

Flutuação dos Parâmetros de Desvanecimento de Rice e Hoyt

Alexander Bento Melo, Carlos Rafael Nogueira da Silva e Michel Daoud Yacoub

Resumo— A flutuação dos parâmetros de desvanecimento de distribuições que modelam a variabilidade do sinal propagando em um ambiente sem fio constitui um processo aleatório e é fato conhecido na literatura. Os efeitos do sinal resultante dessa flutuação, porém, são muito pouco explorados ou, praticamente inexplorados. De fato, tais flutuações geram fenômenos que podem explicar o porque de na prática um determinado modelo de desvanecimento se ajustar bem à envoltória mas não à fase, ou vice-versa. Este artigo analisa os efeitos nas estatísticas do canal de comunicação sem fio provocados por flutuações dos parâmetros de desvanecimento dos modelos Rice e Hoyt quando estas flutuações seguem uma distribuição gama. Saliente-se que a distribuição gama constitui uma aproximação razoável da distribuição lognormal, esta reconhecidamente adequada para modelar a variabilidade da potência local do sinal desvanecido.

Palavras-Chave— Modelo de Rice, modelo de Hoyt, desvanecimento, flutuação de parâmetros

Abstract— The fluctuation of fading parameter distributions that model the variability of the signal propagating in a wireless environment constitutes a random process and is a known fact in the literature. However, the effects of the signal resulting from this fluctuation are very little explored or practically unexplored. In fact, such fluctuations generate phenomena that can explain why in practice a certain fading model fits well to the envelope but not to the phase, or vice versa. This article analyzes the effects on the communication channel statistics caused by fluctuations of the fading parameters in the Rice and Hoyt models when these fluctuations follow a gamma distribution. It should be noted that the gamma distribution constitutes a reasonable approximation of the lognormal distribution, which is known to be adequate for modeling the variability of the local power of the faded signal.

Keywords— Rice distribution, Hoyt distribution, parameter fluctuation

I. INTRODUÇÃO

Como conhecido e explorado na literatura, o desvanecimento é causado predominantemente por dois fenômenos: sombreamento e multipercurso. O sombreamento é reconhecidamente bem modelado pela distribuição lognormal, mas devido à dificuldade no tratamento analítico para obtenção de outras estatísticas é comum a sua substituição por modelos matematicamente mais tratáveis como gama ou α - μ . O multipercurso, por outro lado, é modelado por distribuições diversas, incluindo Rayleigh, Rice, Hoyt, Weibull, Nakagami- m , α - μ , η - μ , κ - μ , e outras.

Alexander Bento, Departamento de Engenharia Eletrônica e Telecomunicações, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas-MG, e-mail: alexbentomelo@ufu.br; Carlos Rafael Nogueira da Silva, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG, e-mail: carlos.nogueira@uftm.edu.br; Michel Daoud Yacoub, Departamento de Comunicações, Unicamp, Campinas-SP, e-mail: mdyacoub@unicamp.br.

As análises envolvendo os sistemas sem fio consideram um canal de comunicação estacionário. Essa abordagem está longe de ser verificada na prática, mas ela facilita o planejamento dos sistemas. Portanto, em um ambiente não estacionário, os parâmetros de desvanecimento variam e, correspondentemente, os resultados das análises. Além disso, a separação entre desvanecimento de longo prazo e de curto prazo, rigorosamente falando, envolve procedimentos semi-empíricos. É verdade que, grosso modo, usa-se filtragem através de média móvel para isso. Por outro lado, o número de amostras considerado dentro da janela varia com o ambiente em questão. Resta, ao final, um julgamento quase que subjetivo para se determinar se a filtragem fora ou não adequada, levando-se a se ajustar a janela até se convergir ao resultado desejado. Mas esse "desejado" pode ser algo subjetivo.

As flutuações dos parâmetros de desvanecimento são fato conhecido e reportado na literatura. Por exemplo, os autores em [1] relatam que o parâmetro κ de Rice segue uma distribuição lognormal. Já em [2], a variabilidade do parâmetro m de Nakagami também foi reportada em termos de um histograma, da média e da variância. Em [3], os autores estudam a flutuação dos parâmetros da distribuição α - μ e concluem que esses parâmetros também seguem uma distribuição α - μ .

