

Introdução à Neurociência Computacional

Lista de Exercícios 3

Paulo R. Sturion

September 21, 2025

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

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

Questão 1. Corrente A.

(a) Faça gráficos dos estados estacionários ($X_\infty(V)$) e das constantes de tempo ($\tau_X(V)$) *versus* V para as variáveis de *gating* do modelo de Connor e Stevens ($X = \{n, m, h, a, b\}$).

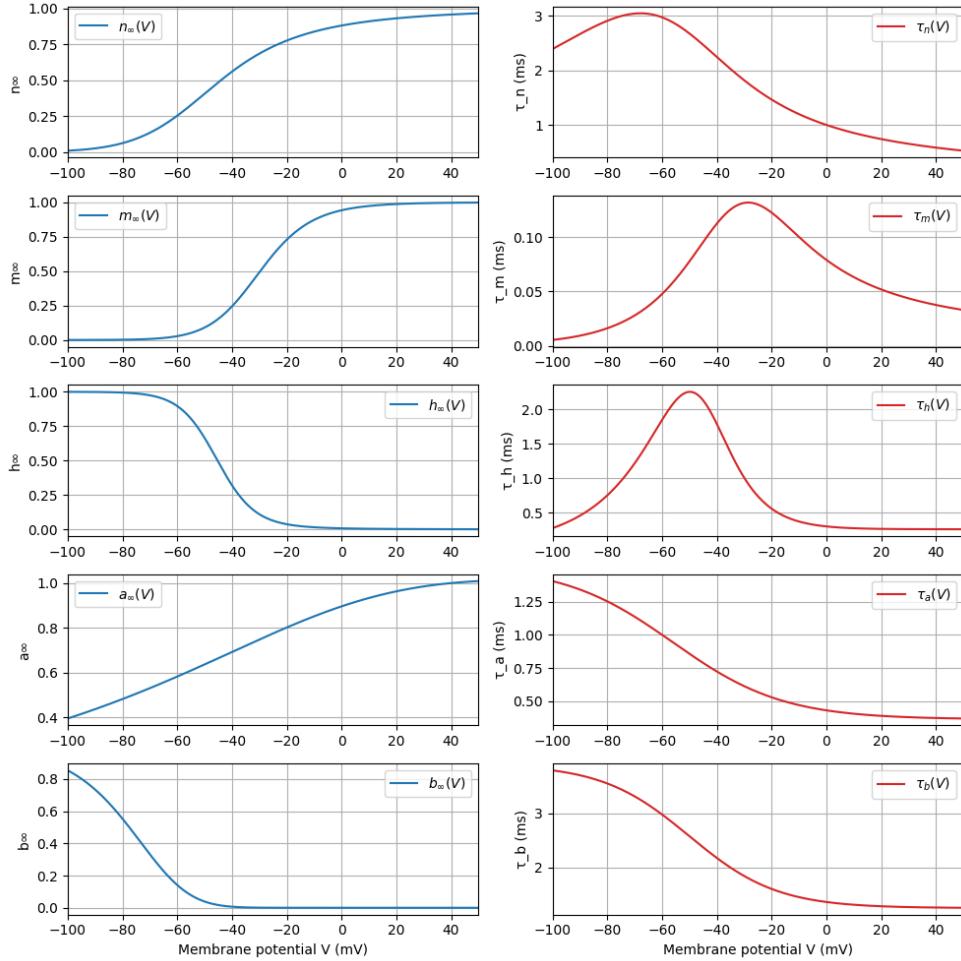
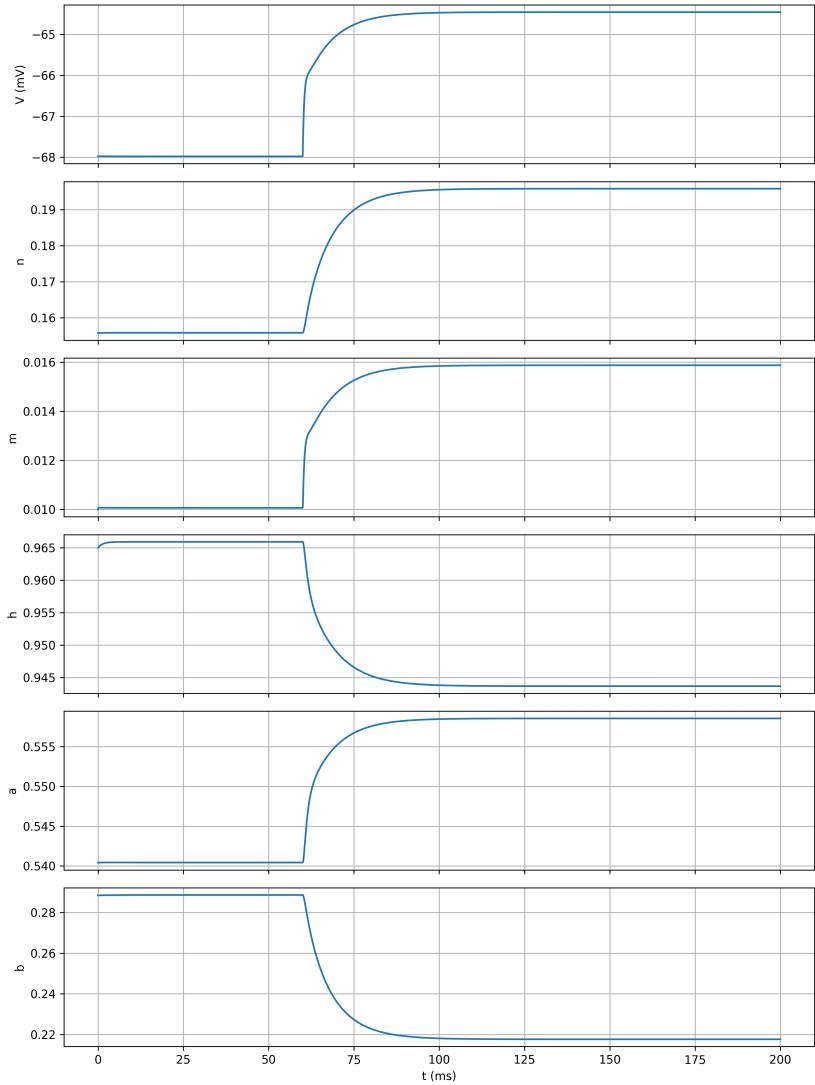


