



Análise da codificação OCDMA utilizando os Códigos de Gold e Código de Kasami.

Iara Ramos Brito¹, Wally Mendonça Menezes², Glendo de Freitas Guimarães³

¹Graduanda em Engenharia de Telecomunicações– IFCE. e-mail: iararamosbrito@gmail.com

²Doutor em Física - IFCE e-mail: wally@ifce.edu.br

³Doutor em Engenharia de Teleinformática - IFCE. e-mail: glendofreitas@ifce.edu.br

Resumo: Neste trabalho é realizado a análise e estudo do desempenho de pulsos ópticos curtos codificados e decodificados em sistemas OCDMA (*Optical Code Division Multiple Access* – acesso múltiplo por divisão de código no domínio óptico), utilizando a *FBG (Fiber Bragg Grating* – grade de Bragg em fibra óptica) como componente óptico de codificação e decodificação. Na codificação e decodificação dos pulsos ópticos foram utilizados códigos baseados em sequencias pseudo-aleatórias: código de Gold e código de Kasami. Ambos os códigos apresentaram excelentes características de autocorrelação e cross-correlação, sendo observado pelos picos de autocorrelação e ausência de picos na cross-correlação.

Palavras-chave: Código de Gold. Código de Kasami. OCDMA. Fibra de Bragg. Sequencias PN

1. INTRODUÇÃO

Na transmissão de dados, a velocidade, segurança e capacidade do sistema em suportar diversos usuários ao mesmo tempo são características fundamentais e determinantes para o desempenho do mesmo. Técnicas de acesso e multiplexação, novas tecnologias em fibra óptica, técnicas de codificação dentre outras opções possibilitam estas características na transmissão de dados.

A técnica de acesso múltiplo OCDMA (Optical Code Division Multiple Access), possui como principais características a capacidade para uma conectividade mais elevada, um uso mais flexível da largura de faixa, desempenho melhorado da interferência, acesso assíncrono e sua potencialidade para a segurança. No OCDMA (Optical Code Division Multiple Access), assim como no CDMA (*Code Division Multiple Access* – acesso múltiplo por divisão de código), existem várias formas de codificação do sinal, como por exemplo a codificação na fase espectral que oferece o uso de códigos ortogonais bipolares, tais como, código de Gold e código de Kasami.

A utilização de *FBG (Fiber Bragg Grating – Fibras de Grade de Bragg)* possibilita a obtenção de boas características de autocorrelação e correlação cruzada utilizando codificação em fase e amplitude. A codificação em fase é a escolhida para análise feita neste trabalho, onde são inseridos pulsos de fase ($\pm\pi$). A codificação na fase é baseada no processamento coerente que é quando o receptor utiliza a informação de fase da portadora para recuperar o sinal. Nesta rede é provido o acesso efetuando operações de codificação e decodificação em domínio totalmente óptico. No codificador ocorre a codificação do pulso de acordo com o algoritmo escolhido para a transmissão. O decodificador já possuindo uma réplica do código de origem realiza a decodificação.

A técnica de espectro espalhado utiliza uma largura de banda de transmissão maior que a largura de banda do sinal mínima. O espalhamento de espectro é usado em sistemas que objetivam oferecer serviço á múltiplos de utilizadores simultâneos, melhor sincronização do código e maior segurança. Os sinais de espectro espalhado são controlados por sequências de pseudo-ruído (PN) ou pseudo-aleatórias que são sequência binária basicamente gerada por circuitos lógicos sequenciais, portas lógicas OU exclusivo e uma malha de realimentação. Estas sequências são chamadas pseudoaleatórios por suas características semelhantes á sequências binárias aleatórias. Os códigos de Gold e Kasami são baseadas em sequencia PN e possuem funções de correlação cruzada periódica com melhores propriedades. O código de Gold é obtido através de duas sequências PN que sejam pares preferidos, comprimento igual entre si e três valores diferentes da função de correlação cruzada, deslocando-se uma em relação á outra. A quantidade de combinações diferentes pelo deslocamento de



umas das sequencia em relação á outra é diretamente proporcional ao comprimento da sequencias o que possibilita uma maior segurança, além disso a sequencia é conhecida apenas pelo emissor e receptor. As sequências de Kasami são obtidas através de uma combinação entre uma sequência de comprimento máximo a com uma sua versão decimada.