Estudos preliminares sobre o efeito das perturbações no parâmetro κ de Rice foram conduzidos em [4] onde considerou-se uma perturbação exponencial. Os autores observaram que o efeito no cenário em questão levava a uma envoltória quase Rice mas com fase diferente daquela esperada para esse modelo. Já em [5] exercitou-se uma perturbação uniforme no parâmetro η do modelo Hoyt no modelo físico em que η representa a correlação entre os sinais em fase e quadratura. Os autores mostraram que esta perturbação levava a uma distribuição da envoltória similar àquela de um ambiente Rayleigh mas, diferentemente da de Rayleigh, com fase não uniforme, cenário já reportado em medidas de campo.

Neste trabalho, a análise do comportamento da função densidade de probabilidade (PDF - *probability density function*) da envoltória e da fase, os momentos de ordem superior, e a figura de desvanecimento (AF - *amount of fading*) para ambientes Rice e Hoyt cujos parâmetros de desvanecimento flutuam seguindo uma distribuição gama será conduzida. As contribuições deste trabalho podem ser listados como

- PDF para a envoltória Rice com parâmetro κ modulado;
- PDF para a fase Rice com parâmetro κ modulado;
- Momentos de ordem superior para a envoltória Rice modulada;
- Figura de desvanecimento para envoltória Rice modulada;
- PDF para a envoltória Hoyt com parâmetro η modulado;

- PDF para a fase Hoyt com parâmetro η modulado;
- Momentos de ordem superior para a envoltória Hoyt modulada;
- Figura de desvanecimento para envoltória Hoyt modulada;

Até onde os autores sabem, todas as expressões aqui desenvolvidas são inéditas na literatura.

O restante do artigo se divide como se segue: A Seção II revisita as PDFs da envoltória e da fase de Rice e Hoyt introduzindo o parâmetro de modulação; a Seção III apresenta as estatísticas descondicionadas para a PDF da envoltória e da fase como também os momentos de ordem superior e a figura de desvanecimento de ambos os modelos; a Seção IV mostra uma variedade de formas que as PDFs de envoltória e fase podem assumir e também o efeito dos parâmetros na figura de desvanecimento; a Seção V apresenta conclusões finais e perspectivas de futuras pesquisas.

II. DISTRIBUIÇÃO DE RICE E HOYT

A. Modelo de Desvanecimento Rice

Seja R e Θ a envoltória e a fase respectivamente, e $\hat{r} = \sqrt{\mathbb{E}[R^2]}$ o valor médio quadrático (rms - *root mean square*). Então as respectivas PDFs são dadas por

$$f_{R|\xi}(r|\xi) = \frac{2r(1 + \xi\kappa)}{\hat{r}^2} e^{-\xi\kappa - \frac{r^2(1 + \xi\kappa)}{\hat{r}^2}} \times I_0\left(\frac{2r\sqrt{\xi\kappa(1 + \xi\kappa)}}{\hat{r}}\right), \quad (1)$$

na qual κ é razão entre a potência da componente dominante pela potência da componente espalhada, e $I_0(x)$ é a função modificada de Bessel do primeiro tipo e ordem 0 [6, Eq. (9.6.10)]. O parâmetro ξ adicionado em (1) será usado para modelar variações locais do parâmetro κ . Já a PDF da fase do modelo de desvanecimento Rice é obtida como

$$f_{\Theta|\xi}(\theta|\xi) = \frac{e^{-\xi\kappa}}{2\pi} \left(1 + \sqrt{\pi\xi\kappa} \cos(\theta - \phi)\right) e^{\xi\kappa \cos^2(\theta - \phi)} \times \operatorname{erfc}\left(-\sqrt{\xi\kappa} \cos(\theta - \phi)\right), \quad (2)$$

em que ϕ é um parâmetro de fase que depende da intensidade da componente dominante da parte em fase em relação a parte em quadratura e $\operatorname{erfc}(x)$ é a função erro complementar [6, Eq. (7.1.2)].