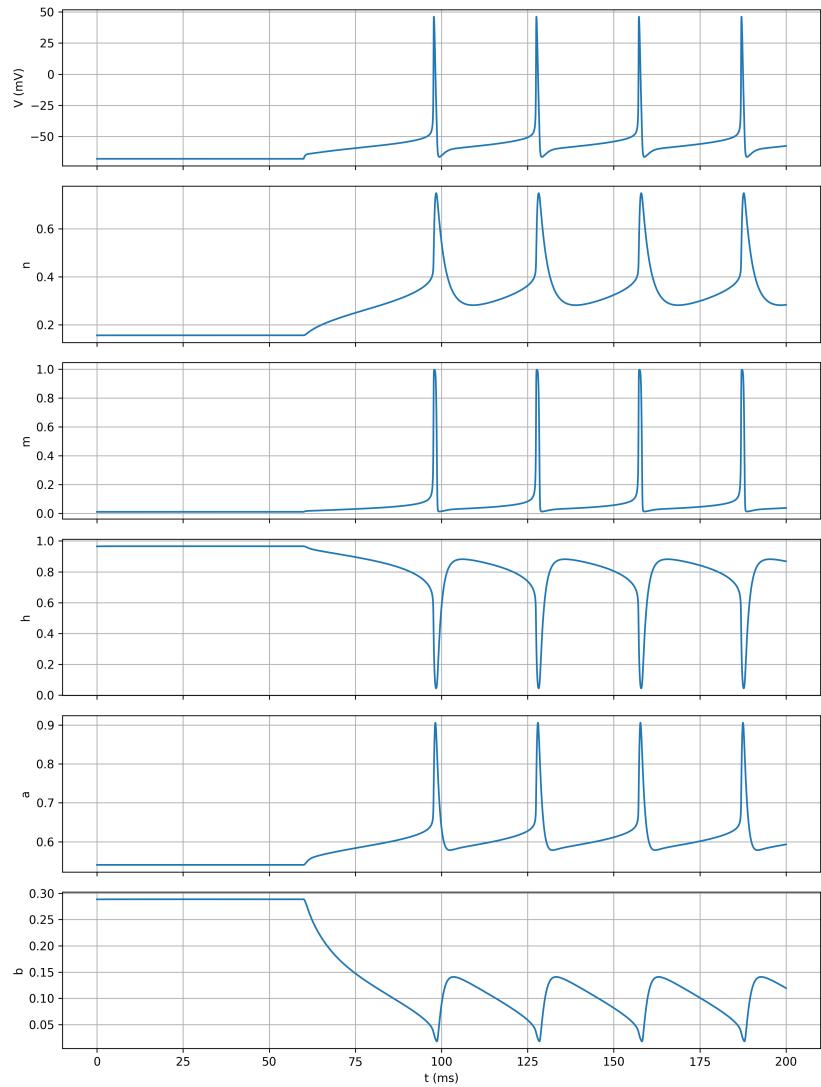
Figure 1: Graficos dos estados estacionários e das constantes de tempo das variáveis de *gating* em função de V .

