



SIMULAÇÃO E FABRICAÇÃO DE DIODOS MOS PARA DETECÇÃO DE RAIOS X DE BAIXA ENERGIA

PROF. FÁBIO IZUMI

PROF. SEBASTIÃO G. DOS S. FILHO

LABORATÓRIO DE SISTEMAS INTEGRÁVEIS

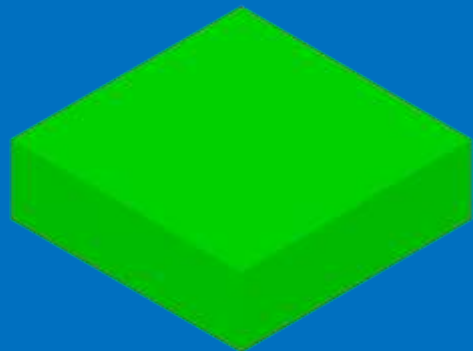
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

Fabricação e caracterização dos diodos MOS

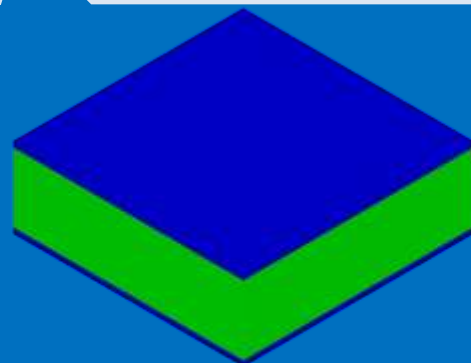
01

Limpeza química



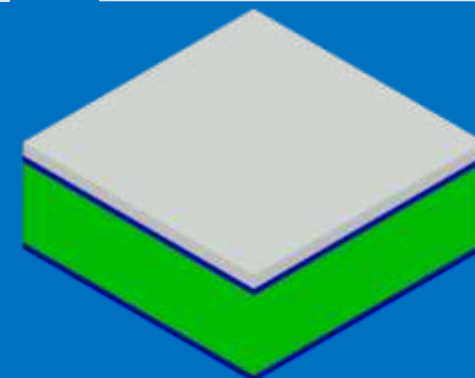
02

Oxidação RTP



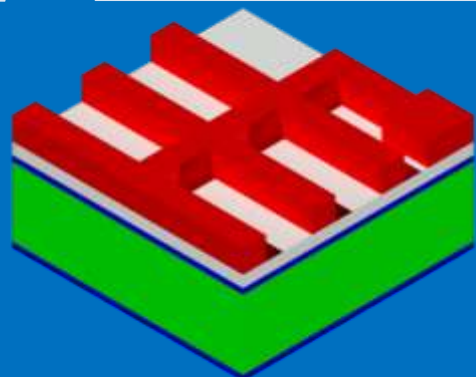
03

Deposição do alumínio por PVD



04

Fotorresiste



05

Corrosão do alumínio

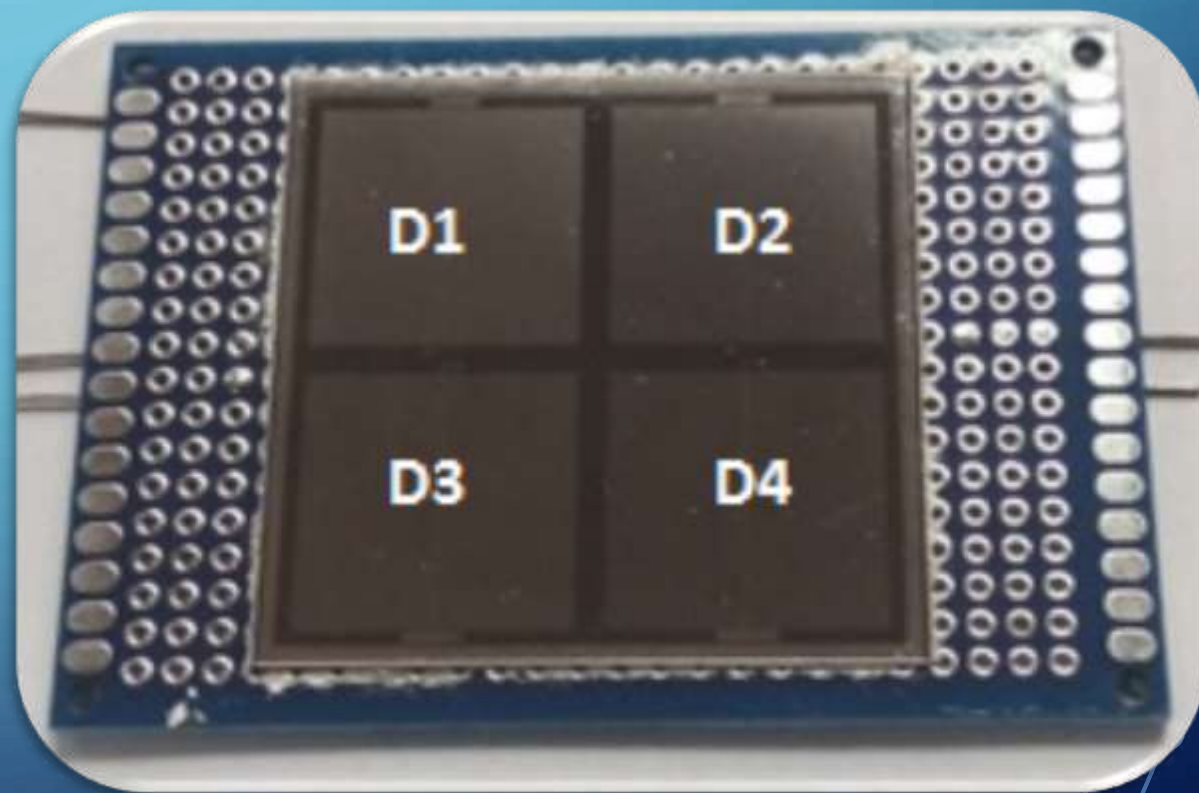
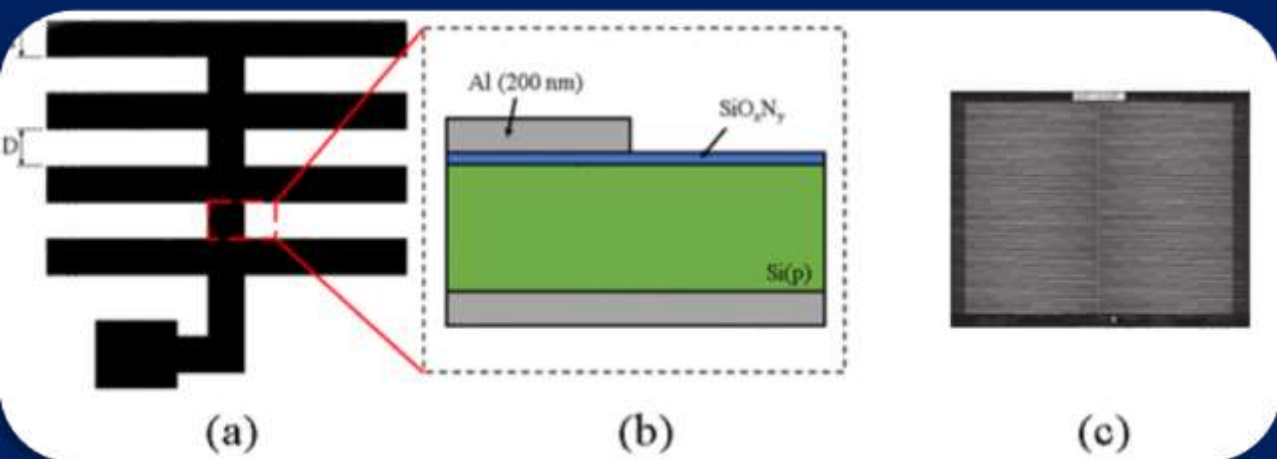


06

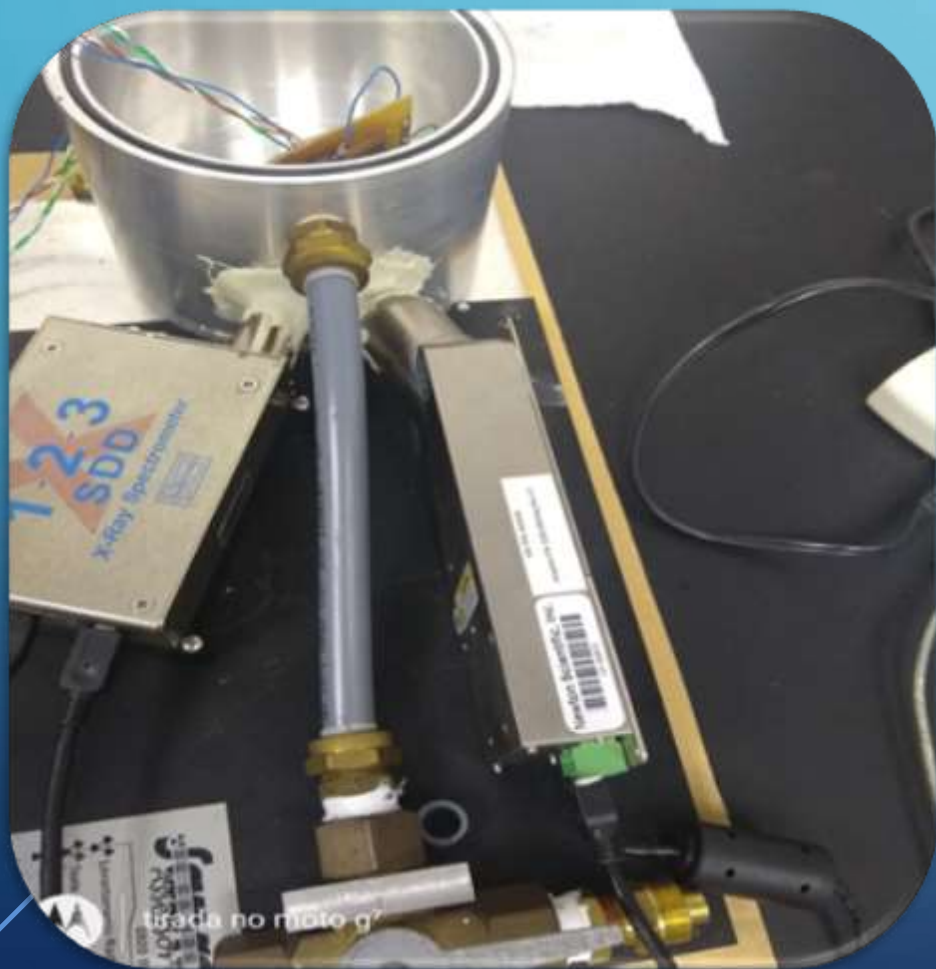
Definição do contato nas costas



Fabricação e caracterização dos diodos MOS



Estruturas e equipamentos utilizados



Sistema de Raios X em miniatura marca Amptek, modelo mini X (~21 keV)

Compõe-se por um tubo de raios X Ag com janela de berílio

A fonte de alimentação de alta tensão varia de 10 a 40 kV e produz uma tensão de polarização entre o alvo Ag (que é aterrado) e o filamento para corrente na faixa de 5 a 100 μ A.

Medidas I-V

PXIe-4145

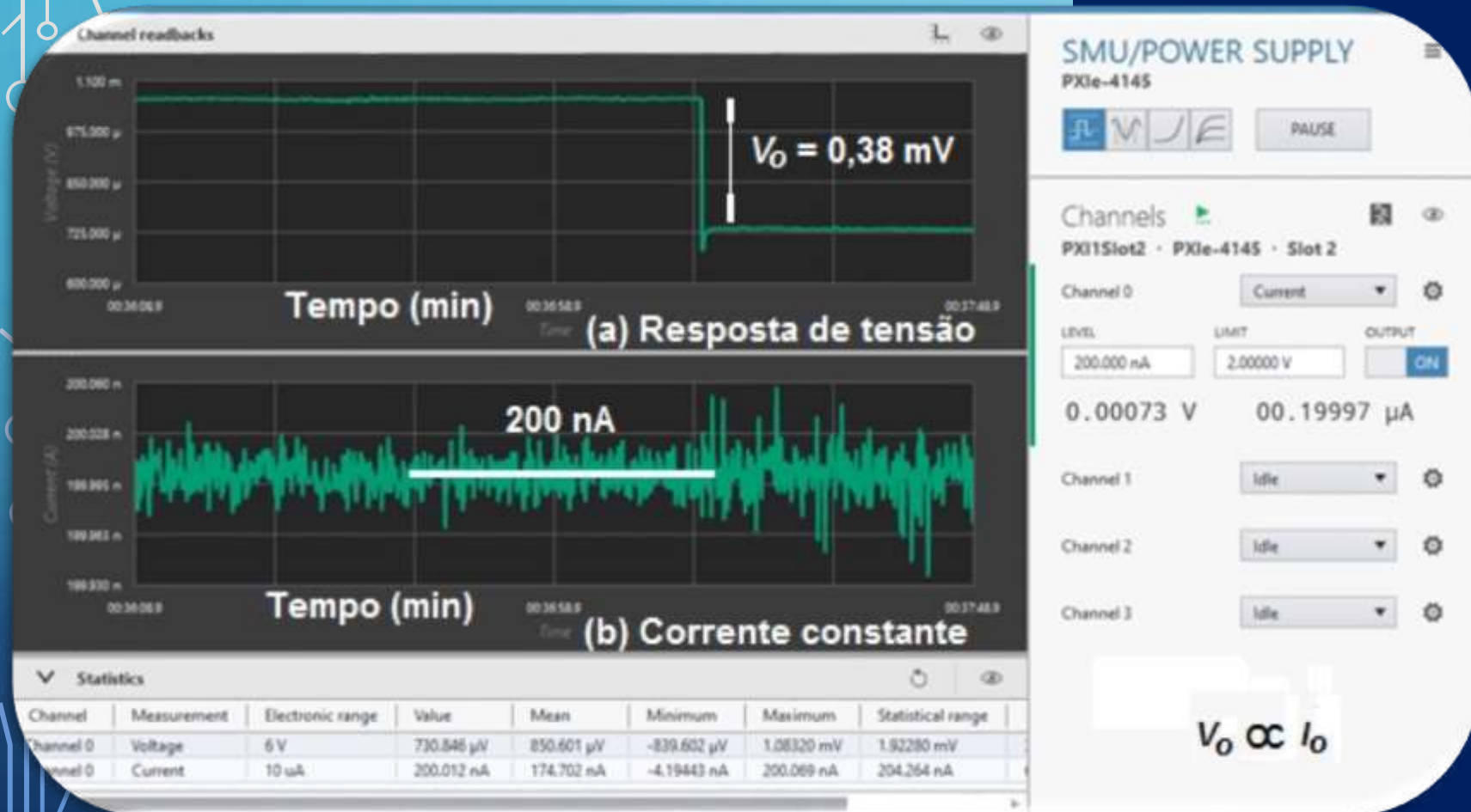


Range	Resolution and noise (0.1 Hz to 10 Hz)
6 V	6 μ V

DC Voltage Ranges	DC Current Source and Sink Ranges
± 6 V	<ul style="list-style-type: none"> • 10 μA • 100 μA • 1 mA • 10 mA • 100 mA • 500 mA

Range	Resolution and noise (0.1 Hz to 10 Hz)
10 μ A	15 pA
100 μ A	100 pA
1 mA	1 nA
10 mA	10 nA
100 mA	100 nA
500 mA	500 nA

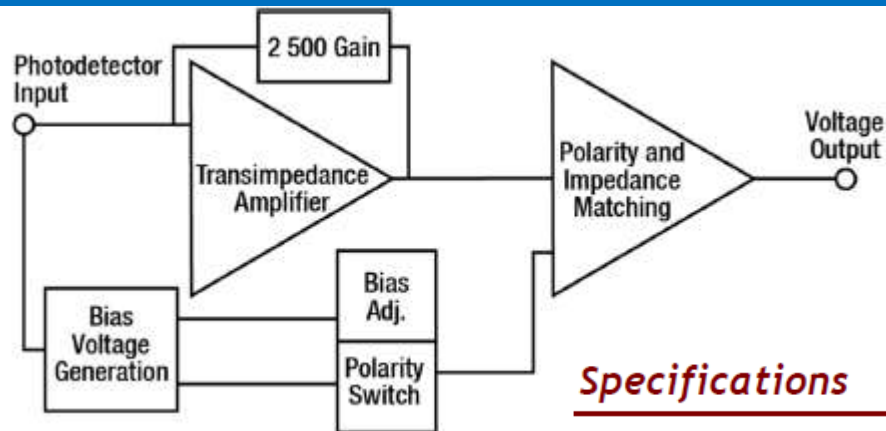
Testes do diodo MOS



Resposta do diodo MOS polarizado com corrente de 200 nA

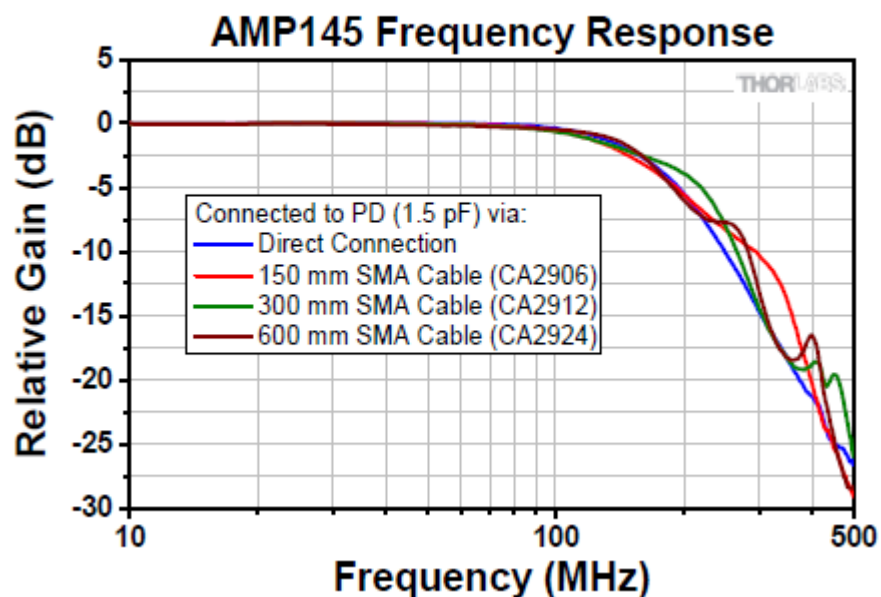
Quando é ligada a fonte de Raios X em 40KV x 100 μA observa-se um degrau de tensão V_0

