

## 2. Importância da avaliação da utilização do espectro

O espectro radioelétrico é um recurso natural limitado, de grande importância social e econômica, cuja demanda vem crescendo rapidamente. Inovações tecnológicas, ocorridas a partir da década de 1980, como o reuso de frequências em sistemas celulares de comunicações, métodos de modulação digital de alta eficiência espectral, novas técnicas de múltiplo acesso e alta integração eletrônica, têm permitido grande melhoria na eficiência de uso do espectro e a criação de novos serviços de comunicações utilizando tecnologias de acesso sem fio.

Considerando esta grande disponibilidade de opções tecnológicas para a implantação de novos sistemas e serviços, é necessário dispor de métodos e ferramentas para a avaliação da eficiência relativa destes diferentes sistemas e tecnologias, a fim de medir o ganho obtido com sua introdução e possibilitar o planejamento nacional de utilização do espectro e o desenvolvimento das radiocomunicações a longo prazo. É necessário ainda avaliar a eficiência de uso do espectro por sistemas já existentes, em operação.

Fatores que influenciam significativamente a eficiência técnica do uso do espectro são:

- a utilização de diferentes faixas de frequências para serviços específicos;
- a utilização de métodos relevantes de gerência do espectro para as redes destes serviços;
- as características técnicas dos transmissores, receptores e antenas.

A otimização desses fatores, particularmente com respeito às novas tecnologias, pode resultar em significativa economia do espectro.

Como será visto nos próximos capítulos, a medida de eficiência de utilização do espectro não é absoluta. Esta eficiência é relativa, estando associada ao tipo de sistema e à faixa de frequências considerados. Além disto, é importante observar a evolução do uso do espectro por um determinado sistema ao longo do tempo para verificar se ela é compatível com a disponibilidade de novas tecnologias espectralmente mais eficientes e com o crescimento da demanda do serviço a que se destina, bem como de outros serviços que poderiam, eventualmente, fazer uso da faixa de frequências considerada.

Indicadores de eficiência do uso do espectro permitem avaliar, do ponto de vista técnico, se este recurso está sendo utilizado para obter a maior quantidade possível de serviço em função das tecnologias existentes. É importante ressaltar que este não é o único fator a ser considerado. A seleção da tecnologia para prover um determinado serviço inclui outros aspectos como custo e disponibilidade de equipamentos, confiabilidade dos sistemas, compatibilidade com equipamentos e sistemas existentes e diversos fatores operacionais. Com relação ao uso de uma determinada faixa para oferecimento de determinado serviço, aspectos econômicos, sociais, políticos ou estratégicos podem ainda assumir um papel dominante frente aos resultados obtidos com indicadores puramente técnicos.

## **2.1. Aspectos econômicos, sociais, políticos e estratégicos**

Além dos indicadores predominantemente técnicos, outras variáveis devem ser consideradas, tais como aquelas relacionadas com aspectos econômicos, sociais, políticos e estratégicos.

Diversos estudos sobre o efeito desses aspectos na determinação do uso eficiente do espectro têm sido realizados por diferentes administrações e organismos reguladores. A seguir são descritos alguns destes estudos.

A definição de indicadores de eficiência de utilização do espectro, sob o ponto de vista econômico, social, estratégico e político é o aspecto mais subjetivo da sua especificação global.

### 2.1.1. Conceito de eficiência por Burns

Uma interessante discussão dos fatores que influenciam a eficiência de uso do espectro é apresentada por Burns [1] que define uma eficiência funcional, em adição às eficiências técnica e econômica.

Segundo Burns, a eficiência de uso do espectro pode ser vista de diversas formas, porém há três dimensões principais: técnica, econômica e funcional.

Tipicamente, os três aspectos mencionados devem ser considerados na tarefa de obtenção da eficiência de uso do espectro, conforme mostra a figura 1. A seguir, é apresentado detalhamento de cada um dos três componentes da eficiência de uso do espectro e uma aplicação para sistemas móveis celulares.

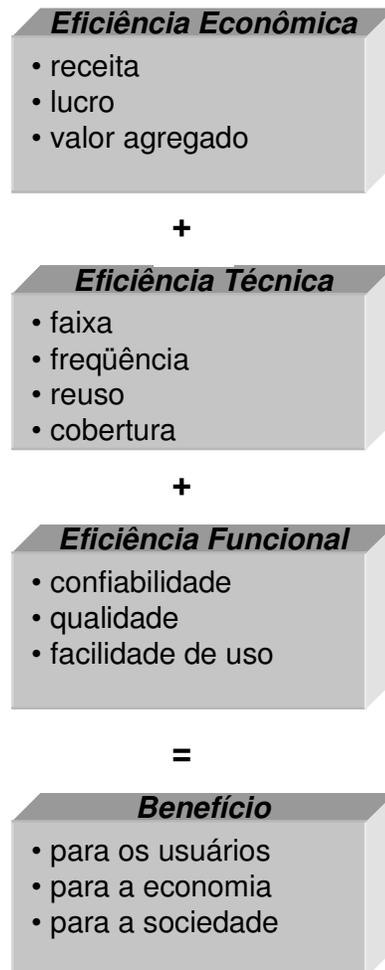


Figura 1. Componentes da eficiência de uso do espectro

### **2.1.1.1. Eficiência técnica**

A eficiência técnica definida por Burns é análoga à definição da Recomendação UIT-R SM.1046-1 [2]. Corresponde a transmitir o maior volume de informações em uma determinada faixa de frequências, distribuída em uma área geográfica. Tipicamente, parâmetros como erlangs/MHz/km<sup>2</sup> ou Mbit/s/MHz/km<sup>2</sup> são adotados para comparar as eficiências.