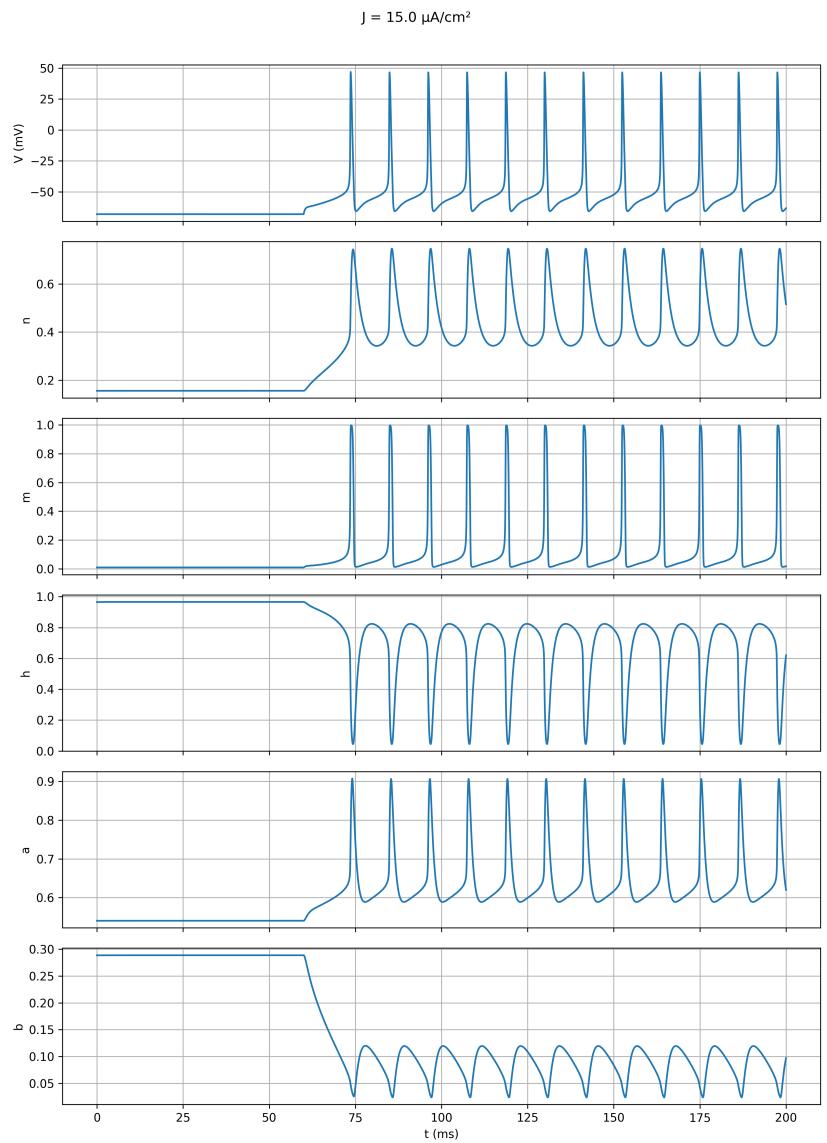
(b) Use as condições iniciais dadas por Ermentrout: $V(0) = -67,976$ mV; $n(0) = 0,1558$; $m(0) = 0,01$; $h(0) = 0,965$; $a(0) = 0,5404$; e $b(0) = 0,2885$. Resolva o sistema de EDOs do modelo de Connor e Stevens usando o método de Runge-Kutta de quarta ordem com passo de tempo de 0,01 ms. Simule as equações do modelo de Connor-Stevens por um período de 200 ms começando das condições iniciais dadas acima e em $t = 60$ ms injete uma densidade de corrente J pelos restantes 140 ms. Faça isso para quatro valores diferentes de J : 5, 10, 15 e 20 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Faça gráficos de V , n , m , h , a e b em função de t para essas quatro densidades de corrente injetada.

