

# LABORATÓRIO 1 - SIMULAÇÃO SPICE DO TRANSISTOR

Prof. Fernando Gehm Moraes – Revisão: 02/agosto/2026

Exemplo para a linguagem de descrição de circuitos: SPICE - A Brief Tutorial

<http://www.seas.upenn.edu/~jan/spice/spice.overview.html>

(1) Fazer o tutorial de uso do VDI: <https://fgmoraes.github.io/microel/VDI.pdf>

(2) Baixar os arquivos do laboratório e configurar o ambiente para a simulação no VDI

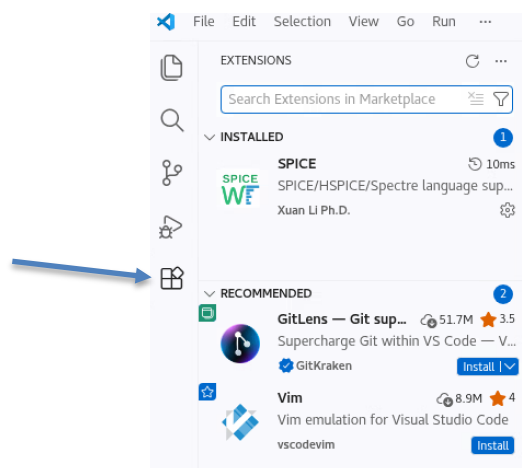
```
cd ~/onedrive
wget https://fgmoraes.github.io/microel/lab1.zip
unzip lab1.zip
cd lab1
source ~/onedrive/micro.sh
```

Há 4 arquivos no diretório lab1:

```
lab1
├── ids.sp
├── ids_p.sp
├── tsmc035.mod
└── vds.sp
```

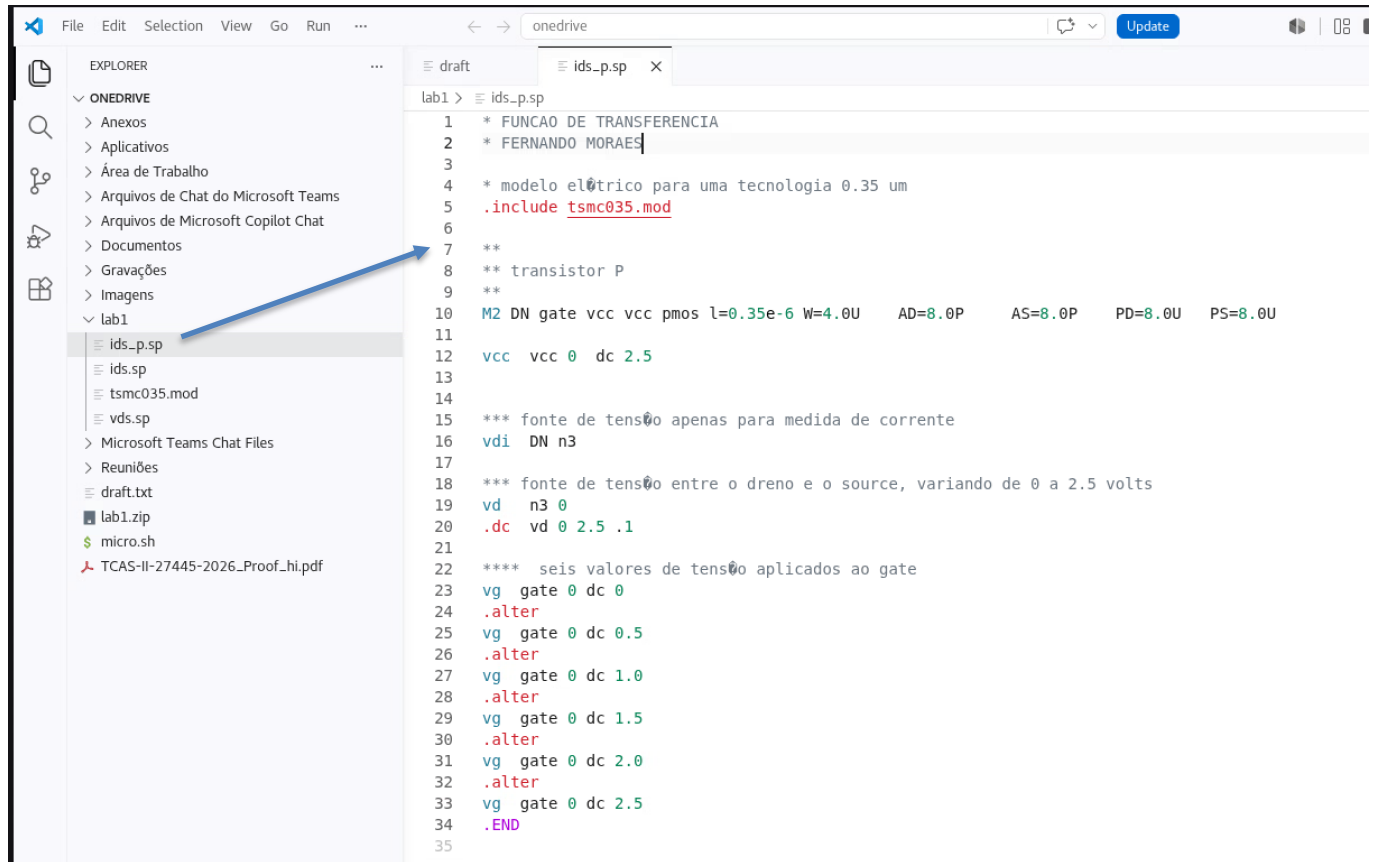
Os arquivos com sufixo. **sp** contêm a descrição *spice* do circuito, e o arquivo **tsmc035.mod** define a tecnologia que iremos empregar (0,35  $\mu\text{m}$ ). O arquivo de tecnologia deve estar no mesmo diretório do arquivo contendo as descrições *spice*. Os arquivos *spice* fazem um *include* no arquivo de tecnologia.