A abordagem para o cálculo da eficiência técnica depende da natureza do serviço prestado. Entretanto, usualmente há três parâmetros técnicos principais: eficiência de faixa, reuso de frequências e tempo.

Eficiência de faixa é entendida como a quantidade de informação que pode ser transmitida através de determinada faixa de espectro. A análise do reuso de frequência é mais complexa, sendo uma medida da facilidade com que uma mesma faixa do espectro pode ser utilizada simultaneamente em áreas geográficas distintas. Existe um compromisso entre esses dois parâmetros, uma vez que tecnologias que provêm eficiência de faixa muito alta tendem a apresentar características de reuso inferiores.

Nas redes de telecomunicações, os três parâmetros (eficiência de faixa, reuso de frequência e tempo) podem ser combinados para prover uma medida global da eficiência técnica de uso do espectro.

### **2.1.1.2. Eficiência econômica**

A eficiência econômica pode ser expressa em termos de máxima receita, lucro ou valor agregado que podem ser obtidos pelo uso de determinada faixa. Os ganhos em eficiência técnica ilustrados anteriormente se traduzem, até determinado ponto, em ganhos econômicos, uma vez que maior tráfego na rede significa maior retorno de capital. Entretanto, a contrapartida é o fato de que tais ganhos são obtidos por meio de investimento em infra-estrutura para a criação de redes mais eficientes. Adicionalmente, a demanda por serviços de comunicações móveis de voz é amplamente atendida pelas redes existentes atualmente, não justificando uma expansão milionária destas redes.

Onde a 3ª geração (3G) realmente se destaca é na sua habilidade de prover dados a altas velocidades, como serviços multimídia. A possibilidade de altas taxas de transmissão e transmissão por comutação de pacotes permitem uma ampla variedade de serviços de valor agregado oferecidos aos usuários, ampliando o potencial de lucro gerado pela alocação de espectro.

A eficiência econômica pode ser incentivada por meio de mecanismos de negociação do espectro. Entretanto, estipular um valor prévio ao espectro embute risco, como demonstrado recentemente nos leilões de faixas para sistemas celulares 3G na Europa.

### **2.1.1.3. Eficiência funcional**

A eficiência funcional pode ser entendida como a medida de adequação do uso do espectro às necessidades específicas do usuário. Para muitos usuários, funcionamento simples e confiabilidade são os aspectos mais importantes de um serviço de telecomunicações.

A eficiência funcional é difícil de ser quantificada, uma vez que envolve critérios muito subjetivos, como facilidade de uso do sistema em situações difíceis ou de emergência. Entretanto, os benefícios da eficiência funcional para os usuários tendem a se refletir no valor que os próprios usuários estimam para os serviços.

A eficiência funcional traduz-se basicamente pela necessidade que a sociedade pode ter por determinado serviço, ou pelos benefícios que este serviço pode retornar para a sociedade, independentemente de outra eficiência (técnica ou econômica). Esta eficiência será exemplificada para sistemas móveis, o que facilitará o entendimento de sua aplicação.

### **2.1.1.4. Eficiência funcional de sistemas móveis**

Este exemplo tenta quantificar a eficiência funcional de sistemas rádio privados, PMR (*Private Mobile Radio*), frente à de sistemas celulares GSM, ilustrando as diferenças entre este tipo de eficiência e a eficiência técnica.

Os sistemas PMR continuam tendo um papel primordial para usuários que necessitam de conexão instantânea, cobertura sob medida e custos operacionais baixos e fixos. Tais necessidades podem não ser completamente atendidas por um serviço celular, focado em extrair o máximo da capacidade de chamadas (uso de sistemas troncalizados).

Enquanto que o PMR não é capaz de atender a mesma densidade de usuários dos sistemas celulares, a funcionalidade desse sistema, particularmente a característica de realização de chamadas de duração relativamente baixa e iniciação de chamadas de forma quase instantânea, elevam muito a pontuação da eficiência funcional desse sistema. Tais características significam que até 100 usuários podem compartilhar um único canal PMR, enquanto que o GSM permite até cerca de 40.