$J = 5.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$



$$J = 10.0 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$$





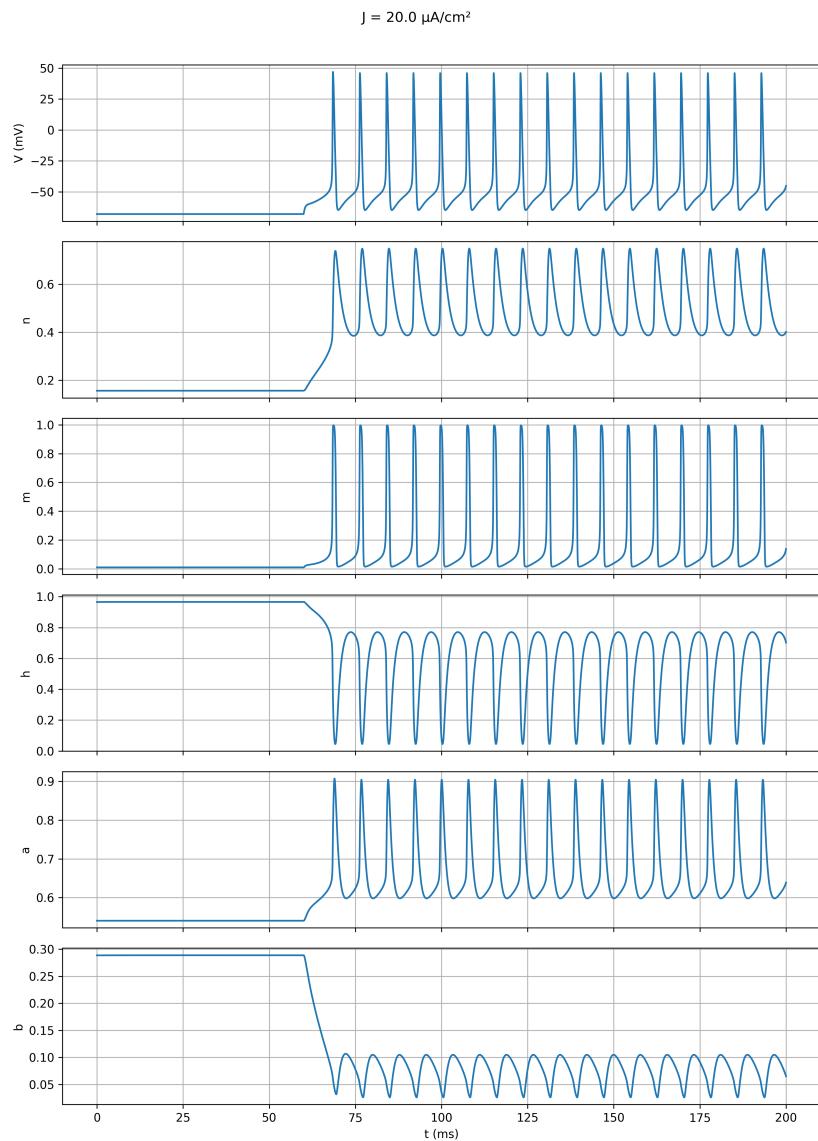


Figure 2: Sequência de gráficos para V e as variáveis de gating sujeitos a diferentes intensidades de corrente injetada.

(c) Calcule a taxa de disparos do modelo (dividindo o número de disparos pelos 140 ms de corrente aplicada) para densidades de corrente variando de 8 a $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ em passos de $0,2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ e produza um gráfico f-I com os valores obtidos. Como o gráfico f-I se compara com o gráfico f-I do modelo de Hodgkin-Huxley construído na primeira lista?

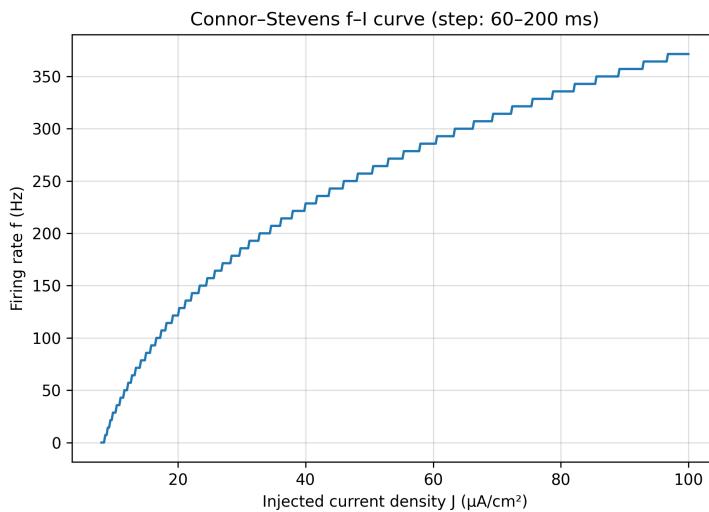


Figure 3: Curva f-I para o modelo de Connor-Stevens.

O formato da curva foi similar ao obtido para Hodgkin-Huxley, porém, os valores de f para um mesmo V foram consideravelmente maiores desta vez.

(d) Outra maneira de determinar a taxa de disparos de um neurônio em resposta a uma corrente é calculando o tempo entre o início do estímulo e o primeiro disparo do neurônio (chamado de *latência* do primeiro disparo). A taxa de disparos neste caso é dada pelo inverso da latência do primeiro disparo. Determine a curva f-I para o modelo de Connor-Stevens por esse método para as mesmas correntes usadas no item anterior.

