

Impacto do Uso de Controle de Potência na Probabilidade de Transmissão Concorrente em Redes *Ad Hoc* Cognitivas

Samuel Montejo Sánchez, Vitalio A. Reguera, Evelio M. G. Fernandez e Walter Godoy Jr.

Resumo—Através do conhecimento da localização, sistemas de rádio cognitivo podem estabelecer uma região de transmissão concorrente com uma rede licenciada. Neste artigo é apresentado um novo modelo analítico para expandir a área desta região através da utilização de controle de potência por parte dos dispositivos de rádio cognitivo. O impacto do controle de potência na probabilidade de transmissão concorrente também é investigado. Simulações computacionais mostram que a eficiência espectral em redes cognitivas que utilizam o método proposto é superior que a de sistemas com potência de transmissão fixa.

Palavras-Chave—Rádio Cognitivo, Localização, Controle de potência.

Abstract—Through location awareness, cognitive radio networks can establish a scanning-free region where coexistence with a primary network is possible. In this paper is proposed a new analytical model for expanding this region by allowing the cognitive devices for power control. The impact of power control on the concurrent transmission probability is then investigated. Computer simulations show that the spectral efficiency in cognitive networks that use the proposed method is superior to that of systems with fixed transmission power.

Keywords—Cognitive Radio, Location awareness, Power control.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia de rádio cognitivo (CR, do inglês *Cognitive Radio*) propõe utilizar de forma mais eficiente as bandas de frequências licenciadas por meio do aproveitamento dos espaços em branco existentes no espectro eletromagnético [1]. Numa rede CR (ou rede secundária) os usuários poderão transmitir na mesma banda de frequências que já está sendo utilizada pelos usuários da rede licenciada (ou rede primária), sem causar interferência significativa na rede primária. Um dispositivo de rádio cognitivo consiste num sistema de radiocomunicação capaz de alterar de forma adaptativa seus parâmetros de transmissão baseado na interação com o seu entorno de operação, sendo possível desta forma a utilização de mecanismos de controle da potência de transmissão.

O conhecimento da localização dos nós em redes de comunicação sem fio tem sido proposto para auxiliar no gerenciamento do espectro eletromagnético e outros serviços baseados em localização [2]. Alguns trabalhos têm abordado

a utilização do conhecimento da localização para delimitar uma região que permita o estabelecimento de um enlace *peer-to-peer* na presença de um enlace primário. Em [3] a área desta região é estimada para o caso em que a potência do transmissor de rádio cognitivo (CTx) é fixa e de magnitude igual à utilizada no enlace primário. Em [4] é calculada a potência que maximiza esta área, porém somente para o caso em que a potência do CTx é muito menor que a utilizada na rede primária, o que não se reflete num aumento significativo da probabilidade de transmissão concorrente de ambas as redes.

Sob a perspectiva anterior este artigo estará abordando como expandir a região de transmissão concorrente com a utilização de controle de potência nos dispositivos de rádio cognitivo. Assim, uma nova região de coexistência será delimitada e a probabilidade dos dispositivos estarem localizados dentro da nova região será calculada. Outros trabalhos têm abordado o uso de controle de potência em redes cognitivas. Em [5] e [6] é utilizado controle de potência visando aumentar a eficiência no uso da energia. Em [7] é considerada a relação entre a maior potência a ser utilizada e a relação sinal-ruído (SNR, do inglês *Signal-to-Noise Ratio*) do canal. A principal contribuição do presente artigo será apresentar o controle de potência como um mecanismo para expandir a região de transmissão concorrente e conseqüentemente aumentar a eficiência espectral do sistema.

O restante deste artigo está organizado como segue. Na Seção II é formulado o problema e apresentado o modelo do sistema. A análise da relação sinal-interferência (SIR, do inglês *Signal-to-Interference Ratio*) no enlace ascendente é tratada na Seção III enquanto o cálculo da probabilidade de transmissão concorrente é abordado na Seção IV. Na Seção V são apresentados e discutidos os resultados das simulações e dos modelos analíticos obtidos. Por fim, as conclusões mais relevantes do trabalho são apresentadas na Seção VI.

II. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O modelo do sistema é mostrado na Figura 1, onde estão em destaque o transmissor de rádio cognitivo (CTx), o receptor de rádio cognitivo (CRx), o transmissor primário (PMS, do inglês *Primary Mobile Station*) e o receptor primário (BS, do inglês *Base Station*), levando-se em consideração que a análise apresentada na seqüência será baseada, sem perda de generalidade, no enlace ascendente.

Serão designados os subíndices 0, 1, 2 e 3 para se fazer referência aos parâmetros e propriedades da BS, PMS, CRx

Samuel Montejo e Vitalio A. Reguera, Universidad Central de Las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba. {montejo, vitalio}@uclv.edu.cu. Evelio M. G. Fernandez, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Brasil. evelio@ufpr.br. Walter Godoy Jr., Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Brasil. godoy@utfpr.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela CAPES (CAPES/MES-CUBA 087/09).

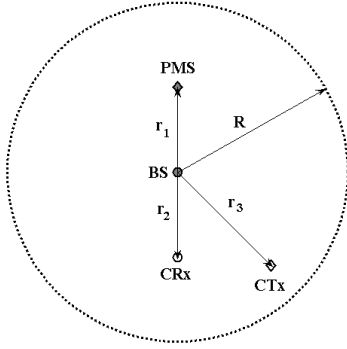


Fig. 1. Cenário de uma Rede Cognitiva *Ad Hoc* operando na área de cobertura de uma rede licenciada baseada em infra-estrutura.

e CTx, respectivamente. Será assumido que a BS se encontra na origem de coordenadas polares sendo que a localização dos dispositivos móveis será representada pelas suas coordenadas (r_i, θ_i) , dentro da área de cobertura da BS dada por πR^2 .

Considera-se que os dispositivos de rádio cognitivos detectam sua localização relativa ou absoluta, bem como a localização das demais estações móveis primárias, através de alguma técnica de posicionamento. Várias dessas técnicas de localização são descritas em [8]. Assim, a quantidade de tempo e energia exigida dessa atividade será inferior à requerida pelo sensoriamento contínuo do espectro.

É imprescindível, para o adequado funcionamento da topologia apresentada, garantir a qualidade dos enlaces em ambas as redes (primária e secundária). Para isso serão utilizadas como métricas de qualidade a relação sinal-interferência de operação, SIR_i , da rede primária, definida na entrada da BS e SIR_a , da rede secundária, definida na entrada do CRx. Os limiares de recepção para a relação sinal-interferência de operação de ambas as redes serão denotados por τ_i e τ_a respectivamente. Assim a probabilidade de existir uma região em que ambas as redes possam operar de forma concorrente será dada por:

$$P_{CT} = P\{(SIR_i > \tau_i) \cap (SIR_a > \tau_a)\}. \quad (1)$$

III. ANÁLISE DA RELAÇÃO SINAL-INTERFERÊNCIA DE OPERAÇÃO NO ENLACE ASCENDENTE

Em [3], é considerado que as redes primária e secundária operam com o mesmo valor de potência de transmissão, o que limita a região de transmissão concorrente. Assumindo que o dispositivo de rádio cognitivo tem capacidade de ajustar sua potência de transmissão, a análise que será feita na sequência partirá da hipótese que a região de transmissão concorrente pode ser expandida e, desta forma, a probabilidade de transmissão concorrente também poderá aumentar.

Para que ambos os enlaces possam coexistir, deve-se garantir que a interferência entre eles não seja significativa, sendo importante a adequada seleção, por parte do CTx, da potência de transmissão utilizada no enlace secundário. Sejam P_{10} e P_{30} as potências recebidas pela BS desde a PMS e o CTx, respectivamente. Da mesma forma P_{32} e P_{12} representarão a

potência recebida pelo CRx desde o CTx e a PMS, respectivamente.

