

Introdução à Neurociência Computacional

Lista de Exercícios 6

Paulo R. Sturion

26 de outubro de 2025

Todos os códigos escritos para produzir os resultados dos exercícios a seguir estão disponibilizados de forma clara e organizada no repositório Github:

<https://github.com/prsturion/intro-computational-neuroscience.git>

Questão 1:

(a) Escolha um intervalo de valores de I que vá de valores abaixo de I_L , a menor corrente capaz de produzir disparos (veja a Seção 3.1 das notas de aula “Modelos de neurônios de tipo integra-e-dispara”), até valores que façam a taxa de disparos do neurônio ficar em torno de 150, Hz. Faça uma varredura por valores de I dentro desse intervalo para gerar o gráfico da função $f-I$ do neurônio LIF. Apresente seu gráfico mostrando a curva $f-I$ obtida numericamente e a curva $f-I$ analítica deduzida nas notas de aula.

Resposta:

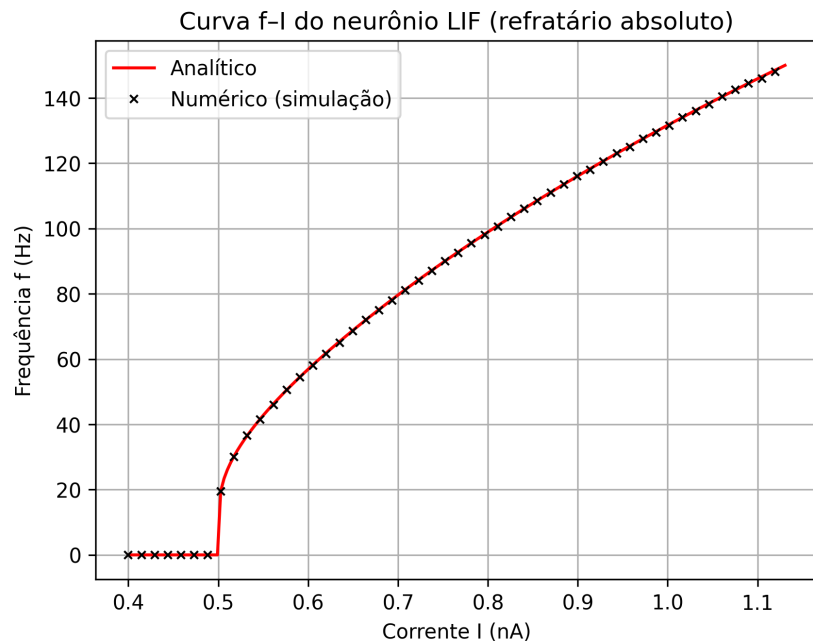


Figura 1: Curva f-I do modelo LIF numérica e analítica.

Questão 2:

(a) Faça o gráfico de f-I para o modelo com ruído para dois valores diferentes de σ . Para fazer isso, vá aumentando o valor de σ a partir de zero até notar que a curva f-I começa a ficar diferente da curva para $\sigma = 0$. Este será o seu primeiro valor de σ . Depois, continue aumentando σ até notar outra mudança significativa na curva f-I. Este será o seu segundo valor de σ . Apresente os gráficos de f-I para os dois valores de σ e explique o que é observado.

Resposta:

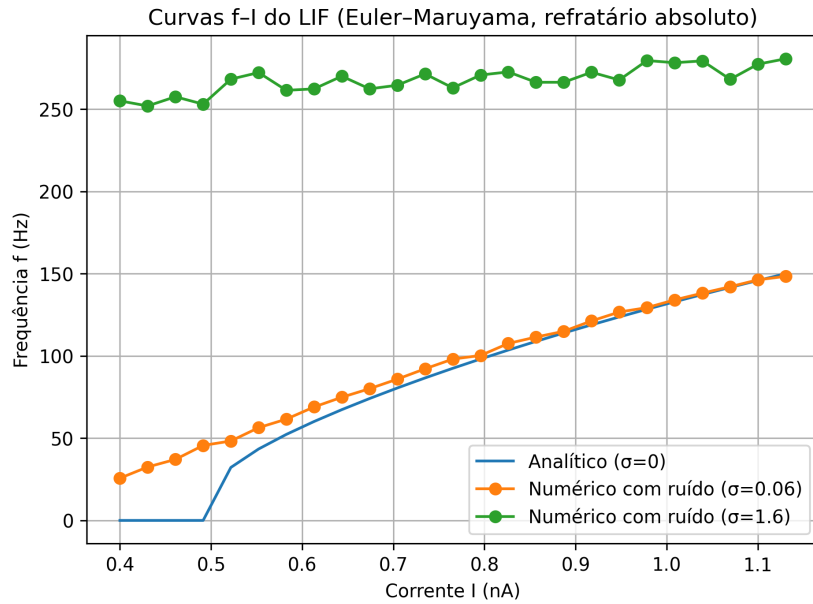


Figura 2: Curva f-I do modelo LIF com ruído de diferentes intensidades.