Embora o conceito de eficiência funcional seja fácil de entender é muito difícil de quantificar, pois é baseado em fatores subjetivos. Como exemplo de tentativa de quantificação, cita-se uma pesquisa realizada com usuários do Reino Unido sobre o quanto estariam dispostos a pagar por determinada gama de atributos do serviço [3-4]. Subtraindo tal valor da quantia que os usuários realmente pagam pelos serviços, é gerada uma medida do benefício derivado da funcionalidade do serviço, relativa ao preço pago por ele. Essa medida de eficiência funcional recebe a denominação usual de *consumer surplus* e os valores obtidos na pesquisa são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. *Consumer surplus* para sistemas GSM e PMR

Serviço	<i>Consumer surplus</i> por usuário
GSM (pessoal) <sup>[3]</sup>	£ 16
GSM (corporativo) <sup>[3]</sup>	£ 47
PMR <sup>[4]</sup>	£ 95

#### 2.1.1.5. Comentários sobre a eficiência por Burns

Conforme observamos, o peso relativo dos diferentes componentes da eficiência dependem da aplicação considerada. Em geral, maximizar a eficiência

econômica é prioritário no caso de grandes sistemas nacionais, como celular ou radiodifusão de TV. Por outro lado, para aplicações mais especializadas como o PMR ou controle de tráfego aéreo, a eficiência de funcionalidade ou “adequação ao propósito” tem mais importância que as demais eficiências. Em ambos os casos, há a necessidade de se otimizar a eficiência técnica, com a precaução de que isso não prejudique a eficiência funcional ou torne o sistema economicamente inviável. Não há nenhum algoritmo único, genérico, que permita a comparação de eficiência entre duas aplicações que usam o espectro radioelétrico. Assim, segundo Burns [1], a medida e a comparação da eficiência de uso do espectro pode ser considerada quase uma arte e não apenas um processo científico.

### **2.1.2.**

#### **Diretrizes da Comunidade Européia para utilização do espectro**

A quantificação da eficiência política é tanto ou mais complexa que as demais, pois deve levar em consideração os outros objetivos estratégicos estabelecidos para as demais áreas da política governamental estimulando o desenvolvimento tecnológico em benefício da sociedade sem prejudicar o desenvolvimento econômico do setor de telecomunicações. Neste contexto, a Comunidade Européia define sua política de utilização do espectro.

A análise da política de utilização do espectro de radiofrequências da Comunidade Européia mostrou que o tratamento dado à questão da mensuração desta eficiência é, entre todos os estudos realizados e pesquisados, o que melhor se ajusta à realidade brasileira. Tanto isto pode ser observado que na lei geral de telecomunicações brasileira [5], vários destes aspectos encontram-se contemplados.

A Comissão das Comunidades Européias publicou, em 1998, documento relativo à política de espectro de radiofrequências [6]. As principais conclusões apresentadas no documento, relacionadas com o uso do espectro na Comunidade Européia, são apresentadas a seguir.

### **2.1.2.1.**

#### **Contexto: importância econômica e política do espectro de radiofrequências**

A necessidade de utilização do espectro de radiofrequências é intrínseca aos serviços de telecomunicações sem fio, que vêm se popularizando, diversificando suas aplicações e acumulando crescimento acima da média dos outros setores nos últimos anos, portanto, adquirindo importância econômica considerável, quer em termos de valores de mercado, quer em termos sociais, como, por exemplo, a geração de empregos, as políticas comunitárias e de inclusão digital.

Em termos econômicos, o valor do espectro de radiofrequências é determinado pelo valor dos serviços que podem ser prestados por meio da sua utilização. Os meios através dos quais são tomadas as decisões e definidas as prioridades relativamente à utilização do espectro constituem uma questão chave devido à três razões principais:

- o êxito das políticas setoriais específicas importantes como telecomunicações e radiodifusão depende da disponibilidade e da reserva adequada do espectro;
- o acesso ao espectro de radiofrequências deve estar em conformidade com as políticas públicas no que diz respeito ao apoio ao desenvolvimento do mercado interno, à garantia da concorrência e ao desenvolvimento e preservação dos padrões sociais e do interesse público;
- dada a utilização crescente do espectro de radiofrequências em atividades comerciais, deve-se levar em consideração as regras e compromissos de mercado e dos bens e serviços afins.

### **2.1.2.2.**

#### **Objetivos e questões chave: interesses no contexto da utilização do espectro de radiofrequências**

Aos objetivos de política associados à disponibilidade e ao acesso ao espectro de radiofrequências incluem-se:

- permitir o desenvolvimento de novos serviços tendo em vista a satisfação das necessidades da sociedade no que tange aos serviços via rádio;

- fomentar o desenvolvimento do mercado interno e da concorrência tanto para a produção de equipamentos quanto para a prestação dos serviços de telecomunicações;
- cumprir os objetivos determinados pelas políticas públicas relacionadas aos aspectos de segurança, culturais e sociais, entre outros;
- estimular a inovação tecnológica e apoiar a competitividade;
- mesmo que em termos indiretos, desenvolver o crescimento econômico, a criação de empregos e promover o bem estar geral.

