

### **Trabalho prático 3: Projeto de transmissão de um sistema digital.**

**Aluno:** Mairon Schneider Cardoso.

**Data:** 10/10/2021

**Número de matrícula:** 17102515.

## **1 Introdução**

A evolução tecnológica ocorrida majoritariamente no último século é em grande parte uma resposta do avanço tecnológico que tornou possível e acessível a expansão da comunicação o que resultou em intensificação do processo conhecido como globalização. Os sistemas de comunicação, apesar de já utilizados durante as grandes guerras, veem em uma constante evolução de técnicas, na tentativa de tornar ainda mais eficiente a comunicação entre grandes distâncias. Simultaneamente, o crescente desenvolvimento e compreensão acerca dos circuitos digitais proveram aos projetos que exigiam comunicação entre receptor e emissor a capacidade de transferir dados digitais através dos processos de codificação em linha. Diferente das técnicas de modulação, a codificação em linha modifica a mensagem binária para sua representação elétrica. Contudo, ao planejar a construção de um projeto de comunicação para transmissão de mensagens digitais, é necessário conhecer acerca dos diferentes algoritmos de codificação, compreendendo suas vantagens e desvantagens, para garantir que o projeto seja coerente com as especificações oferecidas pelos algoritmos.

Portanto, o objetivo principal desse trabalho é transmitir uma determinada mensagem escrita no formato binário, gerada de maneira aleatória e compreendida entre um vetor com 200 amostras, empregando o método de codificação Manchester, admitindo uma determinada função de transferência que descreve o canal disponível para transmissão. Dentro da realização do trabalho, será elaborado uma avaliação considerando os critérios de compreendidos entre detecção e correção de erros, potência de transmissão, transparência, largura de banda e temporização, que são necessários para garantir uma boa codificação de linha, dentre os algoritmos disponíveis para codificação observados em aula.

## **2 Resultados e Discussões**

O desenvolvimento de sistemas digitais para transmissão de mensagens envolve deliberar entre os métodos de codificação em linha e suas vantagens individuais. Para realização satisfatória da transmissão de uma mensagem digital primeiro é necessário conhecer acerca dos métodos que compreendem os códigos de codificação em linha para sua representação elétrica. Discernir sobre as diferentes classificações de codificação permite-nos idealizar sistemas com características específicas, observando o *trade-off* estabelecido em relação a potência de transmissão, transparência, largura de banda e temporização, adaptando-se a os requisitos do projeto e portanto, torna-se um relevante assunto no quesito projeto de sistemas de comunicação. Sabendo disso, é necessário para compreensão completa do projeto, diferenciar as codificações em três diferentes categorias:

**Codificação Unipolar:** É um método de codificação em linha que aproveita-se somente de um nível de tensão (apenas uma polaridade) para representar eletricamente o comportamento do sinal digital. Apesar de ser um método bastante obsoleto, sua principal vantagem é: ser uma técnica de codificação primitiva, isto é, de fácil implementação. Suas desvantagens acabam por tornar inviável a aplicação desse tipo de metodologia em comunicações por grandes distâncias, pelo consumo exacerbado de potência e sua alta ineficiência para detecção de falta de sincronia.

**Codificação Polar:** Nessa categoria a representação elétrica é realizada através de 2 níveis de tensão (duas polaridades). Uma das vantagens de empregar métodos que utilizam-se da codificação polar

é mitigar o problema de ruído da componente DC (dependendo do algoritmo até mesmo retirar a componente DC).

**Codificação Bipolar:** Os codificadores bipolares são descritos por três diferentes valores de tensão na representação elétrica. Esse tipo de técnica tem como vantagens uma boa eficiência espectral justificada também pela ausência de componentes espectrais de baixa frequência, além de garantir a correção do problema relativo ao componente DC, contudo, nesse tipo de codificação, há perda de sincronismo constante.

A codificação Manchester, que será o método compreendido neste trabalho, herda as vantagens e desvantagens da categoria polar. É particularmente útil na transferência de dados binários com base em sinais analógicos, RF, ótico, alta velocidade digital ou de longa distância sinais digitais. Um exemplo de aplicação desse tipo de codificação é no padrão IEEE 802.3 (Ethernet). Uma das desvantagens da utilização desse tipo de codificação é a sua grande ineficiência em termos do consumo de banda, quando comparado ao método de codificação em linha denominado NRZ, contudo, é recompensado o uso da Manchester quando tratamos de mitigar a componente DC de determinada transmissão.