(3) Sugestão: instale uma extensão *spice* no code (abrir um terminal e digitar **code**)



## 1) SIMULAÇÃO PARA VISUALIZAR IDS EM FUNÇÃO DE VGS

- Visualize no code o arquivo `ids.sp`. Analise o circuito conforme as lâminas. Há apenas um transistor, e iremos avaliar a corrente  $I_{DS}$  em função da corrente  $V_{GS}$ .



```

1  * FUNCAO DE TRANSFERENCIA
2  * FERNANDO MORAES
3
4  * modelo elétrico para uma tecnologia 0.35 um
5  .include tsmc035.mod
6
7  **
8  ** transistor P
9  **
10 M2 DN gate vcc vcc pmos l=0.35e-6 w=4.0u AD=8.0P AS=8.0P PD=8.0U PS=8.0U
11
12 vcc vcc 0 dc 2.5
13
14
15 *** fonte de tensão apenas para medida de corrente
16 vdi DN n3
17
18 *** fonte de tensão entre o dreno e o source, variando de 0 a 2.5 volts
19 vd n3 0
20 .dc vd 0 2.5 .1
21
22 **** seis valores de tensão aplicados ao gate
23 vg gate 0 dc 0
24 .alter
25 vg gate 0 dc 0.5
26 .alter
27 vg gate 0 dc 1.0
28 .alter
29 vg gate 0 dc 1.5
30 .alter
31 vg gate 0 dc 2.0
32 .alter
33 vg gate 0 dc 2.5
34 .END
35

```

- Simular o arquivo `ids.sp`. Para simular executar no terminal o comando: `spectre ids.sp`

