveis para reduzir a demanda de energia das BSs e suporte as BSs off-grid com recursos energéticos renováveis.

Macro células têm sido usados para fornecer uma ampla cobertura de área e melhor mobilidade do usuário nas redes celulares. No entanto, com o aumento da área de cobertura, mais energia

para transmissão é necessária para fornecer uma qualidade de sinal aceitável para usuários da borda da célula, o que aumenta o consumo global de energia da BS. Recentemente, femtocélulas (*femtocells*) foram implantadas para melhorar a cobertura em prédios e proporcionar maiores taxas de dados. Além disso, a Figura 2 mostra o consumo de energia dos diferentes elementos de uma RSF. Os resultados demonstram que reduzir o consumo de energia nas BSs e nos APs (Access Point) têm sido um importante elemento desse campo de pesquisa.

Devido a sua pequena área de cobertura, Correia (2010) observa que as femtocélulas requerem muito menos potência de transmissão de uma macrocélula e, portanto, suas BSs consomem menos energia. No entanto, uma implantação com apenas pequenas células exigiria um grande número de BSs. Isso aumenta as taxas de *handover* dos usuários móveis entre as células adjacentes e também pode degradar a eficiência energética global da rede devido a sobrecarga de sinalização e de processamento. Nesse caso, a utilização conjunta de BSs com diferentes tamanhos de células é desejada.

Figura 2: O consumo de energia de uma típica rede celular (Han 2011).



2.4 Planejamento dinâmico

Os autores Correia (2010) e Ismail (2011) afirmam que a carga de tráfego em uma rede sem fio (RSF) pode ter variações espaciais e temporais devido à mobilidade e às atividades dos usuários. A Figura 3 mostra dois perfis de tráfego de uma operadora, em que o tráfego varia muito no período de 24h, no horário de pico a intensidade do tráfego pode ser 10 vezes maior do que no período

de baixa intensidade de tráfego. Percebendo o potencial nessas variações de tráfego, os pesquisadores propõem explorar tais flutuações de carga de tráfego desligando alguns recursos disponíveis quando a carga de tráfego está baixa. Isto é conhecido como planejamento dinâmico.

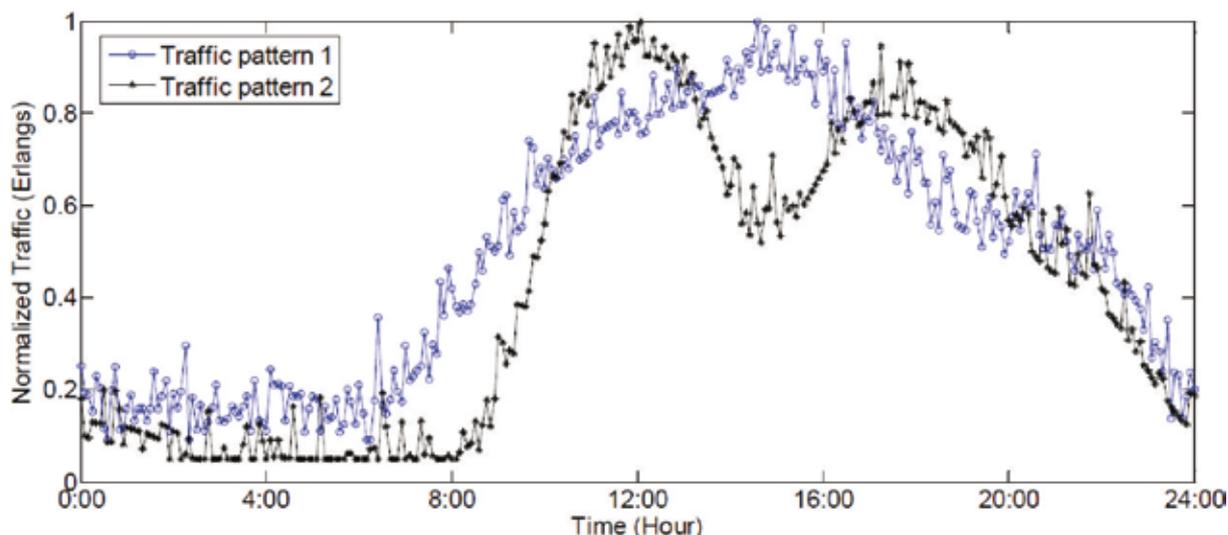
A troca do modo de operação da BS (ativo/inativo) pode evitar o excesso de provisionamento (*overprovisioning*) nas condições da carga de tráfego baixa e, conseqüentemente, alcançar a economia de energia. Contudo essa solução é limitada ao funcionamento de uma única rede, o que torna o provisionamento de serviço para as células inativas dependentes dos recursos ativos das demais redes. Como resultado, o aumento na potência de transmissão da BS ativa se faz necessária para aumentar o raio da célula, a fim de proporcionar a cobertura de rádio para as células inativas. Essa estratégia pode ocasionar falha de cobertura se a potência máxima de transmissão permitida das células ativas não alcançar a cobertura de rádio da célula inativa, provocando interrupção do serviço nessa área e uma possível interferência intercelular, segundo Ismail (2011).

