

**Universidade Federal De Santa Catarina  
Programa De Pós-Graduação Em Engenharia  
Elétrica**

## **Simulação De Características Da Junção PN Abrupta**

Alunos: Ariel Werle & Fred Rockenberger

Florianópolis, Maio de 2014

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Simulações</b>	<b>3</b>
2.1	Perfis de Densidade De Carga . . . . .	3
2.2	Potencial . . . . .	3
2.3	Campo Elétrico . . . . .	3
2.4	Capacitância . . . . .	7
2.5	Curva I-V . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>7</b>
3.1	Região de Depleção . . . . .	7
3.2	Comparação com a Aproximação de Depleção . . . . .	7

## Lista de Figuras

1	Perfis de densidade de cargas da rede. . . . .	4
2	Perfis de densidade de portadores de carga. . . . .	5
3	Perfis do potencial. . . . .	6
4	Perfis do campo elétrico. . . . .	8
5	Capacitância da junção em função da tensão. . . . .	9
6	Curvas I-V. . . . .	9

# 1 Introdução

Usamos o módulo PN Junction Lab do programa ABACUS, desenvolvido por Vasileska et al. [2005] e disponível em <https://nanohub.org> para simular características da junção PN.

A junção simulada é de silício e possui  $1.5\mu m$ ,  $1\mu m$  na parte P e  $0.5\mu m$  na região N. Foram usadas duas dopagens diferentes, uma com  $N_A = 6,25 \times 10^{15} cm^{-3}$  e  $N_D = 6,25 \times 10^{16} cm^{-3}$ , que será chamada de dopagem 1 e outra com  $N_A = 6,25 \times 10^{15} cm^{-3}$  e  $N_D = 6,25 \times 10^{17} cm^{-3}$ , chamada dopagem 2. Todas as características foram simuladas para tensões de -0.6, 0.0 e 0.6V. A largura da região intrínseca foi considerada nula.

As simulações serão apresentadas na seção seguinte, algumas considerações adicionais são feitas na seção 3.

## 2 Simulações

### 2.1 Perfis de Densidade De Carga

Os perfis de densidade das cargas da rede cristalina constam na figura 1 e os perfis dos portadores de carga na figura 2.

A região de depleção fica mais estreita com tensões aplicadas positivas, diminuindo a barreira produzida pelas cargas da rede para a passagem dos portadores de carga (figura 1).

Apenas as densidades de portadores minoritários mudam significativamente com a tensão aplicada. Os perfis de densidade de carga dos portadores majoritários permanecem praticamente constantes.

As densidades de portadores minoritários nos contatos permanecem as mesmas para qualquer tensão aplicada.

Os perfis apresentam uma descontinuidade na região de depleção com tensões aplicadas negativas.

### 2.2 Potencial

Os perfis do potencial são mostrados na figura 3.

O potencial vale zero no lado P, e é dependente da tensão no lado N, sendo maior para tensões aplicadas mais negativas. O potencial muda mais abruptamente na região de depleção quando aumenta-se a dopagem no lado N.

### 2.3 Campo Elétrico

O campo elétrico (figura 4) constante nas regiões P e N, decrescente na parte P da região de depleção e crescente na parte N da região de depleção.

Na parte P da região de depleção o campo varia mais suavemente, a transição entre o regime decrescente e o regime crescente é altamente descontínua.

O módulo do campo elétrico na região de depleção é inversamente proporcional à tensão aplicada, facilitando a ocorrência de correntes de difusão em tensões positivas (forward bias).

As variações no campo elétrico apresentam-se mais abruptas na segunda dopagem ( $N_d$  10x maior).