Tendo em vista os objetivos gerais deve-se, ainda, considerar outras questões relativas à forma como o espectro de radiofrequências é disponibilizado a fim de:

- garantir o equilíbrio adequado entre os interesses comerciais e públicos na política sobre a disponibilidade de espectro de radiofrequências;
- fazer refletir o valor econômico do espectro de radiofrequências como um bem escasso;
- proporcionar segurança jurídica relativamente à disponibilidade e à utilização do espectro de radiofrequências;
- assegurar procedimentos abertos, transparentes, objetivos e não discriminatórios que apoiem a prestação de serviços e o fornecimento de equipamentos em condições de concorrência;
- assegurar, tecnicamente, a utilização eficiente das radiofrequências;
- zelar para que a regulamentação setorial fomente a concorrência e a inovação tecnológica;
- apoiar o desenvolvimento de economia de escala para a introdução de novos equipamentos;
- assegurar a coerência entre as políticas de utilização do espectro de radiofrequências e as políticas de normalização.

### 2.1.2.3.

#### **Fatores de mudança: o contexto evolutivo da política de espectro de radiofrequências**

O desenvolvimento tecnológico, as tendências de mercado e a evolução das políticas e da regulamentação têm um impacto substancial na disponibilidade de espectro e tornam cada vez mais complexas a introdução de novas aplicações e a harmonização da sua utilização. Apesar de algumas dessas tendências encontrarem-se ainda em fase de desenvolvimento, pode-se vislumbrar as seguintes mudanças:

- a convergência entre os diferentes serviços que utilizam o espectro de radiofrequências e o desenvolvimento de novos sistemas que congregam gamas de serviços diferentes põem em questão a classificação tradicional por serviços e as condições de acesso ao espectro dela resultantes;
- a globalização dos serviços e dos atores do mercado está dando uma nova dimensão à política de utilização do espectro de radiofrequências;
- as aplicações dos diversos setores, comerciais e não-comerciais (como as aplicações de utilidade pública), concorrem entre si pelo acesso ao espectro;
- as decisões relativas à utilização do espectro de radiofrequências influenciam o desempenho das sociedades, não só em termos econômicos como também, e de forma crescente, no que diz respeito à competitividade industrial e à capacidade de inovação.

Os esquemas de atribuição/destinação de faixas de frequências e autorização/licenciamento para a utilização do espectro podem influenciar na sua utilização eficiente, na definição de valor e possível comercialização do espectro, assim como nos custos de substituição/re-alocação de sistemas existentes.

Devido à convergência tecnológica, à evolução das categorias de usuários e serviços, à definição de interesse público em domínios sujeitos à convergência e ao compartilhamento, deve-se fazer algumas escolhas para equilibrar a procura e a oferta de espectro de radiofrequências. Devido à sua natureza finita, este fato tornar-se-á cada vez mais necessário e inevitável.

#### **2.1.2.4. Política de utilização do espectro de radiofrequências**

O desenvolvimento verificado na tecnologia, no mercado e na regulamentação modificaram a forma como o espectro de radiofrequências é utilizado, assim como o contexto da elaboração das políticas públicas que envolvem o setor de telecomunicações. A execução desta políticas setoriais depende da disponibilidade de espectro.

Determinadas faixas de frequências são mais adequadas a determinados serviços devido às características de propagação e ao emprego das tecnologias existentes. Algumas faixas de frequências encontram-se congestionadas enquanto outras são pouco exploradas. Assim, como acontece com todo recurso escasso, deve-se estabelecer soluções de compromisso ao se decidir sobre a destinação de faixas de radiofrequências. Esta política de utilização do espectro pode ser traduzida pelo seguinte:

- ao se destinar frequências para novos operadores/usuários deve-se priorizar o uso compartilhado;
- realizar, quando necessário, a reorganização do espectro, a fim de possibilitar a entrada de novos serviços ou evitar congestionamento da faixa; neste caso, a substituição ou re-sintonia de equipamento deve ser realizada pelo entrante, até determinado período, ou ser livremente negociado entre os usuários;
- limitar o acesso à faixa de frequências para sistemas/serviços ineficientes.

É difícil determinar a contribuição econômica dos serviços e equipamentos que utilizam o espectro radioelétrico. Por exemplo, a prestação de serviços móveis depende inteiramente da disponibilidade de espectro de radiofrequências. O resultado econômico da utilização de radiofrequências por serviços móveis pode ser verificado pelos benefícios para a sociedade nas áreas estratégica, pública e cultural, bem como para áreas não comerciais, como segurança, emergência e serviços universais de telecomunicações e radiodifusão.

### **2.1.2.5. Políticas de destinação, mercado e concorrência**

É necessário garantir a proteção de serviços passivos e reserva de frequências para serviços de localização, pesquisa, transporte, segurança, emergência. Pode, ainda, haver conflito de interesses com o serviço de radiodifusão pela utilização das faixas e convergência com os serviços de telecomunicações.