Duas soluções são propostas por Kolios (2010) e Ismail (2011) para evitar as desvantagens previamente mencionadas no planejamento dinâmico. Uma depende da mobilidade dos relay nodes para migrar o tráfego das BSs inativas para as BSs ativas. No entanto, essa solução não é confiável em casos de aplicações sensíveis a atraso, como nas chamadas de voz (telefonia). A outra solução explora a cooperação entre dois operadores celular para alcançar a economia de energia, pois permite que o tráfego de uma operadora com BSs inativa seja transmitido através da BS ativa de outra operadora.

As soluções de planejamento dinâmico na literatura focam em desligar algumas BSs ou alguns recursos da BS. É mais benéfico combinar ambas as estratégias. Além disso, com a existência de diferentes redes sem fio com diferentes áreas de cobertura co-localizada, a estratégia de cooperação entre redes pode alcançar economia energética e evitar falhas de planejamento dinâmico.

Para uma melhor compreensão sobre os benefícios das redes cooperativas, a próxima seção apresenta uma discussão sobre o futuro ambiente de acesso sem fio heterogêneo e o potencial das redes cooperativas.

Figura 3: Padrão de tráfego diário de uma BS Celular (Hossain 2012).



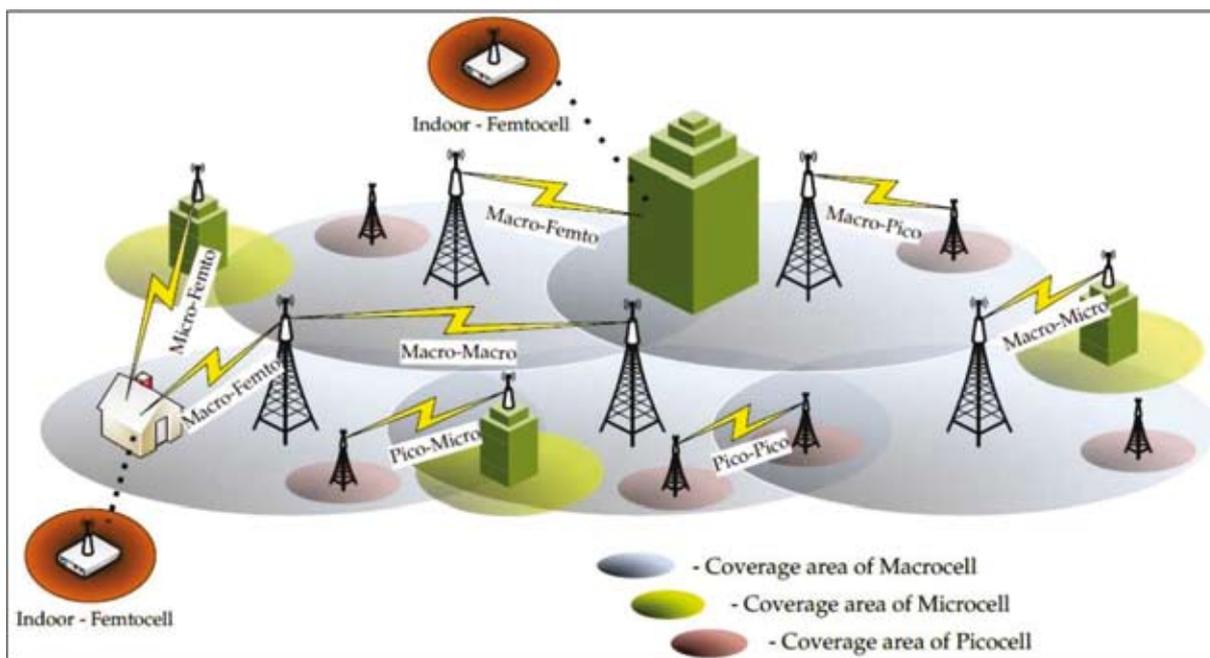
2.5 Cooperação de rede

Atualmente, existem diferentes redes sem fio que oferecem uma variedade de opções de acesso. Essas redes de acesso sem fio incluem sistema celular de terceira geração (3G), rede WiFi (IEEE 802.11) e sistema WiMAX (IEEE 802.16). Na Figura 4 é apresentado um cenário típico de RSF heterogêneo. Nas configurações atuais das redes celulares, Hasan (2011) observa que as macrocélulas são geralmente projetadas para fornecer uma ampla cobertura de serviço, mas não são eficientes no fornecimento de altas taxas de dados. Para tornar as redes celulares mais eficientes em termos energéticos e manter o elevado nível de velocidade de transmissão de dados, solução baseada na implantação de células menores, como micro, pico e femtocélulas são extremamente promissoras, pois fornece serviço com alta taxa de transmissão à usuários com padrão de baixa mobilidade.

