

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
Instituto de Informática  
Departamento de Informática Aplicada

INF01154 - Redes De Computadores

Relatório da Experiência n.1

Mairo Pedrini - 2285/01-8  
Paulo Sérgio Morandi Júnior - 2767/01-1  
30 de março de 2004

## 1 Introdução

O objetivo do experimento é a obtenção e manipulação de expressões analíticas que definam a capacidade e eficiência de um canal, além da obtenção de curvas de desempenho de canais em função de seus parâmetros físicos. Outro objetivo do experimento era determinar a banda passante  $B$  de uma linha de comunicação através de simulações da mesma, além de verificar a capacidade máxima de um canal (teorema de Nyquist). Também foi abordada a representação gráfica do Teorema de Nyquist em função do número de bits associados aos símbolos elétricos. O circuito simulado encontra-se na figura 1.

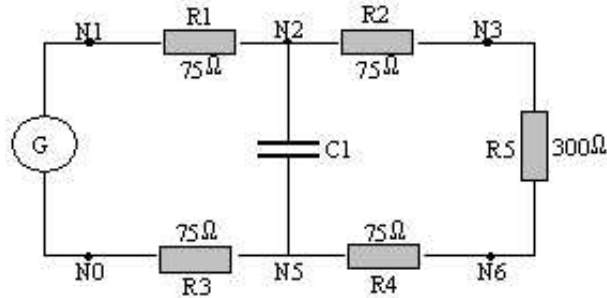


Figura 1: Circuito simulado no Spice

## 2 Experimento

Foram observados na saída da linha os seguintes gráficos:

- Gráfico inicial, onde foi rodado diretamente o *script*, sem alteração dos parâmetros. Figura 6
- Gráfico onde considerou-se um período de  $10\mu s$ , o que resultou que não é possível identificar na saída quem é sinal zero, e quem é sinal um lógicos. Figura 7
- Gráfico da situação limite, onde o sinal na linha de saída ainda consegue estabilizar-se. Figura 8

Para encontrar a frequência máxima no experimento, primeiramente definimos dois limites de tensão: a maior tensão que ainda representaria um 0 binário e a menor tensão que já seria considerada como 1 binário. A escolha destas tensões, no experimento, foi um tanto arbitrária. Definimos que até cerca de 10% da tensão máxima na saída ainda seria considerado 0, e a partir de 90

Embora o modelo utilizado apresente os valores de capacitância e resistência de uma linha real, conforme a especificação do trabalho, não existe nenhum

dado referente a ruído. Considerações sobre o ruído na linha poderiam afetar grandemente a escolha da frequência máxima, bem como a escolha das faixas de tensão referentes ao 0 e 1 binário.

A extensão do modelo para uma distância arbitrária não é tão simples. Os valores de resistência e capacitância da linha não são diretamente proporcionais a distância. Também não basta replicar o modelo, pois isso não representa a realidade da linha de comunicação.

Se fixamos que a linha é a simulada no experimento, não há como aumentar a taxa de transferência sem alterar os limites de tensão reconhecidos. Sendo assim, a frequência máxima e taxa de sinalização não podem ser aumentados. Entretanto, ainda ficamos livres para alterar a codificação dos dados (introduzindo mais níveis de tensão, por exemplo). Assim, para cada símbolo elétrico, teríamos mais do que apenas um bit associado e, assim, aumentaríamos a taxa de transmissão deste canal.

### 3 Respostas dos Exercícios

#### 3.1 Questão 1

Curva obtida à partir da equação  $R = \log_2 N R_s$ , fazendo  $y = \log_2 x$ , pode ser observada na figura 2. Podemos observar que a relação  $R/R_s$  cresce de forma logaritma em relação a  $N$ .

#### 3.2 Questão 2

Com uma portadora de 1800Hz, temos 1800 ciclos por segundo. Se cada ciclo corresponde a um símbolo, temos que este sistema possui uma taxa de 1800 símbolos por segundo (1800 Baud). Como a modulação em questão possui 16 símbolos, temos que cada símbolo consegue representar 4 bits de informação. Logo, transmitindo a 1800 Baud, temos uma taxa de transferência de  $1800 \times 4$  bits/s, ou seja, 7200 bits/s. Ainda, como transmitimos 1800 símbolos a cada segundo, temos que cada símbolo leva  $1/1800$  segundos, ou cerca de 0,56ms. Seguindo o mesmo raciocínio, transmitimos 7200 bits/s, o que nos dá 1 bit a cada  $1/7200$  s, ou seja, 1 bit a cada 0,139ms (aproximadamente).