Do mesmo modo que em [3] será utilizado o modelo de propagação de dois raios para calcular a potência recebida no CRx e na BS. De acordo com este modelo, $P_r = \frac{P_t h_r^2 h_t^2 G_r G_t}{r^\alpha}$, onde P_r e P_t representam as potências recebida e transmitida, respectivamente, h_r e h_t as alturas das antenas, G_r e G_t os ganhos das antenas, r a distância entre o transmissor e o receptor e α o coeficiente de perda de percurso.

O mecanismo de controle de potência será considerado a partir da relação $a = P_{ts}/P_{tp}$ onde P_{ts} e P_{tp} são as potências de transmissão dos enlaces das redes secundária e primária, respectivamente.

Assim, considerando que as antenas de todas as estações móveis têm ganho unitário e se encontram à mesma altura, a relação sinal-interferência de operação para cada uma das redes pode ser calculada como:

$$SIR_i = \frac{P_{10}}{P_{30}} = \frac{1}{a} \left(\frac{r_3}{r_1} \right)^\alpha \quad e \quad (2)$$

$$SIR_a = \frac{P_{32}}{P_{12}} = a \left(\frac{d_{12}}{d_{32}} \right)^\alpha, \quad (3)$$

onde d_{12} e d_{23} são as distâncias desde a PMS e o CTx até o CRx, respectivamente. Assim, substituindo (2) e (3) em (1), a probabilidade de transmissão concorrente no enlace ascendente pode ser calculada como:

$$P_{CT}(a) = P \left\{ \left(r_1 \tau_i^{1/\alpha} a^{1/\alpha} < r_3 < R \right) \cap \left(d_{32} < \frac{d_{12} a^{1/\alpha}}{\tau_a^{1/\alpha}} \right) \right\} \\ \triangleq \frac{R_{CT}(a)}{\pi R^2} \quad (4)$$

onde $R_{CT}(a)$ representa a área da região de transmissão concorrente.

A primeira condição de fronteira $\left(r_1 \tau_i^{1/\alpha} a^{1/\alpha} < r_3 \right)$ representa o limite de proximidade entre o CTx e a BS que garante a manutenção da qualidade do enlace primário com relação ao limiar τ_i . Note-se que um aumento de a implica num aumento do raio que determina a região proibitiva, ao redor da BS, fora da qual o CTx tem que estar situado para não interferir o enlace primário. Da mesma forma, uma diminuição de a permitirá ao CTx ficar mais próximo da BS. Isto se deve a que para um mesmo valor de r_3 , a potência do sinal da rede secundária recebida na BS é proporcional à razão a . A condição $r_3 < R$ limita a localização do CTx dentro da área de cobertura da BS. Enquanto $\left(d_{32} < \frac{d_{12} a^{1/\alpha}}{\tau_a^{1/\alpha}} \right)$ representa o limitante superior para a separação entre o CRx e o CTx que garante a manutenção da qualidade do enlace secundário com relação ao limiar τ_a . A região em que esta condição é satisfeita será chamada de região cognitiva efetiva. Note-se que a separação máxima permitida entre o CTx e o CRx é diretamente proporcional ao valor de a .

Na Figura 2 está destacada a área da região de transmissão concorrente, considerando $a = 0$ dB. Em [3] é descrita uma abordagem geométrica para calcular esta área para este caso em particular onde a potência de transmissão utilizada em ambas as redes é a mesma. Neste trabalho estamos interessados

em determinar como esta área varia quando o CTx é capaz de controlar a sua potência de transmissão, assunto este que será discutido na próxima seção. Assim, será considerado o caso em que os raios das regiões proibitiva e cognitiva efetiva, representados por $r(a)$ e $d(a)$, respectivamente, variam em função de a de acordo com as expressões (5) e (6):