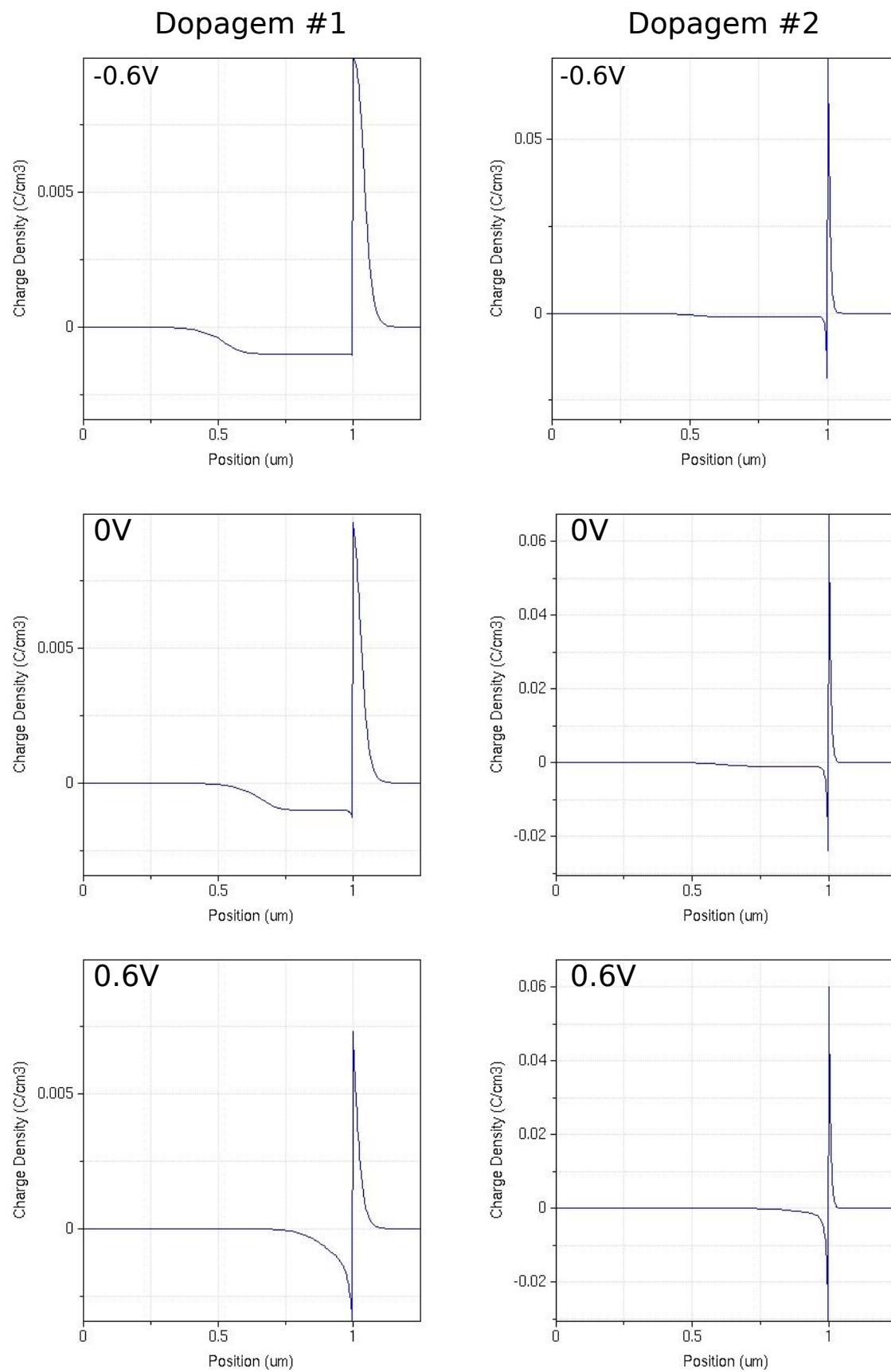


Figura 1: Perfis de densidade de cargas da rede.