#### 3.3 Questão 3

O gráfico pode ser observado em 3. Podemos perceber que através da curva que para aumentarmos a velocidade de transmissão do canal devemos aumentar muito o número de símbolos, o que na prática pode ser inviável.

#### 3.4 Questão 4

- a) Considerando  $T = 12h = 43200$  s,  $n_{\text{blocos}} = 34296$ , temos que a taxa média de transmissão:  $R_m = \frac{1}{43200} \sum_1^{n_{\text{blocos}}} 528 = \frac{528 \times 34296}{43200} = 419,17$  bits/s.

A taxa efetiva de informação:  $R_{inf} = \frac{1}{43200} \sum_1^{n_{blocos}} [528 - (16 + 16)] = \frac{496 \times 34296}{43200} = 393,77 \text{ bits/s}$ .

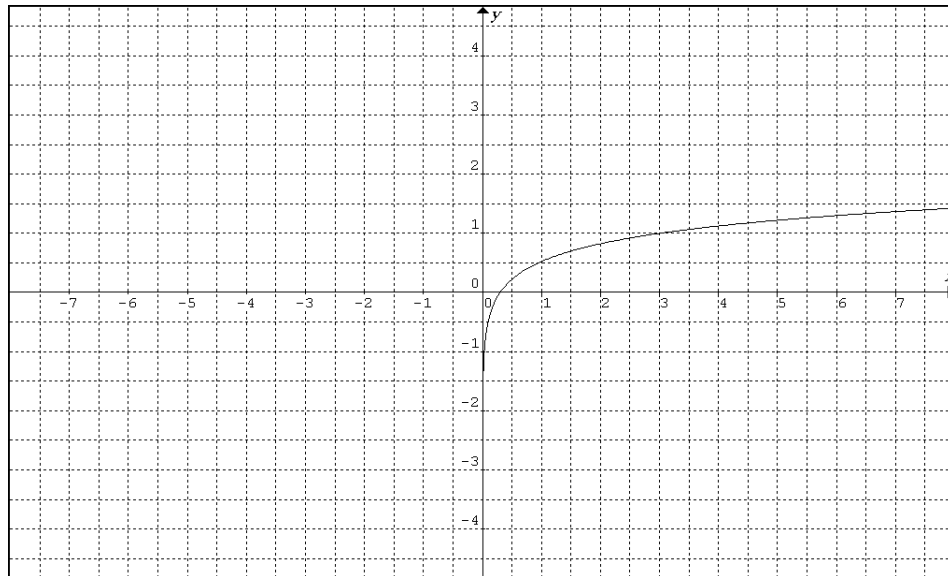
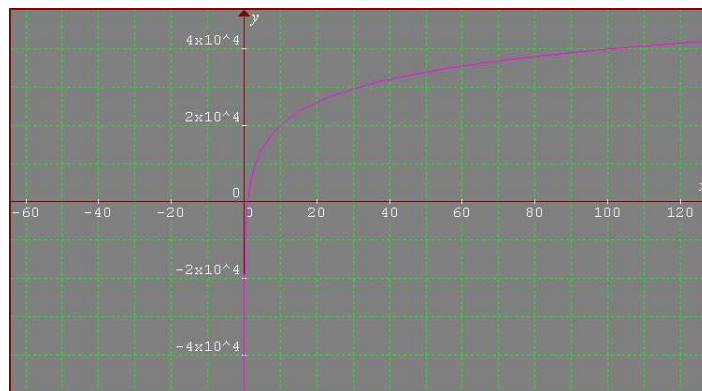
- b) Utilização média do canal  $= 419,17/4000 \times 100 = 10,48 \%$
- c) Dado o tempo de transmissão de um bloco ( $t_{bloco} = 4000/528 = 0,132 \text{ s}$ ), o número de blocos ( $n_{blocos} = 34296$ ), o tempo entre o término de um bloco e o início do próximo ( $t_{entre}$ ) e o tempo total da transmissão ( $T = 12h = 43200$ ), logo, o tempo total de transmissão é dado pela fórmula:  $T = (t_{bloco} + t_{entre}) \times n_{blocos} - t_{entre}$ . Isolando,  $t_{entre} = \frac{T - t_{bloco} \times n_{blocos}}{n_{blocos} - 1}$ , ou seja,  $t_{entre} = \frac{43200 - 0,132 \times 34296}{34295} = 1,128 \text{ s}$