Amplificador de transcondutância



Specifications

Typical Performance Plot



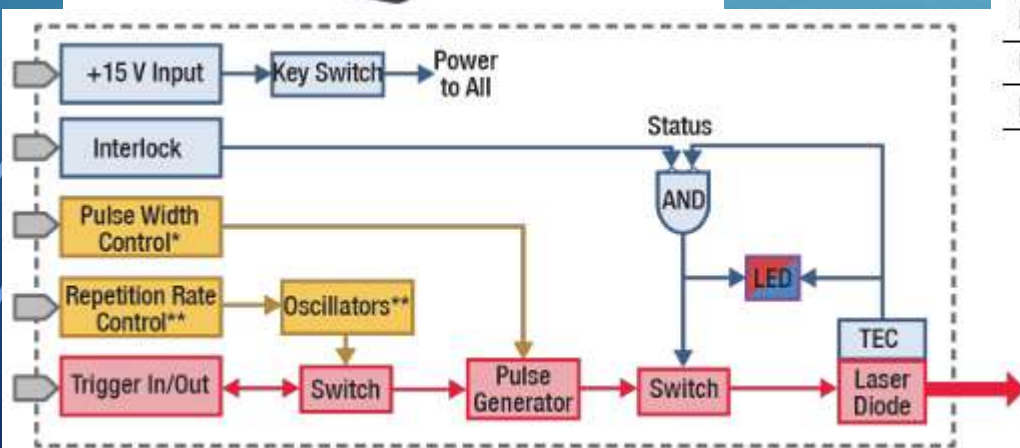
AC Performance	
Bandwidth (3 dB, $C_{in} \leq 5$ pF)	DC to 100 MHz
Rise/Fall Time (10% to 90%)	<3.5 ns

Specifications				
	Conditions	Min	Typical	Max
Transimpedance Gain	DC	-	2.5 kV/A	-
Input Current Limits ^a	-	-1.4 mA	-	+1.4 mA
Input Impedance ^b	-	-	50 Ω	-
Input Current Noise (NEP) ^c	DC to 100 MHz	-	30 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	-
Quiescent Current	-	-	200 mA	-
Output Voltage Range	50 Ω Load	-1.75 V	-	+1.75 V
	Hi-Z Load	-3.5 V	-	+3.5 V
Output Impedance	-	-	50 Ω	-
Bias Adjustment Range at CG	-	+1.2 V	-	+15 V
Bias Adjustment Range at AG	-	-1.2 V	-	-15 V
Power Supply Voltage	-	-	5 V	-
Power Supply Current	-	-	2 A	-

Laser pulsado em nanosegundos



Item #	Typical Center Wavelength	Pulse Width	Peak Output Power	Internal Trigger	Max Rep. Rate
NPL64A	640 nm \pm 10 nm	10 ns	13 mW	No	10 MHz
NPL41B	405 nm \pm 10 nm	6 ns to 38 ns	38 mW	Yes	10 MHz
NPL45B	450 nm \pm 10 nm	5 ns to 39 ns	75 mW		
NPL49B	488 nm \pm 10 nm	6 ns to 39 ns	50 mW		
NPL52B	520 nm \pm 10 nm	5 ns to 39 ns	30 mW		
NPL64B	640 nm \pm 10 nm	5 ns to 39 ns	50 mW		
NPL79B	785 nm \pm 10 nm	6 ns to 39 ns	88 mW		
NPL82B	820 nm \pm 10 nm	6 ns to 39 ns	88 mW		
NPL91B	905 nm \pm 10 nm	6 ns to 39 ns	88 mW		
NPL98B	980 nm \pm 10 nm	6 ns to 39 ns	38 mW		
NPL41C	405 nm \pm 10 nm	6 ns to 129 ns	1000 mW	No	50 kHz
NPL45C	450 nm \pm 10 nm		1600 mW		
NPL52C	520 nm \pm 10 nm		1500 mW		
NPL64C	640 nm \pm 10 nm		1000 mW		
NPL81C	808 nm \pm 10 nm		1500 mW		



Largura do pulso entre 6 a 38 ns
Comprimento de onda de 405 nm a 980 nm

Medidas com laser pulsado

Sistema de diodo laser
pulsado em
nanosegundos

LASER NPL

laser

Diodos
MOS e PIN

Circuito amplificador de
transcondutância

AMP145



Osciloscópio Digital

RLC

Filtro de compensação

SMU



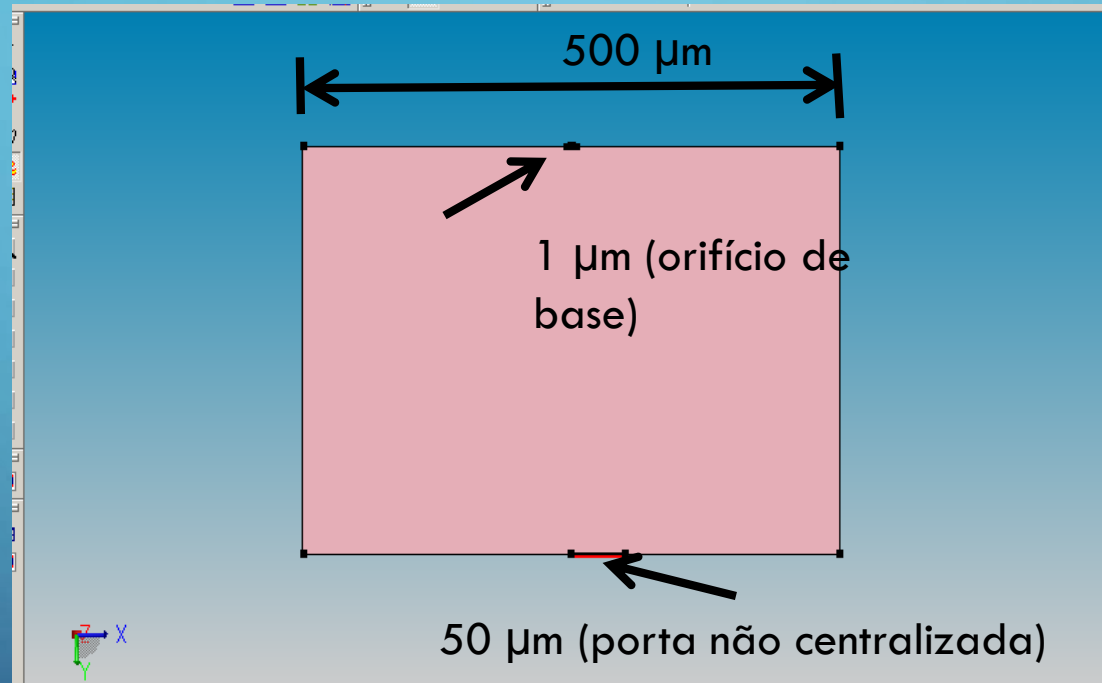
Aplicação de Diodos MOS na detecção de raios X

- Os MOS apresentam-se adequados na detecção de raios X com energia de ~ 22.1 keV (Tubo de Ag).
- O Diodo MOS apresenta resposta de frações de mV para dose de ~ 500 mSv)/h.
- Foi proposto um novo procedimento para utilização do diodo MOS na detecção de Raios X.
- Será avaliada experimentalmente e por simulação TCAD a resposta pulsada dos diodos MOS para comprimentos de onda na faixa de 405 a 980nm e largura de pulso a partir de 6ns.

SIMULAÇÕES

- Foram feitas simulações utilizando diferentes comprimentos de onda entre 870 e 1050 nm, para os estados transiente e estacionário, testando o dispositivo projetado por Gabriel Louzada e Fábio Izumi.
 - Orifício do substrato de 1 e 36 μm
 - Porta de 50 μm não centralizada (entre -0,5 e 49,5 μm)
 - Inclusão de uma camada de óxido de 1 nm no orifício
- Pulso de 0,1 ns e tensão de porta $V_g = 2 \text{ V}$ (transiente)
- Tensões de porta V_g entre -2 V e 2 V, e fluxo de luz contínuo (estacionário)
- Material de porta: Si tipo N + fortemente dopado
 - 10^{20} cm^{-3} de fósforo

DISPOSITIVO ORIFÍCIO DE BASE 1 μM



ESTADO TRANSIENTE

- Largura do feixe: $2 \mu\text{m}$
- Intensidade do feixe: 10^6 W/cm^2
- Cargas no óxido (adotadas anteriormente): $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ($1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)

COMENTÁRIOS (TRANSIENTE)

- Orifício de base centralizado e porta de 50 micrômetros não centralizada.
 - As respostas esperadas ao pulso de 0,1 ns tornaram-se mais expressivas a partir dos 930 nm, aumentando de intensidade conforme o aumento do comprimento de onda, devido à transparência do silício na faixa do infravermelho próximo.

ESTADO ESTACIONÁRIO

- Largura do feixe de $2 \mu\text{m}$
- Intensidade do feixe: 10^6 W/cm^2
- Cargas no óxido (adotadas anteriormente): $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ($1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)

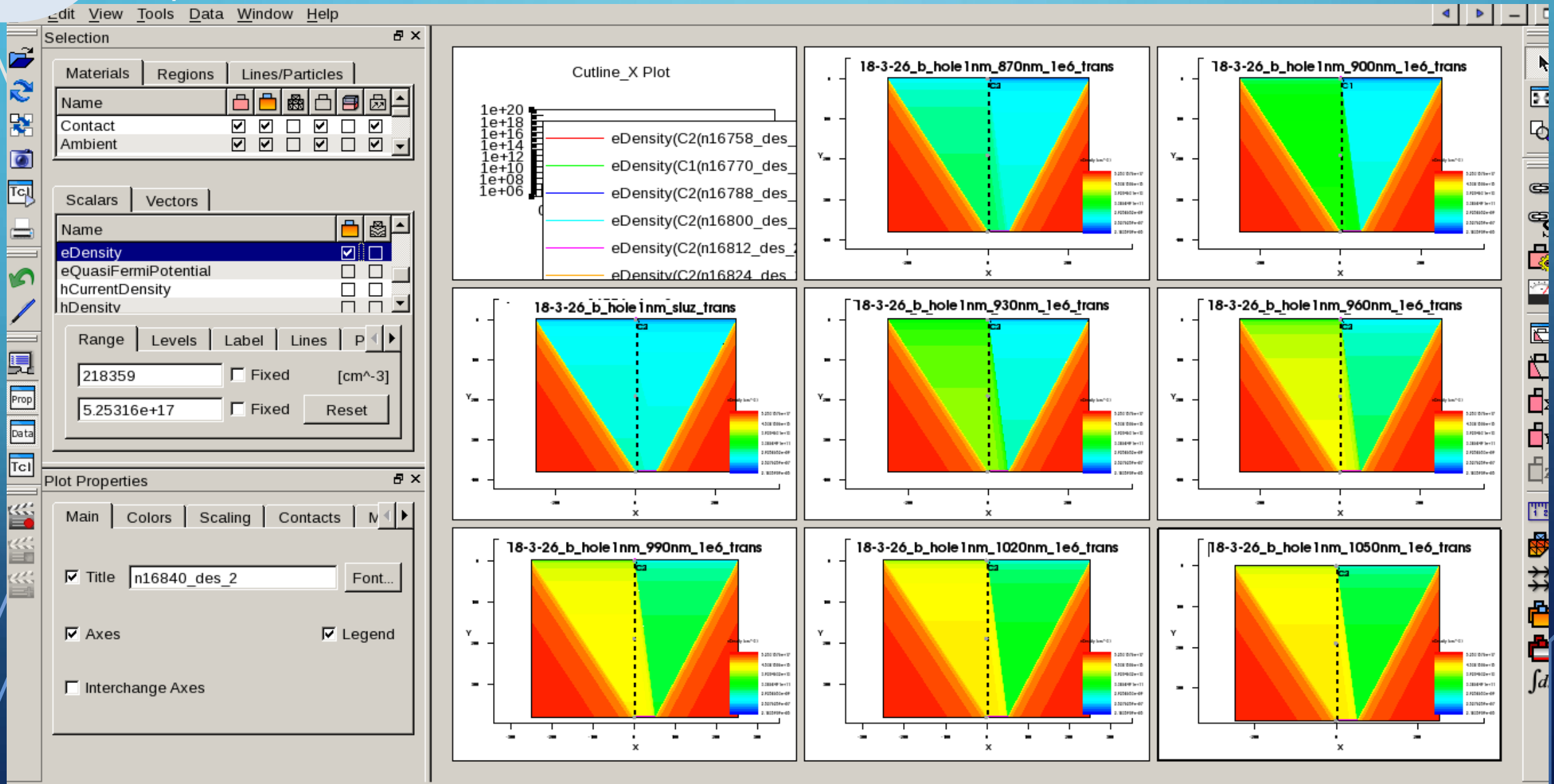
COMENTÁRIOS (ESTACIONÁRIO)

- Orifício de base centralizado e porta de 50 micrômetros não centralizada.
 - As respostas esperadas ao aplicar o feixe contínuo com a tensão de porta V_g variável aumentam de intensidade conforme o aumento do comprimento de onda, devido à transparência do silício na faixa do infravermelho próximo.

COMENTÁRIOS (GERAIS)

- Orifício de base centralizado e porta de 50 micrômetros não centralizada.
 - O feixe de 2 micrômetros que atravessa o silício incide na borda da porta.
 - Os resultados (gerais) foram os esperados, de acordo com as propriedades do silício para comprimentos de onda crescentes dentro da faixa do infravermelho próximo.

PERFIS DE PORTADORES TRANSIENTES – INTENSIDADE $1 \text{ E}6$ W/CM² 870-1050 NM



Edit View Tools Data Window Help

Selection

Data Curves

- C2(n16758_des_2)
- C1(n16770_des_2)
- C2(n16788_des_2)
- C2(n16800_des_2)
- C2(n16812_des_2)
- C2(n16824_des_2)
- C2(n16840_des_2)

- QuasiFermiPotential
- eCurrentDensity
- eDensity
- eQuasiFermiPotential
- hCurrentDensity
- hDensity
- hQuasiFermiPotential

Duplicate Plot

New Variable...