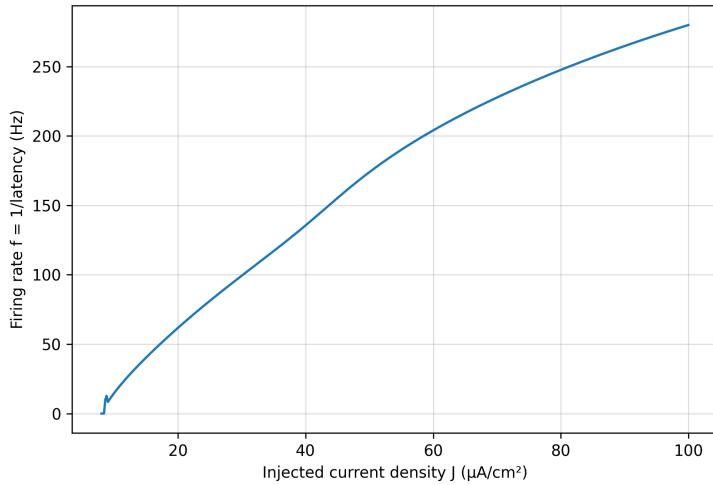


Figure 4: Curva f-I determinada através do tempo de latência do primeiro disparo.

(e) Em $t = 60$ ms, aplique uma densidade de corrente negativa igual a $J = -50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ por 5 ms (um pulso de corrente negativa) e, em seguida, aplique uma densidade de corrente constante positiva de $J = 20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ até o fim da simulação. Faça o gráfico de V versus t para esse caso.

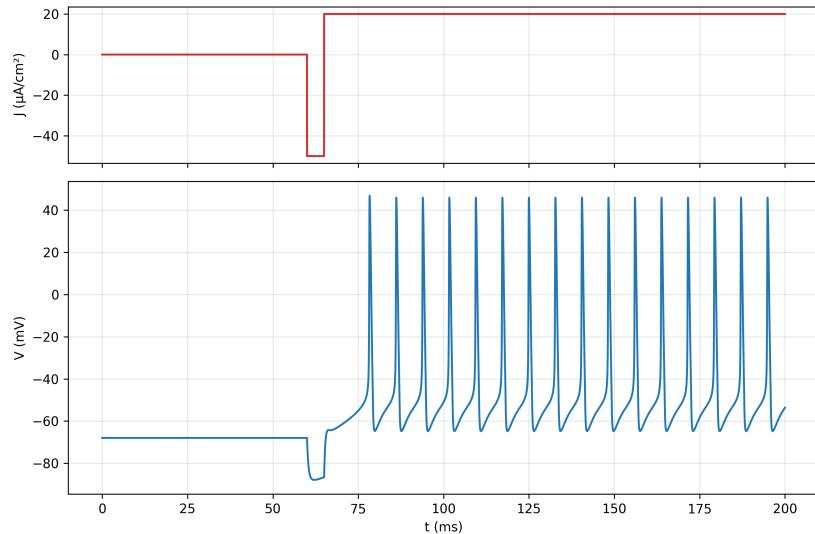


Figure 5: Comportamento de V sob corrente injetada conforme o enunciado.

(f) Multiplique o termo do lado direito da equação (6) para db/dt por 0,25 para

tornar a inativação da corrente A mais lenta. Injete uma densidade de corrente $J = 15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ e faça o gráfico de V versus t . Observe que agora a latência do primeiro disparo torna-se muito longa, mas o intervalo entre disparos é bem pequeno. Explique o motivo disso.

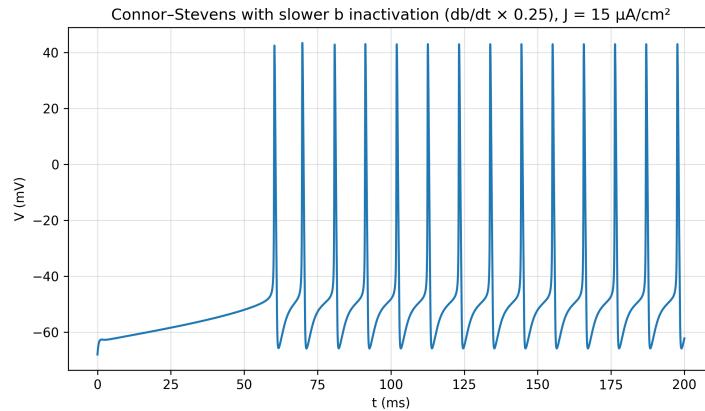


Figure 6: Comportamento de V para inativação lenta da corrente A.

A latência do primeiro disparo é muito maior neste caso pois a corrente A se opõe à despolarização, e com sua inativação mais lenta, ela persiste por mais tempo dificultando o inicio do potencial de ação.

Questão 2. Corrente de cálcio de tipo T.

(a) Faça um programa que simule o modelo de neurônio de relé talâmico por um período de 750 ms. Faça o programa de tal forma que você tenha que dar a ele duas entradas: uma corrente de base e um degrau de corrente. A corrente injetada I_{inj} na equação (7) deve receber o valor da corrente de base de $t = 0$ a $t = 250$ ms. Em $t = 250$ ms a corrente injetada I_{inj} deve ser incrementada pelo valor do degrau de corrente e mantida assim até $t = 500$ ms. De $t = 500$ ms a $t = 750$ ms, a corrente injetada I_{inj} deve voltar ao valor da corrente de base. Faça seu programa produzir gráficos de V , n , h e h_T versus t pelo tempo de simulação do experimento.