### 3.5 Questão 5

- a) O gráfico pode ser visualizado na figura 4, onde  $y = x \log_2 (1 + S/N)$ . Tomando uma largura de banda de 4kHz, encontrou-se no gráfico a capacidade máxima de um canal de voz telefônico para os seguintes casos:
- Para um ruído de 90dB,  $C_T \approx 120000 \text{ bits/s}$ .
  - Para um ruído de 50dB,  $C_T \approx 66400 \text{ bits/s}$ .
  - Para um ruído de 30dB,  $C_T \approx 39900 \text{ bits/s}$ .
  - Para um ruído de 10dB,  $C_T \approx 13800 \text{ bits/s}$ .
- b) Os gráficos podem ser visualizados na figura 5, onde  $y = \log_2 (1 + S/N)$ . Podemos observar que a relação  $C_T/B$  cresce de forma logatmica em relação a relação  $S/N$  (sinal/ruído), ou seja, quanto maior a relação sinal/ruído, maior será a capacidade de transmissão do meio.

## 4 Conclusões

Os experimentos realizados no laboratório contribuíram para a fixação do conteúdo das aulas teóricas. Foi possível também perceber a importância de realizarmos uma análise das equações e das teorias envolvidas, em situações ideais, bem como estruturarmos bem o problema para evitarmos a tentativa de achar dados concretos, como a frequência máxima no canal, de maneira "aleatória".