Axis Properties

Main Title/Scale Ticks Minor Ticks

Title Log. Scale

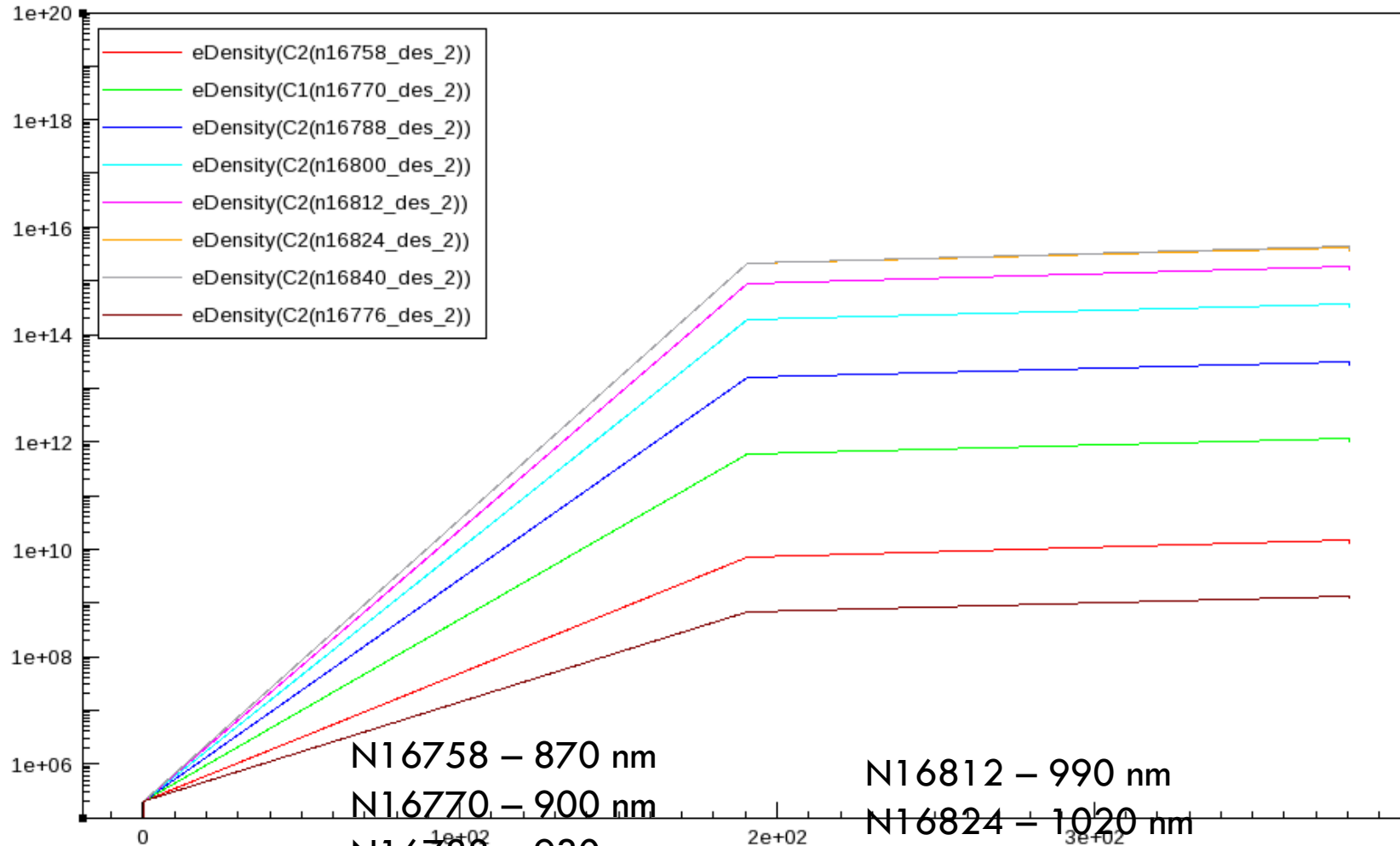
Scale Inverted

Ticks

Min: 100000 Fixed

Max: 1e+20 Fixed

Cutline_X Plot



N16758 – 870 nm

N16812 – 990 nm

N16770 – 900 nm

N16824 – 1020 nm

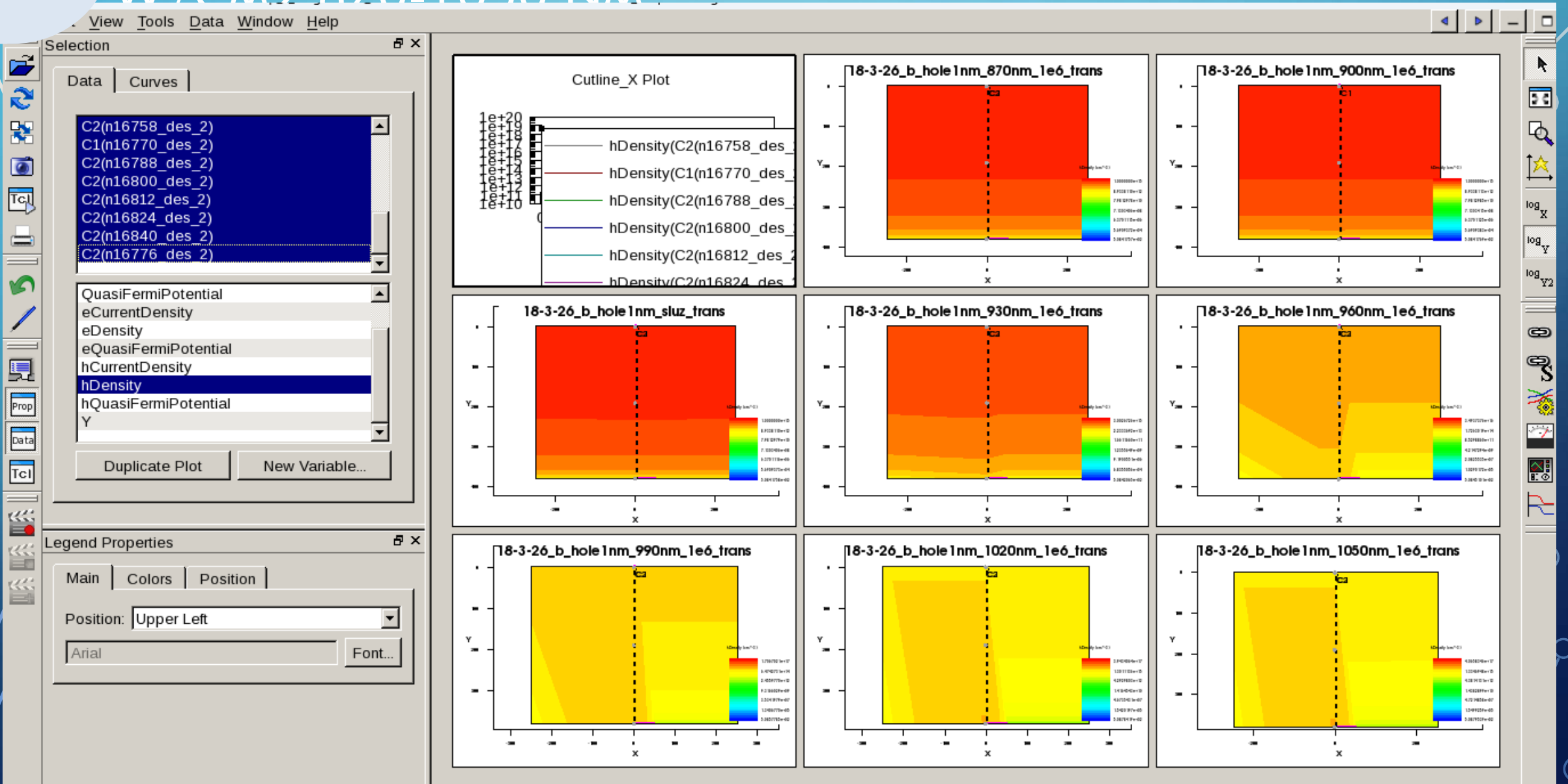
N16788 – 930 nm

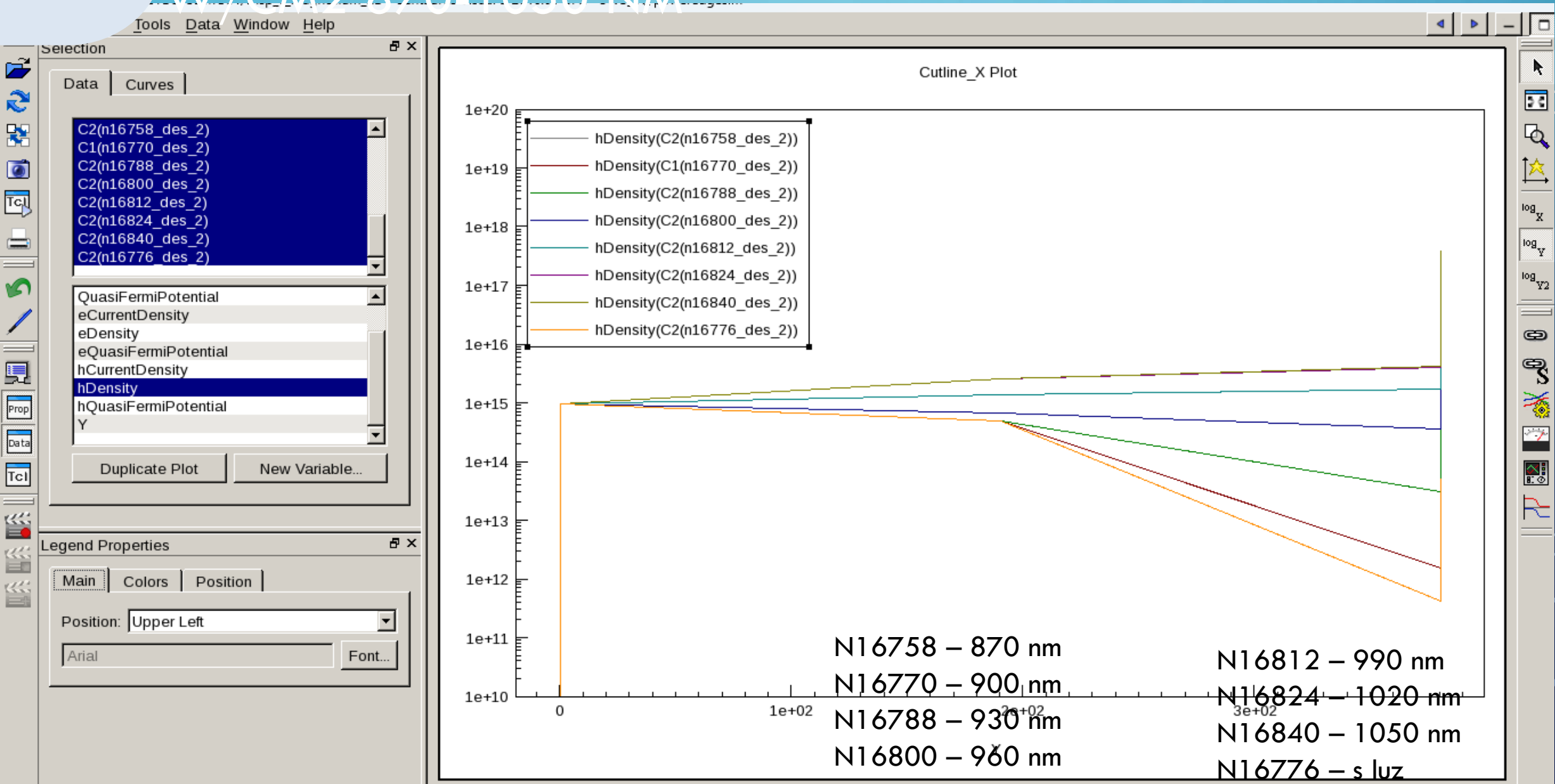
N16840 – 1050 nm

N16800 – 960 nm

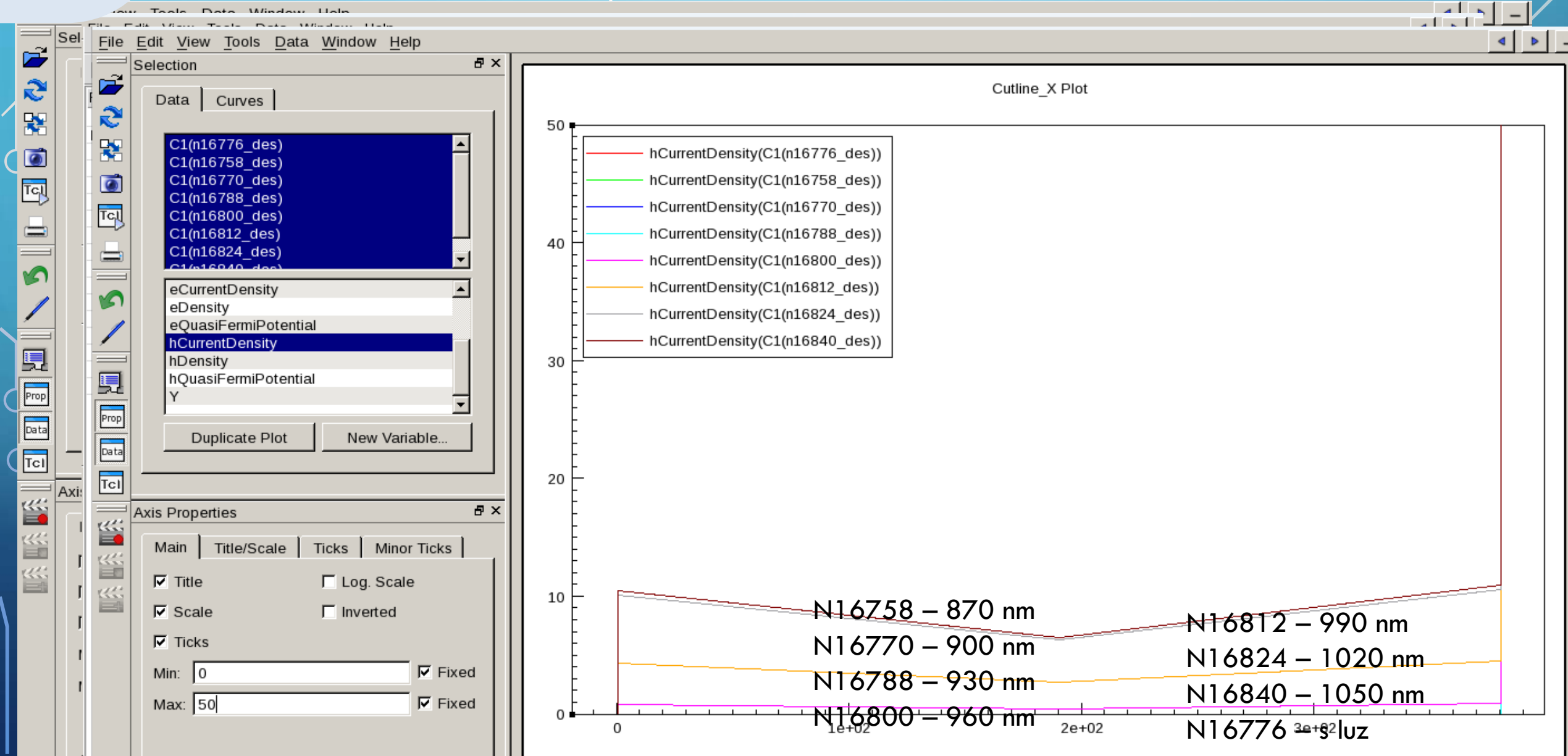
N16776 – s luz

PERFIS DE PORTADORES TRANSIENTES – INTENSIDADE 1 E6 W/CM2 870-1050 NM

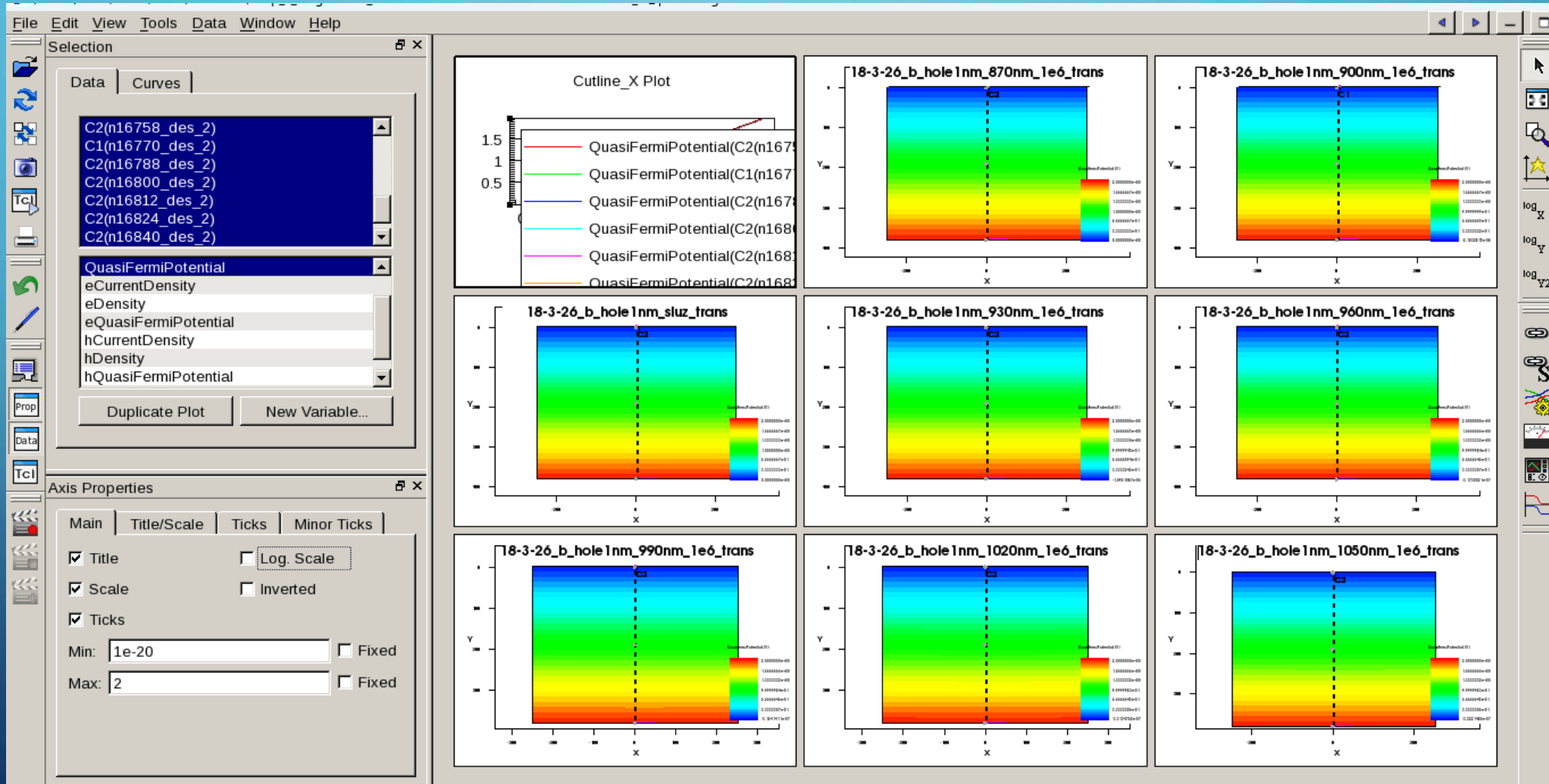




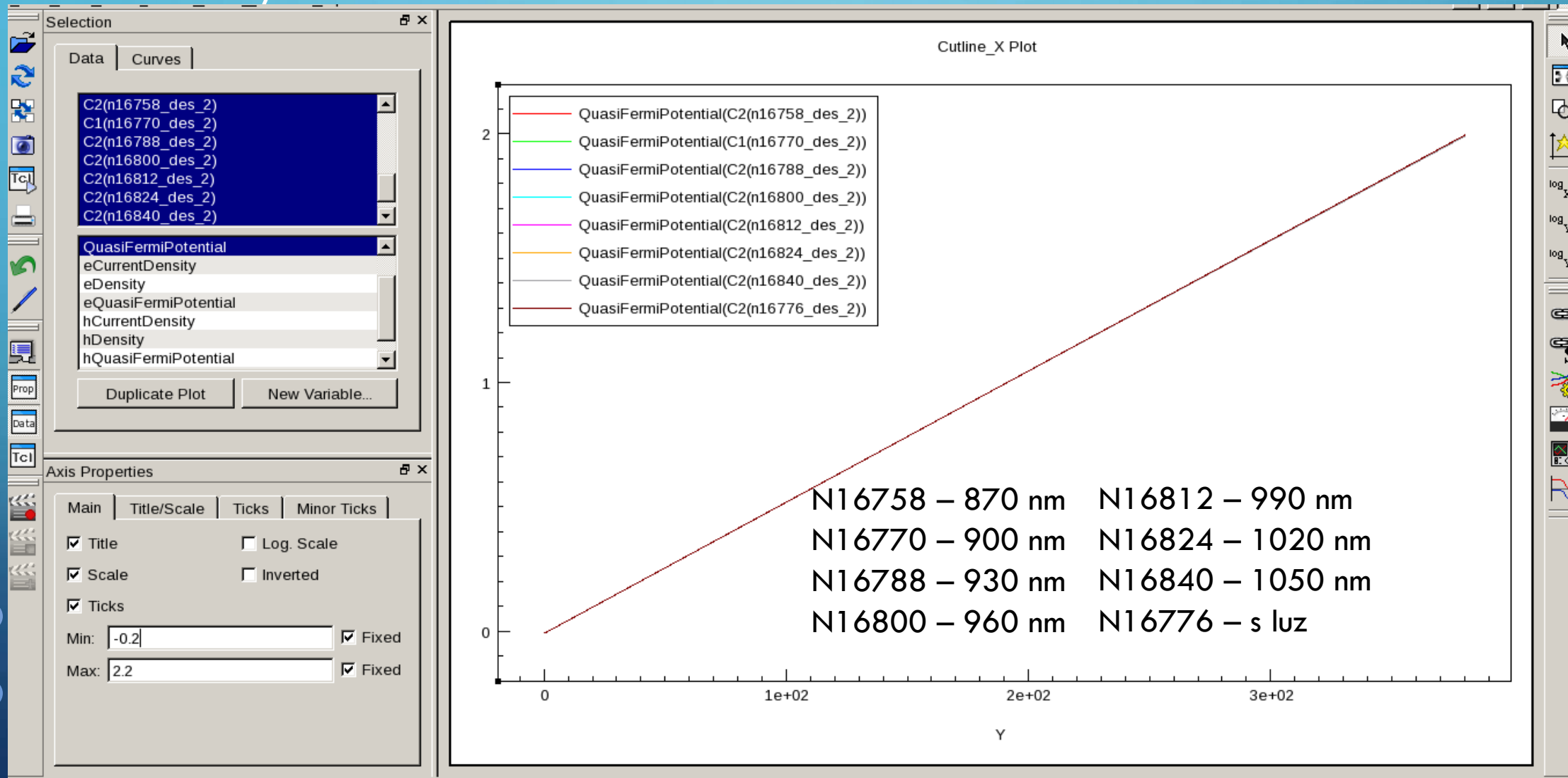
PERFIS DE DENSIDADES DE CORRENTE TRANSIENTE – INTENSIDADE 1E6 W/CM2 870-1050 NM



