

**INSTITUTO
FEDERAL**
Santa Catarina

Câmpus
São José

Relatório 4

Modulação e demodulação utilizando a codificação 16-QAM

Curso: Engenharia de Telecomunicações
Disciplina: COM29007 - Sistemas de Comunicação 1
Professor: Mario de Noronha Neto

Aluno

João Pedro Menegali Salvan Bitencourt

27 de novembro de 2023

Sumário

Introdução	2
Fundamentação Teórica	2
Gráficos gerados	3
Conclusão	8

Introdução

Neste documento será apresentado todo o processo de modulação e demodulação utilizando a codificação 16-QAM. As etapas do processo serão ilustradas através de gráficos que mostram o que acontece com o sinal conforme o mesmo sofre o processo de modulação e demodulação.

Fundamentação Teórica

O 16-QAM é um esquema de modulação digital que utiliza 16 símbolos para representar 4 bits de dados. Cada símbolo é representado por uma amplitude e fase, que são utilizadas para modular um sinal portador.

Na modulação AM tradicional, é necessário uma largura de banda $2f_b$ Hz, cujo f_b é a largura de banda do sinal modulante. Um dos objetivos da modulação em quadratura é ser mais eficiente em termos de largura de banda. Isso é realizado transmitindo-se dois sinais com largura de banda f_b Hz, ambos com a mesma frequência de portadora, porém defasados em 90° . Um dos sinais é um cosseno e o outro é um seno.

O modelo de transmissão e recepção do QAM opera em pares: $\{\cos(2\pi f_c t), \sin(2\pi f_c t)\}$ ou $\{\cos(2\pi f_c t), -\sin(2\pi f_c t)\}$

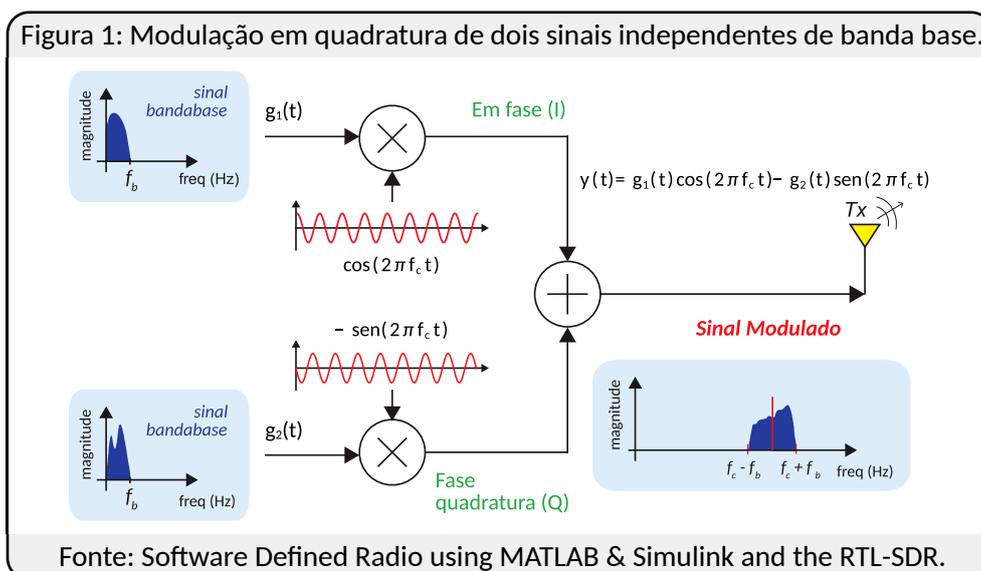
Convencionalmente, o canal do cosseno é chamado de “Em fase”, “I” ou “Real”, e o canal do seno é chamado de “Em quadratura”, “Q” ou “Imaginário”. O nome quadratura vem do fato do sinal “-seno” ser um quadrante, 90° ou $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ radianos, adiantado em relação ao sinal cosseno, portanto:

$$-\sin(2\pi f_c t) = \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Ao final do processo, o transmissor produzirá o seguinte sinal:

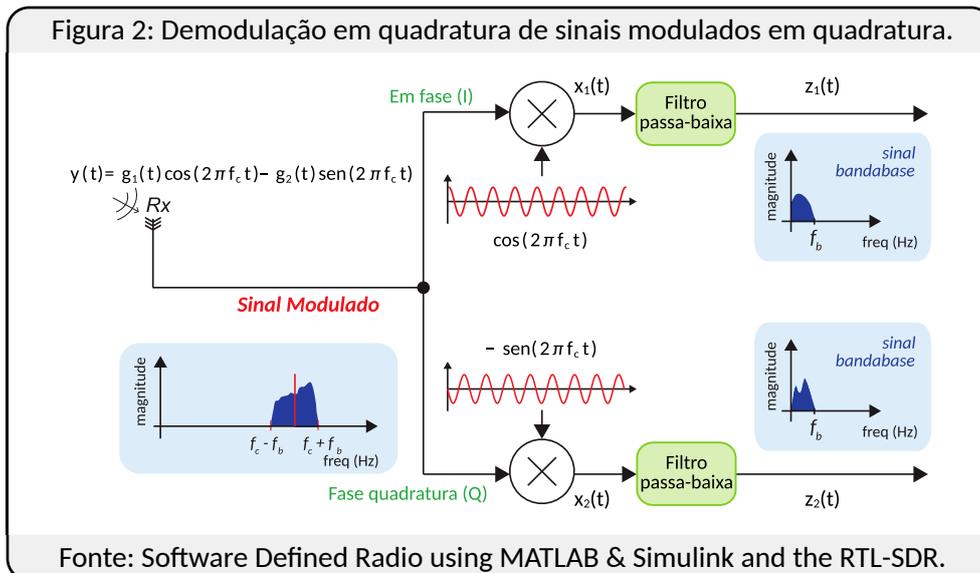
$$y(t) = g_1(t) \cos(2\pi f_c t) - g_2(t) \sin(2\pi f_c t)$$

Na figura abaixo, é mostrado o processo de transmissão:



No processo de recepção, o sinal multiplexado precisa ser separado nas componentes de fase e quadratura. Para obter a componente em fase, $y(t)$ é multiplicado por $\cos(2\pi f_c t)$ e, para obter a componente em quadratura, $y(t)$ é multiplicado por $-\sin(2\pi f_c t)$. Cada sinal resultante passa pelo seu respectivo filtro passa-baixa, cuja saída são os dois sinais com amplitude escalonada em 0,5.

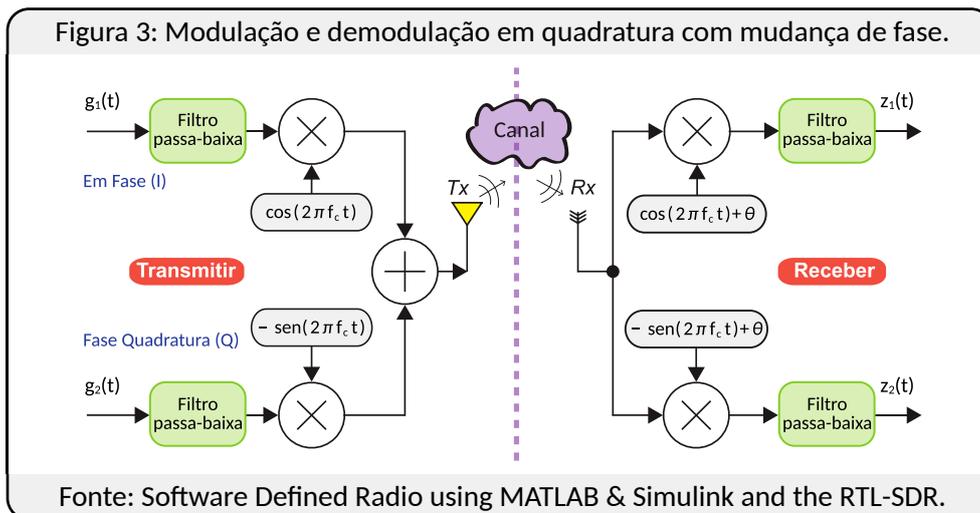
Figura 2: Demodulação em quadratura de sinais modulados em quadratura.