O objetivo deste trabalho foi realizar a codificação e decodificação de pulsos curtos (2 ps) em sistema OCDMA utilizando códigos de Gold e Kasami gerados analiticamente. Foi analisado autocorrelação e cross-correlação através de simulação numérica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Geração analítica dos códigos de Gold e Kasami

Os Códigos de Gold utilizaram as sequências 1 - 1101100011111001101001000010101 (gerado a partir do polinômio $\rightarrow x^5 + x^2 + 1$) e 2 (gerado a partir do polinômio $\rightarrow x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$). Os comprimentos dos códigos de Gold são dados por $N = 2^n - 1$, onde n é o grau do polinômio. O que resultou em códigos de Gold com comprimento igual a 31.

Para geração dos códigos de Kasami utilizamos o polinômio 3 ($x^4 + x + 1$) e, considerando o deslocamento de sua decimação por 5 obtemos duas sequências de codificação: sequência 1 \rightarrow 100001101001010 e sequência 2 \rightarrow 001100000100111.

Para simulação da codificação e decodificação de pulsos ópticos, consideramos um pulso óptico de entrada do tipo secante hiperbólico dado pela equação abaixo.

$$A_f = Amp. \operatorname{sech} \left(Amp. \frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$

Para simulação da codificação e decodificação utilizamos o método numérico de Runge-Kutta de 4ª ordem, onde foram resolvidas as equações:

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_f}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{i\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A_f}{\partial t^2} + \frac{\alpha}{2} A_f \\ = i\delta A_f + i\kappa A_b + i\gamma \left(|A_f|^2 + 2|A_b|^2 \right) A_f \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_b}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A_b}{\partial t} + \frac{i\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A_b}{\partial t^2} + \frac{\alpha}{2} A_b \\ = i\delta A_b + i\kappa A_f + i\gamma \left(|A_b|^2 + 2|A_f|^2 \right) A_b \end{aligned} \quad (3)$$

onde A_f e A_b são amplitudes copropagantes e contrapropagantes, respectivamente. O coeficiente κ de acoplamento e a medida de dessintonização da grade são dados pelas equações abaixo:

$$\delta(\omega) = \left(\frac{-}{n/c} \right) (\omega - \omega_B) \quad (4)$$

$$\kappa = \frac{\kappa_0 \int \int_{-\infty}^{\infty} \delta n_1 |F(x, y)|^2 dx dy}{\int \int_{-\infty}^{\infty} \delta n_1 |F(x, y)|^2 dx dy} \quad (5)$$

Para grades transversalmente uniformes, podemos escrever $k = 2\pi\delta n_1 / \lambda$. As equações (2) e (3) incluem os efeitos não lineares *SPM* (*Self-Phase Modulation* – automodulação de fase) e *XPM*

(*Cross-Phase Modulation* – modulação de fase cruzada), nos termos que multiplicam o parâmetro não linear dado por $\gamma = n_2 \omega_0 / (c A_{eff})$. Os termos β_1 e β_2 são relativos ao inverso da velocidade de grupo e dispersão de velocidade de grupo (*GVD – Group - Velocity Dispersion*). O termo $\alpha/2$ nas equações é relativo às perdas inseridas pelo sistema, que no caso da simulação das grades de Bragg em fibra será negligenciado, devido ao pequeno comprimento do dispositivo [3].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise da codificação e decodificação utilizando códigos de Gold.

Nesta seção apresentaremos a análise dos resultados da simulação de transmissão em Fibras de Bragg dos pulsos ópticos utilizando os códigos de Gold. A amplitude do índice de refração é uniforme ao longo da grade, onde saltos discretos na fase ($\pm\pi$) são aplicados nas posições adjacentes aos *chips*. As figuras 1.a e 1.b ilustram os Códigos de Gold em forma de fase que serão analisados.