Os momentos de ordem superior do modelo de desvanecimento Rice são dados por

$$\mathbb{E}[R^n] = \left(\frac{\hat{r}}{\sqrt{1 + \xi\kappa}}\right)^n \Gamma\left(1 + \frac{n}{2}\right) L_{\frac{n}{2}}(-\kappa\xi), \quad (3)$$

em que $L_v(x)$ denota o polinômio de Laguerre. [6, Eq. (22.3.9)]. Para momentos de ordem par, podemos escrever o polinômio de Laguerre como uma soma finita o que resulta em uma expressão para os momentos dada por

$$\mathbb{E}[R^{2k}|\xi] = \left(\frac{\hat{r}}{\sqrt{1 + \xi\kappa}}\right)^{2k} \Gamma(1 + k) \times \sum_{i=0}^k \frac{(-1)^i}{i!} \binom{k}{k-i} (-\kappa\xi)^i, \quad k \in \mathbb{N} \quad (4)$$

B. Modelo de Desvanecimento Hoyt

O modelo de desvanecimento Hoyt é usado para modelar sinais de desvanecimento propagando por ambientes não homogêneos ocasionando um desbalançamento (ou correlação) entre as ondas em fase e quadratura. Seja R e Θ denotarem a envoltória e a fase do sinal de desvanecimento e \hat{r} o valor rms. As PDFs da envoltória e da fase são dadas respectivamente por

$$f_{R|\xi}(r|\xi) = \frac{r(1 + \eta\xi)}{\sqrt{\eta\xi}\hat{r}^2} e^{-\frac{r^2(1 + \eta\xi)^2}{4\eta\xi\hat{r}^2}} \times I_0\left(\frac{r^2}{4\hat{r}^2} \left(\frac{1}{\eta\xi} - \eta\xi\right)\right), \quad (5)$$

$$f_{\Theta|\xi}(\theta|\xi) = \frac{\sqrt{\eta\xi}}{\pi(1 + \eta\xi + (1 - \eta\xi)\cos(2\theta))}, \quad (6)$$

em que η é razão entre a potência do sinal em fase pela potência do sinal em quadratura.

Os momentos de ordem superior do modelo de desvanecimento Hoyt são obtidos como

$$\mathbb{E}[R^n|\xi] = \hat{r}^n \Gamma\left(1 + \frac{n}{2}\right) \times {}_2F_1\left(-\frac{n}{4}, \frac{2-n}{4}; 1; \frac{(1 - \eta\xi)^2}{(1 + \eta\xi)^2}\right), \quad (7)$$

em que ${}_2F_1(a, b, c, z)$ é a função hipergeométrica de Gauss [6, Eq. (15.1.1)]. Para momentos de ordem par, pode-se escrever a hipergeométrica em termos do polinômio de Legendre usando a identidade em [7, Eq. (7.3.1.210)] como

$$\mathbb{E}(R^{2k}|\xi) = \frac{4\eta\xi\hat{r}^{2k}\Gamma(1 + k)}{(1 + \eta\xi)^2} P_k\left(\frac{1 + \eta\xi}{2\sqrt{\eta\xi}}\right), \quad (8)$$

em que $P_n(x)$ denota o polinômio de Legendre [6, Eq. (22.5.35)].

III. MODULAÇÃO DO PARÂMETRO DE DESVANECIMENTO

Tem sido observado que os parâmetros dos modelos de desvanecimento sofrem flutuações locais não necessariamente relacionadas a flutuações no valor rms. Ainda não se sabe o mecanismo que gera as flutuações dos parâmetros e assim um modelo de flutuação para o parâmetro κ de Rice e η de Hoyt ainda não estão bem fundamentados. Neste trabalho, será assumido que esses parâmetros flutuam de acordo com a distribuição gama. A escolha por este modelo é baseada no fato de estes parâmetros serem definidos como a razão entre duas potências. Flutuações locais de potência são tipicamente modelados pela lognormal, uma distribuição de probabilidade reconhecidamente intrincada e que vem sendo substituída por distribuições mais analiticamente tratáveis como a gama ou a α - μ .