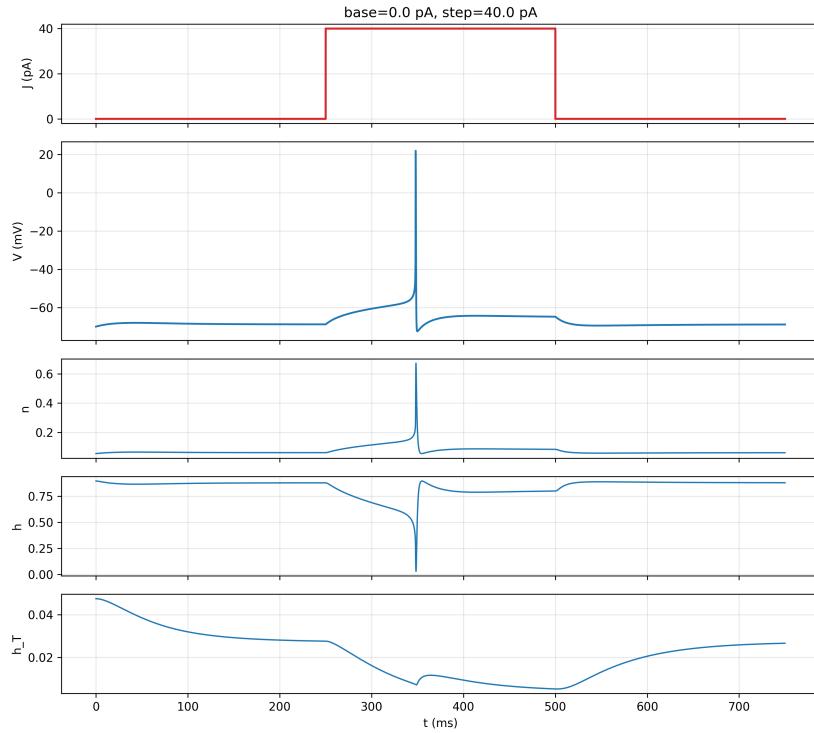


Figure 7: Comportamento do modelo relé talâmico para degrau de corrente pedido no enunciado.

(b) Faça o seu programa gerar um laço (*loop*) pelos valores da corrente de base (entre -200 pA e $+200$ pA) e pelos valores do degrau de corrente (entre 0 e $+100$ pA). A escolha dos valores usados dentro desses intervalos fica à sua escolha. Para cada par desses valores (corrente de base e degrau de corrente), calcule o número de disparos emitidos durante a aplicação do degrau de corrente e, caso dois ou mais disparos sejam emitidos, calcule o intervalo mínimo entre disparos. Usando alguma ferramenta para criar gráficos tri-dimensionais, produza dois gráficos tendo a corrente de base no eixo x e o degrau de corrente no eixo y . O primeiro gráfico deve mostrar o número de disparos durante a aplicação do degrau de corrente e o segundo gráfico deve mostrar o intervalo mínimo entre disparos. Analise seus resultados e forneça alguns gráficos das variáveis V , n , h e h_T para cada tipo *qualitativamente* distinto de comportamento observado.

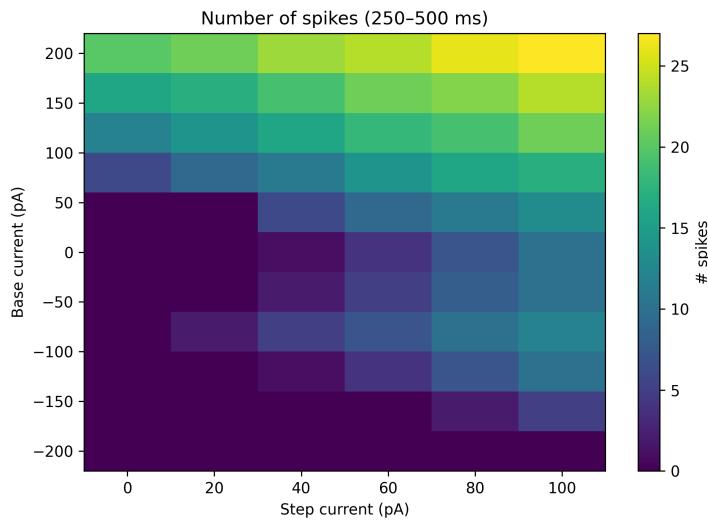


Figure 8: Mapa de calor da contagem de disparos por par (corrente de base, degrau de corrente).