Na Fig. 2, é mostrada a etapa até o processo de filtragem. Os sinais $z_1(t)$ e $z_2(t)$ ainda passarão pelas etapas de detecção e decisão que permitirá gerar o sinal complexo, que será demodulado para símbolos e, por fim, a informação será recuperada.

Abaixo, é ilustrado ambos os processos de modulação e demodulação:

Figura 3: Modulação e demodulação em quadratura com mudança de fase.



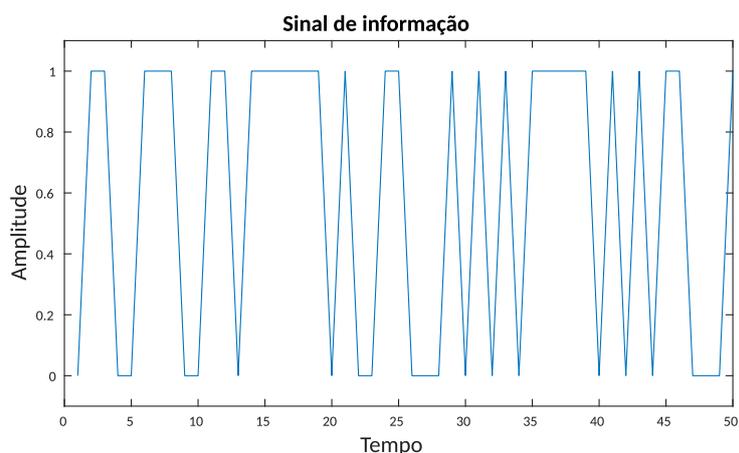
Gráficos gerados

Inicialmente, foi gerada uma informação aleatória. Sendo a quantidade de símbolos da modulação igual a 16, a quantidade de bits foi obtida com:

$$k = \log_2(M) = \log_2(16) = 4$$

Com isso, k foi escalado em 100 mil bits, totalizando 400 mil bits transmitidos. Dessa forma, foi gerado um sinal de informação aleatório que foi formatada e os bits convertidos em símbolos. O sinal possui amplitudes 0 e 1. Na figura abaixo é mostrado um trecho inicial do sinal de informação gerado e que deverá ser recuperado na etapa de recepção.

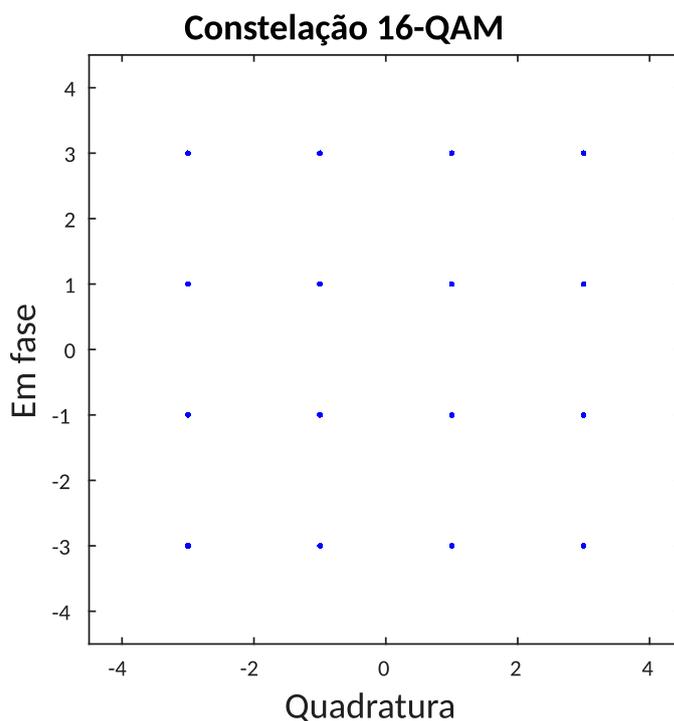
Figura 4: Trecho do sinal de informação aleatória gerado.