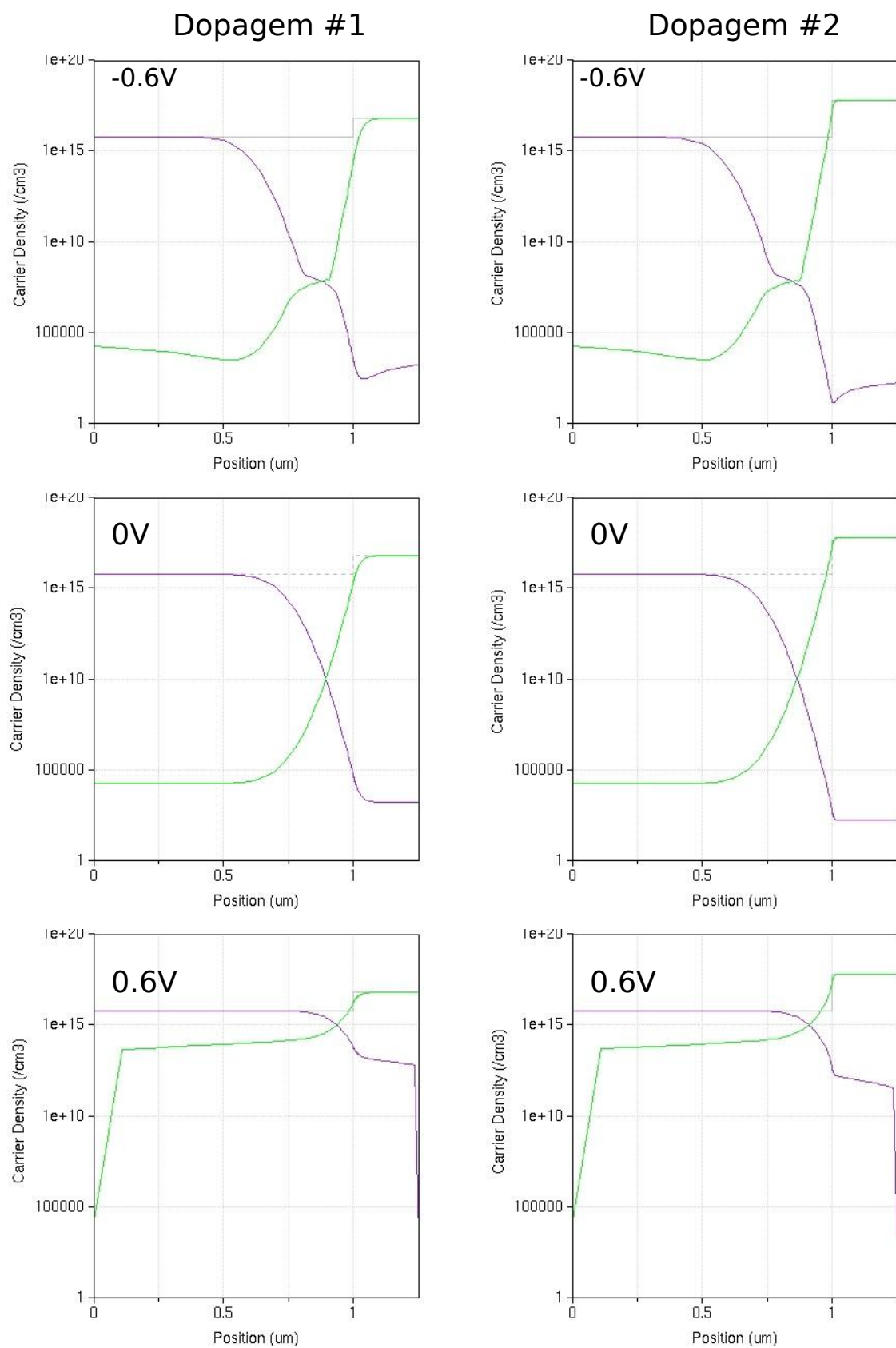


Figura 2: Perfis de densidade de portadores de carga. Lacunas são plotadas em roxo e elétrons em verde.