$$r(a) = r_1 \tau_i^{(1/\alpha)} a^{(1/\alpha)}, \quad (5)$$

$$d(a) = \frac{d_{12} a^{(1/\alpha)}}{\tau_a^{(1/\alpha)}}. \quad (6)$$

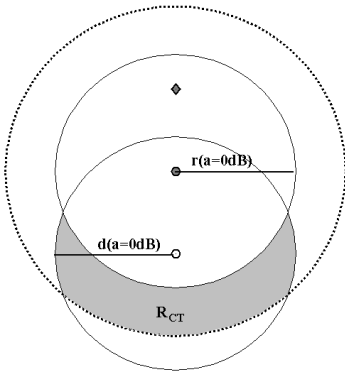


Fig. 2. Região de transmissão concorrente para $a = 0$ dB com $r_1 = r_2 = 50$ m, $\theta_1 = \pi/2$ e $\theta_2 = 3\pi/2$

A partir da equação (4) pode ser determinado o intervalo de valores de a que possibilita a transmissão concorrente supondo que a localização dos dispositivos móveis é conhecida:

$$\tau_a \left(\frac{d_{32}}{d_{12}} \right)^\alpha < a < \frac{1}{\tau_i} \left(\frac{r_3}{r_1} \right)^\alpha. \quad (7)$$

Outras restrições de caráter prático serão impostas ao valor de a relacionadas com padrões e especificações técnicas, que serão denotadas por: a_{\min} como sendo a mínima relação de potências que pode ser utilizada, determinada pela menor potência de transmissão do CTx que por sua vez está relacionada com a mínima SNR permitida; e a_{\max} como sendo a máxima relação de potências permitida, determinada pela potência máxima de transmissão do CTx, sendo esta última relacionada ao consumo de energia. Feitas estas considerações, o controle de potência deve satisfazer a desigualdade (8):

$$\max \left(\tau_a \left(\frac{d_{32}}{d_{12}} \right)^\alpha, a_{\min} \right) < \min \left(\frac{1}{\tau_i} \left(\frac{r_3}{r_1} \right)^\alpha, a_{\max} \right). \quad (8)$$

Uma vez determinado o conjunto $\{A\}$ contendo os valores de a que satisfazem a desigualdade (8), diferentes mecanismos para alocação de potência podem ser utilizados dependendo das condições impostas ao sistema.

IV. CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE TRANSMISSÃO CONCORRENTE

A partir do conhecimento da localização da PMS e do CRx será calculada a probabilidade de transmissão concorrente,

$P_{CT} (\forall a \in A)$. Note-se que neste caso os elementos pertencentes ao conjunto $\{A\}$ não dependerão de uma posição em particular do CTx pois o que estará sendo calculado é a probabilidade de CTx encontra-se em uma área que compreende todas as possíveis regiões de transmissão concorrente $\forall a \in A$.

O primeiro passo então consistirá em determinar a área desta região tendo como ponto de partida a determinação do valor de a que permite que as duas circunferências de raios $r(a)$ e $d(a)$ se toquem em um único ponto, como mostrado na Figura 3. Para este caso em particular podemos observar que, $r_2 = r(a) + d(a) = r_1 \tau_i^{1/\alpha} a^{1/\alpha} + \frac{d_{12} a^{1/\alpha}}{\tau_a^{1/\alpha}}$ sendo o valor particular de a , aqui representado por a_0 , calculado pela equação (9):

$$a_0 = \left(\frac{r_2}{r_1 \tau_i^{1/\alpha} + \frac{d_{12}}{\tau_a^{1/\alpha}}} \right)^\alpha. \quad (9)$$

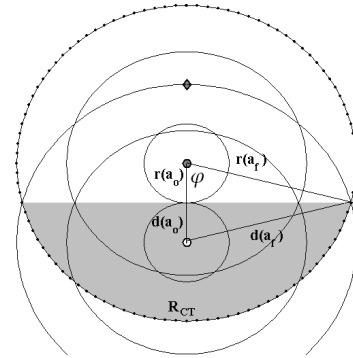


Fig. 3. Região de transmissão concorrente em função de a com $r_1 = r_2 = 50$ m, $\theta_1 = \pi/2$ e $\theta_2 = 3\pi/2$