Fonte: Próprio autor.

Na sequência, o sinal passou pelo processo de modulação 16-QAM e foi transmitido. Na figura abaixo é possível visualizar os 16 símbolos do 16-QAM gerado a partir da informação, que são representados por pontos no plano complexo. Cada ponto possui uma amplitude e fase, que são utilizadas para modular um sinal portador.

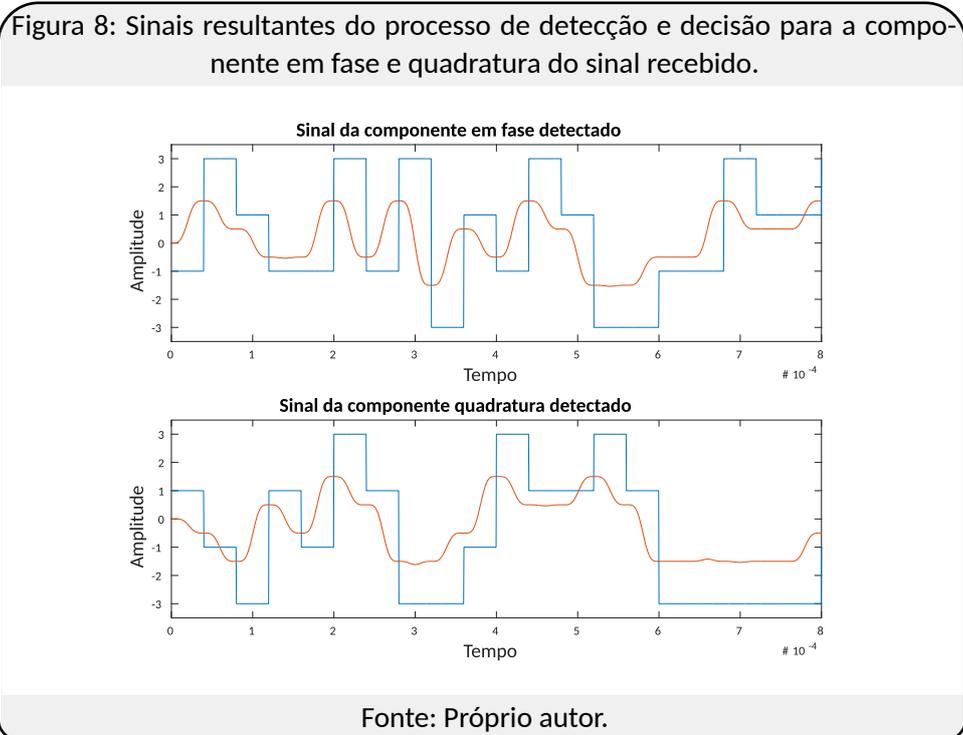
Figura 5: Constelação 16-QAM obtida a partir do sinal de informação modulado.