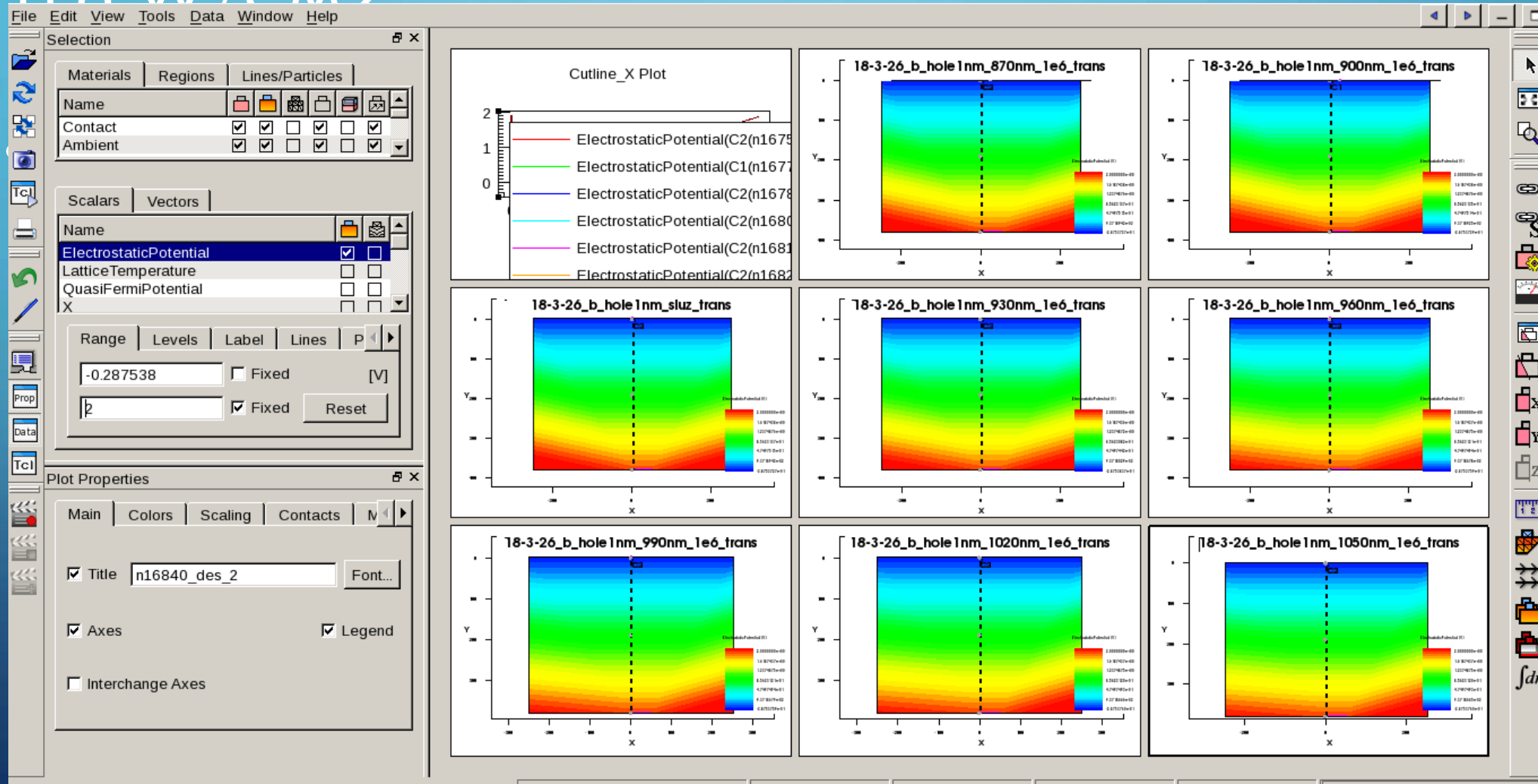
PERFIS DE POTENCIAL QUASI-FERMI TRANSIENTE – 1E6 W/CM2



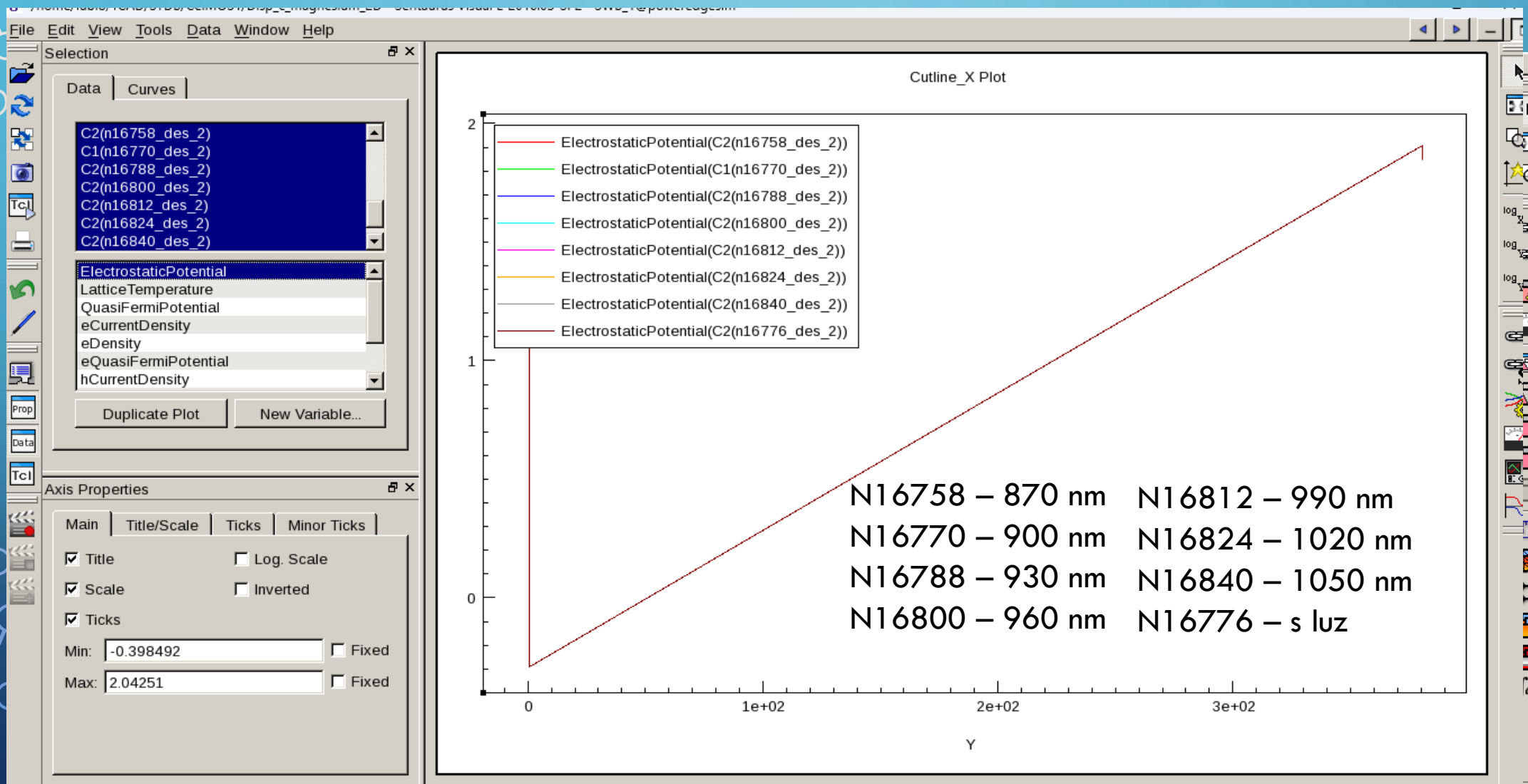
PERFIS DE POTENCIAL QUASI-FERMI TRANSIENTE – 1E6 W/CM2



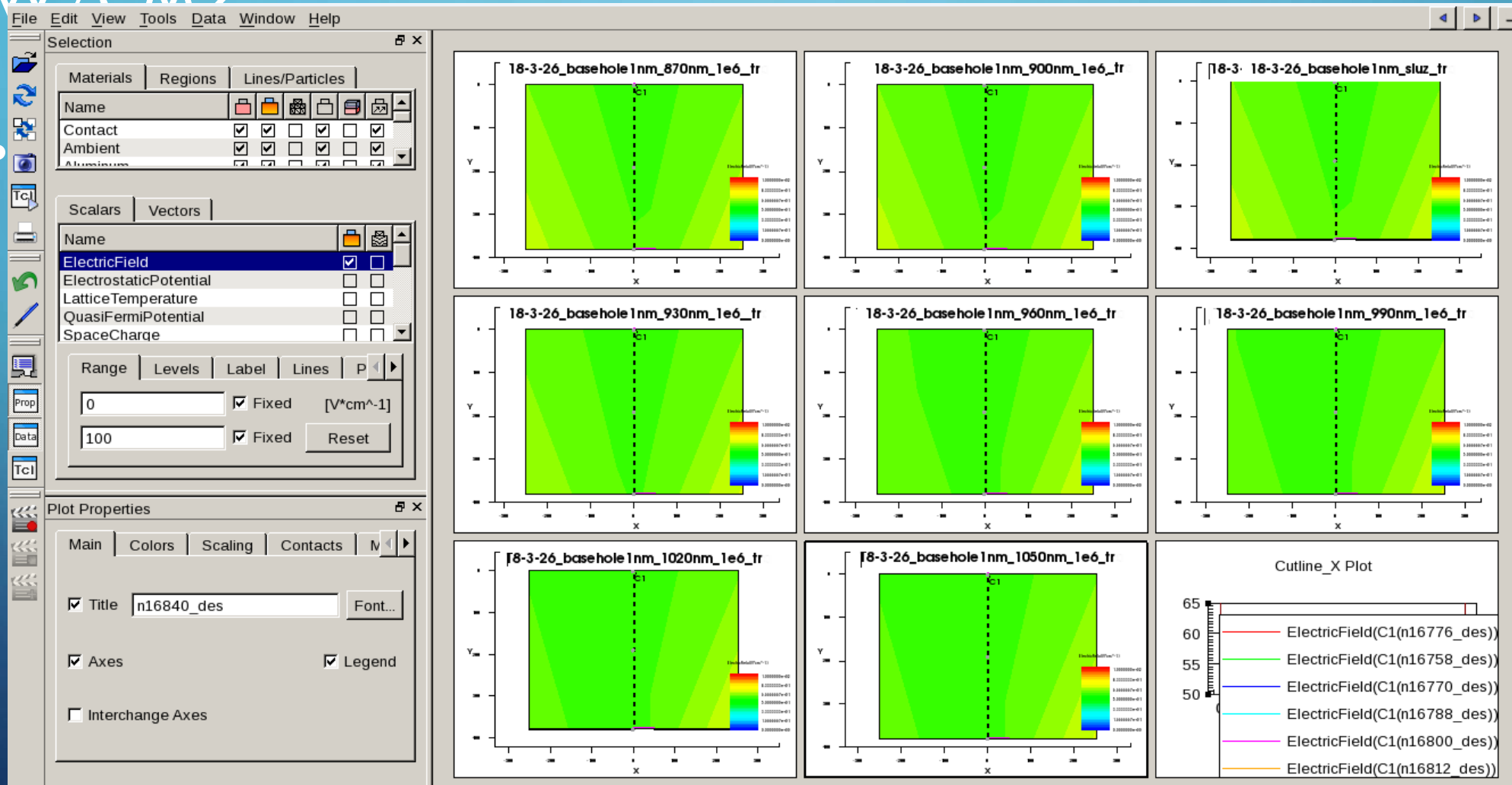
PERFIS DE POTENCIAL ELETROSTÁTICO TRANSIENTE – $1E6 \text{ W}/\text{CM}^2$



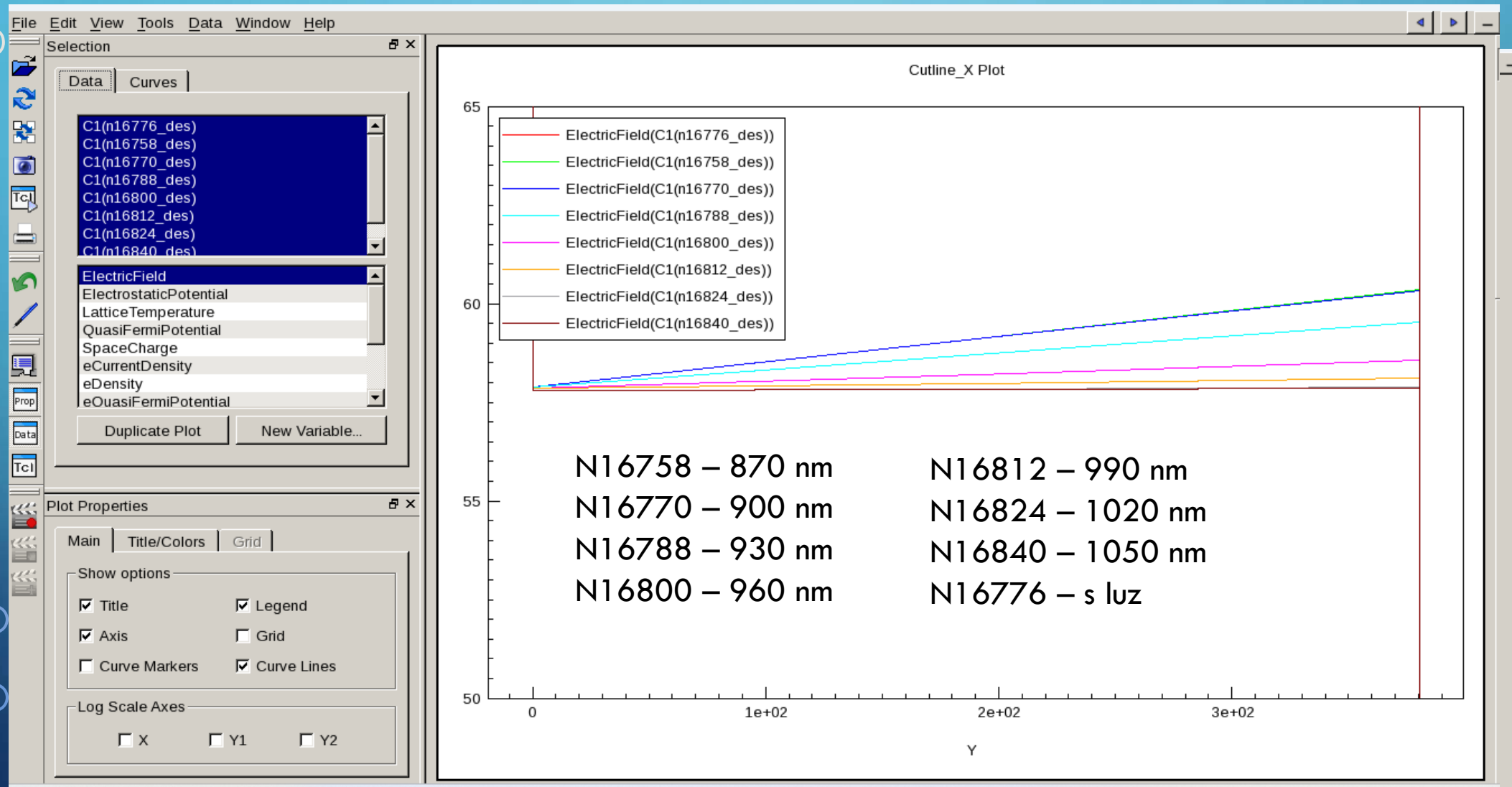
PERFIS DE POTENCIAL ELETROSTÁTICO TRANSIENTE –