No que tange à concorrência, mercado interno, normalização, certificação de equipamentos e defesa do consumidor, cumpre observar:

- o objetivo das regras de concorrência deve assegurar que a destinação do espectro privilegie soluções tecnologicamente atuais;
- no que diz respeito ao mercado interno, a disponibilidade de espectro de radiofrequências afeta o âmbito da prestação e da liberdade de circulação de serviços e dos equipamentos; a harmonização é particularmente importante neste caso, a fim de se desenvolver equipamentos que alcancem boa economia de escala;
- a política relacionada ao consumidor deve ser considerada como subsidiária no estabelecimento do mercado interno de forma a proporcionar maior escolha e diversidade de equipamentos e serviços que satisfaçam a procura e as necessidades dos consumidores; a proteção à saúde dos consumidores contra a radiação eletromagnética torna-se importante neste momento e deve ser retratada de forma transparente para evitar o conflito de políticas nas diversas instâncias, além de assegurar a confiança do consumidor nos serviços e produtos relacionados com a utilização do espectro.

Do exposto, conclui-se que qualquer decisão sobre a forma de utilização do espectro de radiofrequências deve equilibrar de forma cuidadosa os interesses econômicos, políticos, sociais e culturais. Assim, deve-se assegurar, também, que as soluções de compromisso que forem adotadas tecnicamente tomem estes aspectos em consideração.

### 2.1.3. Estudos da FCC

O Grupo de Trabalho em Eficiência de Espectro da FCC desenvolveu no período 2002-2003 um estudo com o objetivo de definir políticas para o uso eficiente e o gerenciamento do espectro. O relatório resultante [7] baseou-se nas respostas coletadas do meio acadêmico, da indústria privada, de órgãos do governo e de usuários de serviços de telecomunicações à uma Nota Pública em que a *Spectrum Policy Task Force* (SPTF) pede comentários sobre tópicos relacionados com as políticas de espectro da FCC [8].

O trabalho foi desenvolvido considerando o crescimento da demanda por espectro radioelétrico e objetivando definir formas de prover acesso e uso eficiente, assim como fomentar o crescimento e rápido desenvolvimento de sistemas de comunicações inovadoras e eficientes.

#### 2.1.3.1. Eficiência para sistemas de comunicações

De uma forma genérica o termo “eficiência” representa a quantidade de saída de um determinado processo que pode ser obtida a partir de uma determinada quantidade de entrada, ou seja:

$$Eficiência = \frac{quantidade\ da\ saída\ do\ processo}{quantidade\ da\ entrada\ do\ processo} \quad (1)$$

Embora, para sistemas de comunicações, a definição mais óbvia para a quantidade de entrada seja espectro utilizado e para quantidade de saída seja informação transmitida, outros fatores devem ser levados em consideração como o custo de um aumento de eficiência, o número de usuários servidos e o valor do serviço que poderia ser prestado como resultado de um aumento de eficiência.

A partir desta consideração, o Grupo de Trabalho desenvolveu três definições do termo eficiência para aplicação no âmbito das radiocomunicações, utilizando diferentes variáveis para representar as quantidades de saída e entrada.

### 2.1.3.2. Eficiência de espectro

A eficiência de espectro é expressa pela relação entre a quantidade de informação transmitida (saída) e a quantidade de espectro utilizado (entrada).

$$Eficiência = \frac{\textit{quantidade de informação transmitida}}{\textit{quantidade de espectro utilizado}} \quad (2)$$

Um sistema com alta eficiência de espectro é aquele que transmite uma grande quantidade de informação em uma determinada faixa de frequências ou, de forma equivalente, aquele que transmite uma determinada quantidade de informação em uma pequena faixa de frequências. Esta definição é equivalente à definição clássica da UIT [2] para a eficiência de uso do espectro.

### 2.1.3.3. Eficiência técnica

Esta eficiência técnica é similar à eficiência de espectro mas considera como entrada o custo do espectro utilizado e dos equipamentos ou recursos empregados. Representa uma métrica da capacidade de se obter a máxima saída com o menor custo de todos os recursos de entrada.

$$Eficiência = \frac{\textit{quantidade de informação transmitida}}{\textit{custo de todas as entradas}} \quad (3)$$

Uma alta eficiência de espectro não se traduz, necessariamente, em uma alta eficiência técnica. Como analogia, já é possível construir carros com uma eficiência de uso de combustível de 300 km/l, mas somente com o uso de materiais resistentes e leves, extremamente sofisticados e caros, tornando o custo de produção anti-econômico. Da mesma forma, é possível construir equipamentos de telecomunicações com eficiência de espectro em Mbits/Hz até 10 vezes superior às atualmente obtidas, mas a custos proibitivos. Estes equipamentos teriam uma alta eficiência de espectro porém uma baixa eficiência técnica.

### 2.1.3.4. Eficiência econômica

Nesta métrica a saída, em lugar de representar uma quantidade de informação, é representada pelo valor para o usuário da informação transmitida.

$$Eficiência = \frac{\text{valor da informação transmitida}}{\text{custo de todas as entradas}} \quad (4)$$

O valor da informação dependerá, basicamente, do serviço oferecido, seja ele um serviço de emergência via celular, internet móvel, comunicação entre uma fábrica e a matriz ou informação de TV ou rádio.

Um indicador geral de eficiência econômica de uso do espectro pode ser definido por [7]:

$$EEU = \frac{V}{C} \quad (5)$$

onde:  $V$  é o valor da informação transmitida para a sociedade; e  
 $C$  é o custo para a transmissão da informação.