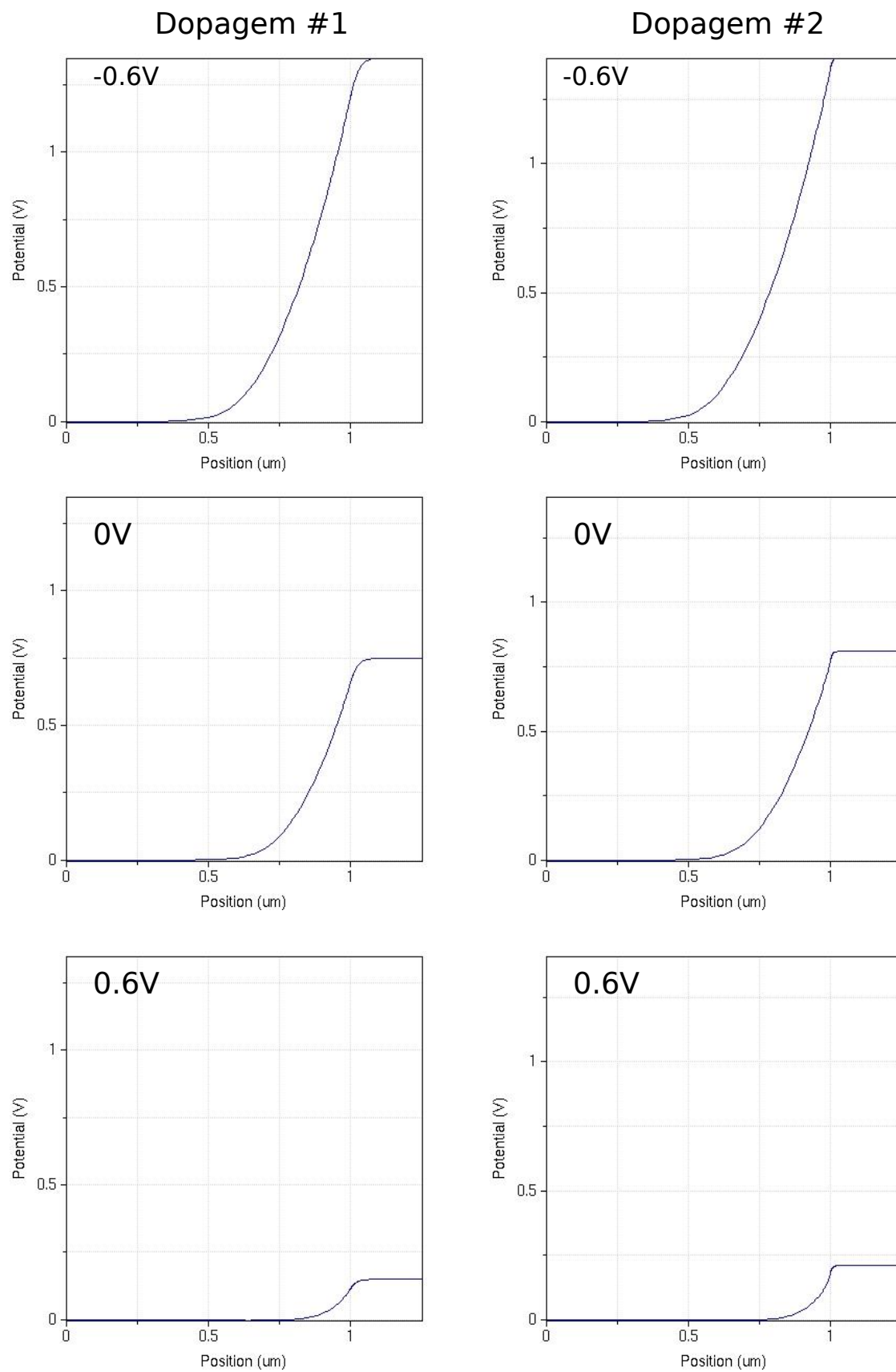


Figura 3: Perfis do potencial.

Os perfis de campo e de potencial são consequências diretas dos perfis de densidade de carga discutidos anteriormente (equação de Poisson).

## 2.4 Capacitância

A capacitância da Junção simulada (figura 5) varia muito pouco com a dopagem e aumenta rapidamente para tensões positivas, porém não para tensões negativas.

## 2.5 Curva I-V

A curva I-V (figura 6) varia muito pouco com uma variação de uma ordem de magnitude na dopagem. A segunda dopagem produz uma curva I-V levemente mais próxima da de um diodo ideal.

# 3 Considerações finais

## 3.1 Região de Depleção

A largura da região de depleção diminui com o aumento da dopagem e com tensões aplicadas positivas.

A diminuição da largura da região de depleção diminui seu campo elétrico e permite a passagem de elétrons para o lado P e de lacunas para o lado N.

Como existem mais elétrons do que lacunas na junção simulada, a probabilidade de recombinação é maior no lado P, fazendo com que a região de depleção seja mais larga deste lado.

Esta característica reflete-se em todos os outros perfis estudados, já que o campo elétrico e o potencial são derivados diretamente da densidade de cargas através da equação de Poisson.

$$\nabla^2 \phi = \rho(x)/\epsilon_0 = \frac{q}{\epsilon_0}(p - n + N_d^+ - N_a^-) \quad (1)$$

## 3.2 Comparação com a Aproximação de Depleção

A aproximação de depleção assume que  $n=p=0$  na região de depleção, considerando a equação de Poisson exposta acima, isto significa que as características da região dependeriam apenas das cargas da rede.

Esta aproximação é melhor em tensões aplicadas negativas, condição em que as densidades de portadores mais se aproximam deste critério (figura 2).

Para tensões positivas elétrons e lacunas mudam de lado mais facilmente, enfraquecendo a aproximação. Mesmo nessa condição, a aproximação de depleção produz boas estimativas.