PERFIS DE CAMPO ELÉTRICO TRANSIENTE – $1E6$ W/CM²

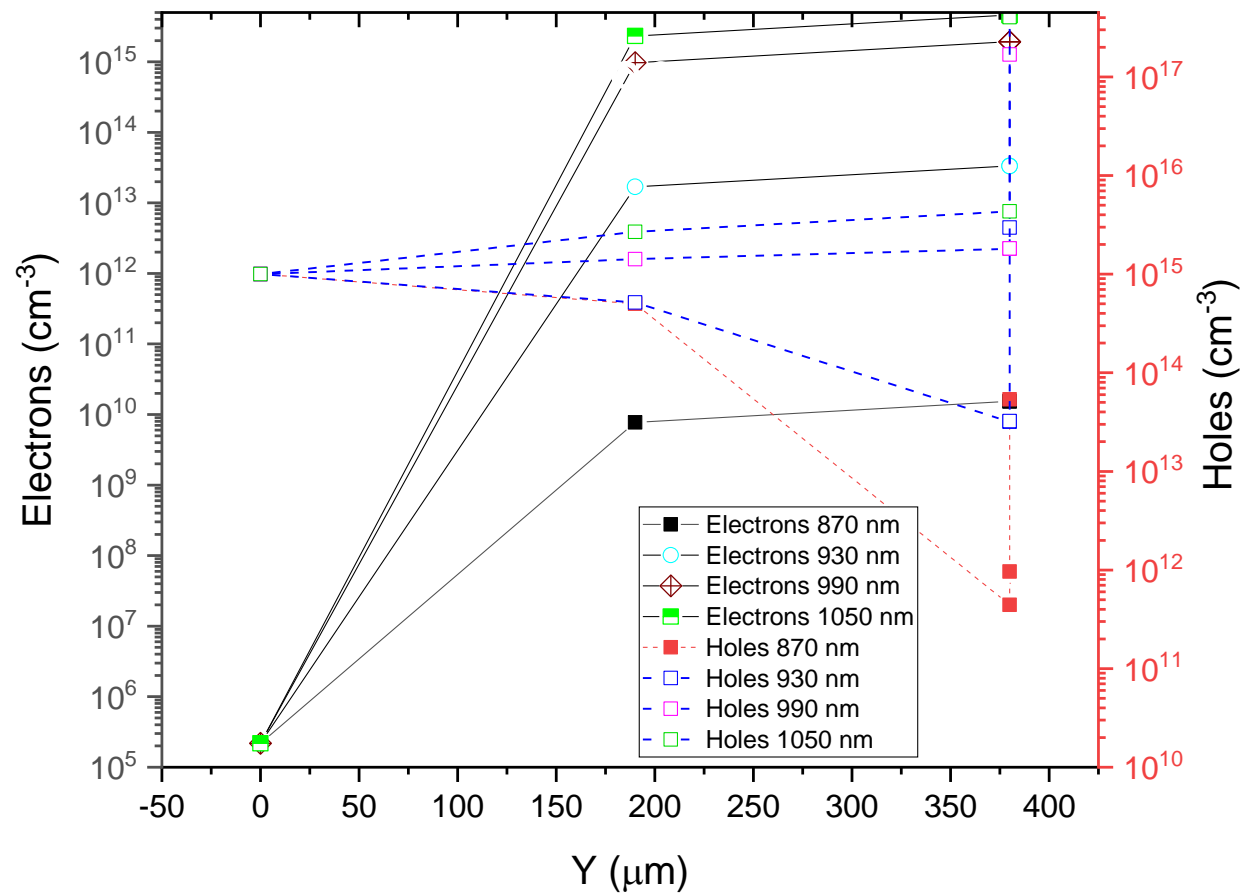


PERFIS DE CAMPO ELÉTRICO TRANSIENTE – 1E6



GRÁFICOS DE PERFIS - TRANSIENTE

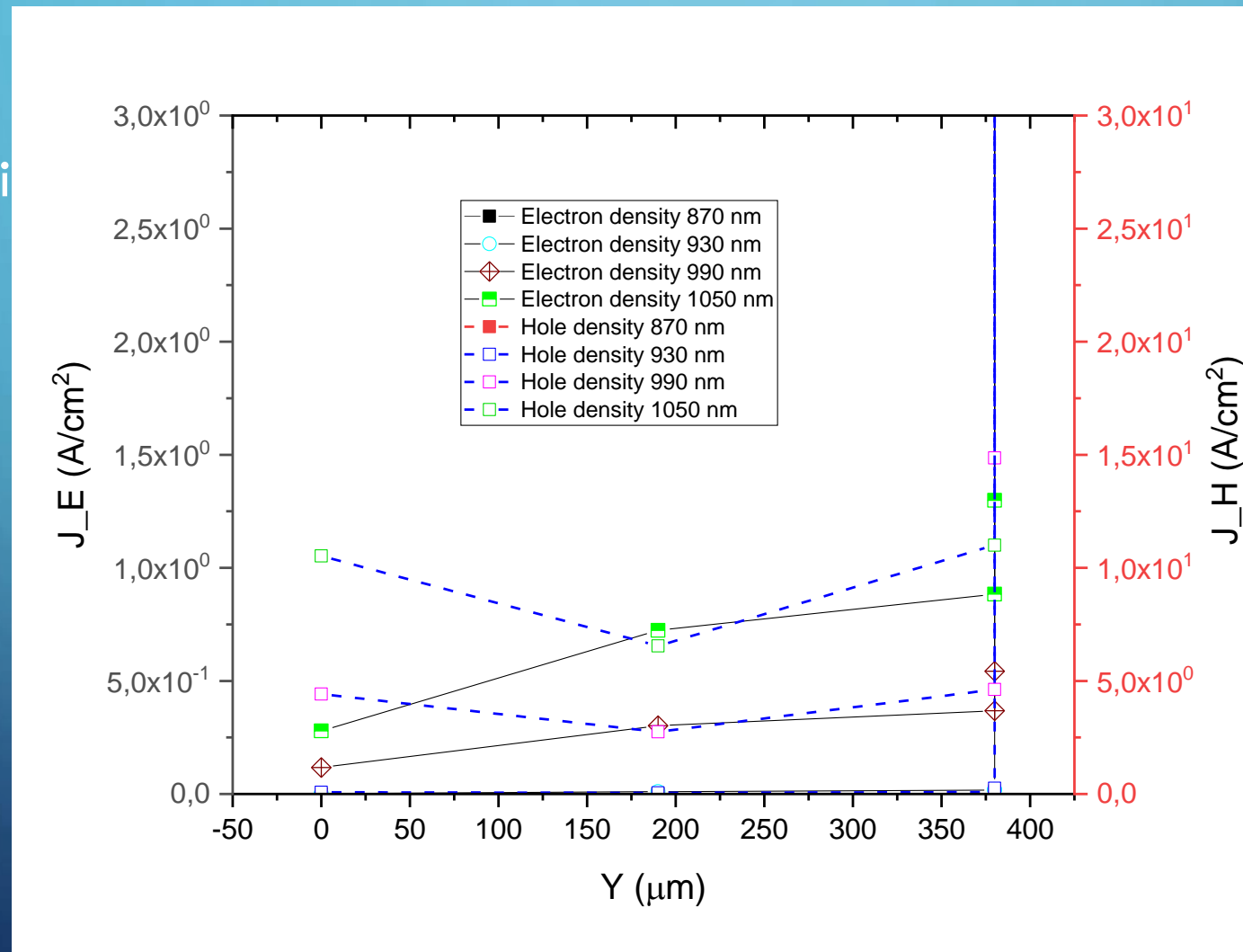
- Comprimento



Densidade de portadores

GRÁFICOS DE PERFIS - TRANSIENTE

- Compr



Densidade de corrente de portadores

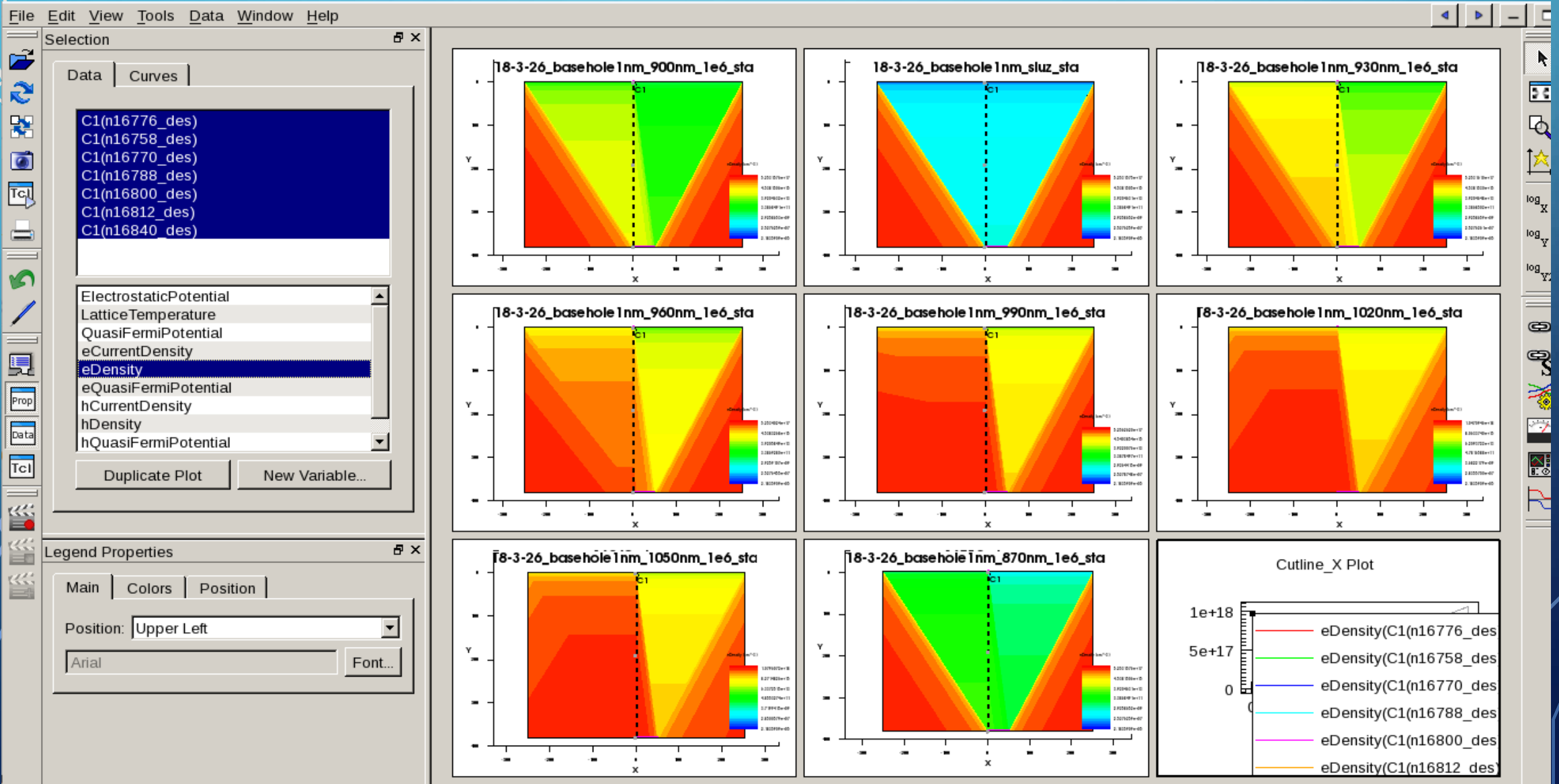
GRÁFICOS DE PERFIS - TRANSIENTE

- Compr



Campo elétrico e potencial eletrostático

PERFIS DE PORTADORES ESTACIONÁRIOS – INTENSIDADE $1E6 \text{ W/CM}^2$ 870-1050 NM E SEM LUZ



File Edit View Tools Data Window Help

Function

Data Curves

C1(n16776_des)
C1(n16758_des)
C1(n16770_des)
C1(n16788_des)
C1(n16800_des)
C1(n16812_des)
C1(n16840_des)

ElectrostaticPotential
LatticeTemperature
QuasiFermiPotential
eCurrentDensity
eDensity
eQuasiFermiPotential
hCurrentDensity
hDensity

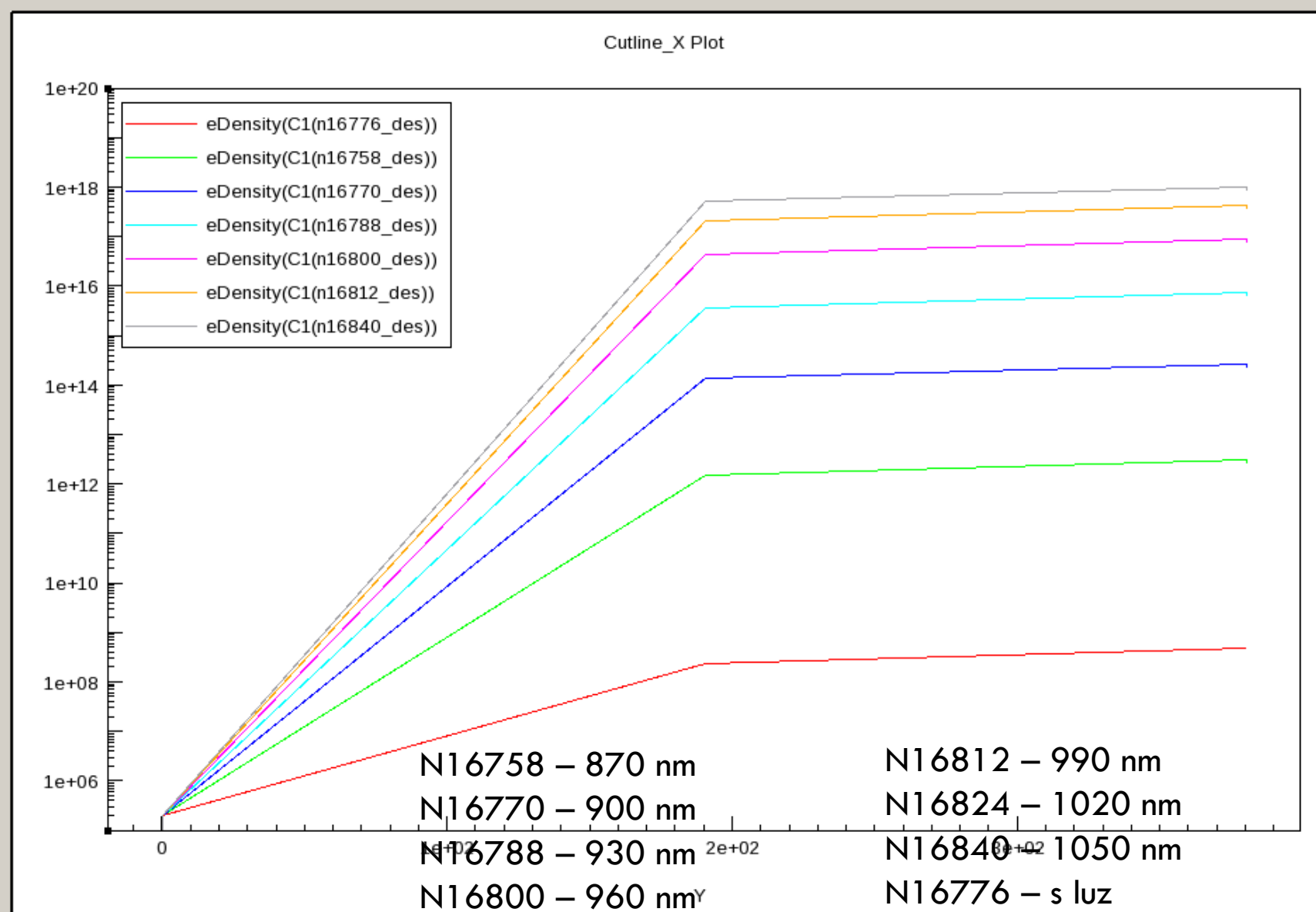
Duplicate Plot New Variable...

Axis Properties

Main Title/Scale Ticks Minor Ticks

Title Log. Scale
 Scale Inverted
 Ticks

Min: 100000 Fixed
Max: 1e+20 Fixed



PERFIS DE PORTADORES ESTACIONÁRIOS – INTENSIDADE $1E6 \text{ W/CM}^2$ 870-1050 NM E SEM LUZ

File Edit View Tools Data Window Help

Selection

Materials Regions Lines/Particles

Name					
Contact	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ambient	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aluminum	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Scalars Vectors

Name		
eDensity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eQuasiFermiPotential	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hCurrentDensity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hDensity	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hQuasiFermiPotential	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Range Levels Label Lines P

1.40913e+10 Fixed [cm⁻³]