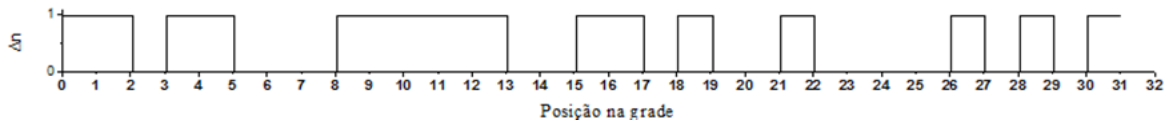


Figura 1.a Representação do formato do sinal codificado com Código de Gold 1.



Figura 1.b Representação do formato do sinal codificado com Código de Gold 2.

3.1.1. Codificação

As figuras 2.a e 2.b apresentam sinais ópticos codificados gerados pelos Códigos de Gold 1 ($\pi, \pi, 0, \pi, \pi, 0, 0, 0, \pi, \pi, \pi, \pi, \pi, 0, 0, \pi, \pi, 0, \pi, 0, 0, \pi, 0, 0, 0, 0, \pi, 0, \pi, 0, \pi$) e 2 ($0, 0, \pi, \pi, \pi, \pi, \pi, 0, \pi, \pi, 0, 0, \pi, 0, \pi, 0, \pi$). O pulso que entrada simulado é do tipo secante hiperbólica com largura temporal de 2 ps. A grade de Bragg simulada tem comprimento de 42 mm com cada chip possuindo 1,35 mm de comprimento, já que utilizamos códigos de comprimento 31. O pulso óptico codificado é alargado temporalmente, e sua largura temporal passa a ser de aproximadamente 350 ps de acordo com a equação: $\Delta t = \frac{2n_{eff} L}{c}$ onde L é o comprimento da fibra e c é a velocidade da luz.

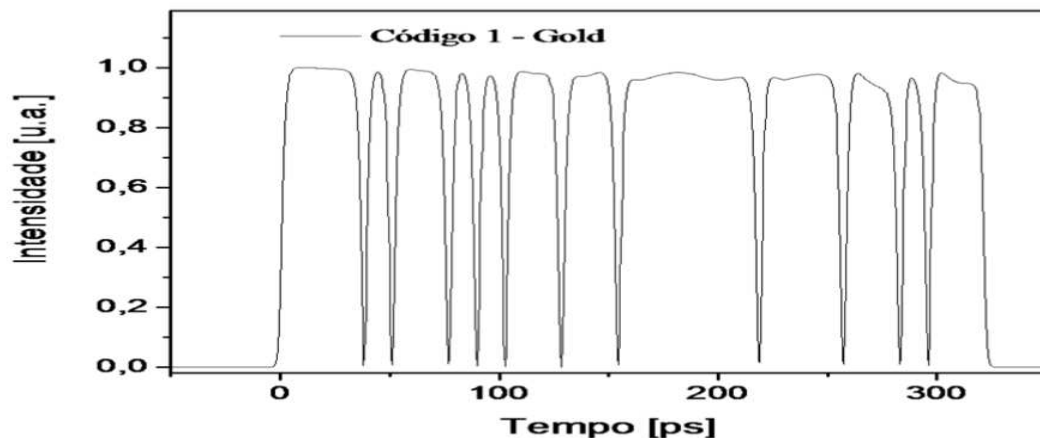


Figura 2.a. Sinal codificado com o Código de Gold 1.