Como pode ser verificado, um aumento de potência no transmissor de rádio cognitivo provocará um aumento na área de cobertura do enlace secundário. Assim, pode-se observar que CTx poderia estar mais afastado do CRx, mas, por outro lado, teria de estar também mais afastado da BS, uma vez que o raio da região proibitiva também aumentou. A interpolação dos pontos de interseção de todas as possíveis circunferências de raios $r(a)$ e $d(a)$ permitirá delimitar a região de transmissão concorrente ($\forall a \in A$) se considerarmos que $A = \{[a_0, a_f]\}$. Inicialmente será assumido que $a_{\min} \rightarrow 0$ e $a_{\max} \rightarrow \infty$. Então, para determinar a_f , serão considerados os seguintes casos, dependendo da forma do contorno da região de transmissão concorrente:

- 1) Região côncava para o CRx, sempre que $\frac{d_{12}}{\tau_a^{(1/\alpha)}} < r_1 \tau_i^{(1/\alpha)}$. Para o caso em que a região de transmissão concorrente ao redor do CRx está contida dentro de uma região proibitiva (considerar $r_1 \gg r_2$), a_f pode ser calculada como $a_f = \left(\frac{r_2}{r_1 \tau_i^{1/\alpha} - \frac{d_{12}}{\tau_a^{1/\alpha}}} \right)^\alpha$, sendo neste caso, $r(a_f) < R$;
- 2) Região côncava para a BS, sempre que $\frac{d_{12}}{\tau_a^{(1/\alpha)}} > r_1 \tau_i^{(1/\alpha)}$. Para o caso em que a região de transmissão proibitiva em volta da BS está contida dentro de uma região de transmissão concorrente (considerar $r_1 \ll r_2$),

a_f pode ser calculada como $a_f = \left(\frac{r_2}{\frac{d_{12}}{\tau_a^{1/\alpha}} - r_1 \tau_i^{1/\alpha}} \right)^\alpha$,

sendo neste caso, $r(a_f) < R$;

- 3) Linha reta equidistante de BS e de CRx, sempre que $\frac{d_{12}}{\tau_a^{1/\alpha}} = r_1 \tau_i^{1/\alpha}$. Nesta caso $a_f = \frac{1}{\tau_i} \left(\frac{R}{r_1} \right)^\alpha$. Esta expressão também será utilizada para calcular a_f nos casos 1 e 2 quando $r(a_f) > R$.

Podem ser trabalhoso do ponto de vista computacional a verificação de todas as condições impostas. Assim, visando simplificar o cálculo computacional, o cálculo de a_f pode ser expresso como:

$$a_f = \min \left(\frac{1}{\tau_i} \left(\frac{R}{r_1} \right)^\alpha, \left(\frac{r_2}{\left| r_1 \tau_i^{1/\alpha} - \frac{d_{12}}{\tau_a^{1/\alpha}} \right|} \right)^\alpha \right). \quad (10)$$

Observando a Figura 3, pode-se determinar $\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{r_2^2 + r^2(a_f) - d^2(a_f)}{2r_2 r(a_f)} \right)$. O ângulo de varredura na região cognitiva efetiva quando a varia desde a_0 até a_f será então dado por $\phi(a) = \cos^{-1} \left(\frac{r_2^2 + d^2(a) - r^2(a)}{2r_2 d(a)} \right)$. Assim pode-se calcular a área da região de transmissão concorrente, R_{CT} , como:

$$R_{CT} = \int_{a_0}^{a_f} d^2(a) \left(\frac{d\phi(a)}{da} \right) da + \varphi R^2 - 2\Delta. \quad (11)$$