Figura 2:  $R/R_s \times N$ Figura 3:  $C \times N$

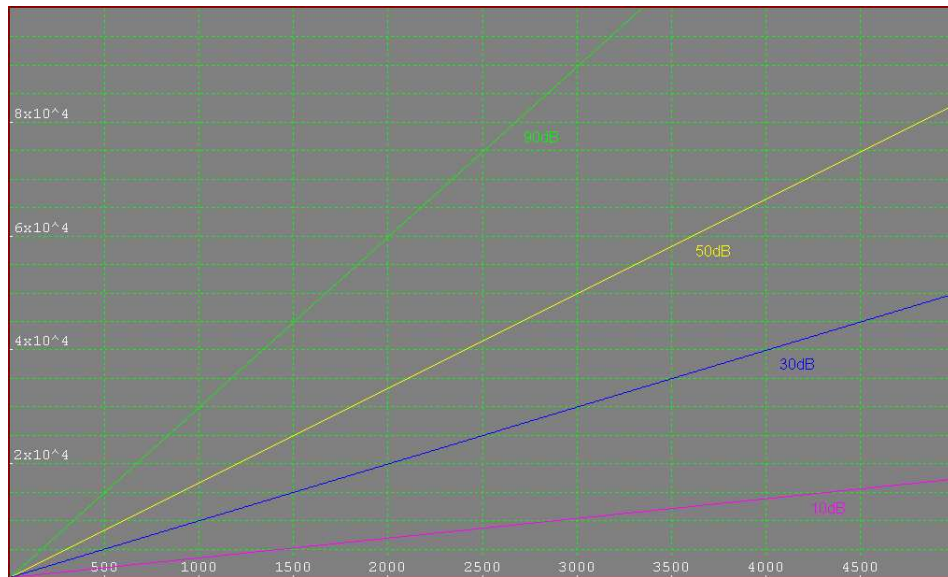


Figura 4:  $C_T \times B \log_2(1 + S/N)$

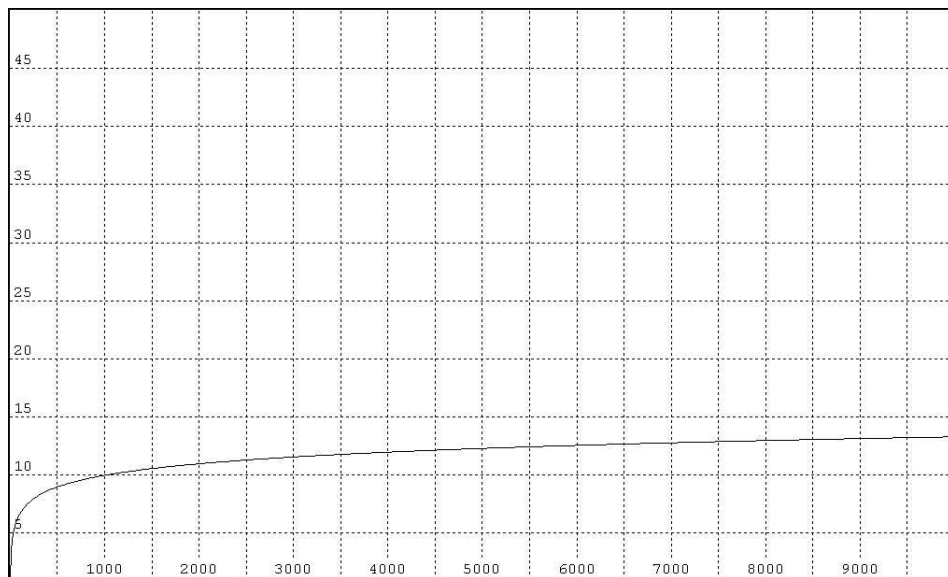


Figura 5:  $C_T/B \times \log_2(1 + S/N)$

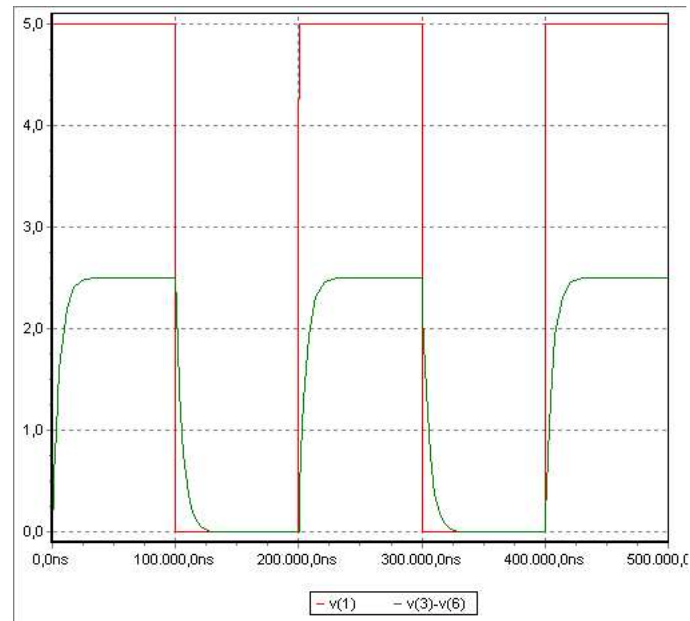


Figura 6: Gráfico inicial gerado no Spice

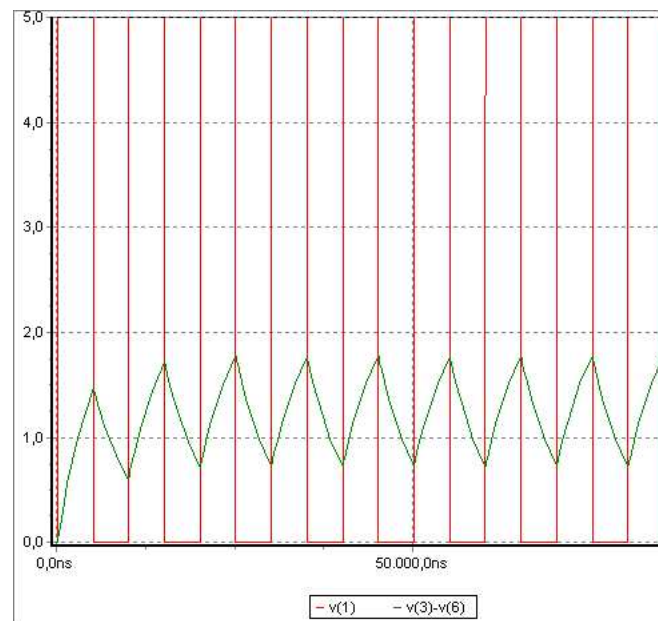


Figura 7: Gráfico 2

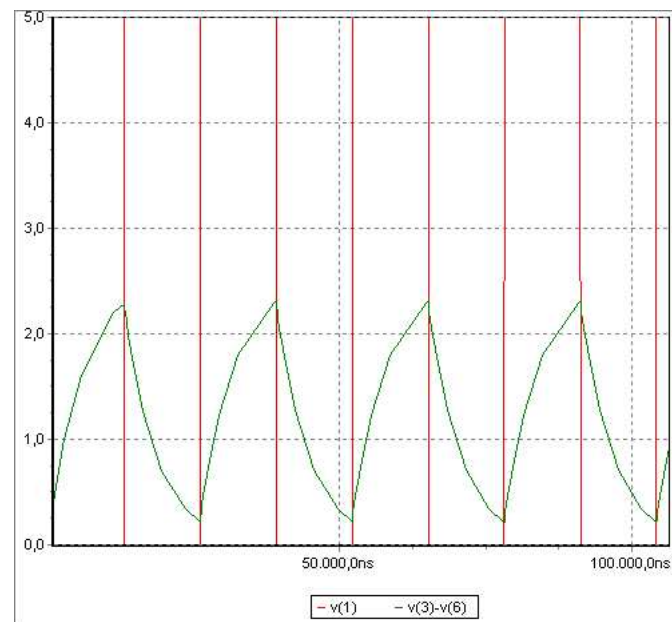


Figura 8: Gráfico da situação limite