## 2.1 Implementação

A implementação da codificação em linha Manchester tem como alvo um conjunto de 200 amostras, onde cada amostra é composta por dois valores binários gerados aleatoriamente e anexados a um vetor. O período de transmissão do canal representado através da equação 1, é extraído através da análise do emprego da função impulso aplicado a função de transferência que descreve o canal (figura 1), em conjunto com a observação da largura de banda do canal (figura 2).

Através da largura de banda do canal, é possível encontrar o valor necessário para garantir o período de transmissão. Para garantir a coerência em relação ao período de transmissão, foi identificado os pontos onde a característica de passa baixa do canal permite com que a maior quantidade de frequências passe pelo canal, deste modo, menor serão as perdas de componentes espectrais (nesse contexto, como são sinais digitais será uma soma de  $\text{sinc}(x)$ ) e melhor será a qualidade e sincronia de transmissão. Quanto mais estreito o pulso, mais frequências altas relevantes compõe o sinal (propriedade do escalonamento). Como forma de garantir a veracidade dessa informação foram plotados diferentes testes com períodos em ordem crescente (figura 3) e isso demonstra que ao aumentar o período estipulado ( $T_s = 0,57 \text{ ms}$ ) eventualmente a característica passa baixas do canal acabará retirando componentes importantes para representação deste sinal.

$$H_2(j\omega) = \frac{7,5 \times 10^{12}}{(j\omega)^3 + 37 \times 10^3(j\omega)^2 + 610 \times 10^6 j\omega + 7,5 \times 10^{12}} \quad (1)$$

O algoritmo de codificação em linha Manchester foi implementado através da codificação dos sinais binários na representação elétrica, que faz parte do método polar. Portanto, a definição da função de codificação espera como parâmetros de entrada o período de transmissão, o vetor de bits para codificação e o passo. Como retorno, a função deve fornecer um *bitstream* com a representação do sinal em 1 e -1. A função para codificação foi realizada através da leitura individual de todos os valores contidos no vetor de entrada, fazendo testes condicionais e adequando o nível correto para cada valor binário utilizando o mesmo tempo de duração de permanência em cada nível (0,5 em cada nível) e anexando-os a um vetor denominado  $x$ .

Na tentativa de garantir a veracidade da implementação do algoritmo de codificação consideramos como entrada valores binários repetidos, na intenção de obter a correta representação elétrica e também verificar o período necessário para transmitir 1 bit (figura 4) que deve ser igual ao  $T_s$  que foi definido anteriormente. Através dos 400 valores binários requisitados pela especificação conseguimos observar que adotando  $T_s$  como 0,57 ms o tempo necessário para transmitir todas informações será de 228 ms,

ou seja, no panorama geral, para garantir que não percamos informações, o gráfico representado pela figura 5 deverá ter um domínio com valor igual ao estipulado anteriormente.

A transformada inversa da função de transferência que descreve o comportamento do canal foi extraída através da decomposição em frações parciais e consequentemente aplicação dos pares básicos. Esse processo resulta na equação 2, através dela, conseguimos observar o comportamento da resposta ao degrau do canal (figura 6).

$$h_2(t) = \left[ 12400e^{-24597t} + 18682, 2^{-6201,7t} \cdot \cos(-16324t + 2, 2966) \right] \cdot u(t) \quad (2)$$

O alto valor de amplitude no ponto inicial e posteriormente o amortecimento caracteriza um comportamento que impactará a convolução da função do canal com a *bitstream* codificada, justamente pelo seu comportamento sub-amortecido. Podemos observar a convolução da *bitstream* codificada com seu respectivo canal através da figura 7. Como forma de facilitar a visualização referente a convolução, podemos observar através da figura 8 o impacto que o comportamento anteriormente citado causará na fórmula de onda característica da convolução entre os dois sinais. Isso terá impacto no diagrama de olho, entretanto, nesse projeto foi realizado a exclusão dessa primeira interação no diagrama de olho, além disso, o grande sobrepasso que o sistema (canal) possui impacta no aumento considerável de amplitude das trocas de representações elétricas, adicionando 0,5 de amplitude. Podemos observar o comportamento em espectro frequência da convolução (figura 9), através dela, podemos notar que a ausência da componente DC do sinal, gerando assim uma eficiência energética quando comparado a diferentes métodos.