Do ponto de vista dos usuários móveis, Ismail (2012) afirma que as soluções de cooperação de rede para as redes sem fio heterogêneas permitem desfrutar de uma melhor conexão. A melhor conexão é facilitada pelo handover vertical, que pode ser baseada no custo de serviço, cobertura, taxa de transmissão, QoS e etc. Além disso, os usuários móveis, portando terminais multimodais, serão capazes de se conectarem nas RSF mais adequada.

Roberto P. Nascimento

Figura 4: Exemplo de implantação de rede sem fio heterogênea (Hasan 2011).



Técnicas *multihoming* mantêm múltiplas associações simultâneas de um terminal móvel (TM) com diferentes redes de acesso via rádio. Facilitada pela cooperação em diferentes domínios de rede, o *multihoming* pode suportar aplicações com alta requisição de largura de banda através da agregação da largura de banda, provendo acesso ubíquo, facilidade de handover suave e melhor confiabilidade.

Estudos mostram que a utilização conjunta de macrocélulas e picocélulas em uma rede pode reduzir o consumo de energia da rede em até 60% em relação a uma rede com somente macrocélulas. Outra vantagem das células menores é que elas podem operar em faixas de frequências mais altas, adequadas para fornecer taxas de dados elevadas. A utilização da cooperação de redes entre diferentes tamanhos e tipos de redes pode obter, além da economia de energia, a melhora no desempenho da rede, balanceamento da carga de tráfego e alternar o modo de operação das BSs conforme a flutuação da carga de tráfego. No entanto, a implantação de muitas picocélulas dentro de uma macrocélula pode reduzir a eficiência global da BS de macrocélula, uma vez que terá de operar sob condições de baixa carga. Portanto, a investigação cuidadosa de várias estratégias de implantação deve ser feita a fim de encontrar a melhor forma de implantar as picocélulas, como observa Hasan (2011) e Hossain (2012).