A PDF da distribuição gama é dada por

$$f_{\xi}(\xi) = \frac{m^m \xi^{m-1}}{\Gamma(m)} e^{-m\xi}, \quad \xi > 0, \quad (9)$$

em que m é parâmetro de forma. A PDF descondicionada do parâmetro ξ pode ser obtida por métodos convencionais da teoria de probabilidade como

$$f_X(x) = \int_0^{\infty} f_{X|\xi}(x|\xi) f_{\xi}(\xi) d\xi. \quad (10)$$

A. Modelo Rice Modulado

1) *Envoltória*: A PDF da envoltória de um sinal de desvanecimento Rice descondicionado do parâmetro de flutuação de κ é obtida substituindo (1) em (10). Infelizmente, esta integral não pode ser resolvida em fórmula fechada. Contudo, uma série pode ser obtida reescrevendo-se a função Bessel modificada como uma série de potências e invertendo-se a ordem de soma e integração. Depois de algum tratamento algébrico, a PDF da envoltória é obtida como

$$f_R(r) = \frac{(m/\kappa)^m 2r}{\Gamma(m) \hat{r}^2} \exp\left(-\frac{r^2}{\hat{r}^2}\right) \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma(i+m)}{(i!)^2} \times \left(\frac{r}{\hat{r}}\right)^{2i} \psi\left(i+m, 2+2i+m, 1+\frac{m}{\kappa}+\frac{r^2}{\hat{r}^2}\right), \quad (11)$$

em que $\Gamma(x)$ é a função gama [6, Eq. (6.1.1)] e $\psi(a, b, z)$ é a função hipergeométrica confluyente de Tricomi [6, Eq. (13.1.3)].

2) *Fase*: A PDF da fase descondicionada do parâmetro de modulação pode ser obtida em fórmula fechada substituindo (2) em (10) e é fornecida em (12) no topo da próxima página em que $(a)_b$ é o símbolo de Pochhammer [6, Eq. (6.1.22)], e $U(x)$ é a função degrau unitário. A formulação fornecida para a fase possui uma indeterminação em $|\theta - \phi| = \pi/2$. Resolvendo o limite, a PDF da fase tende a $f_{\Theta}(\pm\pi/2 + \phi) = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{m}{m+\kappa}\right)^m$.

3) *Momentos*: Os momentos de ordem superior da distribuição Rice modulada por uma gama são obtidos pelo descondicionamento de (3). Não há uma formulação fechada para os momentos de ordem qualquer, porém é possível obter uma série reescrevendo o polinômio de Laguerre como uma série de potências. Depois de vários algebrismos os momentos são obtidos como

$$\mathbb{E}[R^n] = \left(\frac{m}{\kappa}\right)^m \hat{r}^n \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma(1+\frac{n}{2}+i) (m)_i}{i!(1)_i} \times \psi\left(i+m, 1+i+m-\frac{n}{2}, 1+\frac{m}{\kappa}\right). \quad (13)$$

Para momentos de ordem par, uma fórmula fechada é obtida pelo uso da expansão do polinômio de Laguerre como uma soma finita dada em (4). Após manipulações algébrica, os momentos de ordem par são obtidos como

$$\mathbb{E}[R^{2k}] = \left(\frac{m\hat{r}^2}{\kappa}\right)^k \Gamma(1+k) \sum_{i=0}^k \frac{(m)_i}{i!} \binom{k}{k-i} \left(\frac{\kappa}{m}\right)^i \times \psi\left(k, 1-i+k-m, \frac{m}{\kappa}\right). \quad (14)$$

4) *Figura de Desvanecimento*: A AF fornece uma medida da severidade do ambiente de propagação. A AF é definida como a razão entre a variância da potência pelo quadrado da potência. Para o modelo Rice modulado a AF é obtida como

$$AF = 1 + m - \left(\frac{m}{\kappa}\right)^{1+m} \frac{(m+\kappa+m\kappa)}{e^{-m/\kappa}} \Gamma\left(-m, \frac{m}{\kappa}\right). \quad (15)$$

B. Modelo Hoyt Modulado

1) *Envoltória*: A PDF da envoltória de um sinal propagando-se em um ambiente de desvanecimento Hoyt onde

o parâmetro η sofre flutuações seguindo a distribuição gama é obtida substituindo-se (5) em (10). A integral resultante não possui uma formulação fechada mas uma série pode ser obtida substituindo a função Bessel com sua representação em série de potências e posteriormente usando a expansão binomial do termo $(1/(\eta\xi) - \eta\xi)^i$. Depois de várias manipulações algébricas obtém-se a representação em série em (16)¹ no topo da próxima página onde $K_{\nu}(x)$ é a função modificada de Bessel do segundo tipo e ordem ν [6, Eq. (9.6.2)].