Em relação a construção do diagrama de olho, desconsideramos a primeira amostra, justamente pela característica do impacto no início do sinal de convolução citado anteriormente. Para negligenciarmos o primeiro ciclo, foi necessário somente calcular a quantidade de pontos presente em 1 (fazendo quantidade total de pontos divididos pela quantidade de bits) e definir como ponto de partida da construção do diagrama de olho a partir deste ponto que sinaliza o primeiro ciclo. Através do diagrama de olho do sinal transmitido (figura 10), é possível notar que o sobrepasso da resposta do sistema está contido também na resposta, sendo os valores que superam a marca de 1 e -1. O diagrama de olho proporciona a capacidade de observar parâmetros relevantes para analisarmos a qualidade de transmissão como o impacto da interferência inter simbólica no contexto da transmissão (figura 11). O propósito do diagrama de olho é justamente retratar o comportamento do canal sem necessariamente conhecer a função que o descreve, isto é, ao diminuirmos o passo do diagrama de olho, o que devemos ver é uma representação do canal.

### 3 Conclusões

Através da realização desse trabalho, é exequível realizar a interpretação dos *trade-offs* abordados previamente. O método Manchester se mostrou uma boa solução para mitigar os problemas de consumo exacerbado de potência, como podemos ver no decorrer deste trabalho o Manchester consegue excluir componentes DC do sinal codificado (sinal DC está localizado no centro do espectro em frequência) o que justifica seu uso no protocolo Ethernet, contudo, ao compara-lo com os métodos vistos em aula é possível notar um relevante aspecto referente ao seu consumo de banda, que por sua vez, utiliza-se de dois bits aparentes para representar um determinado dado binário, isto é, cada representação de um bit necessita de duas transições e a consequência direta disso é que para transferir dados com a mesma velocidade (de outros métodos) é necessário para dobrar a largura de banda. Em termos da supressão da componente DC, isso também adiciona vantagens quanto a sua sucessividade a ruídos, através da minimização do ruído eletromagnético produzido pela linha de transmissão.

Em termos da sincronização, a técnica de codificação em linha Manchester mostra-se eficiente justamente pelas ocorrências das suas transições, sendo duas a cada bit, é possível alinhar a transição

Manchester com a borda do relógio tornando tangível aproveitar-se da mesma borda de relógio para amostragem de dados. Do mesmo modo, a transparência da codificação Manchester é eficiente justamente por manter o padrão de duas transições por bit representado. Já em termos de sua detecção e correção de erros, seus métodos são bastante superficiais e insuficientes, necessitando que sejam aplicados novas técnicas para detecção de erros tal qual o bit de validação no protocolo Ethernet.

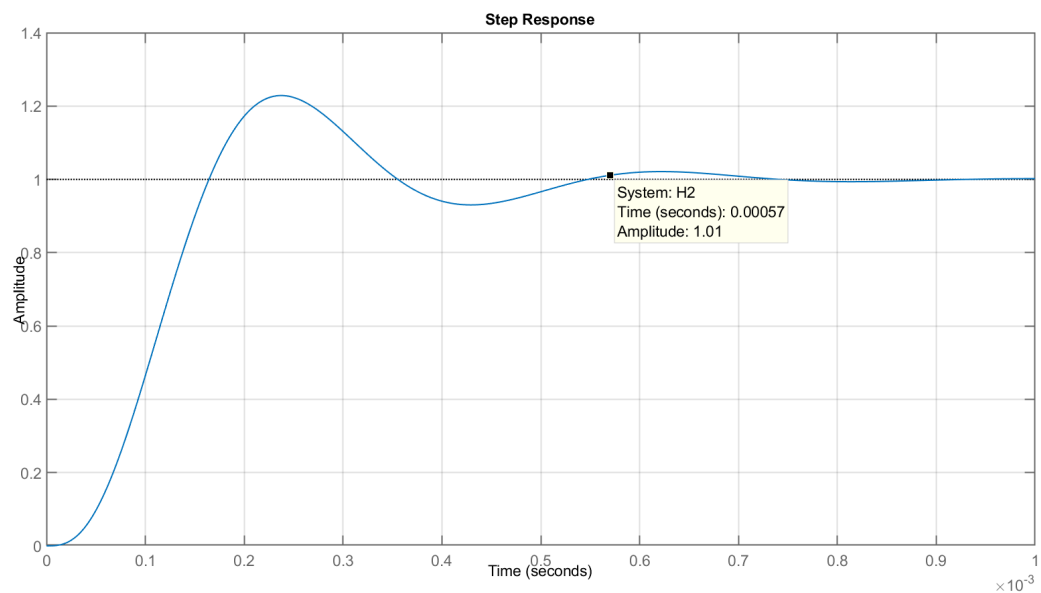


Figura 1: Resposta ao degrau do sistema  $H_2(j\omega)$ .