3.50082e+18 Fixed

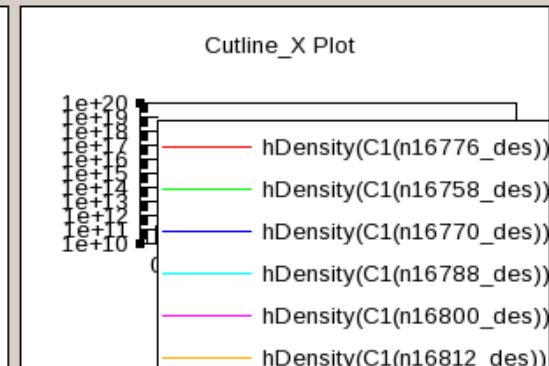
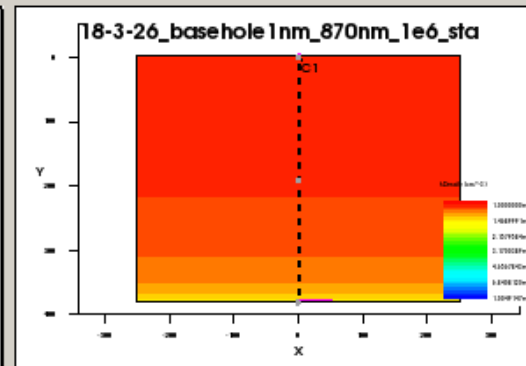
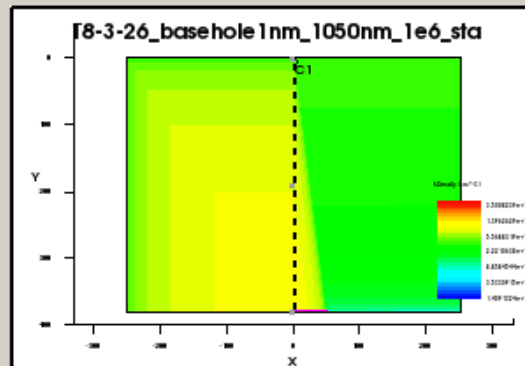
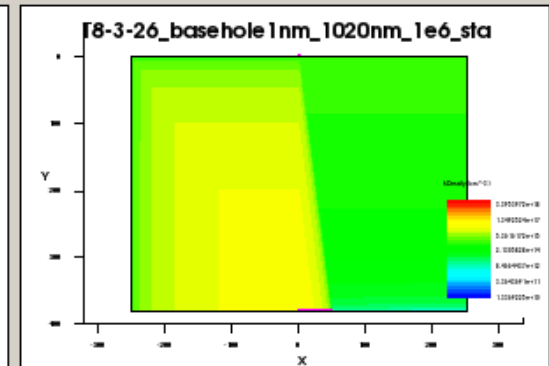
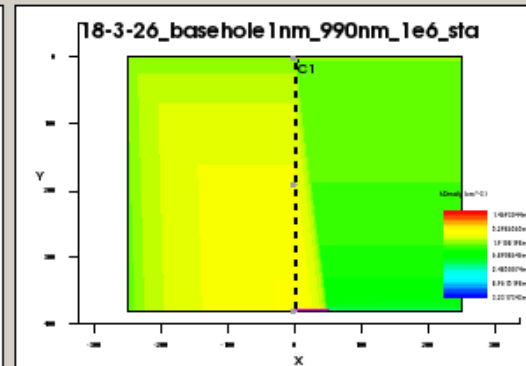
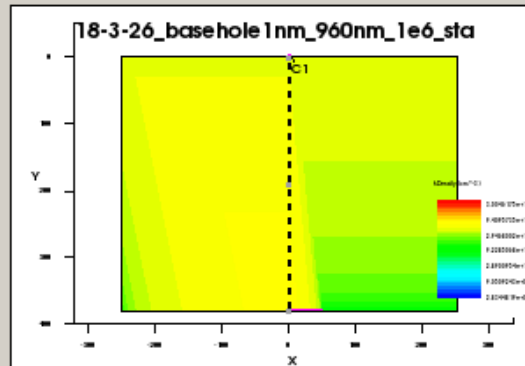
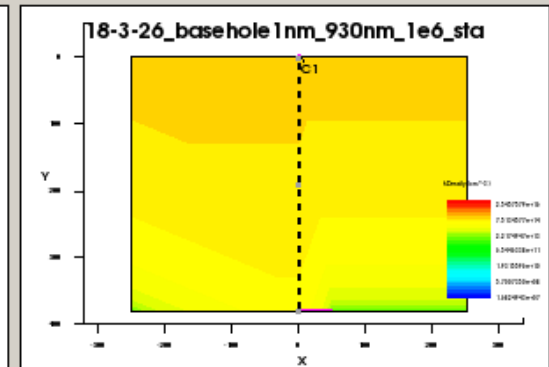
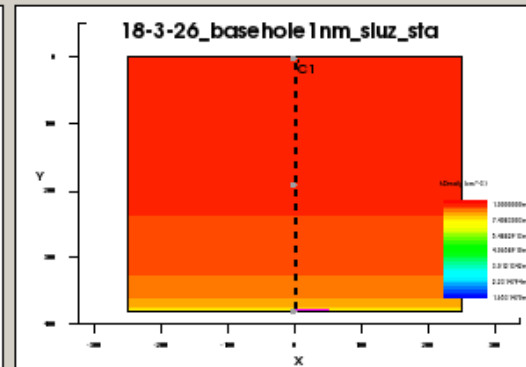
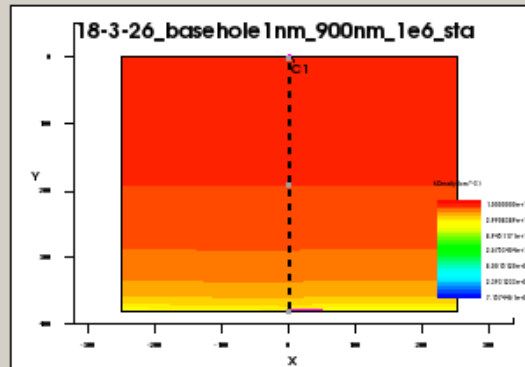
Plot Properties

Main Colors Scaling Contacts

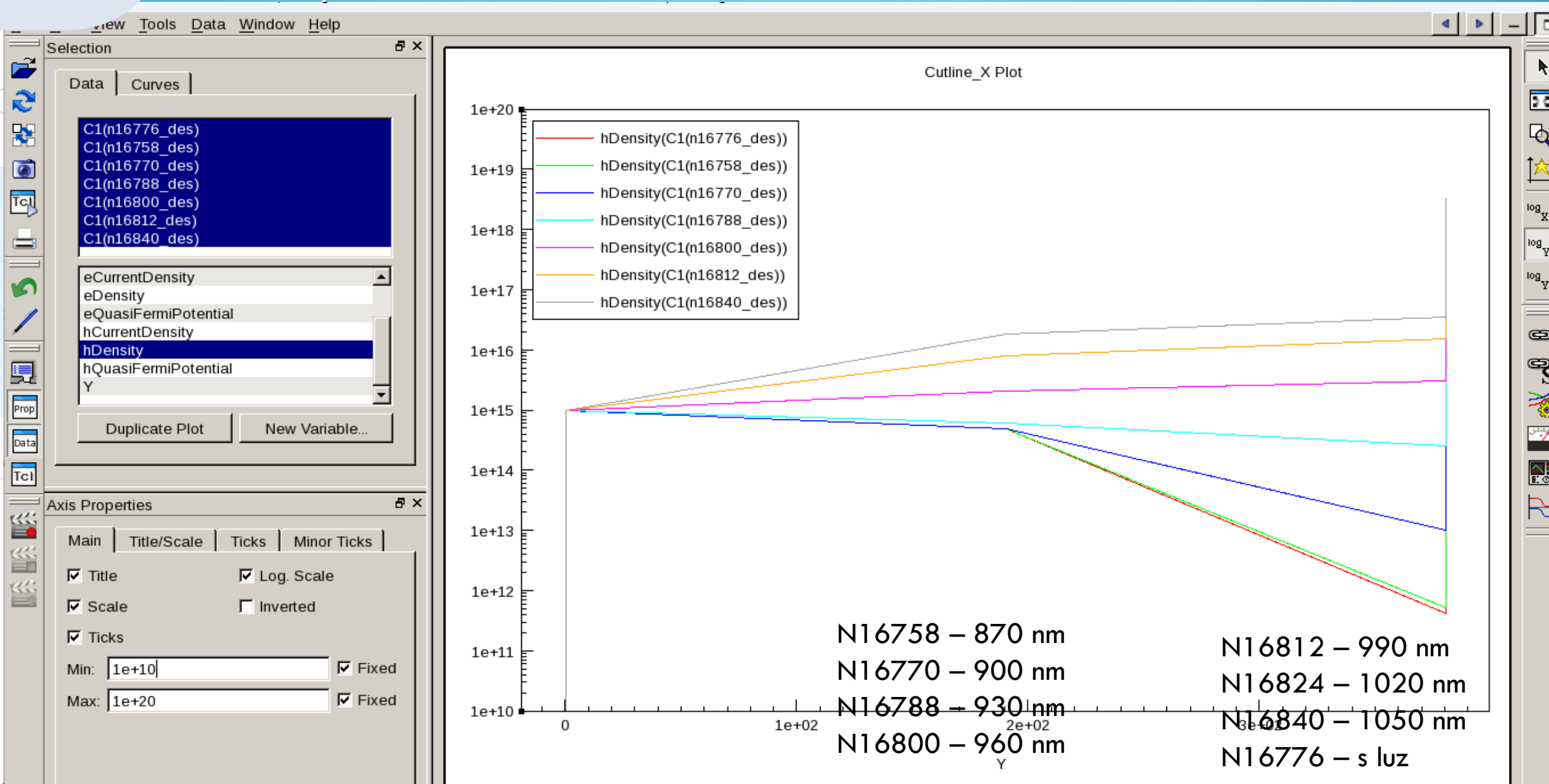
Title

Axes Legend

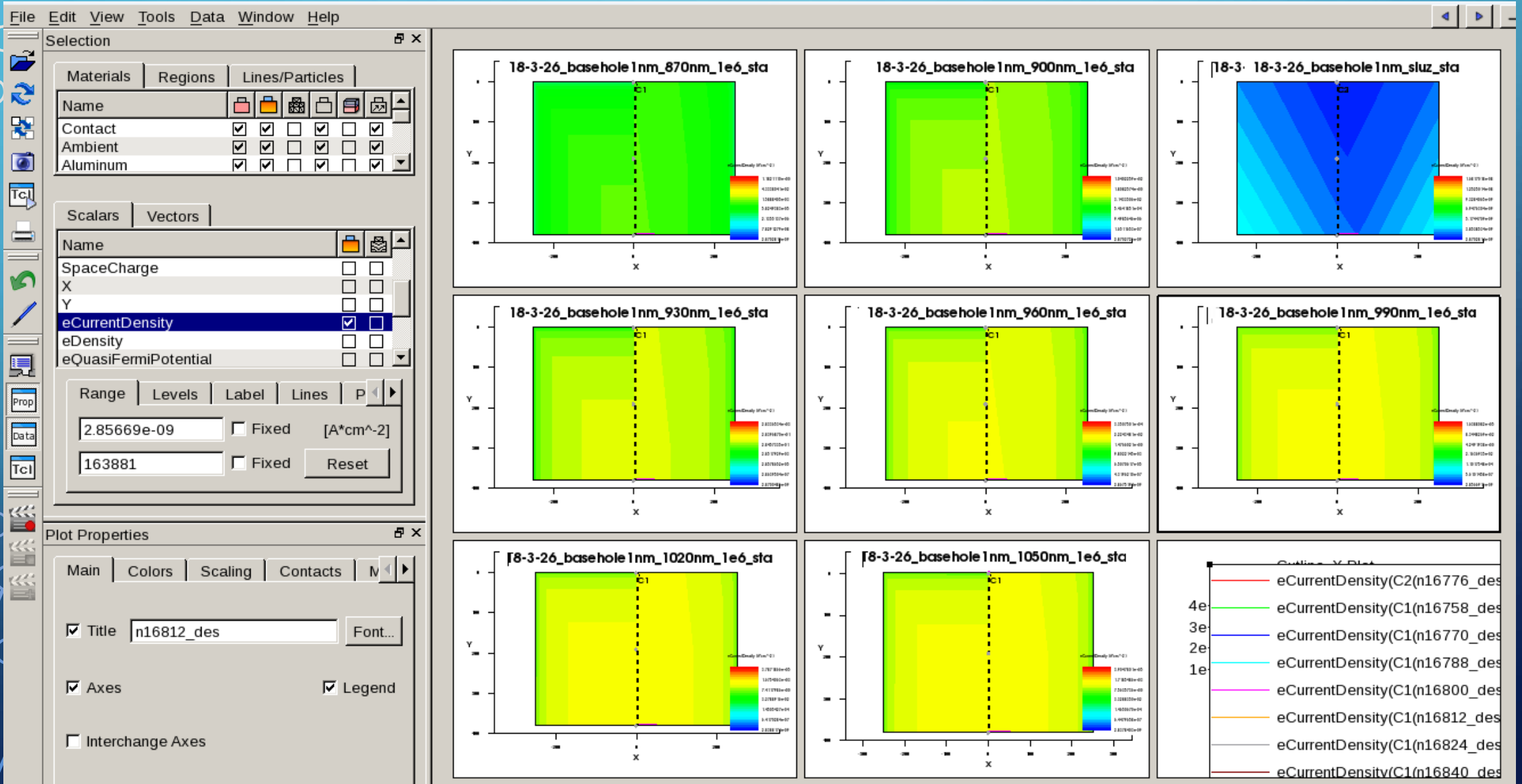
Interchange Axes



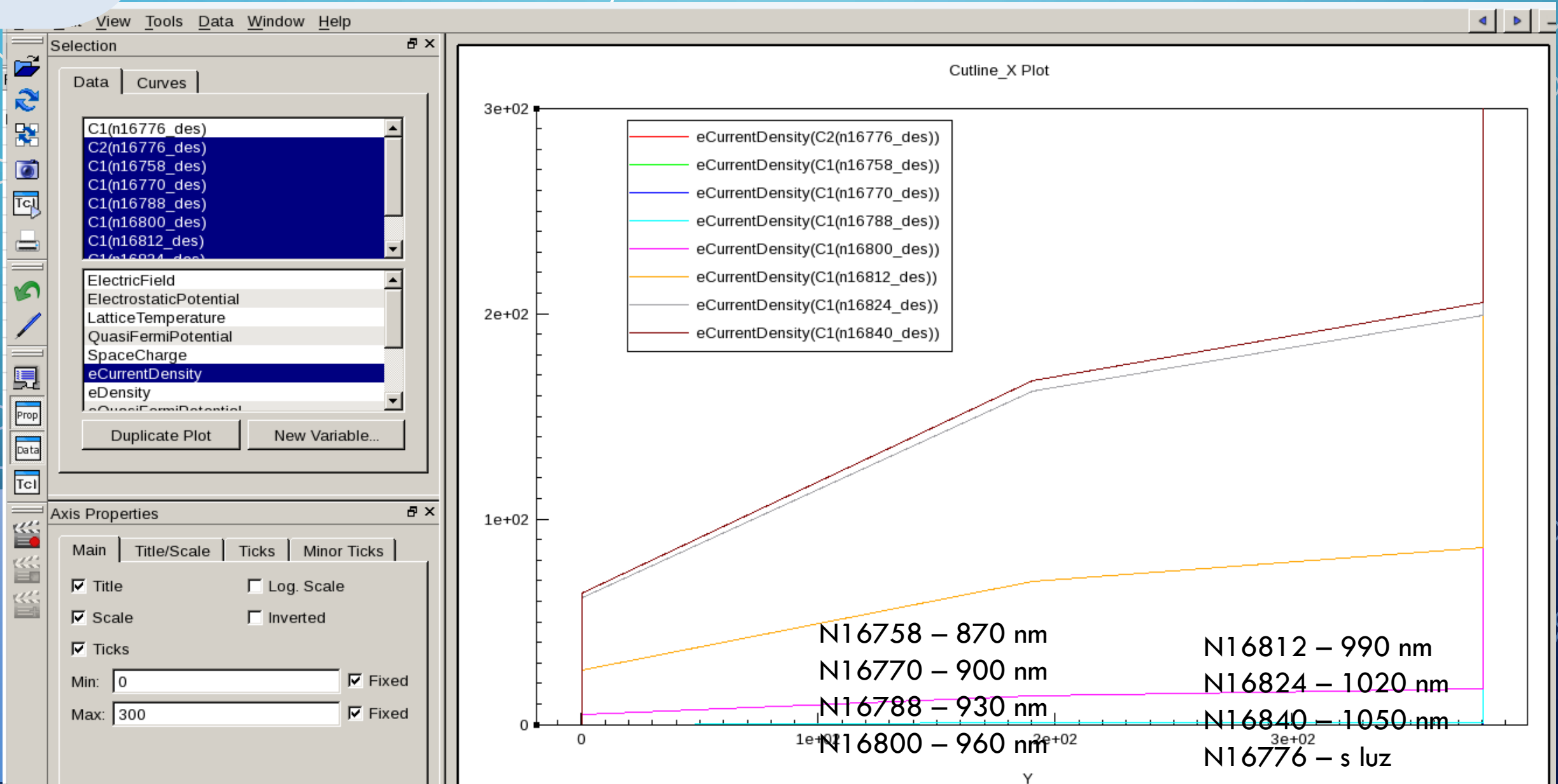
PERFIS DE PORTADORES ESTACIONÁRIOS – INTENSIDADE 1E6 W/CM2 870-1050 NM E SEM LUZ



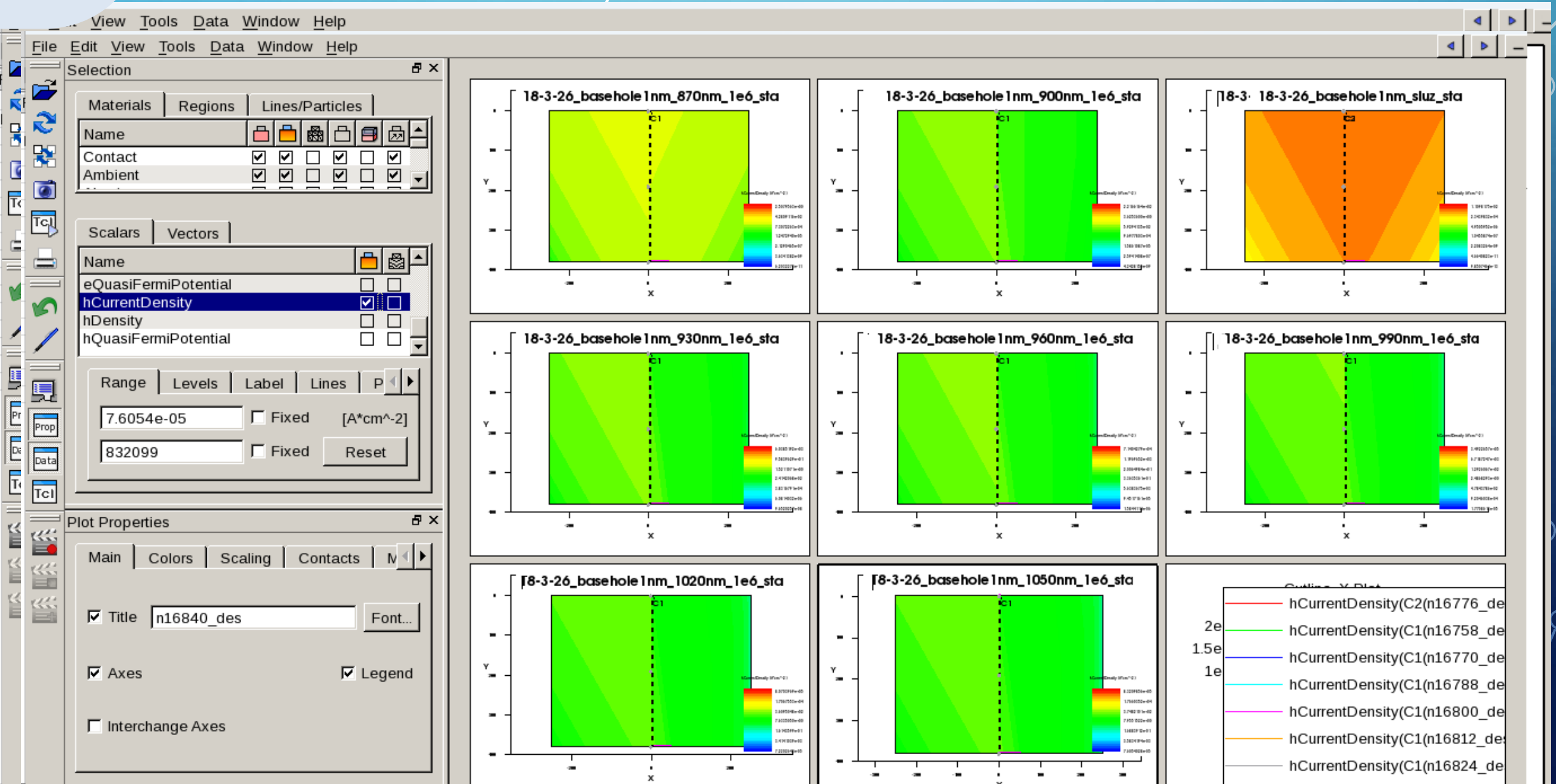
PERFIS DE DENSIDADE DE CORRENTE ESTACIONÁRIA – INTENSIDADE 1E6 W/CM2 870-1050 NM E SEM LUZ