2) *Fase*: Ao contrário da envoltória, a PDF da fase nesse cenário em que o parâmetro η flutua de acordo com uma distribuição gama é obtida em formulação fechada como

$$f_{\Theta}(\theta) = \frac{m^m \Gamma\left(\frac{1}{2}+m\right) \Gamma\left(\frac{1}{2}-m, \frac{m \cot^2(\theta)}{\eta}\right) \sec^2(\theta)}{2\pi \Gamma(m) \eta^m |\tan(\theta)|^{1+2m} e^{-\frac{m \cot^2(\theta)}{\eta}}}, \quad (17)$$

em que $\Gamma(a, x)$ é a função gama incompleta superior [6, Eq. (6.5.3)]. A função obtida para a fase contém indeterminações para $\theta = \{0, \pm\pi/2, \pm\pi\}$. No limite temos

$$f_{\Theta}(0) = f_{\Theta}(\pi) = f_{\Theta}(-\pi) = \sqrt{\frac{\eta}{m}} \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2}+m\right)}{2\pi \Gamma(m)} \quad (18)$$

$$f_{\Theta}(-\pi/2) = f_{\Theta}(\pi/2) = \sqrt{\frac{m}{\eta}} \frac{\Gamma\left(m-\frac{1}{2}\right)}{2\pi \Gamma(m)}, \quad m > \frac{1}{2}. \quad (19)$$

Para $m \leq 0.5$ e $\theta = \{\pm\pi/2\}$, a PDF da fase tende a infinito.

3) *Momentos*: Podemos obter os momentos para a envoltória do modelo Hoyt modulado pelo descondicionamento dos momentos da distribuição Hoyt. Não haverá uma formulação fechada para os momentos de ordem qualquer, mas é possível obter uma representação em série substituindo a hipergeométrica de Gauss em (7) por sua forma em série de potências. Depois de algumas manipulações algébricas obtém-se

$$\mathbb{E}[R^n] = \frac{\hat{r}^n \Gamma\left(1+\frac{n}{2}\right)}{\Gamma(m)} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{2i} \psi\left(2i, 1+2i-j-m, \frac{m}{\eta}\right) \times \binom{2i}{j} \left(\frac{m}{\eta}\right)^{2i-j} \frac{(-1)^j \left(-\frac{n}{4}\right)_i \left(\frac{2-n}{4}\right)_i \Gamma(j+m)}{(i!)^2}. \quad (20)$$

Para momentos de ordem par, podemos realizar o descondicionamento pela expressão em (8), e depois de reescrever o polinômio de Legendre como uma soma finita e inverter a ordem de integração e soma, chega-se a

$$\mathbb{E}[R^{2k}] = \frac{\hat{r}^{2k} k!}{2^k} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor} (-1)^i \binom{k}{i} \binom{2k-2i}{k} \left(\frac{4m}{\eta}\right)^i \times (m)_i \psi\left(2i, 1+i-m, \frac{m}{\eta}\right). \quad (21)$$

4) *Figura de Desvanecimento*: A AF do modelo Hoyt com o parâmetro η modulado por uma distribuição gama é dada por

$$AF = 2 \left(\frac{2m}{\eta} + 1\right) - e^{\frac{m}{\eta}} \left(\frac{2m}{\eta}\right)^2 (1+\eta) E_m\left(\frac{m}{\eta}\right). \quad (22)$$

em que $E_a(x)$ é a função integral exponencial [6, Eq. (5.1.4)].