O primeiro termo do lado direito da equação (11) representa o dobro da área de varredura $d(a)$ no plano $\phi(a)$ (centrada na localização do CRx). Esta área é determinada através de integração em coordenadas polares desde a_0 até a_f . O segundo termo representa a área do setor circular delimitado pelo ângulo φ que falta por considerar. Por fim, o terceiro termo representa as áreas (Δ) dos triângulos que não fazem parte da região de transmissão concorrente ou que já foram considerados, segundo o caso (Ver Fig. 3), e portanto, devem ser subtraídas. Note-se que $\Delta = \frac{\sqrt{s_p(s_p - r_2)(s_p - r(a_f))(s_p - d(a_f))}}{2}$, onde $s_p = \frac{r_2 + r(a_f) + d(a_f)}{2}$. Por fim, a probabilidade de transmissão concorrente pode ser calculada como: $P_{CT} = \frac{R_{CT}}{\pi R^2}$.

Devido à limitação de espaço não será detalhado o procedimento utilizado para calcular o valor de R_{CT} , quando $A = \{[\max(a_o, a_{\min}), \min(a_f, a_{\max})]\}$ e as restrições assumem valores definidos. Este procedimento pode ser inferido notando-se que deve ser subtraída a área correspondente à região delimitada entre a circunferência de raio $r(a_{\min})$ e a curva delimitada por r quando a varia entre $[a_o, a_{\min}]$, se o valor mínimo permitido de a é $a_{\min} > a_o$, e se deve subtrair toda a área exterior a $r(a_{\max})$, quando o maior valor permitido para a é $a_{\max} < a_f$.

V. SIMULAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a topologia apresentada na Figura 1 com $R = 100$ m, foram distribuídos uniformemente $N = 10^6$ pontos numa região de área πR^2 que representam as posições de possíveis CTxs. Em função das localizações atribuídas para o CRx e para a PMS, é determinada a probabilidade do cumprimento dos critérios estabelecidos de SIR em ambos

os enlaces para três casos distintos: i) quando não se utiliza controle de potência e $P_{ts} = P_{tp}$, (ii) quando se utiliza controle de potência geral (sem restrições) e (iii) quando é utilizado um controle de potência limitado que deve satisfazer as condições da desigualdade (8). Foram assumidos os seguintes parâmetros: $\tau_i = \tau_a = 3$ dB, $\alpha = 2$, $P_{tp} = 20$ dBm, 11 dBm $< P_{ts} < 29$ dBm, $\theta_1 = \pi/2$ e $\theta_2 = 3\pi/2$. Os resultados das simulações foram comparados com os valores teóricos da P_{CT} a partir do modelo analítico descrito neste trabalho.

Nas Figuras 4 e 5 é mostrada a variação da probabilidade de transmissão concorrente em função da distância (r_1) entre o transmissor e receptor primários.

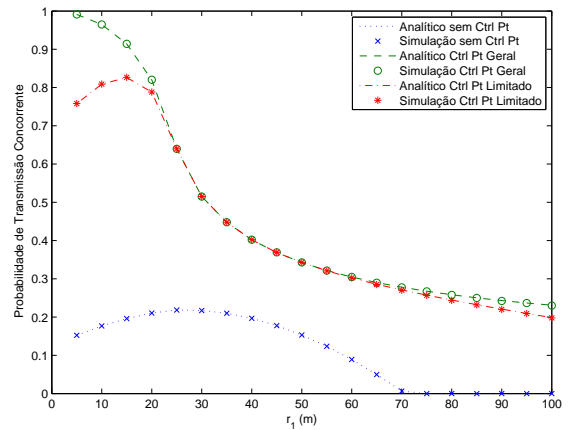


Fig. 4. Probabilidade de transmissão concorrente em função da distância entre a PMS e a BS considerando $r_2 = 50$ m