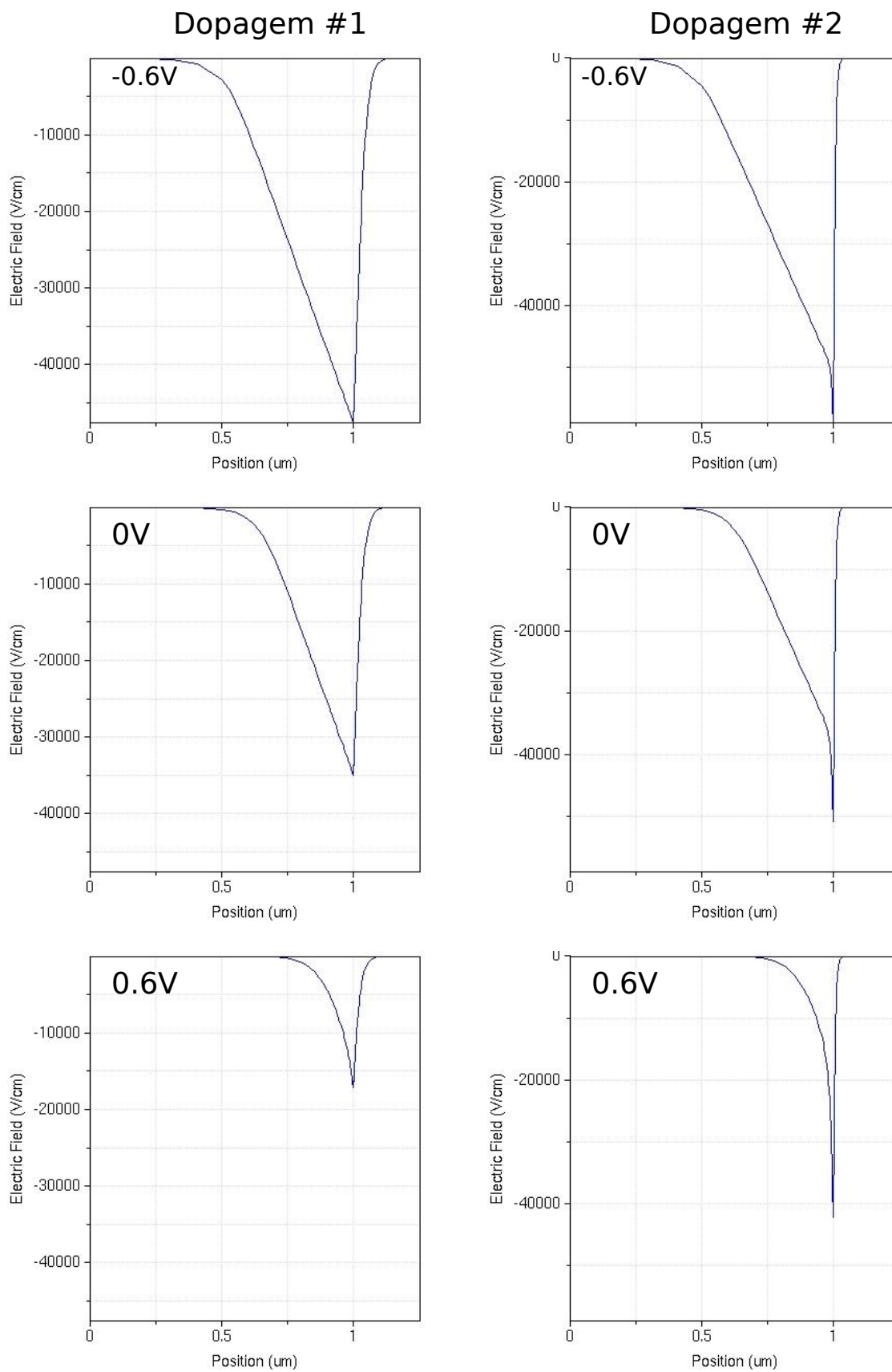


Figura 4: Perfis do campo elétrico.