As dificuldades no uso deste indicador estão, em primeiro lugar, na determinação do custo de todas as entradas, que envolve o custo de licenças, investimentos para implantação do sistema, custos operacionais, de propaganda e marketing, depreciação, etc. Ainda que todos estes custos possam ser levantados ou estimados, é na determinação do valor da informação para o usuário que reside a principal dificuldade de utilização deste índice. Para serviços puramente comerciais este valor pode ser estimado, de forma simplista, pela receita gerada pelo serviço. Esta análise, entretanto, não se aplica a serviços de interesse público, pois não leva em conta aspectos sociais, cuja consideração é sempre subjetiva.

Assim, em lugar de definir indicadores puramente numéricos para a eficiência econômica do uso do espectro, parece mais útil estabelecer um conjunto de critérios para destinação e cobrança do uso do espectro.

Entretanto, quando for conveniente estabelecer um critério objetivo para a eficiência econômica, sugere-se a utilização de um indicador da forma [7]:

$$EEUE = \frac{f_1(V_R, V_L, V_A, SE)}{f_2(C_L, C_I, C_o)} \quad (6)$$

onde: EEUE é a eficiência econômica de uso do espectro;  
 $f_1$  e  $f_2$  são funções;  
 $V_R$  é o valor das receitas geradas;  
 $V_L$  é o valor do lucro obtido;  
 $V_A$  é o valor agregado;  
 $C_L$  é o custo da licença;  
 $C_I$  é o custo do investimento;  
 $C_O$  é o custo operacional; e  
 SE é a saturação do espectro.

A definição das funções  $f_1$  e  $f_2$  depende de considerações políticas e estratégicas e é altamente polêmica, devendo ser resultado de uma ampla discussão no âmbito do órgão regulador. É também necessário definir a base de tempo associada à computação dos valores.

A eq. (6) é apenas uma indicação dos parâmetros mais relevantes na quantificação da eficiência econômica de uso do espectro. Outros fatores, além dos indicados, podem também ser levados em consideração.

É importante ressaltar que em toda a literatura pesquisada, não é encontrado um indicador objetivo de eficiência econômica definido de forma a permitir sua quantificação numérica.

### **2.1.3.5. Discussão dos tipos de eficiência**

Enquanto sistemas espectralmente eficientes transmitem a maior quantidade de informação com o menor consumo de espectro e sistemas tecnicamente eficientes a maior quantidade de informação com o menor volume de recursos, sistemas economicamente eficientes produzem o maior valor de saída com o menor volume de recursos.

É possível argumentar que, do ponto de vista de quantidade de informação transmitida, o serviço de radiodifusão de sons e imagem tem maior eficiência espectral que o de telefonia móvel, que por sua vez é muito mais eficiente que um serviço de segurança pública. As mesmas relações podem ser verdadeiras do ponto de vista da eficiência técnica. Entretanto, certos usuários considerarão uma

chamada de 5 minutos em um telefone móvel mais valiosa do que uma hora de televisão, ou uma única chamada de emergência de maior eficiência econômica do que ambas.

O simples fato de uma tecnologia apresentar um alto grau de eficiência de espectro não a torna tecnicamente eficiente se seu custo for proibitivo. Por outro lado, a evolução ou inovação tecnológicas tendem a tornar tecnicamente eficientes soluções de alta eficiência espectral. É importante observar também que a eficiência de espectro e a eficiência técnica influenciam fortemente a eficiência econômica mas não a determinam.

Do ponto de vista do negócio de telecomunicações, as eficiências de espectro e técnica são importantes mas, em última análise, deve ser considerada a relação entre o custo de implementação de um serviço e o valor criado por ele.

Do ponto de vista do órgão regulador as eficiências técnica e econômica devem ser consideradas, mas a prioridade deve estar na promoção da eficiência de espectro. A eficiência técnica varia rapidamente em função da evolução tecnológica, enquanto que a eficiência econômica é, em geral, mais apropriadamente imposta pelo mercado.

#### **2.1.3.6.**

#### **Comentários de economistas à consulta da FCC**

Em resposta à consulta realizada pela FCC [8] sobre como promover o uso eficiente do espectro por meio da eliminação de barreiras ao desenvolvimento de mercados secundários, um grupo de 37 especialistas, incluindo um prêmio Nobel, recomendou a adoção de regras orientadas ao mercado com a abertura do espectro radioelétrico para a exploração de seu completo potencial para a sociedade [9]. O grupo entende que as políticas atuais para a utilização do espectro contribuem para diminuir o bem estar do usuário e reduzir a efetividade de sua utilização. Sem uma iniciativa para eliminar as restrições burocráticas desnecessárias, o espectro continuará a ser artificialmente escasso para alguns usos e desperdiçado em outros.