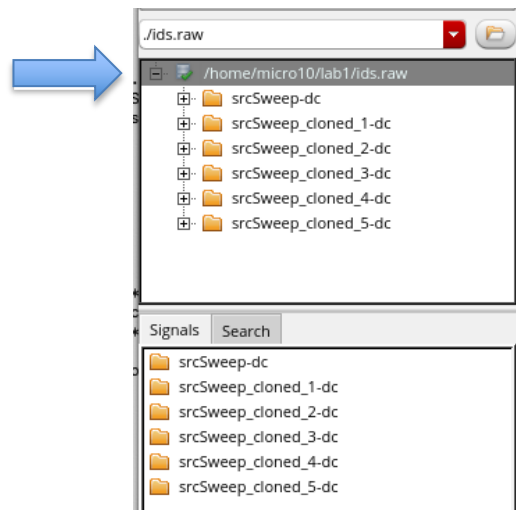
Após a simulação concluir, são impressas as seguintes mensagens:

```

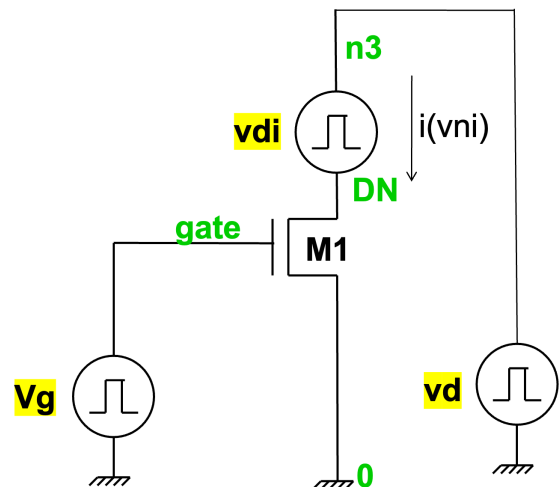
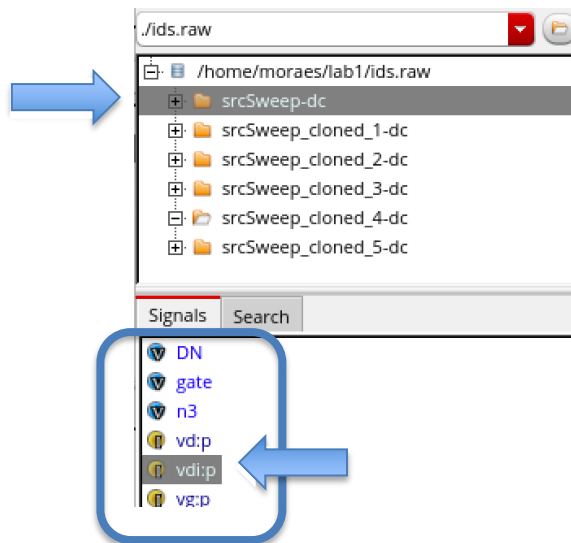
Spectre (R) Circuit Simulator
Version 23.1.0.063 64bit -- 10 Jun 2023
Copyright (C) 1989-2023 Cadence Design Systems, Inc. All rights
....
spectre completes with 0 errors, 0 warnings, and 13 notices.

```

- Abrir a interface gráfica: `viva &`
  - File → Open Results → ids.raw**
  - Clique no **+** : abrem os 6 resultados de simulação.