¹Convergente para $\eta < 1$. A série para $\eta > 1$ terá o mesmo nível de complexidade.

$$f_{\Theta}(\theta) = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{m}{m+\kappa} \right)^m + \sqrt{\frac{\kappa}{\pi}} \frac{m^m (m)_{\frac{1}{2}} \cos(\theta - \phi)}{(m + \kappa \sin^2(\theta - \phi))^{m+\frac{1}{2}}} U(\cos(\theta - \phi)) - \frac{m^{m+1}}{\pi(1+2m)\kappa^m |\cos(\theta - \phi)|^{2m}} {}_2F_1 \left(\frac{1}{2} + m, 1 + m; \frac{3}{2} + m; 1 - \left(\frac{m}{\kappa} + 1 \right) \sec^2(\theta - \phi) \right) \quad (12)$$

$$f_R(r) = \frac{\sqrt{8}}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{2\eta} \right)^{\frac{m}{2} + \frac{1}{4}} \frac{r^{m+\frac{1}{2}}}{\hat{r}^{m+\frac{3}{2}}} e^{-\frac{r^2}{2\hat{r}^2}} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \frac{(-1)^{i-j} \left(\frac{1}{2} \right)_i}{(i!)^2} \left(\frac{r^3 \sqrt{\eta}}{\hat{r}^3 \sqrt{8m}} \right)^i \left(\frac{2m\hat{r}^2}{r^2\eta} \right)^j \times \left(\frac{r\sqrt{\eta}}{\hat{r}\sqrt{2m}} K_{i-2j+m+\frac{1}{2}} \left(\frac{r}{\hat{r}} \sqrt{\frac{2m}{\eta}} \right) + K_{i-2j+m-\frac{1}{2}} \left(\frac{r}{\hat{r}} \sqrt{\frac{2m}{\eta}} \right) \right), \quad \eta < 1 \quad (16)$$

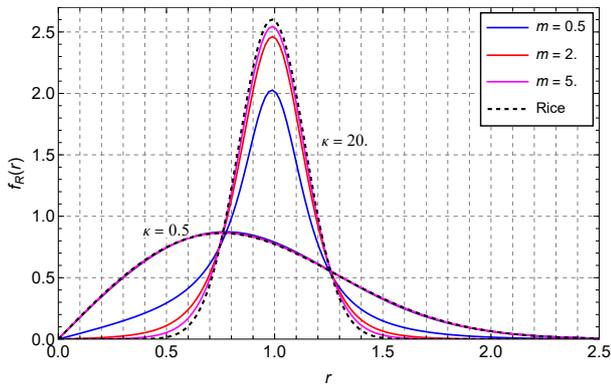


Fig. 1: PDF da envoltória Rice modulada para valores diversos de m e $\kappa = 0.5$ e $\kappa = 20$

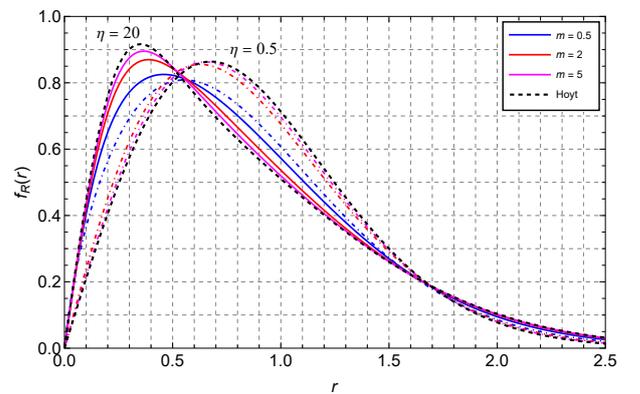


Fig. 2: PDF da envoltória Hoyt modulada para valores diversos de m e $\eta = 0.5$ e $\eta = 20$

IV. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

A. Envoltória

A Figura 1 mostra exemplos de formas para a PDF da envoltória do modelo Rice modulado para vários valores de m e $\kappa = 0.5$ e $\kappa = 20$, juntamente com a PDF da envoltória Rice. O efeito do parâmetro m é mais significativo para valores altos de κ . Valores intermediários de κ levam a curvas similares àquela do modelo Rice.

A Figura 2 mostra a PDF da envoltória do modelo Hoyt modulado para $\eta = 0.5$ e $\eta = 20$ e vários valores de m . Como esperado, a medida que o parâmetro m aumenta, a PDF da envoltória tende àquela da distribuição Hoyt.