2.6 Gerenciamento de recursos de rádio

Em um ambiente de redes de comunicação móvel heterogêneo, a rede MultiAcesso (MA) é composta por mais de um RAT (Tecnologia de Acesso a Rádio do inglês *Radio Access Technology*) operando de maneira coordenada com objetivo de prover serviços avançados de comunicação sem fio. Tais redes se beneficiam da combinação das características de cada RAT visando uma diversidade temporal e geográfica de requisitos como cobertura, QoS, desempenho e mobilidade, oferecendo maior flexibilidade na distribuição dos recursos de rádio. Dessa forma, é possível aproveitar a complementaridade das redes de acesso existentes para proporcionar maior taxa de transmissão e eficiência, como afirma Melo (2012). Assim, a decisão da RSF mais adequada para alocação dos recursos deve ser realizada levando em consideração diversos fatores, tais como: preferência do usuário e do operador. Todos os critérios não podem ser utilizados simultaneamente e há um *trade-off* entre eles. Alguns desses são mostrados na Tabela 1.

Com relação à gerência de tráfego, Carvalho (2005) menciona a existência de mecanismos que evitam e previnem o congestionamento, e os que detectam o congestionamento e restauram o equilíbrio da rede. Fazem parte do primeiro grupo, o controle conjunto de admissão de chamada (CCAC) e o agendamento, enquanto que, o controle de fluxo, adotado pelo TCP, faz parte do segundo.

O gerenciamento de recursos de rádio segundo Salman (2012), refere-se a uma série de passos para determinar o momento, ordem e a quantidade de recursos a ser alocado para cada usuário em um ambiente de RSF multiusuário. Os recursos de rádio são frequentemente escassos e dispendiosos. Logo, uma utilização eficiente desses recursos é uma preocupação primária em redes sem fio. Estes passos devem ser aplicados devido ao limitado recursos de rádio, como largura de banda, potência de transmissão e etc. Além disso, o consumo de energia deve ser minimizado devido às exigências “verde”. Portanto, é muito importante gerenciar esses recursos e utilizá-los de forma otimizada para aumentar o desempenho global do sistema. A alocação de recursos de rádio é classificada em vários tipos de acordo com a função objetivo a ser otimizada. Carvalho (2005) descreve algumas estratégias adotada para a atribuição de recursos de rádio, que são:

- **Alocação de canal fixa (FCA):** Cada célula de uma área atendida pela operadora de serviço recebe um determinado número de canais de acordo com um padrão de reuso.
- **Alocação de canal dinâmica (DCA):** Todos os canais são disponíveis para todas as células.

las e sempre que ocorre um evento de chegada de uma nova chamada, um canal, dentre um conjunto de canais disponíveis, é alocado, desde que satisfaça uma restrição, mas um critério de otimização deve ser empregado para selecionar o melhor canal.

- **Alocação de canal híbrido (HCA):** Consiste na combinação das duas anteriormente descritas. Assim, um conjunto de canais é alocado permanentemente para cada uma das células, enquanto que, outra parte, será compartilhada entre as células.

Tabela 1: Critérios de seleção da RSF mais adequado (Falowo 2006)

Critérios	Preferência do Usuário	Preferência do Operador	Requisitos de Aplicação
1	Menor custo de serviço	Distribuição de carga uniforme	Capacidade residual da RSF
2	Melhor QoS	Maximização do ganho	Capacidade do terminal móvel
3	Maior área de cobertura	Otimização do consumo de energia	
4	Maior segurança	Minimização da perda de <i>handover</i>	
5	Menor consumo de bateria		

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em meio ao crescimento exponencial do tráfego celular que desencadeou uma expansão na infraestrutura da rede e conseqüentemente o crescimento da demanda de energia, o aumento do consumo de energia tem impactado diretamente no custo operacional dos operadores das redes celulares. Portanto, os operadores de redes de telecomunicações móveis têm de encontrar formas de atender essa nova demanda de recursos, enquanto otimiza os custos de energia. Diante disso, foi discutido a eficiência energética do atual modelo de infraestrutura das redes celulares e apresentado algumas estratégias de economia de energia utilizando os conceitos de redes verdes que busca, além de otimizar o consumo de energia, garantir que o nível desejado de QoS possa ser oferecido por componentes alternativos para prover um desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ALIBERTI, M. **Green networking in home and building automation systems through**

power state switching. Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 57(2):445–452, may 2011.