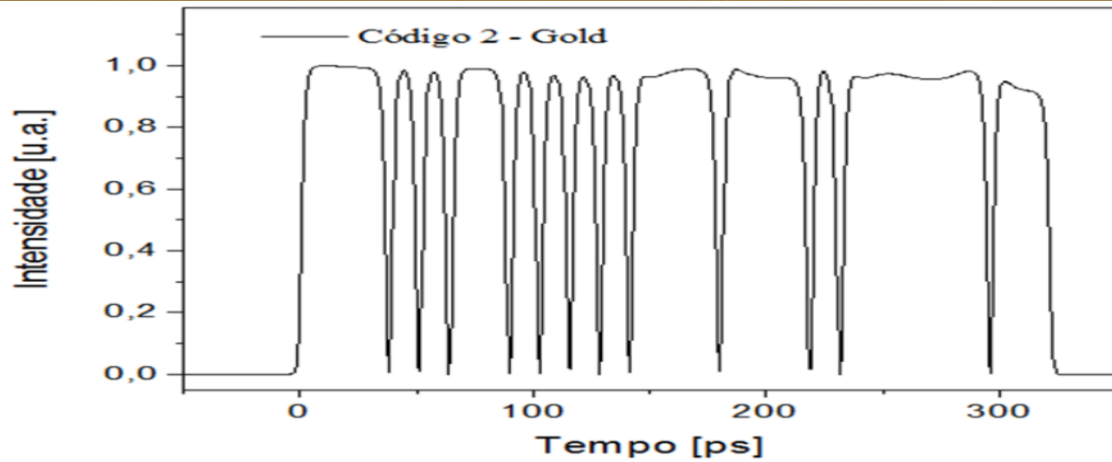


Figura 2.b. Sinal codificado com o Código de Gold 2.

3.1.2. Autocorrelação

A codificação e decodificação de pulsos ópticos utilizados neste trabalho são códigos de *Gold* com 31 *chips* e grades de 42 *mm*, com cada chip possuindo um comprimento de 1,35 *mm*. Os pulsos decodificados são gerados pela seqüência invertida na grade de Bragg. Nas figuras 3.a e 3.b apresentamos as decodificações dos códigos de Gold 1 e 2, respectivamente. Podemos perceber pela figura 3.a e 3.b que a seqüência de 0 e π é inverso da figura 2.a e 2.b. Observamos que os códigos de Gold obtidos apresentaram excelentes características de autocorrelação, tendo em vista o perfil de pico único apresentado nas figuras abaixo.

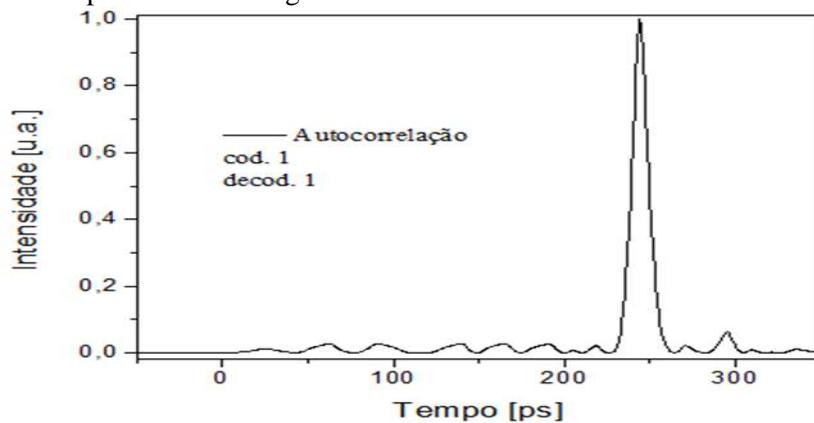


Figura 3.a. Sinal decodificado com o Código de Gold 1.