B. Fase

As Figuras 3 e 4 mostram a PDF da fase dos modelos Rice e Hoyt modulados respectivamente. Como pode ser visto em (3), a PDF da fase varia com o parâmetro m de forma mais pronunciada para valores altos de κ , tendendo a fase Rice a medida que m cresce. Já na Figura 4, é mostrada a PDF da fase para vários valores de m e $\eta = 0.5$ e $\eta = 20$. Como esperado, à medida que m aumenta a PDF tende para a Hoyt. Para valores menores que 0.5, a PDF da fase apresenta valores infinitos para $\eta = \pm\pi/2$.

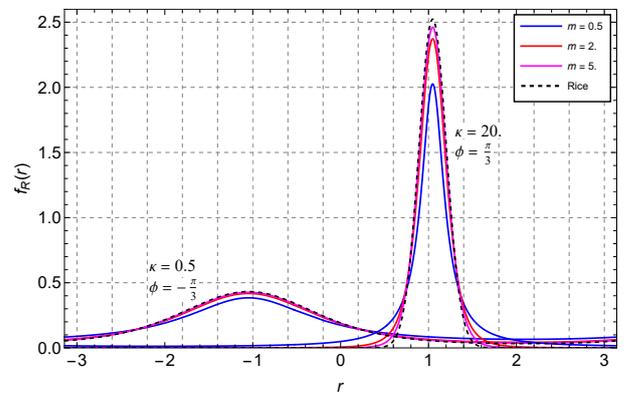


Fig. 3: PDF da fase da Rice modulada para valores diversos de m e $\kappa = 0.5$ e $\kappa = 20$

C. Figura de Desvanecimento

As Figuras 5 e 6 mostram a AF para os ambientes Rice e Hoyt modulados. A Figura 5a apresenta a AF para o canal Rice e vários valores de κ . É possível observar que para um valor fixo de m a severidade diminui com o aumento de κ . Efeito similar é observado em 5b no ambiente Rice modulado com o aumento de m para um κ fixo sendo o limite inferior a AF do ambiente Rice. Já na Figura 6a mostra a AF para o ambiente Hoyt modulado para vários valores de η . É possível observar que o ambiente fica mais severo com o aumento do

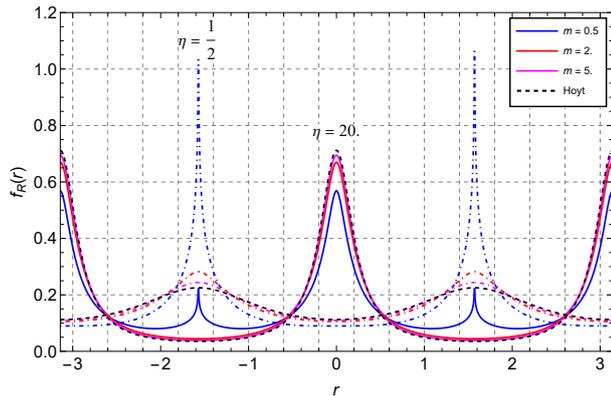
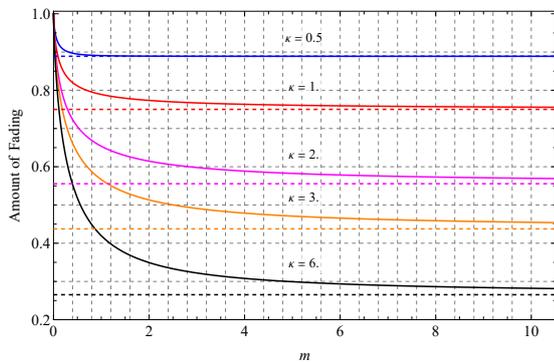
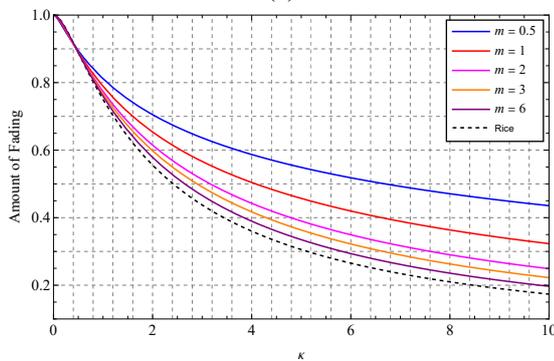


Fig. 4: PDF da fase da Hoyt modulada para valores diversos de m e $\eta = 0.5$ e $\eta = 20$.