ALLMAN, M.; Christensen, K.; Nordman, B. and Paxson, V. **Enabling an energy-efficient future internet through selectively connected** end systems. 6th ACM Workshop, (November), 2007.

BARROSO, L. A. and Holzle, U. **The case for energy-proportional computing.** Computer, (December):33–37, 2007.

BAKER, Jolyon. **Telecommunications Predictions 2010. Tecnology, Media & Telecommunications:** 1-28. Deloitte, jan. 2010.

BIANZINO, A. P.; Chaudet, C.; Rossi, D. and Rougier, J.-L. **A survey of green networking research.** Communications Surveys Tutorials, IEEE, 14(1):3–20, First Quarter 2012.

CARVALHO, G. H. S. **Modelagem e análise de desempenho de esquemas de alocação de recursos em redes móveis celulares.** Tese de Doutorado, Instituto de Tecnologia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Pará, 2005.

CHEN, Y.; Zhang, S.; Xu, S. and Li, G. Y. **Fundamental trade-offs on green wireless networks.** Communications Magazine, IEEE, 49(6):30–37, june 2011.

CORREIA, L. M.; Zeller, D. and Blume, O. **Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks.** IEEE Communications Magazine, (November):66–72, 2010.

FALOWO, O. E. and Chan, H. A. **Fuzzy Logic Based Call Admission Control for Next Networks Generation Wireless.** (D):0–4, 2006.

HAN, C.; Harrold, T.; Armour, S.; and et al. **Green radio: radio techniques to enable energy-efficient wireless networks.** IEEE Communications Magazine, (6):46–54, June 2011.

HASAN, Z.; Boostanimehr, H. and Bhargava, V. K. **Green cellular networks: A survey, some research issues and challenges.** Communications Surveys Tutorials, IEEE, 13(4):524–540, 2011.

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.

ISMAIL, M. and Zhuang, W. A **Distributed Multi-Service Resource Allocation Algorithm in Heterogeneous Wireless Access Medium**. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(2):425–432, February 2012.

ISMAIL, M. and Weihua, Z. (2011). Network Cooperation For Energy **Saving In Green Radio Communications**. *Ieee Wireless Communications*, (October):76–81.

KOLIOS, P.; Friderikos, V. and Papadaki, K. **Switching off low utilization base stations via store carry and forward relaying**. 2010 IEEE 21st International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops, pages 312–316, September 2010.

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.

LIU, W. Sirisena, H. and Pawlikowski, K. Building dependable next generation networks (ngns): A new bluegreen design philosophy. In **Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC)**, 2011, pages 1–6, nov. 2011.

MARSAN, M. A. and Meo, M. Green wireless networking: **Three questions**. In **Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net)**, 2011 The 10th IFIP Annual Mediterranean, pages 41–44, june 2011.

MELO, Y. V. L.; Jr, F. M. A.; Jr, V. A. S. and Cavalcanti, F. R. P. **Controle de Acesso em Redes Multi-RAT através de Metaheurísticas**. SBRC, pages 3–16, 2012.

SALMAN, M. I.; Ng, C. K.; Noordin, N. K.; Ali, B. M. and Sali, A. **Energy efficient transmission for LTE cellular system**. *Computer and Communication Engineering*, (July):3–5, 2012.

TAVERNER, D.; Gubbi, S.; and et al. (2010). Green Power for Mobile GSMA. **Community power using mobile to extend the grid**. Disponível em: <<http://www.gsma.com/mobilefor-development/wp-content/uploads/2012/05/Community-Power-Using-Mobile-to-Extend-the-Grid-January-2010.pdf>>. Acesso em: 12 de julho de 2015.

WEBB, M. (2008). **Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age**. The Climate Group London.