PERFIS DE DENSIDADE DE CORRENTE ESTACIONÁRIA – INTENSIDADE 1E6 W/CM2 870-1050 NM E SEM LUZ

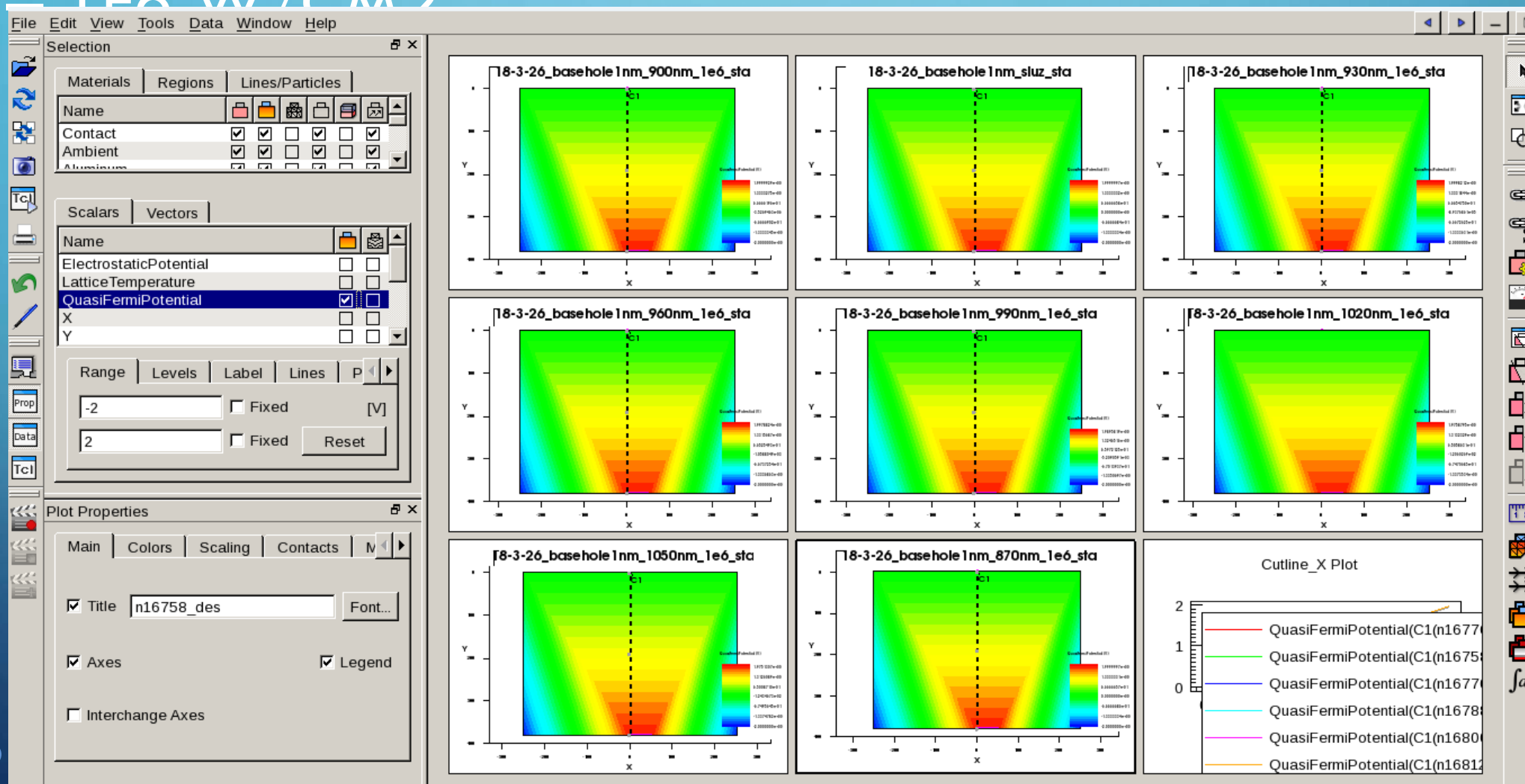


PERFIS DE DENSIDADE DE CORRENTE ESTACIONÁRIA – INTENSIDADE $1\text{E}6\text{ W/CM}^2$ 870-1050 NM E SEM LUZ

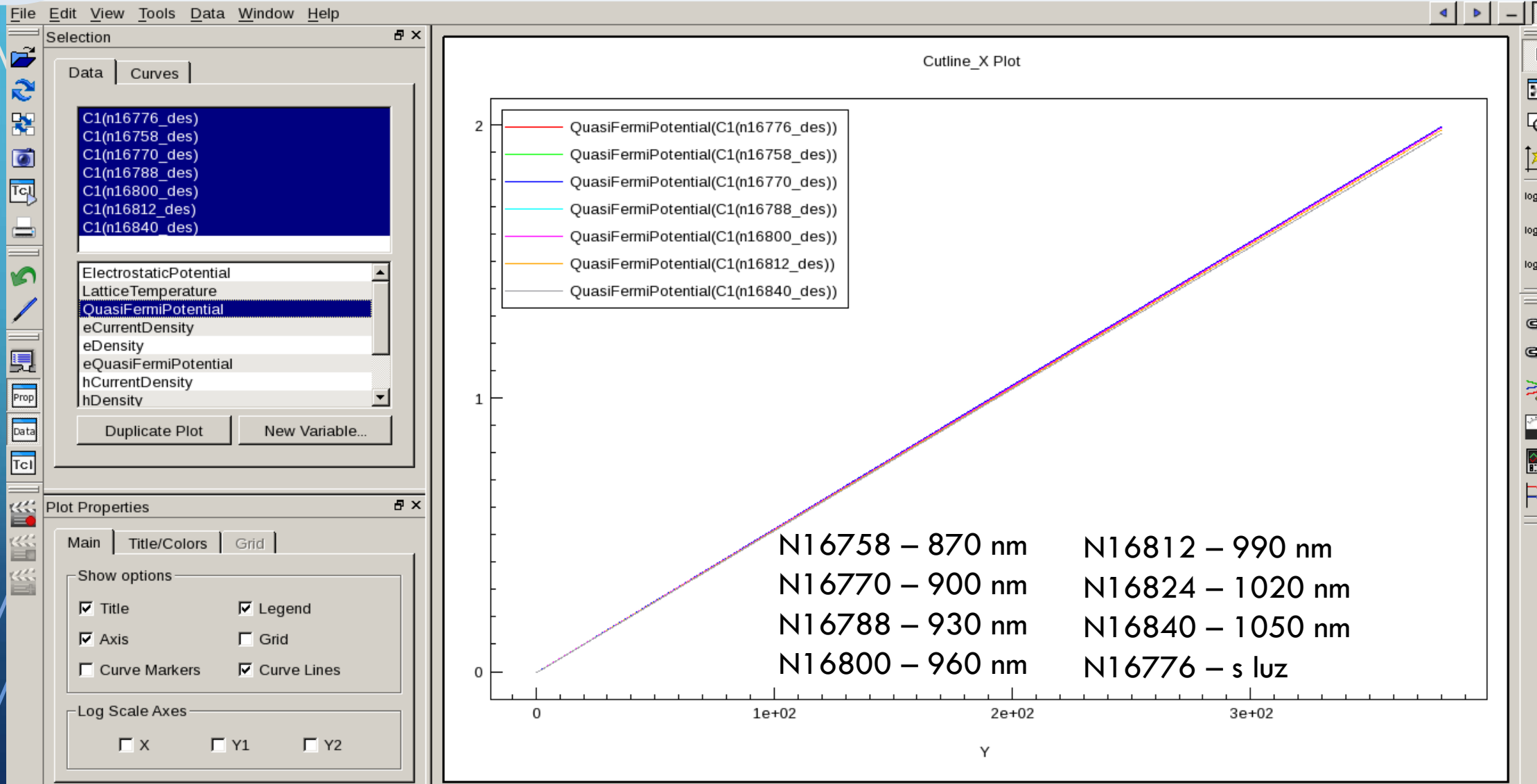


PERFIS DE POTENCIAL QUASI-FERMI ESTACIONÁRIO

1E6 W/CM²

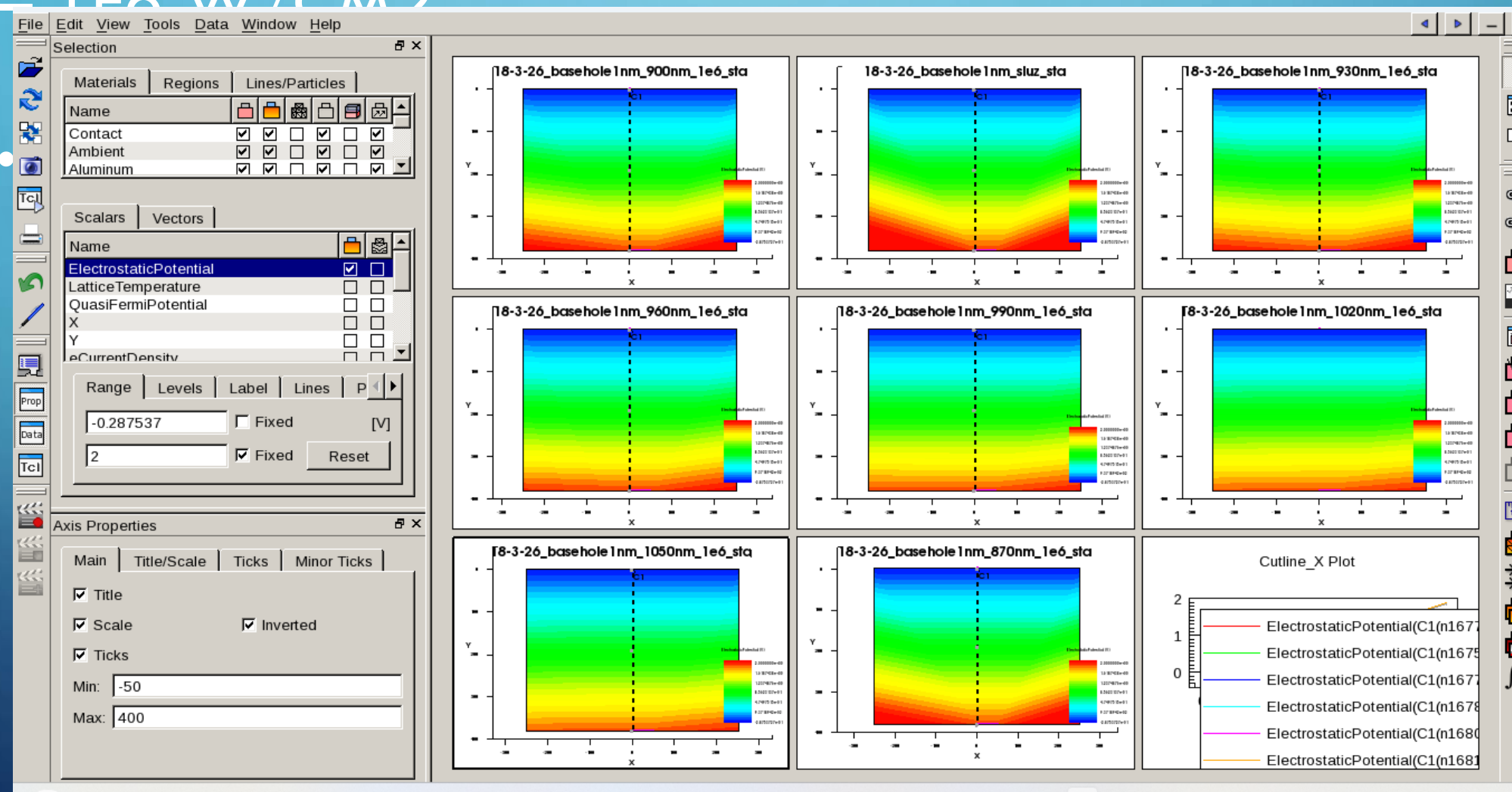


PERFIS DE POTENCIAL QUASI-FERMI ESTACIONÁRIO

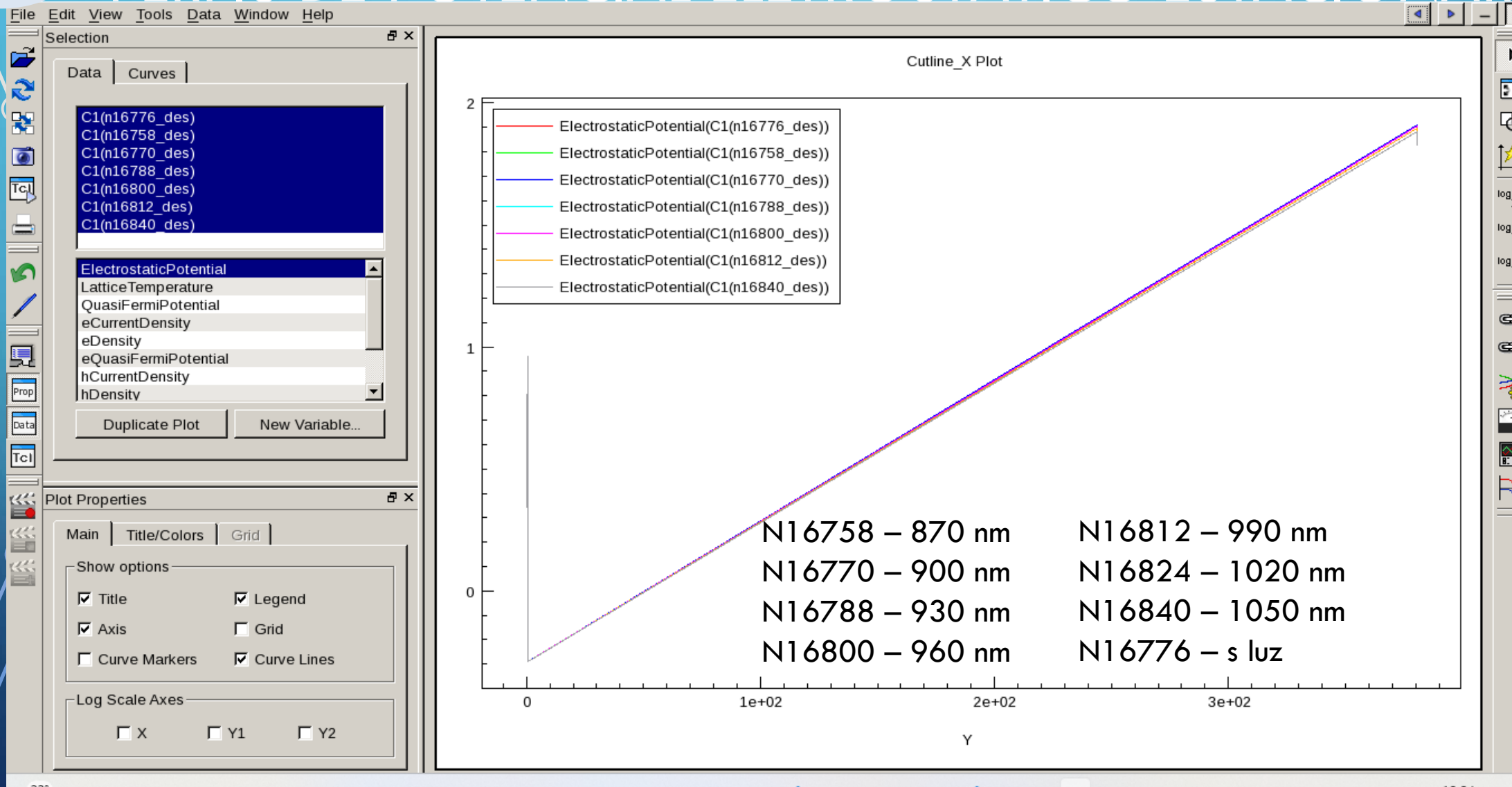


PERFIS DE POTENCIAL ELETROSTÁTICO ESTACIONÁRIO

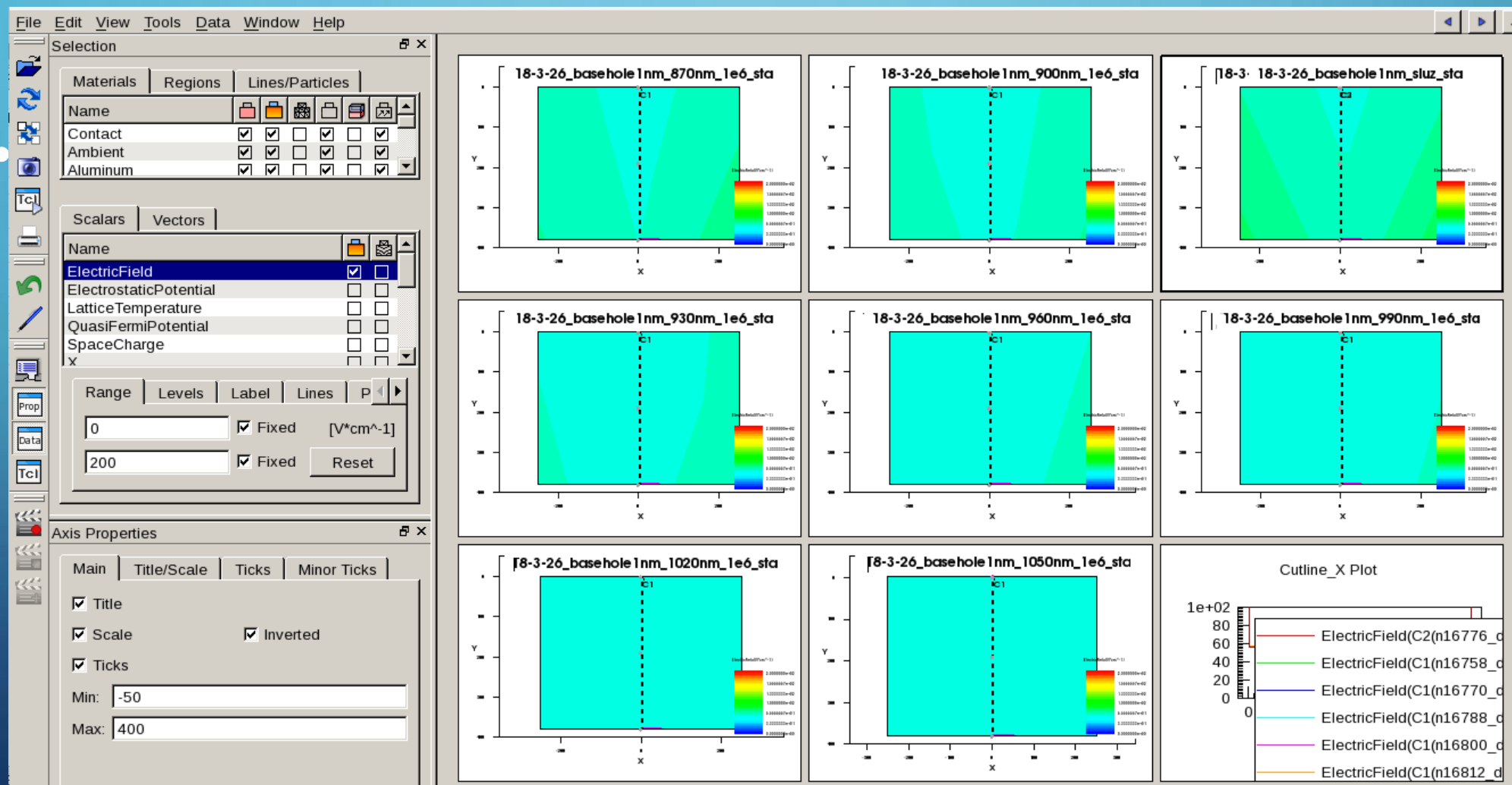
1E6 W/CM²



PERFIS DE POTENCIAL ELETROSTÁTICO ESTACIONÁRIO

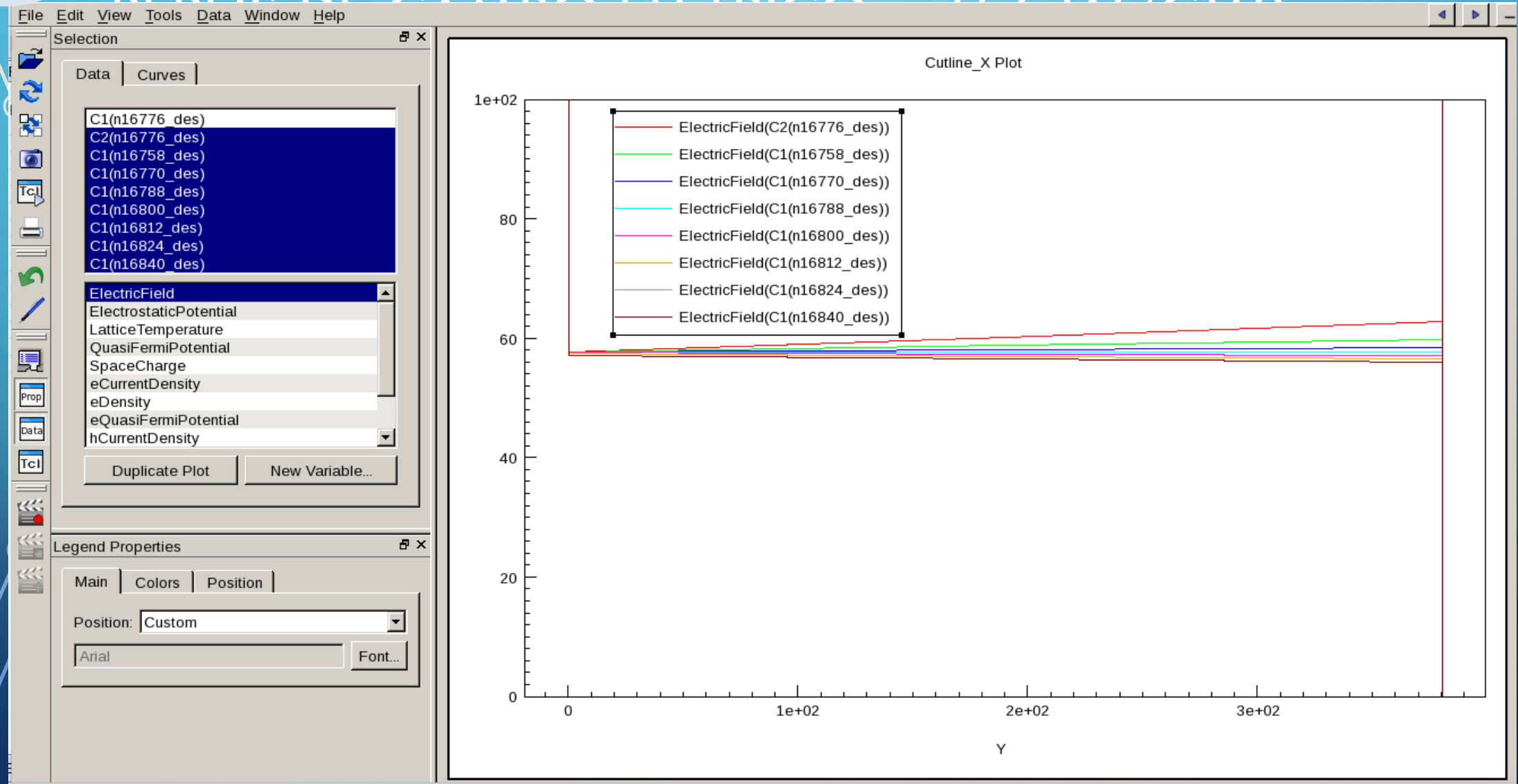


PERFIS DE CAMPO ELÉTRICO – $1 \text{ E}6 \text{ W/CM}^2$



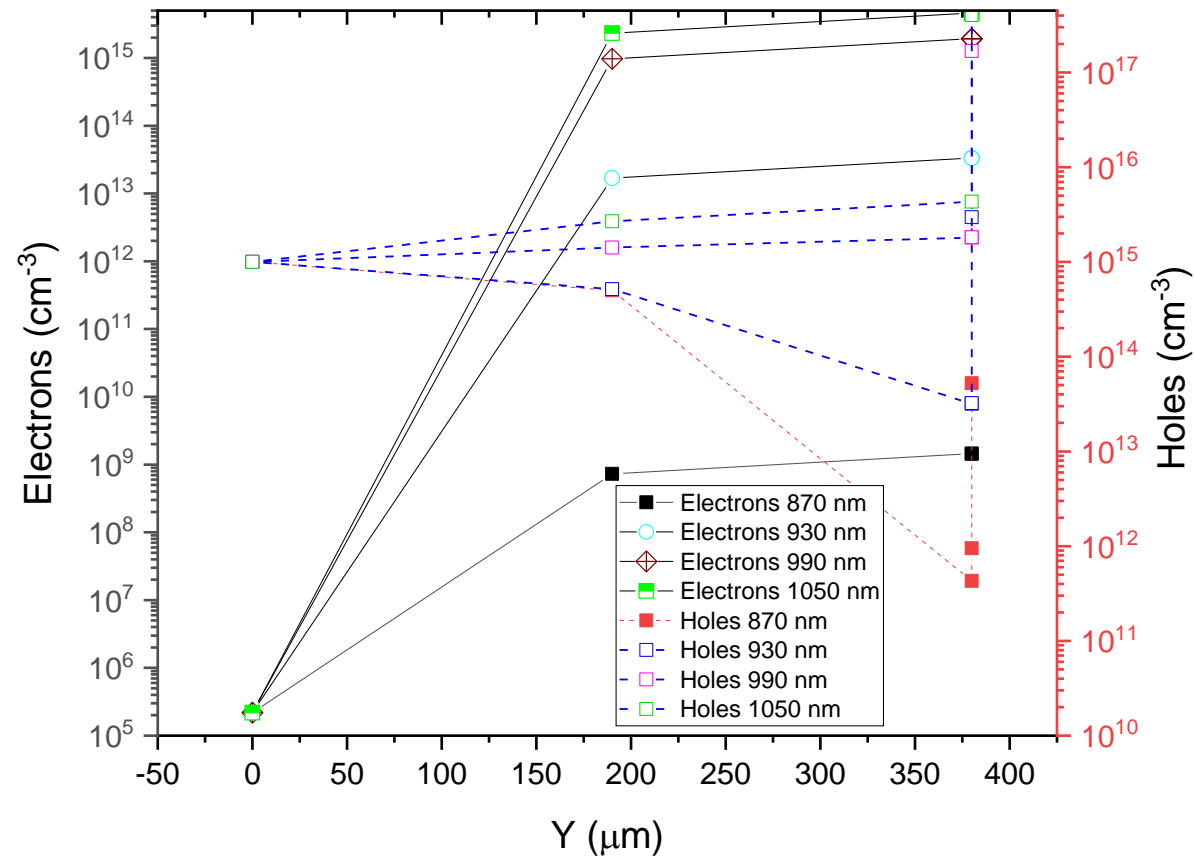
N16758 – 870 nm
N16770 – 900 nm
N16788 – 930 nm
N16800 – 960 nm

N16812 – 990 nm
N16824 – 1020 nm
N16840 – 1050 nm
N16776 – s luz



GRÁFICOS DE PERFIS - ESTACIONÁRIO

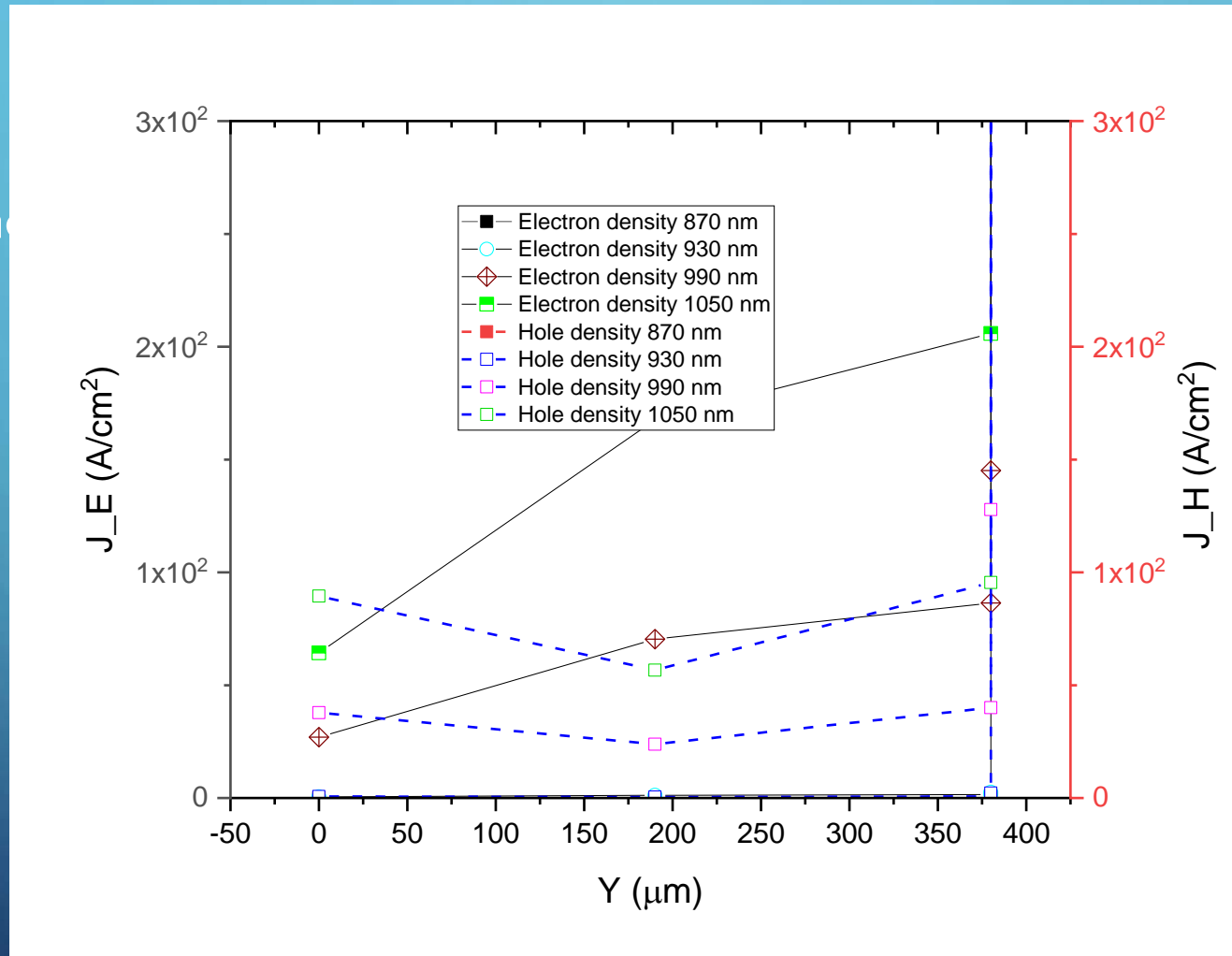