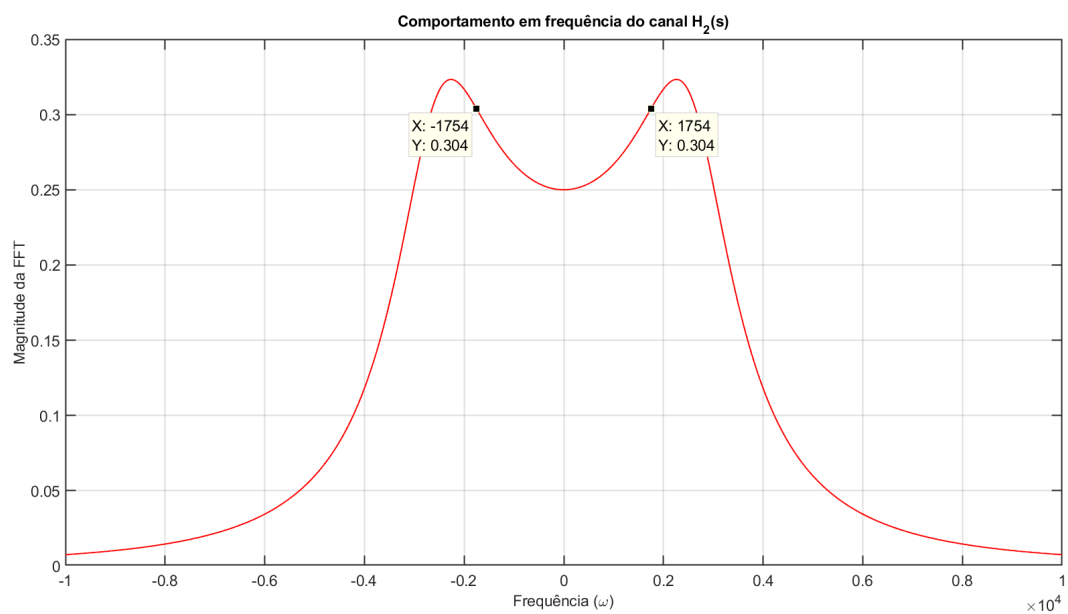


Figura 2: Espectro em frequência do canal  $H_2(j\omega)$ .

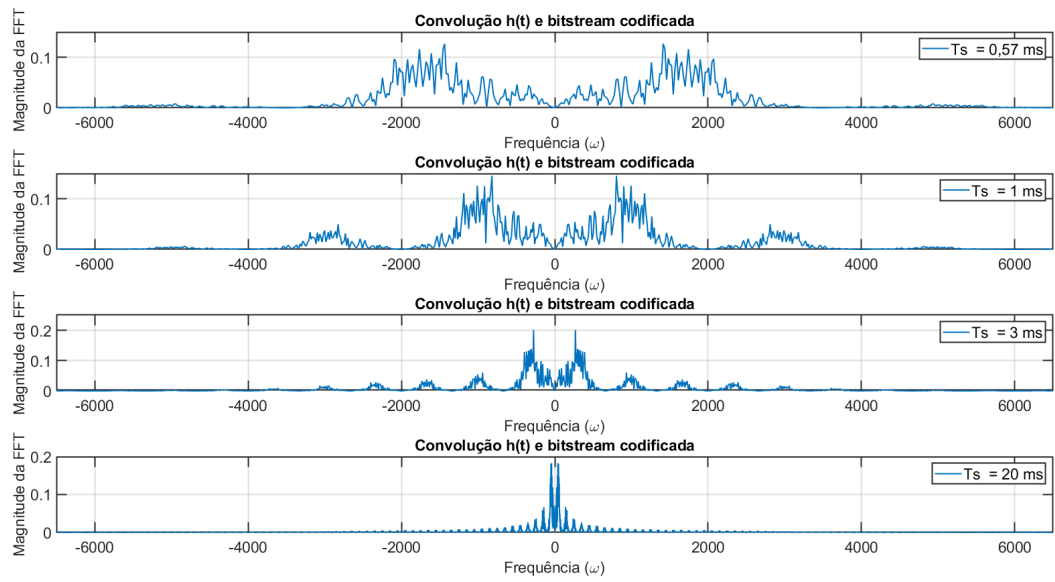


Figura 3: Ponderação do aumento do período de transmissão considerando o comportamento do canal  $H_2(j\omega)$ .