O documento [9] recomenda o avanço no atendimento ao “interesse público” pela eliminação de barreiras ao uso produtivo do espectro radioelétrico. A adoção de reformas de senso simples e comum pode aliviar a escassez de

espectro e confrontar-se com pontos chave do desenvolvimento das redes de comunicação. A orientação é para que não se crie, diretamente, mercados secundários, mas institua-se regras permitindo o surgimento de tais mercados. Deve-se ainda, diminuir as restrições ao uso do espectro radioelétrico, principalmente as relacionadas com a definição de tecnologia ou técnicas de utilização das radiofrequências e eliminar todas as exigências envolvidas com licenças para sistemas sem fio que não estejam relacionadas com interferência ou concentração anti-competitiva de mercado.

Vê-se que a flexibilidade na destinação de espectro destaca-se como forma de desencadear maior eficiência na gerência do espectro. Limitações na utilização do espectro causam ineficiências estáticas e dinâmicas. As restrições desnecessárias impedem os benefícios obtidos pela utilização do espectro.

## **2.2. Eficiência de uso e gerência do espectro**

Uma boa política de gerência do espectro deve levar em consideração a demanda por aplicações ou serviços e a eficiência técnica de seu uso.

Aplicações e serviços com demanda reprimida ou potencial, para as quais as faixas já destinadas estão sendo utilizadas com alta eficiência técnica de uso, são boas candidatas à destinação de novas faixas de frequências. Por outro lado, faixas de frequências utilizadas com baixa eficiência técnica ou para aplicações e serviços com baixa demanda são candidatas ao remanejamento/re-alocação e nova destinação.

Na escolha da melhor aplicação para uma determinada faixa, a eficiência técnica de uso do espectro das aplicações ou serviços candidatos deve ser fator de decisão importante, embora não único.

A comparação entre diferentes tecnologias para aplicações ou serviços análogos pode ser feita utilizando o conceito de eficiência espectral relativa. Já a determinação da demanda é um problema mais complexo, que envolve tanto fatores objetivos como os fatores subjetivos.

Deve-se ainda levar em conta que o ritmo acelerado de inovação tecnológica no setor de telecomunicações faz surgir, constantemente, novas tecnologias que permitem o aumento da eficiência do uso do espectro. Assim, a regulamentação

de uso de faixas de frequências não deve ser associada ao uso tecnologias específicas ou conter fatores limitantes da utilização do espectro. A regulamentação deve, apenas, estabelecer as condições para convivência entre diferentes aplicações e serviços quanto à ocorrência de interferência prejudicial, evitar a concentração de mercado e assegurar o cumprimento de requisitos mínimos de eficiência de uso do espectro.

### **2.3. Eficiência de uso e licenciamento**

A aplicação das definições de eficiência até agora discutidas podem resultar em impacto considerável para o licenciamento de estações, pois este deve ser realizado somente para sistemas que cumpram critérios técnicos mínimos de eficiência. Neste caso, também seria necessário a existência de ferramenta computacional que avaliasse a eficiência de determinado sistema, com base nas informações de cadastro, e decidisse pelo seu licenciamento.

Mesmo para sistemas que atendam ao requisito técnico mínimo de eficiência pode ser possível estabelecer taxas diferenciadas para acesso às autorizações de uso de radiofrequências, dependendo da solução técnica proposta de modo a beneficiar as mais eficientes.

Não está excluída a análise social, econômica, política ou estratégica que deverá ser, também, realizada considerando-se as diretrizes mencionadas.

### **2.4. Eficiência de uso e preço do espectro**

Diversos organismos reguladores utilizam a eficiência de uso do espectro como um importante elemento em suas políticas de gerência e de estabelecimento de preço do espectro. Esta seção apresenta um resumo da posição de alguns destes órgãos sobre o assunto, com base em relatórios publicados recentemente ou normas existentes. Embora não apresentem definições de uso eficiente do espectro, os documentos ilustram sua importância e o contexto em que os indicadores são utilizados.

### 2.4.1. Mecanismos de Mercado para Gerência de Espectro

O Departamento de Comércio e Indústria do Reino Unido fez realizar em 2002, um estudo independente sobre gerência de espectro [10]. O extenso trabalho, cujas conclusões são resumidas a seguir, leva em consideração aspectos de mercado, eminentemente de atuação econômica. São apresentadas três ferramentas básicas de gerência do espectro, sob a ótica do mercado: leilões (*bidding*), compra (*pricing*) e a negociação (*trading*).

Segundo a visão expressa no documento, a função básica da agência reguladora, no que tange ao uso do espectro, é assegurar que ele esteja sendo utilizado de forma eficiente, o que inclui o uso economicamente eficiente imaginando o objetivo máximo de bem-estar econômico da sociedade. Um aspecto chave para a obtenção da eficiência desejada é fazer com que usuários do espectro (empresas que adquirem direito de uso do espectro) sejam apropriadamente cobrados por isso, de forma implícita ou explícita, refletindo o custo de oportunidade do uso do espectro.