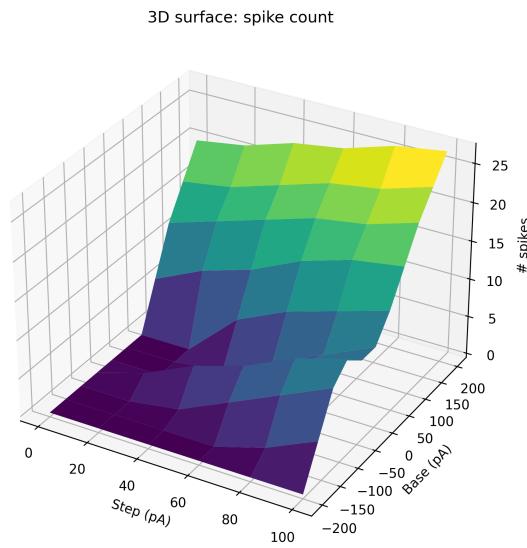


Figure 9: Superfície da contagem de disparos por par (corrente de base, degrau de corrente).

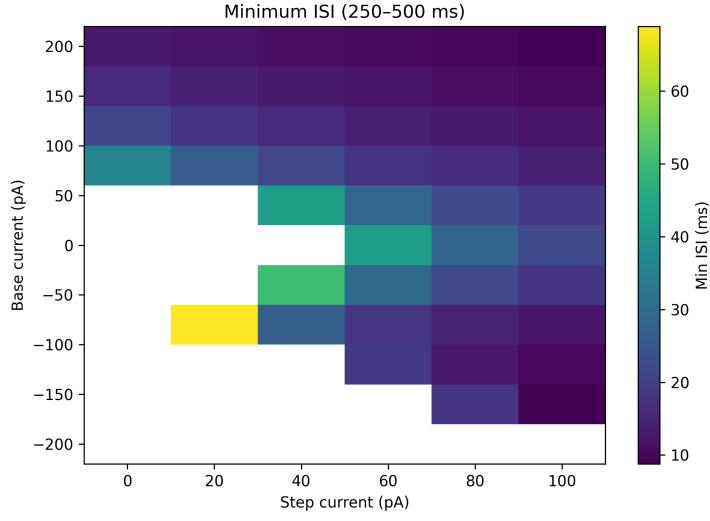


Figure 10: Mapa de calor no intervalo mínimo entre disparos por par (corrente de base, degrau de corrente).

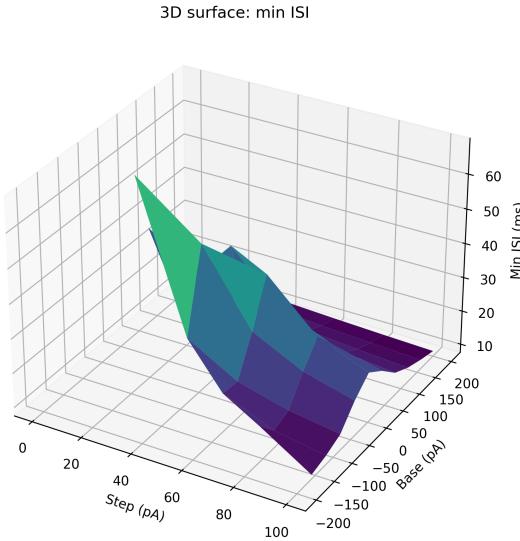


Figure 11: Superfície no intervalo mínimo entre disparos por par (corrente de base, degrau de corrente).

É possível notar que o número de disparos cresce justamente com a corrente de base e com o degrau de corrente, enquanto que o intervalo mínimo entre disparos obedece a relação contrária: quanto maior a corrente base ou degrau, menor é o intervalo mínimo. É um resultado intuitivo pois, com correntes maiores, maior é o estímulo no neurônio, e mais disparos existem. Por outro

lado, quanto mais disparos existem num mesmo intervalo de tempo, menor deve ser o intervalo entre os disparos.

Abaixo estão alguns exemplos de comportamento qualitativamente distintos.