- Comprimento



Densidade de portadores

GRÁFICOS DE PERFIS - ESTACIONÁRIO

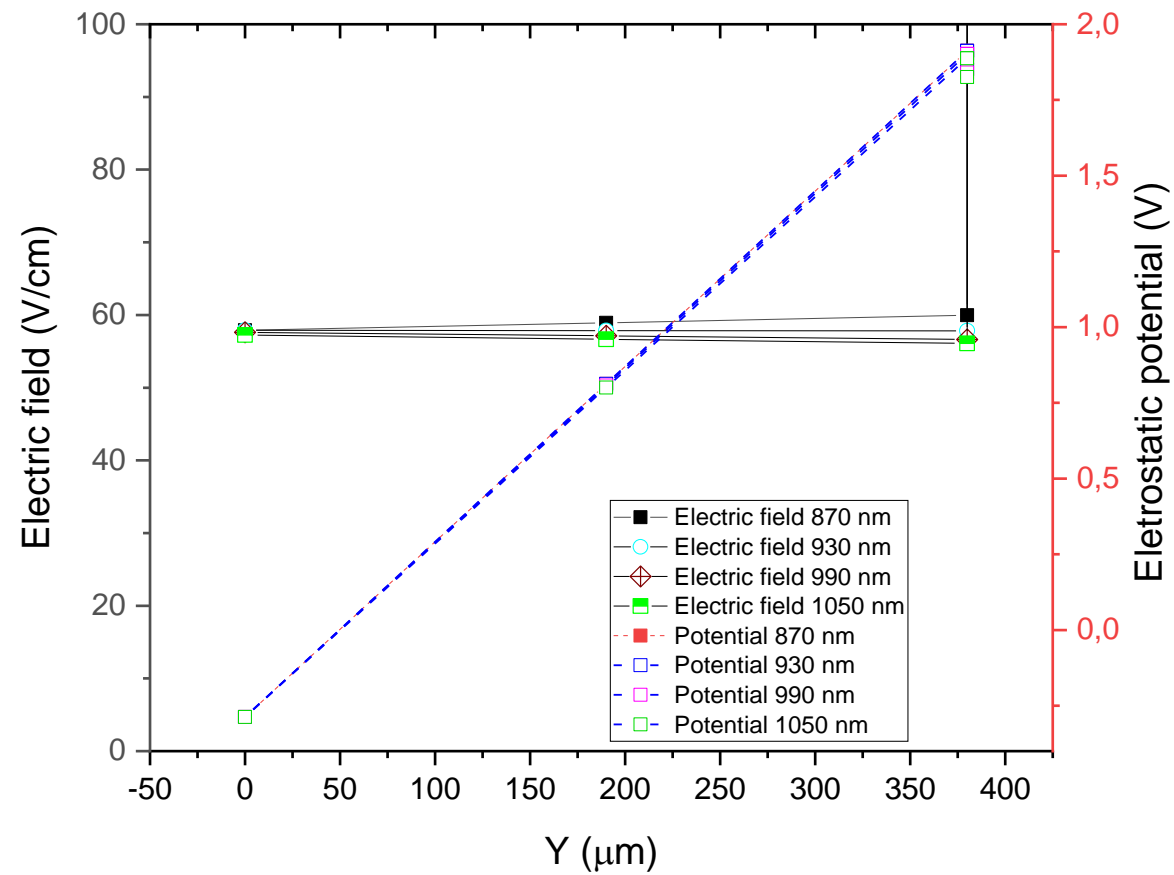
- Comprimento



Densidade de corrente de portadores

GRÁFICOS DE PERFIS - ESTACIONÁRIO

- Comprimento



Campo elétrico e potencial eletrostático

COMENTÁRIOS (GERAIS)

- Não houve diferenças de perfis significativas para o mesmo tipo de análise (estacionária ou transiente) e diferentes orifícios de base, salvo nas respostas estacionárias para o potencial de Quasi-Fermi
 - Perfis de potencial mais intensos e simétricos para orifício de base menor ($1 \mu\text{m}$)
- Nota-se o perfil diferente de portadores e potenciais comparando as respostas transiente e estacionária
 - Respostas estacionárias fornecem perfis mais intensos de portadores

The background is a blue gradient with decorative white circuit-like lines in the corners. The lines consist of straight segments and small circles, resembling a network or data flow diagram.

OBRIGADO PELA ATENÇÃO !