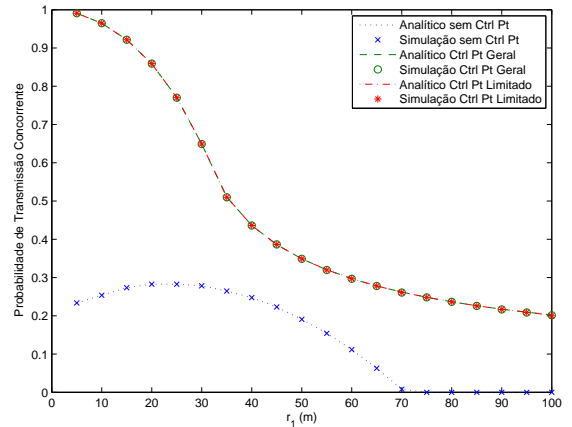


Fig. 5. Probabilidade de transmissão concorrente em função da distância entre a PMS e a BS considerando $r_2 = 95$ m

Pode-se observar que, com a utilização de controle de potência, a probabilidade de transmissão concorrente aumenta na medida em que a separação entre a PMS e a BS diminui. Isto acontece porque a potência recebida pela BS proveniente da PMS aumenta possibilitando a diminuição do raio de proteção do enlace primário, aumentando desta forma a área da região que satisfaz a condição $SIR_i > \tau_i$. Nota-se também que, quando o controle de potência não é utilizado, a probabilidade de transmissão concorrente atinge seu maior

valor para $r_1 \approx 30$ m. Uma separação menor entre a PMS e a BS implicará numa separação também menor entre a PMS e o CRx que, por sua vez, provocará a diminuição da P_{CT} . No entanto, para valores de $r_1 \leq 30$ m e com a utilização de controle de potência, mais de 50% de toda a área de cobertura da BS pode ser utilizada também pelos dispositivos de rádio cognitivo quando a separação (r_2) entre o CRx e a BS é de 50 m (ver Fig. 4). A área desta região de transmissão concorrente aumenta ainda mais (cobrindo mais de 65% da área de cobertura de BS) quando $r_2 = 95$ m (ver Fig. 5). Observa-se ainda que a probabilidade de transmissão concorrente é sempre maior quando o controle de potência é utilizado.

As Figuras 6 e 7 mostram a variação da probabilidade de transmissão concorrente em função da distância (r_2) entre o receptor primário e o receptor secundário.

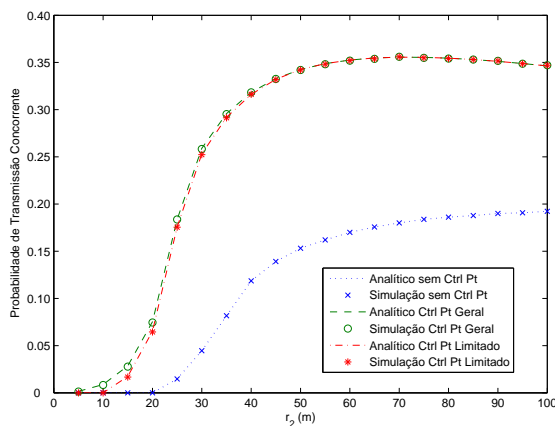


Fig. 6. Probabilidade de transmissão concorrente em função da distância entre o CRx e a BS considerando $r_1 = 50$ m

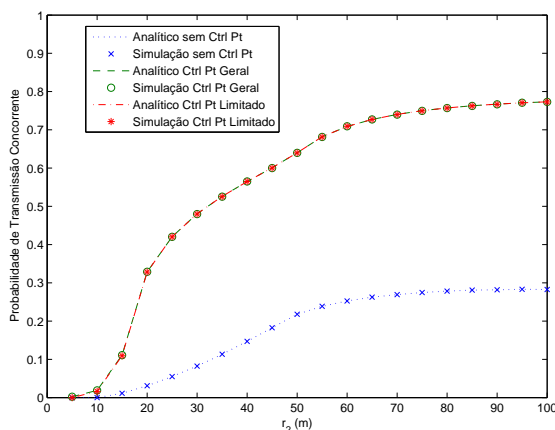


Fig. 7. Probabilidade de transmissão concorrente em função da distância entre o CRx e a BS considerando $r_1 = 25$ m