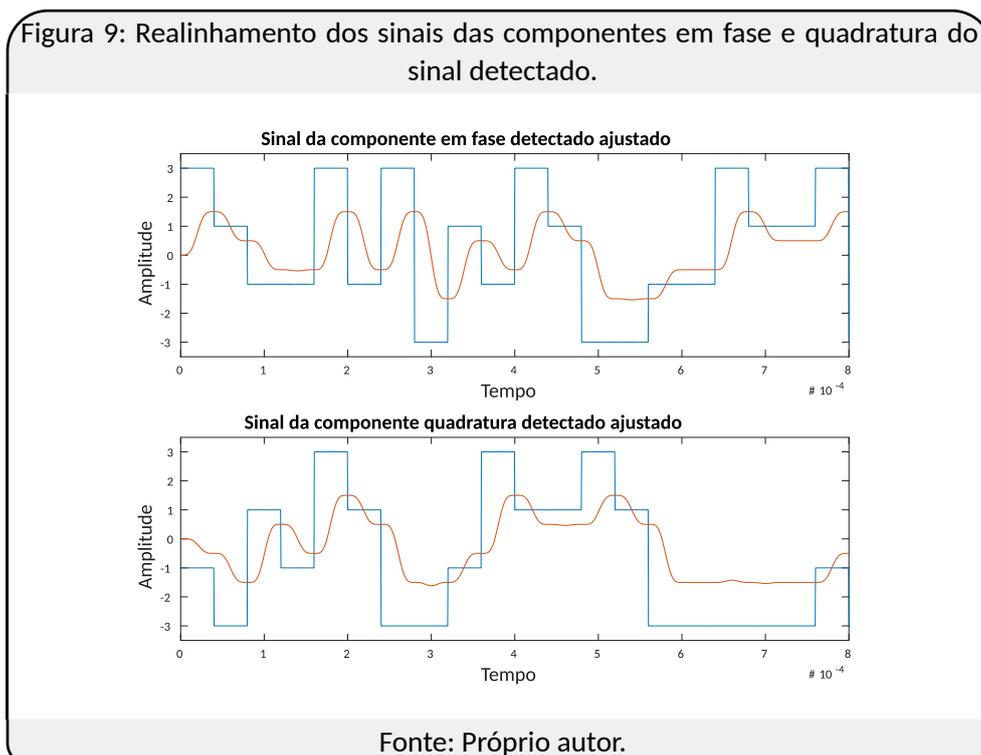
Fonte: Próprio autor.

Na Fig. 5, é possível visualizar os 16 símbolos do 16-QAM gerado a partir da informação, que são representados por pontos no plano complexo. Cada ponto possui uma amplitude e fase, que são utilizadas para modular um sinal portador. Neste experimento, o período de bit foi definido em 100 amostras por bit. Essa superamostragem foi realizada com a função `upsample` do MATLAB.

- Caso o nível de amplitude estivesse entre 2 e 1, o símbolo seria 3;
- Caso o nível de amplitude estivesse entre 1 e 0, o símbolo seria 1;
- Caso o nível de amplitude estivesse entre 0 e -1, o símbolo seria 1;
- Caso o nível de amplitude estivesse entre -1 e -2, o símbolo seria -3.



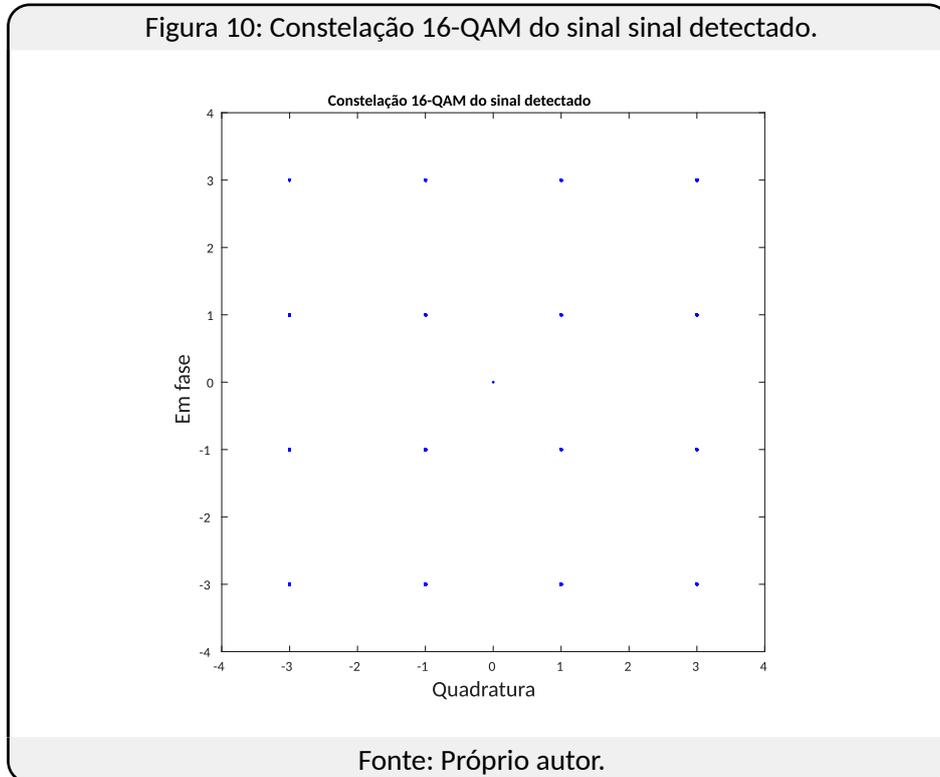
Na Fig. 8, é possível visualizar os sinais resultantes do processo de detecção e decisão para as componentes em fase e quadratura do sinal recebido. Na sequência, foi realizado o processo de realinhamento desses sinais de forma que seja possível obter o sinal 16-QAM original para que a demodulação possa ser realizada.