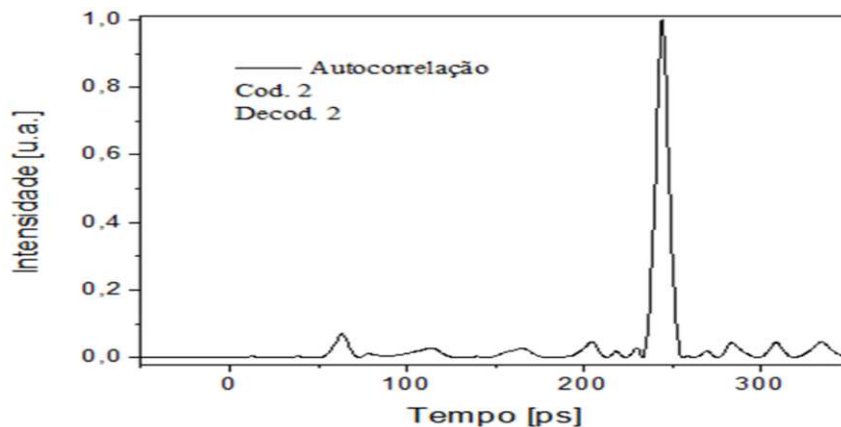


Figura 3.b. Sinal decodificado com o Código de Gold 2.

3.1.3. Crosscorrelação

A crosscorrelação foi feita entre os Códigos de Gold 1 e 2. Inicialmente simulamos a transmissão da sequência de codificação do Código Gold 1 e tentamos realizar a crosscorrelação com sequência de descodificação do Código de Gold 2. Também realizamos a simulação de transmissão utilizando a sequência de codificação do Código de Gold 2 e usamos a sequência de descodificação do Código de Gold 1. Os resultados desta simulação são apresentados na figura 4.

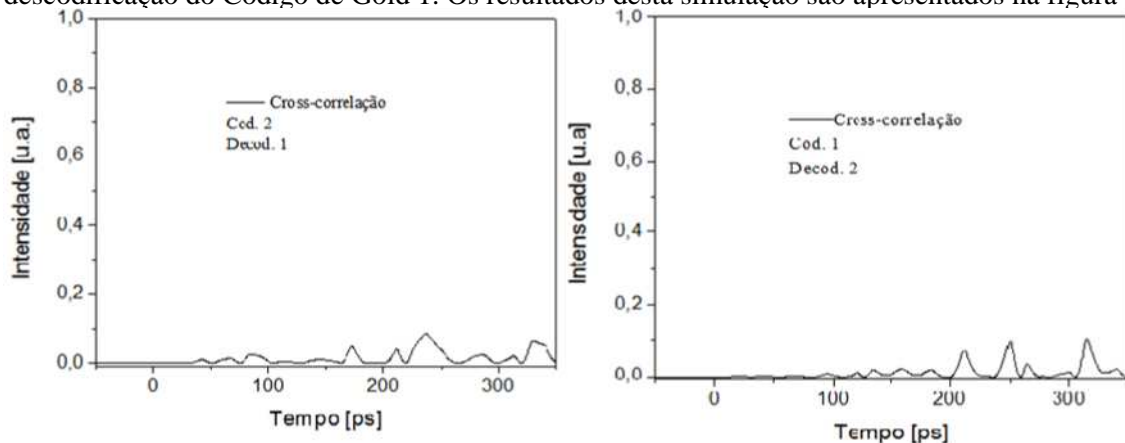


Figura 4. Crosscorrelação de codificação com o Código de Gold2 e crosscorrelação a sequência de descodificação do Código de Gold 1 e do lado esquerdo a codificação com o Código de Gold1 e descodificação com o Código de Gold 2.

3.2. Análise da codificação e decodificação utilizando Código de Kasami.

Fizemos a simulação de pulsos com codificação de Kasami utilizando as mesmas características e tecnologias usadas para simulação da codificação de Gold. A as figura 5.a e 5.b ilustram os códigos de Kasami em forma de fase que serão analisados.

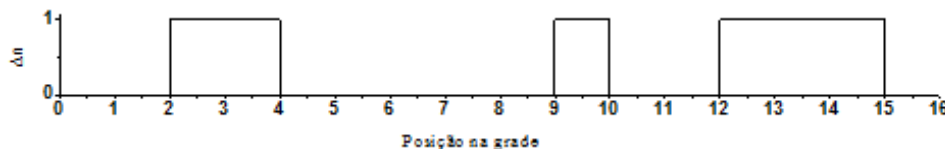


Figura 5.a. Representação do formato do sinal codificado com Código de Kasami 1.