O primeiro efeito do aumento da intensidade do ruído é a antecipação do começo dos disparos; isto é, o neurônio tem frequência não nula para valores em que antes não tinha. O segundo efeito é o apagamento da dependência da frequência com a corrente, tornando-a uma praticamente uma constante ruidosa.

(b) Nos comentários relacionados à equação (8.8) de seu livro, Gerstner *et al.* dizem que, independentemente da amplitude do ruído, a trajetória da voltagem $V(t)$ para um dado valor de I torna-se suave quando $\Delta t \rightarrow 0$. Faça um estudo do efeito do tamanho do passo de tempo Δt sobre a “rugosidade” da trajetória sublimar de $V(t)$. Para isso, escolha um valor fixo de I que não seja suficiente para fazer que o neurônio sem ruído dispare (por exemplo, $I = 300$ pA) e gere diferentes trajetórias de $V(t)$ para um mesmo valor de σ (pode ser um dos dois valores que você usou no item anterior). Cada uma das trajetórias deve ser obtida integrando a equação (3) com um passo de tempo Δt cada vez menor (comece com o valor de Δt usado no item anterior e vá diminuindo por fatores de 10: $\Delta t/10$, $\Delta t/100$, ..., tente ir até o menor valor de Δt que você conseguir). Mostre todas as trajetórias obtidas em um mesmo gráfico, com uma cor diferente para cada traçado. O que você pode concluir de seu resultado?

Resposta:

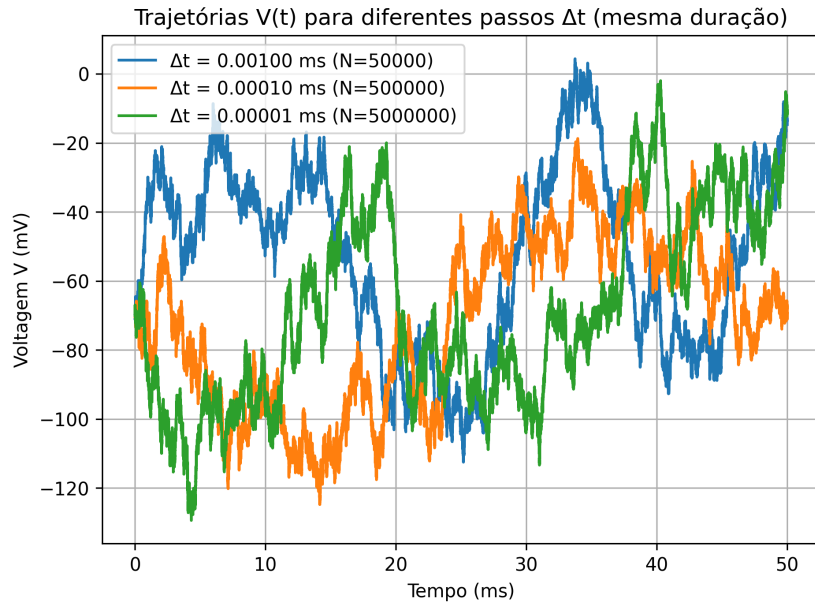


Figura 3: Trajetória de V do modelo LIF com ruído para diferentes valores de Δt .

Aparentemente não houve diferença de rugosidade nas trajetórias para diferentes Δt .