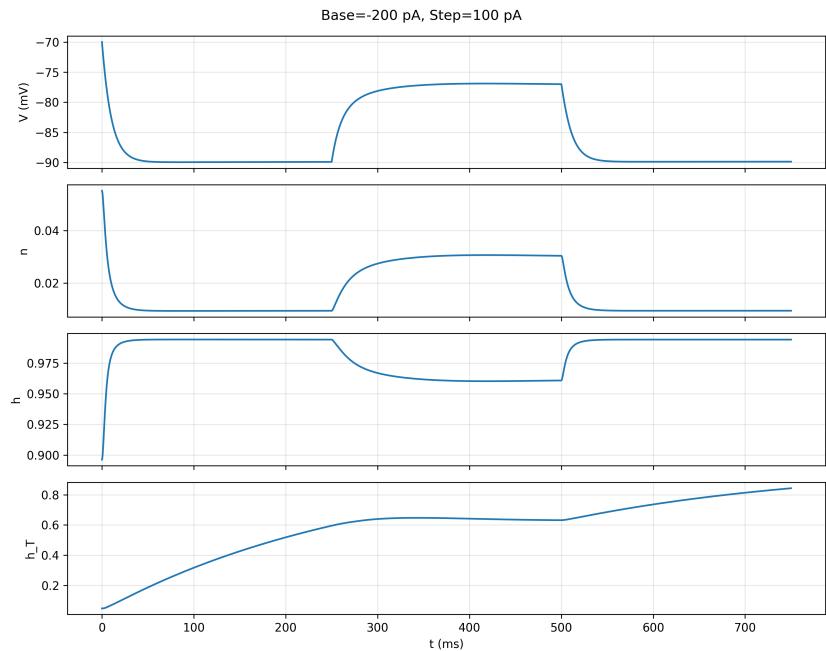


Figure 12: Exemplo de comportamento com corrente base -200 pA e degrau 100 pA.

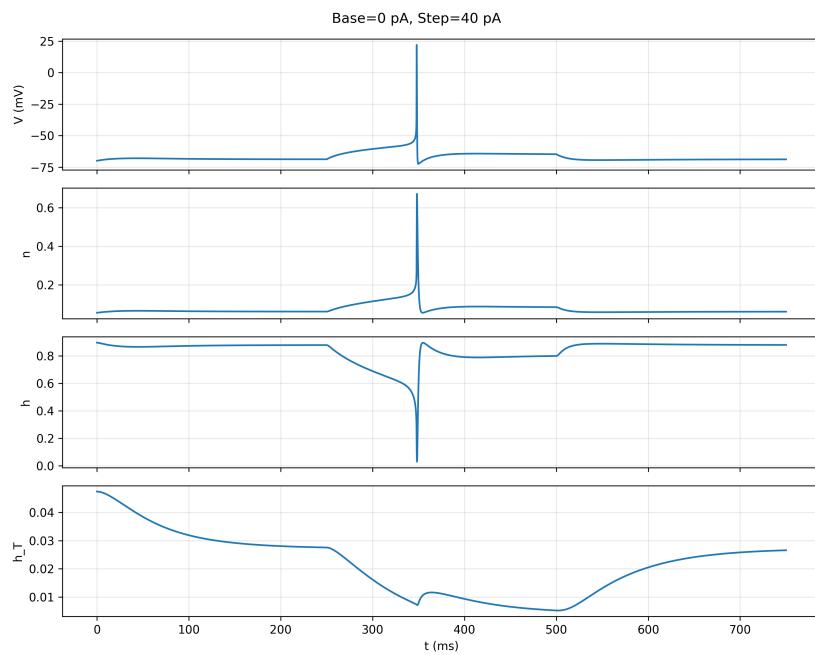


Figure 13: Exemplo de comportamento com corrente base 0 pA e degrau 40 pA.

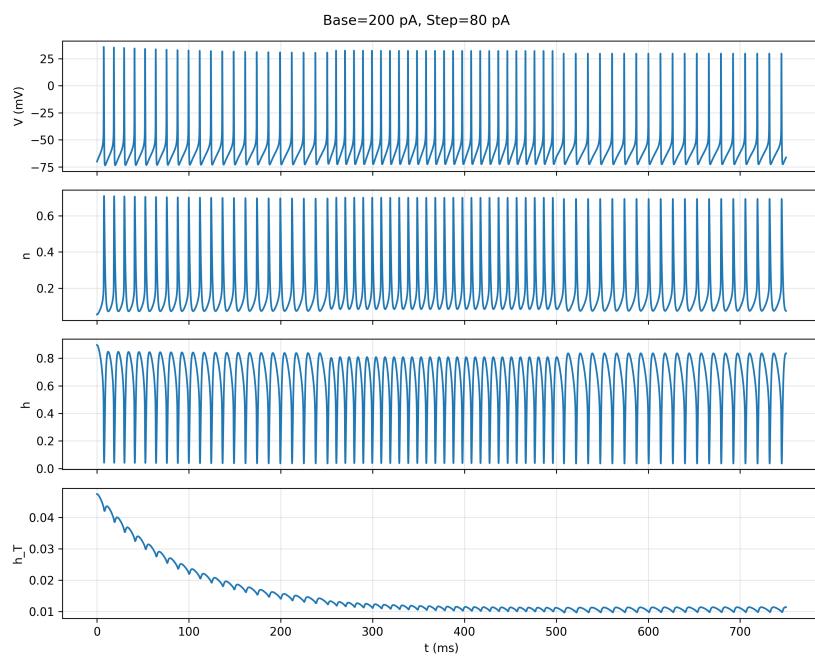


Figure 14: Exemplo de comportamento com corrente base 200 pA e degrau 80 pA.