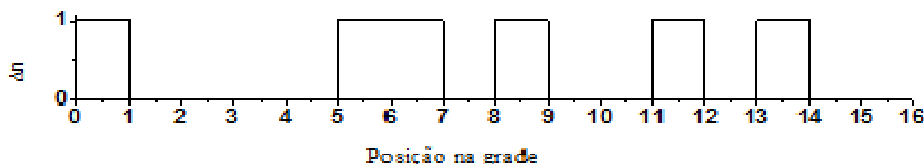


Figura 5.b. Representação do formato do sinal codificado com Código de Kasami 2.

3.2.1. Codificação

As figuras 6.a e 6.b apresentam pulsos ópticos codificados gerados pelos códigos de Kasami 1 ($\pi, 0, 0, 0, 0, \pi, \pi, 0, \pi, 0, 0, \pi, 0, \pi, 0$) e 2 ($0, 0, \pi, \pi, 0, 0, 0, 0, 0, \pi, 0, 0, \pi, \pi, \pi$). O pulso que entrada simulados são do tipo secante hiperbólica com largura temporal de 2 ps. A grade de Bragg simulada tem índice de refração efetivo de 1,54 e comprimento de 42 mm com cada chip possuindo 1,35 mm de comprimento, já que utilizamos códigos de comprimento 31. O pulso óptico codificado é alargado temporalmente, e sua largura temporal passa a ser de aproximadamente 320 ps de acordo com a equação:

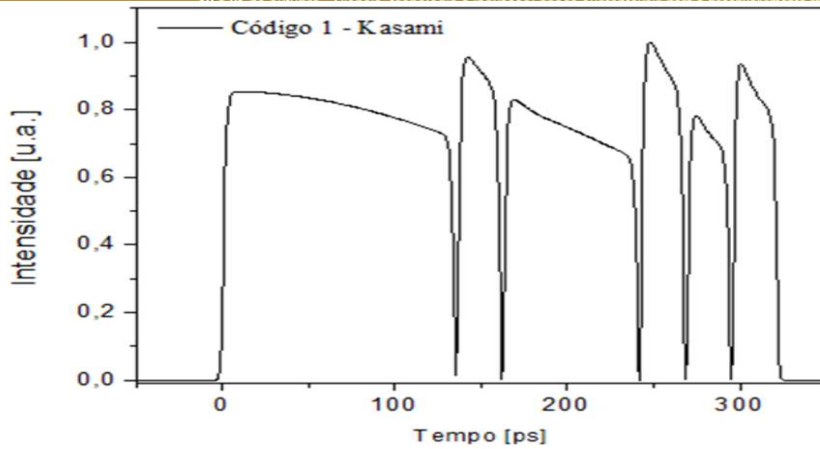


Figura 6.a. Sinal codificado com o Código de Kasami 1.

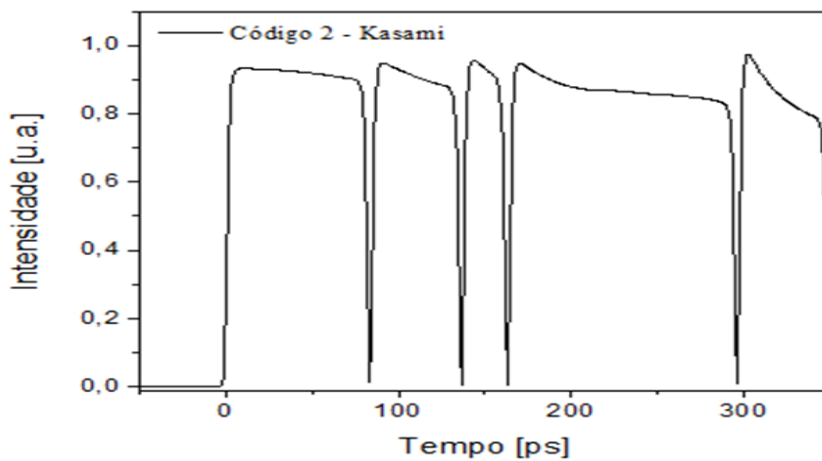


Figura 6.b. Sinal codificado com o Código de Kasami 2.