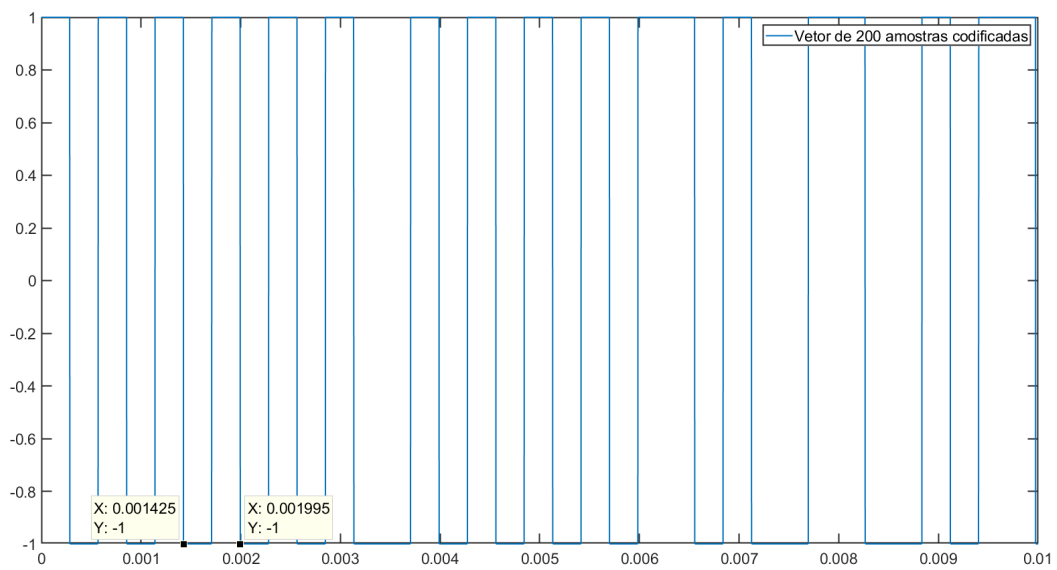


Figura 4: Codificação e conferência do período de transmissão.

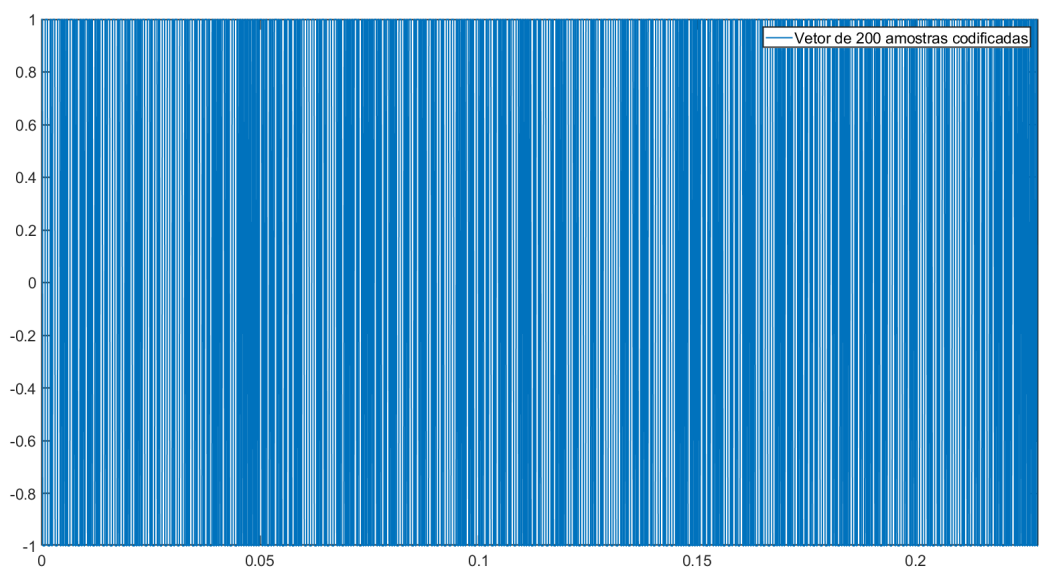


Figura 5: *Bitstream* de 400 bits codificado.