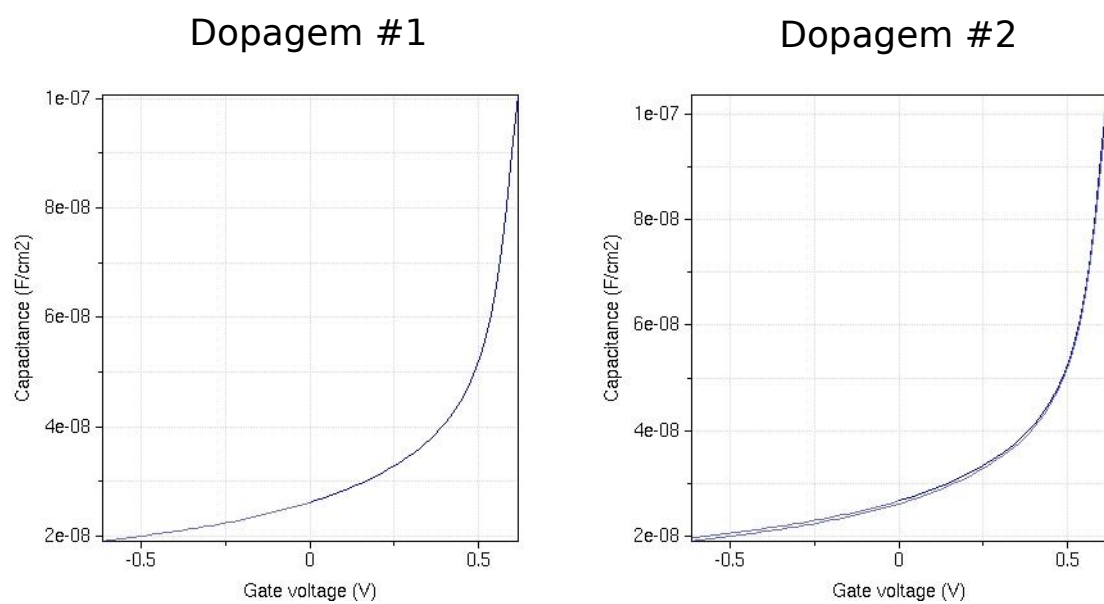


Figura 5: Capacitância da junção em função da tensão.

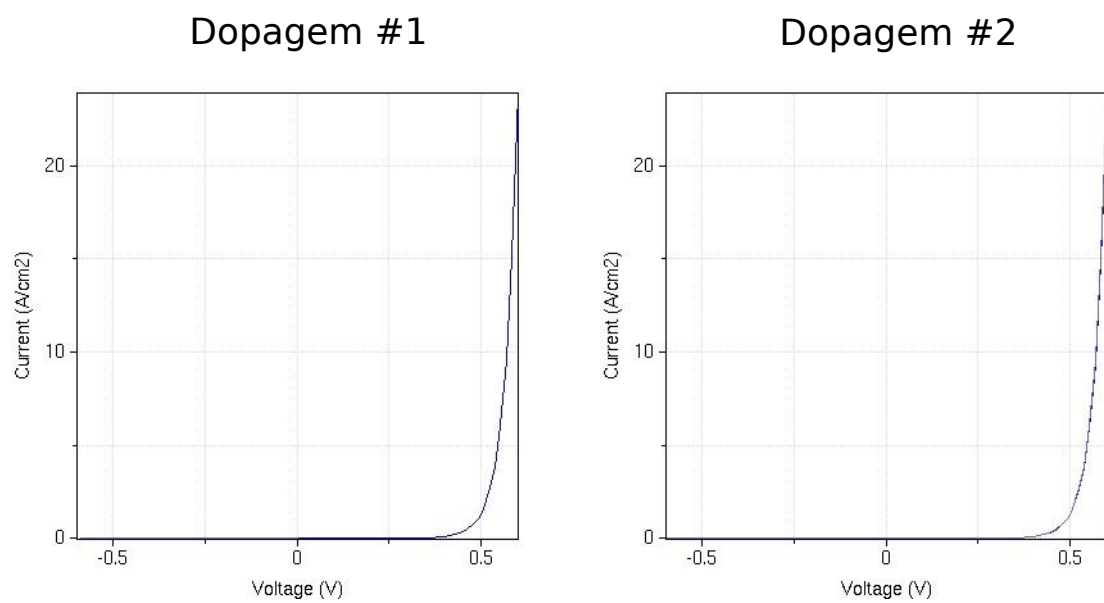


Figura 6: Curvas I-V.

## Referências

Dragica Vasileska, Matteo Mannino, Michael McLennan, Xufeng Wang, Gerhard Klimeck, Saumitra Raj Mehrotra, and Benjamin P Haley. Pn junction lab, Sep 2005. URL <https://nanohub.org/resources/229>.