Com o realinhamento realizado, as componentes de fase e quadratura foram utilizadas para reconstruir o sinal modulado 16-QAM, que possui componentes reais e complexas. A partir do sinal modulado, é possível verificar como ficou a constelação 16-QAM do sinal recebido.

Nas Figs. 8 e 9, os sinais mostrados foram superamostrados novamente na mesma escala de 100 bits por amostra para facilitar a visualização.

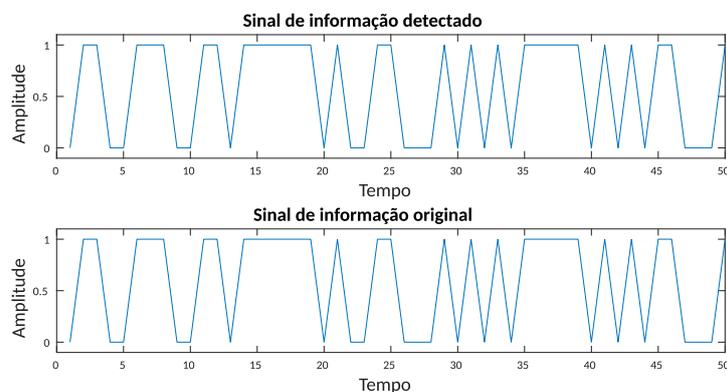
Figura 10: Constelação 16-QAM do sinal detectado.



Na Fig. 10 é mostrada a constelação 16-QAM obtida a partir do sinal que foi reconstruído a partir das componentes de fase e quadratura realinhadas. É possível notar semelhança com a Fig. 2, entretanto, como processo de filtragem não é ideal, a constelação mostrada possui ruídos.

Por fim, o sinal 16-QAM foi demodulado e a informação foi recuperada. Na figura abaixo é possível visualizar um trecho inicial da informação original em comparação com o que se conseguiu recuperar.

Figura 11: Comparativo entre o sinal de informação original e o sinal demodulado a partir do sinal recebido.



Na Fig. 11 é possível notar que a informação recuperada é idêntica à original, o que mostra que o processo de transmissão e recepção foi realizado com sucesso. Entretanto, é possível que em outros trechos haja divergência em decorrência da filtragem não ideal realizada na etapa de recepção.

Conclusão

O experimento realizado permitiu compreender melhor a técnica da modulação digital 16-QAM. Utilizando a linguagem MATLAB, foi possível visualizar como o sinal é separado nas componentes de fase e quadratura, além de visualizar o formato do sinal modulado que será transmitido.

Na etapa de recepção, foi possível ver o efeito da filtragem na forma e amplitude das componentes de fase e quadratura. Viu-se que o filtro passa-baixa reduz a amplitude pela metade e que isso deve ser levado em conta na etapa de decisão para que a detecção seja realizada corretamente.

Após o processo de detecção, o sinal foi programaticamente realinhado, ou seja, amostras iniciais foram descartadas para que o sinal pudesse ser reconstruído corretamente, já que é necessário que o par de componentes esteja coerente quando a demodulação for realizada.

As duas componentes de fase e quadratura foram então utilizadas para compor o sinal complexo, que foi demodulado e convertido de volta para o sinal de informação.