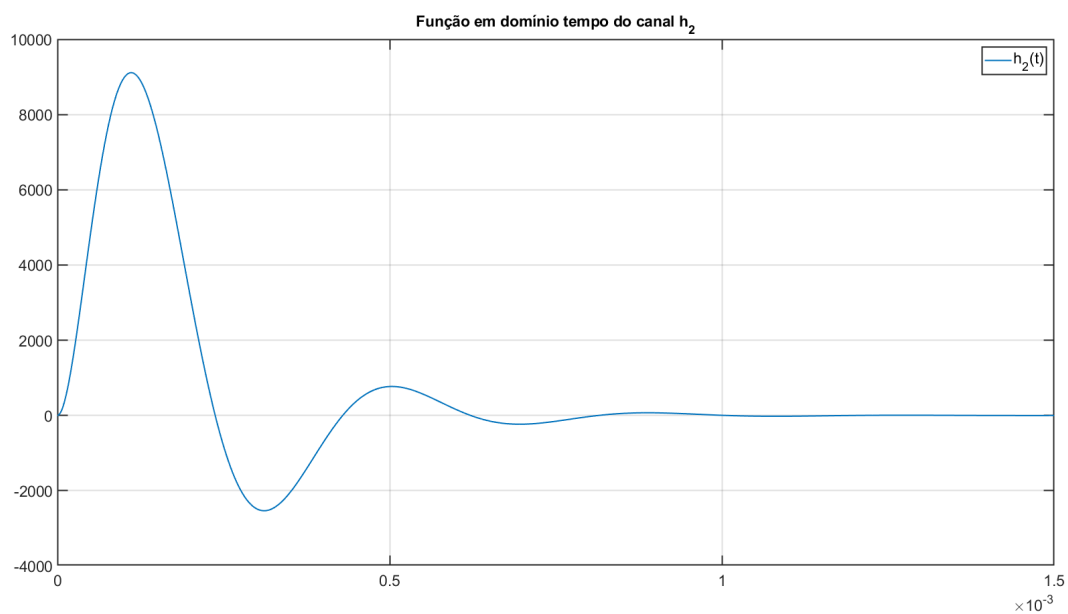


Figura 6: Resposta do canal no domínio tempo.

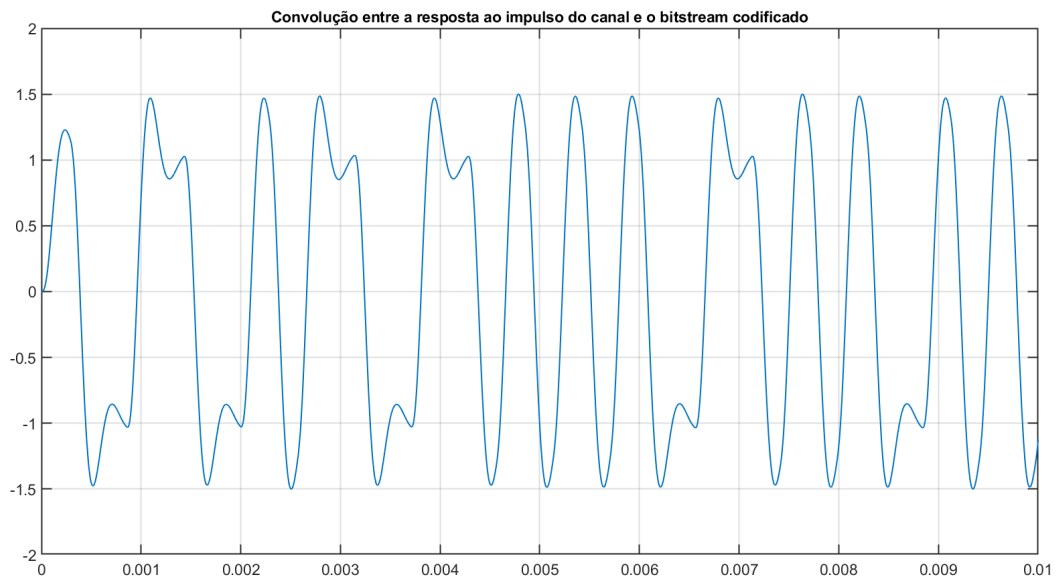


Figura 7: Forma de onda transmitida com poucas amostras (convolução entre a bitstream codificado e a função que descreve o canal).