3.2.2. Autocorrelação

A codificação e decodificação de pulsos ópticos abaixo são códigos de *Kasami* com 15 *chips* e grades de 42 *mm*, com cada chip possuindo um comprimento de 2,38 *mm*. Nas figuras 7.a e 7.b apresentamos as decodificações dos códigos de Kasami 1 e 2, respectivamente. A autocorrelação obtida para os códigos de Kasami apresentaram-se como nos códigos de Goldo, exceto por um pico de 20 % da intensidade máxima em torno de 300 ps na decodificação do código 1.

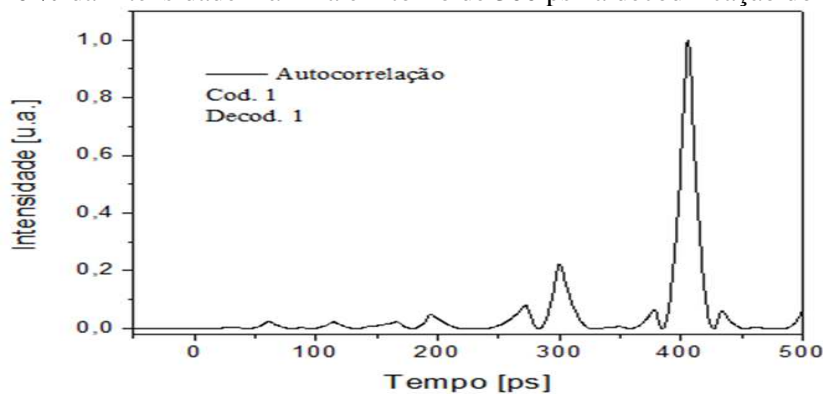


Figura 7.a. Sinal decodificado com o Código de Kasami 1.

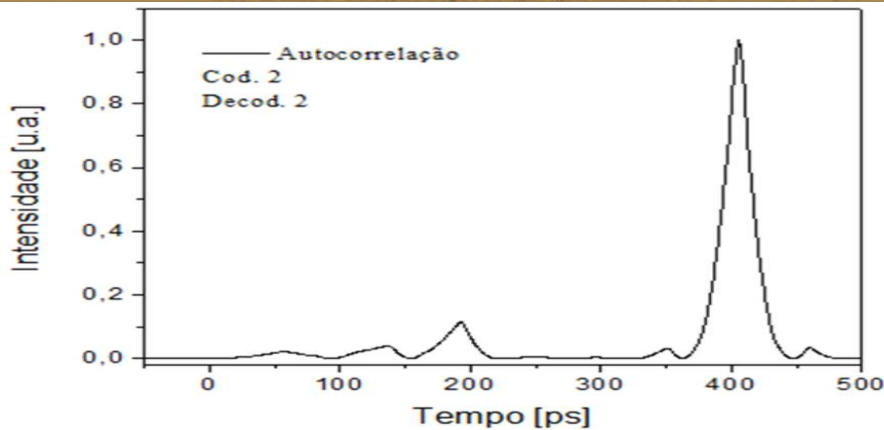


Figura 7.b. Sinal decodificado com o Código de Kasami 2.

3.2.3. Crosscorrelação

A crosscorrelação dos Códigos de Kasami 1 e 2 foi feita na simulação da transmissão da sequência de codificação do Código Kasami 1 e tentamos realizar a crosscorrelação com sequência de decodificação do Código de Gold 2. Foi realizado também a simulação de transmissão utilizando a sequência de codificação do Código de Kasami 2 e usamos a sequência de decodificação do Código de Kasami 2. Os resultados destas simulações são mostrados na figura 8.