(a)



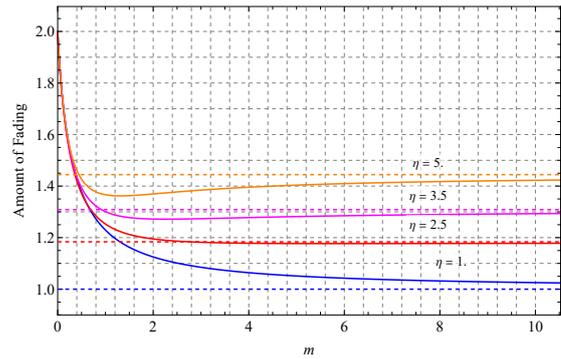
(b)

Fig. 5: Figura de desvanecimento para o ambiente Rice modulado. Curva tracejada é a AF para o ambiente Rice

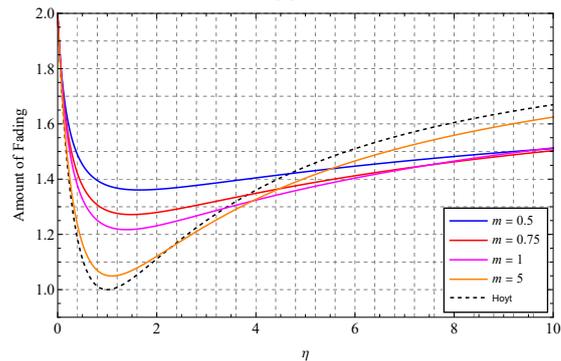
parâmetro η . Efeito similar acontece ao diminuir η a valores inferiores a um sendo $\eta = 1$ para um m alto a menor AF que pode ser observada em 6b.

V. CONCLUSÕES

O efeito da flutuação dos parâmetros de desvanecimento das distribuições Rice e Hoyt foi analisado considerando-se que a variação dos parâmetros siga um comportamento dado pela distribuição gama. Nota-se que esta flutuação introduz uma maior flexibilidade para o modelo de desvanecimento oferecendo a possibilidade de cenários próximos aos modelos base para ambientes com valores altos de m e variações



(a)



(b)

Fig. 6: Figura de desvanecimento para o ambiente Hoyt modulado. Curva tracejada é a AF para ambiente Hoyt

significativas com m pequeno. Outro efeito da flutuação dos parâmetros são ambientes que levam a uma envoltória similar ao modelo mas com fase diferente da esperada, e vice-versa. A flexibilidade introduzida pode ser útil como alternativa para se melhor modelar o sinal de desvanecimento. Futuros trabalhos devem incluir distribuições que modelem a razão de potências locais, característica inerentes destes parâmetros de desvanecimento.

REFERÊNCIAS

- [1] L. J. Greenstein, S. S. Ghassemzadeh, V. Erceg, and D. G. Michelson, "Ricean k -factors in narrow-band fixed wireless channels: Theory, experiments, and statistical models," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 8, pp. 4000–4012, 2009.
- [2] L. Rubio, J. Reig, and N. Cardona, "Evaluation of nakagami fading behaviour based on measurements in urban scenarios," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 61, no. 2, pp. 135–138, 2007. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1434841106000537>
- [3] A. Krishnan, C. L. Selvati, U. S. Dias, and M. D. Yacoub, "On the statistics of the fading parameters of the α - μ distribution: Field trials and validation," in *2012 National Conference on Communications (NCC)*, 2012, pp. 1–5.
- [4] A. Melo, M. D. Yacoub, and C. R. N. da Silva, "Sobre a perturbação do parâmetro κ de rice," *XLI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2023.
- [5] —, "Efeito do sombreamento no modelo η - μ complexo para $\mu = 1/2$ (hoyt)," *XL Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2022.
- [6] M. Abramowitz and I. A. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions: With Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. New York: Dover Publications, Incorporated, 1972.
- [7] A. Prudnikov, *Integrals and Series: Volume 3: More Special Functions*. Gordon & Breach Science Publishers, 1990.