Pelo fato de o espectro radioelétrico ser um recurso escasso e finito, seu uso envolve o custo de oportunidade. O custo de oportunidade é o custo de se empregar determinada porção do espectro para um uso particular, ao invés de utilizar esse bloco de frequências na próxima melhor oportunidade. Se o valor do espectro para um determinado usuário é menor que o custo de oportunidade, então o espectro está, por definição, valendo mais para outro possível usuário. Se o espectro fosse destinado a esse último potencial usuário haveria um ganho de eficiência econômica.

Se os incentivos corretos para o uso eficiente do espectro não são observados, então um “círculo vicioso” de mal uso e o decréscimo de espectro disponível se perpetuará. Isso gerará, em última instância, em má alocação de recursos da economia com conseqüente dano à eficiência econômica e à produção da nação. Se, por outro lado, os incentivos corretos são providos, então a economia é beneficiada pelo uso eficiente que os proprietários de espectro farão de suas porções de frequências. Os ganhos vêm, como dito, do fato de que o espectro não estará sendo gasto de forma pouco eficiente. Mas o ganho mais significativo virá do acréscimo de eficiência dinâmica do mercado, ou seja, mais

inovação e maior competição nos mercados em que o espectro é bem usado, pelo fato de novos participantes (*players*) e novas tecnologias terem acesso ao espectro.

Um dos temas recorrentes é a necessidade de que os usuários do espectro deveriam poder ter maior flexibilidade nas possibilidades de arranjo do uso do espectro, uma vez que isso daria a possibilidade de responder com muito mais agilidade às mudanças de demanda por radiofrequências. Via de regra, entretanto, as licenças de uso de espectro impõem restrições na forma como ele deve ser usado, incluindo requisitos de cobertura a serem atendidos ou restrições de prestação de serviços.

Dessa forma, é proposto que a agência reguladora minimize as exigências necessárias ao uso eficiente do espectro. As licenças existentes deveriam ser alteradas de forma a remover restrições que não são necessárias por razões de coordenação ou gerência de interferência; novas licenças devem ser emitidas com o número mínimo possível de restrições.

Há uma possibilidade de que a obtenção de espectro através de negociação (*trading*) traga prejuízo para a competição efetiva nos mercados. Por exemplo, é possível que um usuário elimine, antecipadamente, a possibilidade de concorrência em determinado mercado por meio da aquisição do direito de uso de faixas de frequências (ainda que não as use, em um primeiro momento), de forma a impedir a entrada neste mesmo mercado de outros usuários. Qualquer regime de negociação deverá prover mecanismos para prevenir a ocorrência deste tipo de problema.

Considera-se que a forma de aquisição de espectro através de leilão tem vantagens significativas sobre qualquer outro método. A vantagem chave é que esse mecanismo designa a faixa ao usuário que avalia o produto pelo valor mais alto (paga mais pelo produto). Esse fato funciona como um indicador para julgar que usuários mais contribuirão para o bem estar da economia.

Assim como permite que o espectro seja obtido pelo usuário que possibilitará o maior benefício geral para a economia, leilões também podem assegurar que o espectro terá o melhor uso possível, desde que não haja restrições desnecessárias à sua utilização.

## 2.4.2. Regulamentação da Anatel

A Anatel, por meio da publicação do Regulamento de cobrança do preço público pelo direito de uso de radiofrequência (PPDUR) [11] antecipou o estabelecimento de critérios não-técnicos a serem considerados para a determinação do preço do espectro.

A fórmula para o cálculo do valor de referência pelo direito de uso de radiofrequências leva em consideração um fator particularmente interessante, o “fator de custo de radiofrequência”, K. Este fator é definido levando-se em consideração a forma de uso do espectro, exclusiva ou compartilhada, e o caráter de interesse do serviço, coletivo ou restrito.

Para o cálculo do valor a ser pago pelo direito de uso de radiofrequências existe outra variável, E, que, indiretamente, pretende considerar o atendimento ao maior número de pessoas.

$$P = K.B.A^{0,1}.T.F(f) \quad (7)$$

onde: P é o valor pelo direito de uso das radiofrequências [R\$];

K é o fator de custo de radiofrequência;

B é a largura de faixa a ser autorizada [kHz];

A é a área na qual a frequência será utilizada [km<sup>2</sup>];

T é o fator referente ao tempo de utilização;

F é o fator de frequência;

f é a frequência central da faixa de frequências de operação [kHz].

O fator de frequência, para frequência central menor ou igual a 1,5 GHz é:

$$F(f) = 0,05 + 0,011.10^{-6(\log(f/1500000))^2} \quad (8)$$

O fator de frequência, para frequência central maior ou igual a 1,5 GHz é:

$$F(f) = 0,001 + 0,06.10^{-6(\log(f/1500000))^2} \quad (9)$$

As variáveis mencionadas são muito importantes, pois refletem a idéia de que serviços que atendem a maior quantidade de pessoas e limitam menos a utilização das radiofrequências por outros usuários são menos “caros”, ou seja, a eficiência econômica desse tipo de utilização do espectro é maior. Outro aspecto, também bastante interessante para um país com dimensões continentais como o

Brasil é que o atendimento com serviços de telecomunicações que utilizem o espectro em regiões com menor população tem o custo de direito de uso de radiofrequências menor.