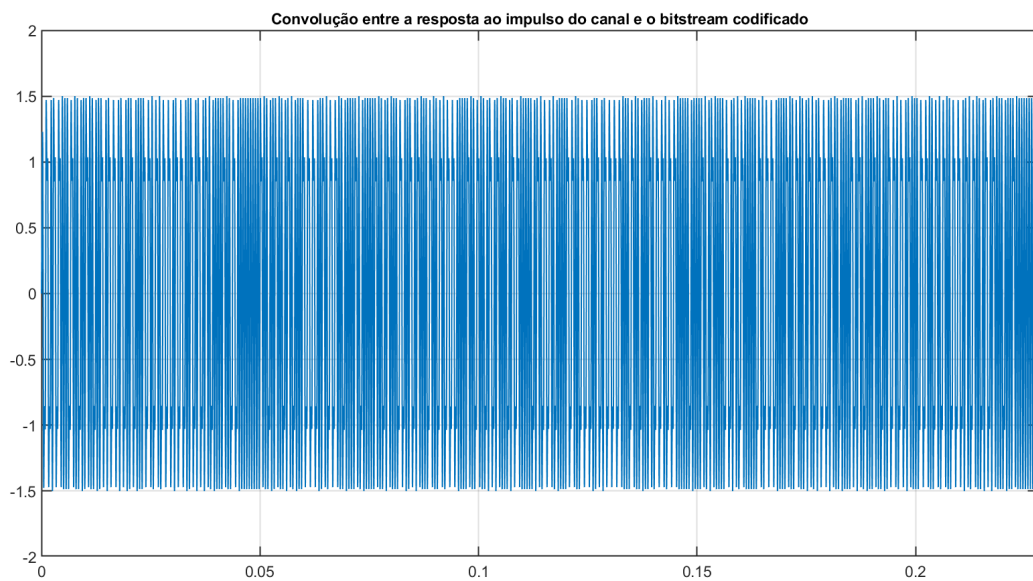


Figura 8: Forma de onda transmitida com 200 amostras.



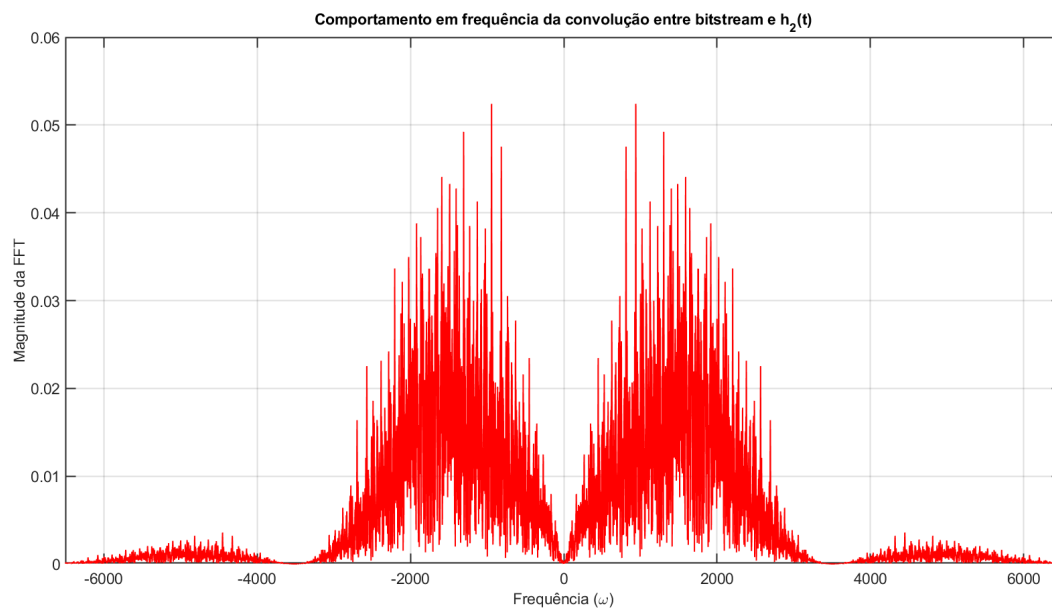


Figura 9: Espectro em frequência da forma de onda transmitida.