Pode ser observado que com a utilização de controle de potência a probabilidade de transmissão concorrente aumenta quando o CRx se afasta da BS. Isso acontece porque a distância entre a PMS e o CRx (d_{12}) também aumenta, possibilitando que a região, em volta do CRx, em que a condição $SIR_a > \tau_a$ é satisfeita seja maior. Para $r_2 \geq 70$ m o

valor da probabilidade de transmissão concorrente se estabiliza devido às limitações da área de cobertura. Note-se que, sem a utilização de controle de potência a rede cognitiva poderia utilizar somente até 20% de toda a área de cobertura da BS quando $r_1 = 50$ m (Fig. 6) e até 30% dessa área quando $r_1 = 25$ m (Fig. 7). Com a utilização de um controle de potência eficiente nessas condições, a rede cognitiva pode explorar até 35% e 75% dessa área, respectivamente.

Com relação às diferenças observadas, ao considerar controle de potência geral ou limitado, estas foram mais notadas quando $r_2 = 50$ m como mostrado na Fig. 4. Destacam-se as localizações de CTx descartadas, para os menores valores de r_1 , quando são requeridas potências de transmissão superiores à máxima permitida e, para os maiores valores de r_1 , quando são requeridas potências de transmissão inferiores à mínima permitida. Na Fig. 6 estas diferenças são notadas para os menores valores de r_2 devido ao fato que as posições de CTx mais próximas à BS requerem valores de a inferiores a a_{\min} , para não interferir o enlace primário e, portanto, serão descartadas.

VI. CONCLUSÕES

Neste artigo é proposto um novo modelo analítico para delimitar uma região de transmissão concorrente em que uma rede *ad hoc* cognitiva pode ser estabelecida dentro da área de cobertura de uma rede primária, sem interferência significativa. O modelo proposto utiliza controle de potência de transmissão no enlace secundário, como mecanismo eficiente para expandir esta região e desta forma aumentar a eficiência espectral do sistema. O desempenho do modelo proposto foi analisado via simulação computacional verificando-se um alto grau de exatidão. Os resultados obtidos mostram que, por meio do controle de potência, pode-se obter um incremento considerável na probabilidade de transmissão concorrente de ambas as redes com relação aos sistemas que utilizam potência de transmissão fixa mesmo quando restrições práticas são impostas com relação ao uso da potência por parte dos dispositivos de rádio cognitivo.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 23, pp. 201–220, Feb. 2005.
- [2] N. Of, "Utilization of Location Information in Cognitive Wireless Networks", *IEEE Wireless Communications*, pp. 6–13, 2007.
- [3] L. C. Wang and A. Chen, "Effects of Location Awareness on Concurrent Transmissions for Cognitive Ad Hoc Networks Overlaying Infrastructure-Based Systems", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 8, pp. 577–589, May. 2009.
- [4] Y. Song and J. Xie, "Optimal Power Control for Concurrent Transmissions of Location-Aware Mobile Cognitive Radio Ad Hoc Networks", *IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBECOM 2009*, pp. 1–6, Nov. 2009.
- [5] L. Qiant, X. Li, J. Attiat and Z. Gajic, "Power Control for Cognitive Radio Ad Hoc Networks", *5th IEEE Workshop, Local & Metropolitan Area Networks*, pp. 7–12, 2007.
- [6] X. Li, "Secondary transmission power of cognitive radios for dynamic spectrum access", *2008 Third International Conference on Communications and Networking in China*, pp. 1211–1215, 2008.
- [7] N. Hoven and A. Sahai, "Power Scaling for Cognitive Radio", *2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, pp. 250–255, 2005.
- [8] C. Feature, "Location Systems for Ubiquitous Computing," *Computer*, 2001.