(c) A irregularidade do trem de disparos de um neurônio pode ser quantificada de diferentes maneiras. Uma delas é pelo coeficiente de variação dos intervalos entre disparos, CV_{ISI} , definido como o desvio padrão dos ISIs dividido pela média dos ISIs. Para um neurônio hipotético cujos disparos seguem um processo de Poisson homogêneo, pode-se mostrar que a distribuição dos intervalos entre disparos é exponencial e que $CV_{ISI} = 1$. Um neurônio desse tipo, chamado de neurônio *poissoniano*, é normalmente usado como controle para comparação com outros modelos de neurônios. Quanto mais próximo de 1 for o CV_{ISI} do modelo de neurônio, mais próximo ele estará de neurônio poissoniano e mais irregulares serão os seus disparos. Escolha um valor grande para a amplitude do ruído σ (por exemplo, o segundo valor do item (a)) e rode a simulação de seu modelo de neurônio com ruído por 2 s com dois valores diferentes de corrente constante I (e mesmo valor de σ): um acima de I_L (vamos chamá-lo de I_{acima}) e outro abaixo de I_L (vamos chamá-lo de I_{abaixo}), onde I_L é a corrente limiar para o caso sem ruído. Por exemplo, use $I_{acima} = 570 \text{ pA}$ e $I_{abaixo} = 430 \text{ pA}$. Gere gráficos para os dois casos como na Figura 5.21 do livro de Dayan e Abbott (pg. 190) citada nas referências da disciplina, no arquivo de roteiro (um pdf do livro foi colocado no Google Sala de Aula). Para cada caso, gere dois gráficos de $V \times t$, um em cima do outro. Coloque no gráfico superior a curva de $V(t)$ sem considerar que o neurônio emite disparos quando a curva cruza o limiar (meca-

nismo de geração de disparos “desligado”); represente também neste gráfico o limiar de disparo por uma linha horizontal traçada. No gráfico inferior, plote a curva de $V(t)$ usual (com o mecanismo de geração de disparos “ligado”), isto é, com os disparos postos à mão quando a voltagem atinge ou ultrapassa o limiar vindo de baixo. Use as mesmas escalas (aquelas que mostram os disparos) para ambos os gráficos. Faça isso para os dois casos e, a partir deles, os ISIs respectivos. Tendo os ISIs, calcule o valor médio e o desvio padrão e obtenha o CV_{ISI} para cada caso. Como se comportam? Em qual dos dois casos os disparos do neurônio são mais regulares? Explique o porquê da diferença observada (para isso, será útil ler a Seção *Regular and Irregular Firing Models* do livro de Dayan e Abbott (pgs. 189–191). Nota: dependendo do valor de σ usado, os disparos podem não ficar exatamente como na Figura 5.21 do livro de Dayan e Abbott. Tente gerar gráficos mais ou menos parecidos com os da Figura 5.21 do livro de Dayan e Abbott.

Resposta:

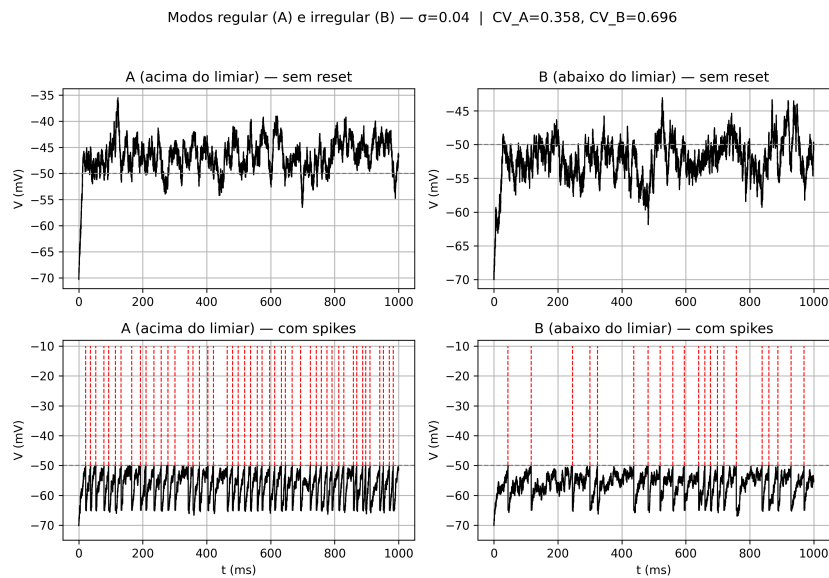


Figura 4: Trem de disparos regular e irregular do modelo LIF com ruído devido a diferentes correntes aplicadas.

No caso A os disparos parecem ser menos aleatórios e mais consistentes, enquanto no caso B parece imprevisível. O valor de CV para cada caso está na figura. O CV no caso B é praticamente o dobro, indicando alta irregularidade; compatível com o que observamos qualitativamente na figura. Este fenômeno acontece porque, para a corrente acima do limiar, o efeito do ruído em V fica quase todo acima do limiar, e acaba não influenciando no tempo de disparo: o comportamento pode ser aproximado por uma corrente constante acima do

limiar; e no caso em que a corrente está abaixo do limiar, o ruído tem forte influência em quando V vai superar o limiar, refletindo sua característica estocástica nos instantes irregulares que o neurônio dispara.