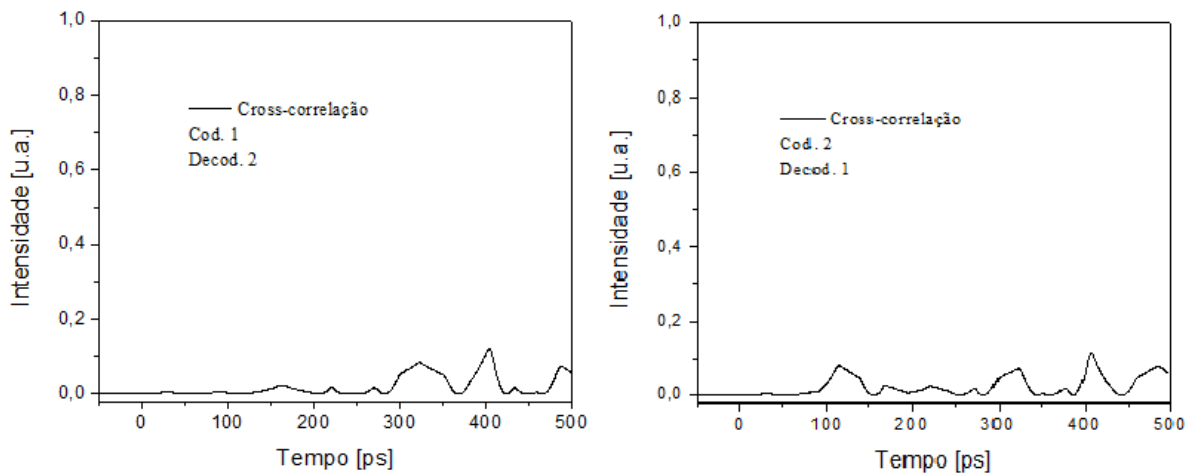


Figura 8. Crosscorrelação de codificação com o Código de Kasami 2 e crosscorrelação a sequência de decodificação do Código de Kasami 1 e do lado esquerdo a codificação com o Código de Kasami 1 e decodificação com o Código de Kasami 2.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas duas abordagens diferentes de codificação do sinal em OCDMA, utilizando o Código de Gold ou Código de Kasami.

Em todas as situações obtivemos um sinal recuperado com poucas perdas da informação e insignificante alteração da informação. Na análise da crosscorrelação dos dois sinais codificados verificamos um sinal resultante totalmente defasado do sinal inicial, com perdas e alteração do sinal.

Na autocorrelação utilizando códigos de Gold foi observada uma intensidade máxima de interferência de 0,08 u.a. em torno de 60 ps para o código 2, apresentado boas características de autocorrelação. Na cross-correlação, ambas as situações apresentaram níveis de intensidade de interferência próxima de zero com um máximo de 0,12 u.a. em torno de 320 ps.



Para autocorrelação utilizando códigos de Kasami foi observada uma intensidade máxima de interferência de 0,24 u.a. em torno de 300 ps para o código 1, apresentando boas características de autocorrelação. Na cross-correlação, ambas as situações apresentaram níveis de intensidade de interferência próxima de zero com um máximo de 0,13 u.a. em torno de 400 ps para ambos os códigos de Kasami.

Em todas as situações de autocorrelação, foram observados alargamento temporal dos pulsos decodificados em relação ao pulso de entrada. A melhor performance apresentada pelos códigos de Gold pode estar associada ao fato dos códigos de Gold (31) terem maior comprimento que os de Kasami (15).

REFERÊNCIAS

GOVIND P. AGRAWAL. **Applications of Nonlinear Fiber Optics**. Academic Press 2001.

R. V. B. DOS SANTOS FILHO. **Análise de Sistemas CDMA Ópticos**, São Carlos, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

M. V. PINHEIRO LOPES. **Acopladores de cristais fotônicos e acesso múltiplo por divisão de código óptico (OCDMA) com pulsos ultracurtos em Fibra de Bragg**, Fortaleza, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Teleinformática) - Universidade Federal do Ceará, 2012.

SÍLVIO A. ABRANTES. **Seqüências pseudo-aleatórias e outras**. DEEC/FEUP. Texto não publicado.