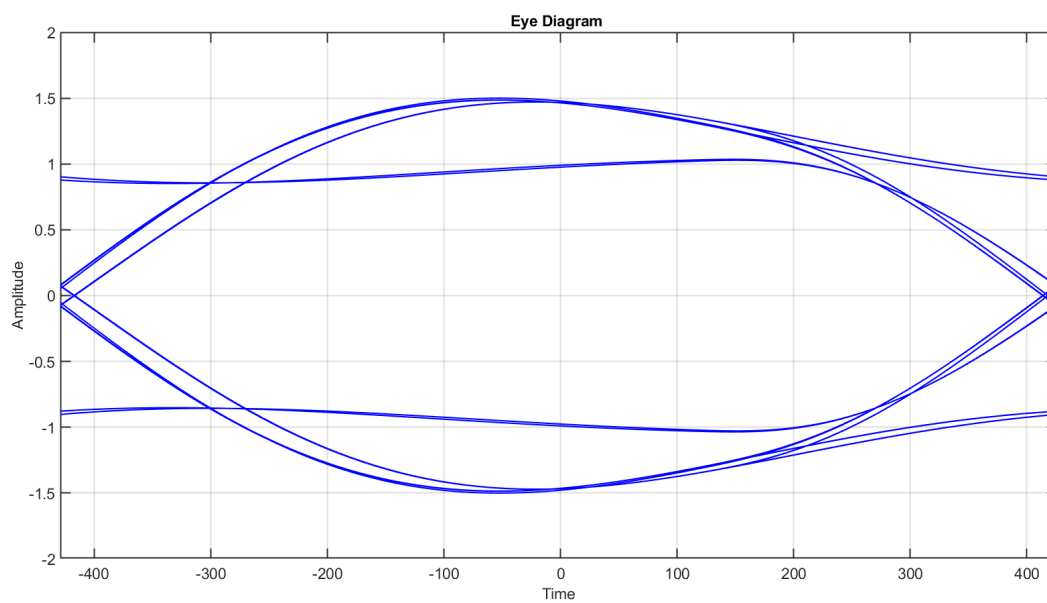


Figura 10: Diagrama de olho desconsiderando o primeiro ciclo.

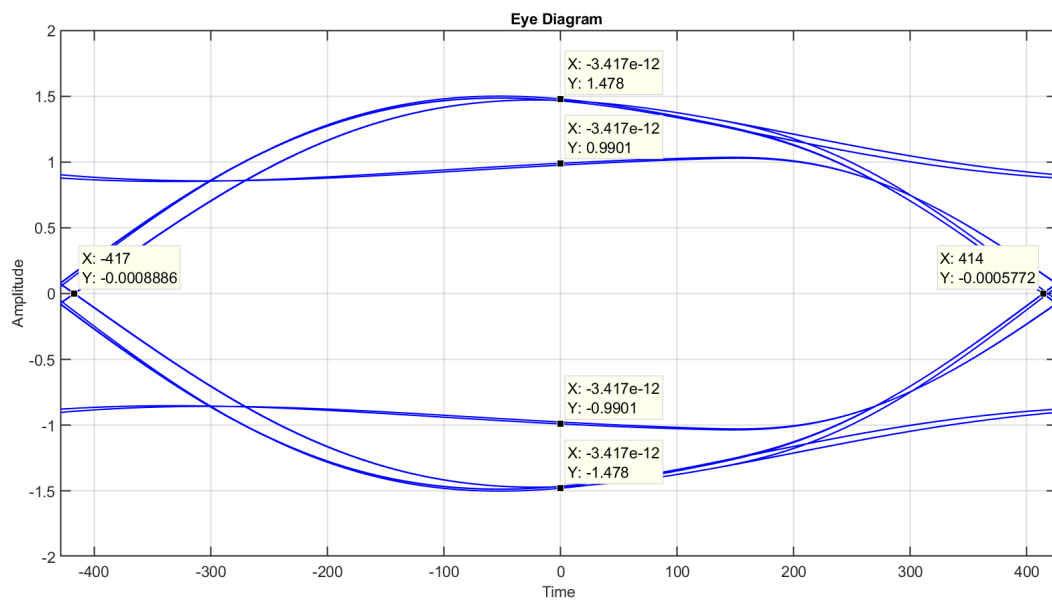


Figura 11: Diagrama de olho considerando a área de amostragem sem erro e instante de amostragem ótimo.