Questão 3:

(a) Simule o modelo de neurônio por 1,5 s com um pulso de corrente $I = 501$ pA aplicado de $t = 0,5$ s a $t = 1,0$ s. Coloque os seus resultados em uma figura composta por três gráficos, um dando a corrente aplicada I em função do tempo, outro dando o potencial de membrana V em função do tempo, e o terceiro dando a condutância de adaptação G_a em função do tempo. Faça com que os gráficos fiquem um em cima do outro para facilitar a comparação.

Resposta:

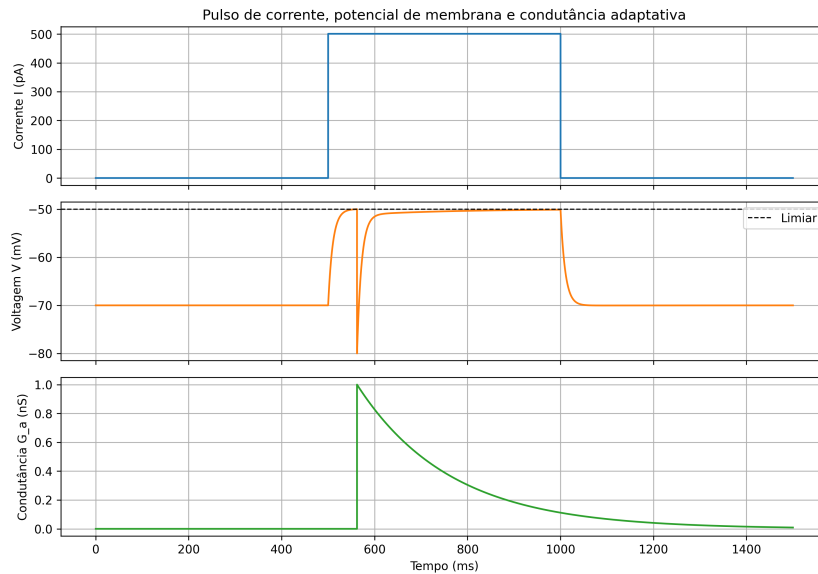


Figura 5: Dinâmica do modelo LIF com corrente adaptativa.

(b) Agora simule o modelo por 5 s usando diferentes valores de corrente injetada constante I , indo de $I = 400$ pA a $I = 800$ pA em incrementos de 20 pA. Para cada corrente aplicada, calcule o primeiro intervalo entre disparos ($T_1 = t_2 - t_1$ na notação das notas de aula) e o intervalo entre disparos do regime estacionário (isto é, depois do período transiente) T_∞ . Faça um gráfico mostrando as curvas f - I obtidas pelo inverso de T_1 (f_1) e pelo inverso de T_∞ (f_∞), representadas por símbolos ou cores diferentes. O modelo simulado é de tipo I ou de tipo II?

Resposta:

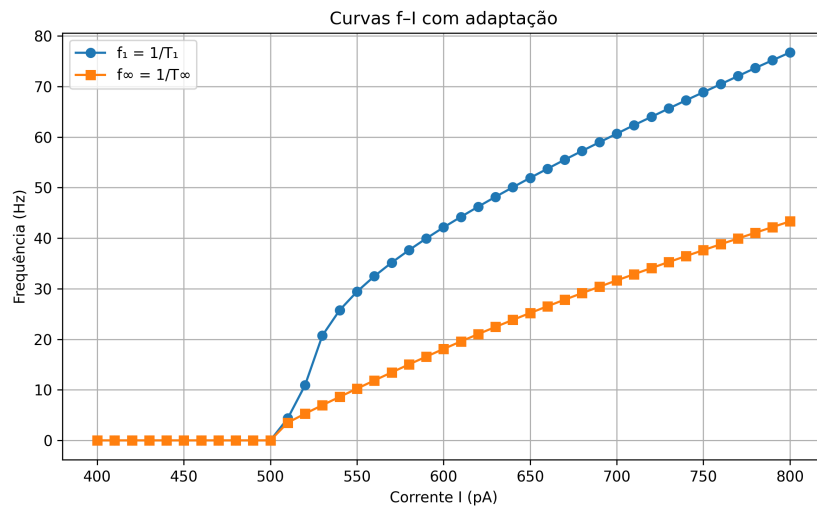


Figura 6: Curvas f-I do modelo LIF com corrente adaptativa.

O modelo aparenta ser de tipo I, apesar de a curva obtida por T_1 ter um comportamento esquisito perto da corrente de reobase.