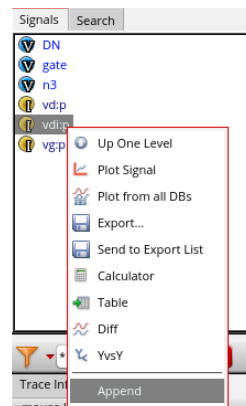


- clique em *srcSweep-dc* – abre os sinais que podemos visualizar.
- 



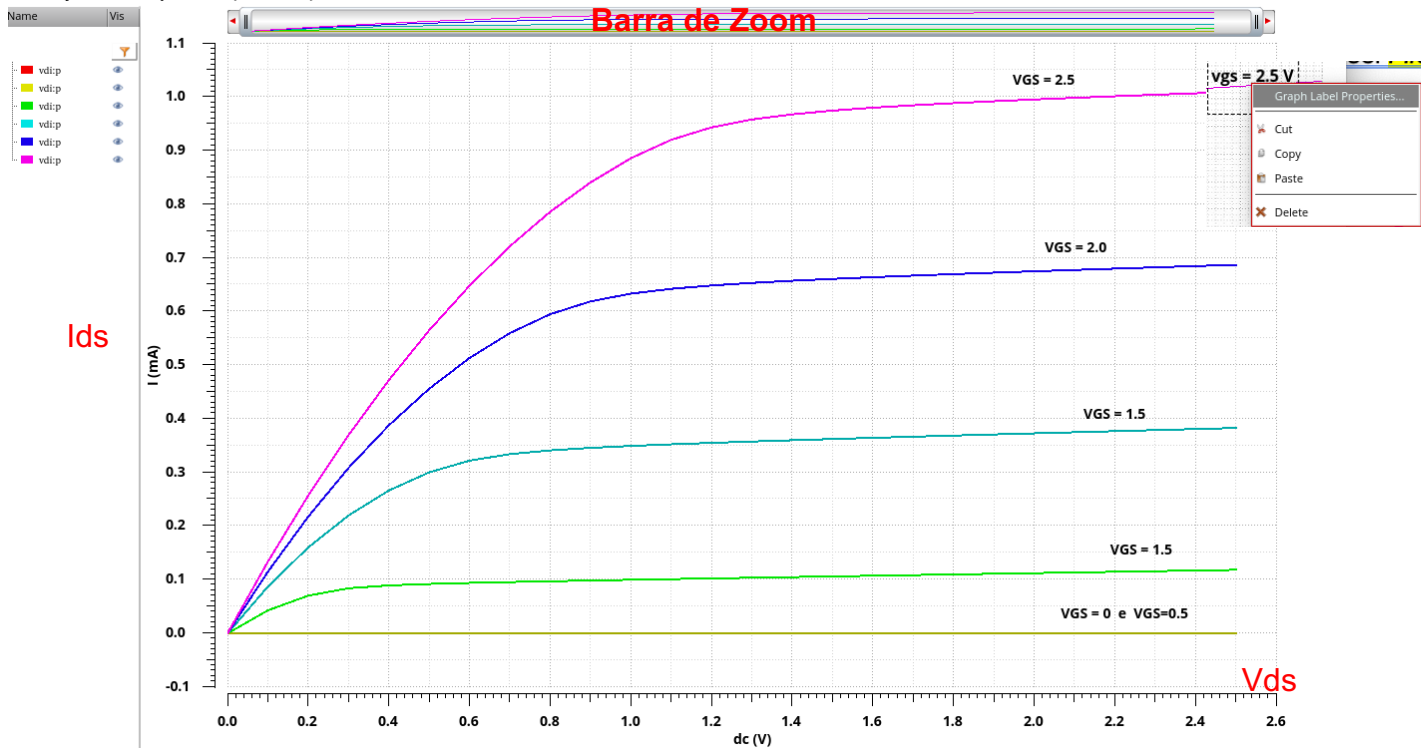
- Duplo clique em **i(vdi:p)** (:p significa corrente positiva) para abrir a corrente sobre o transistor (corrente sobre a fonte auxiliar – *vdi*). Esta primeira curva obtida corresponde ao IDS da simulação com *VGS=0*. Depois selecione *srcSweep\_cloned\_1-dc* e acrescente a nova corrente clicando sobre o mesmo sinal. Repita o processo para todas as correntes. **Olhar o arquivo SPICE**. A tensão aplicada ao *gate* varia de 0 V a 2,5 V, e *vds* de 0 a 2,5 (.dc *vd* 0 2.5 .1). Dado que o *source* está conectado à *gnd*, *vg* = *Vgs*, neste exemplo.

```
vg gate 0 dc 0
.alter
vg gate 0 dc 0.5
.alter
vg gate 0 dc 1.0
.alter
vg gate 0 dc 1.5
.alter
vg gate 0 dc 2.0
.alter
vg gate 0 dc 2.5
.END
```



O resultado obtido é o apresentado abaixo. (usei **File → Window Properties** para trocar a cor de fundo). **Inserir labels** com **graph → add label**.

DC Analysis 'srcSweep': v<sub>d</sub>:dc = (0 V → 2.5 V)



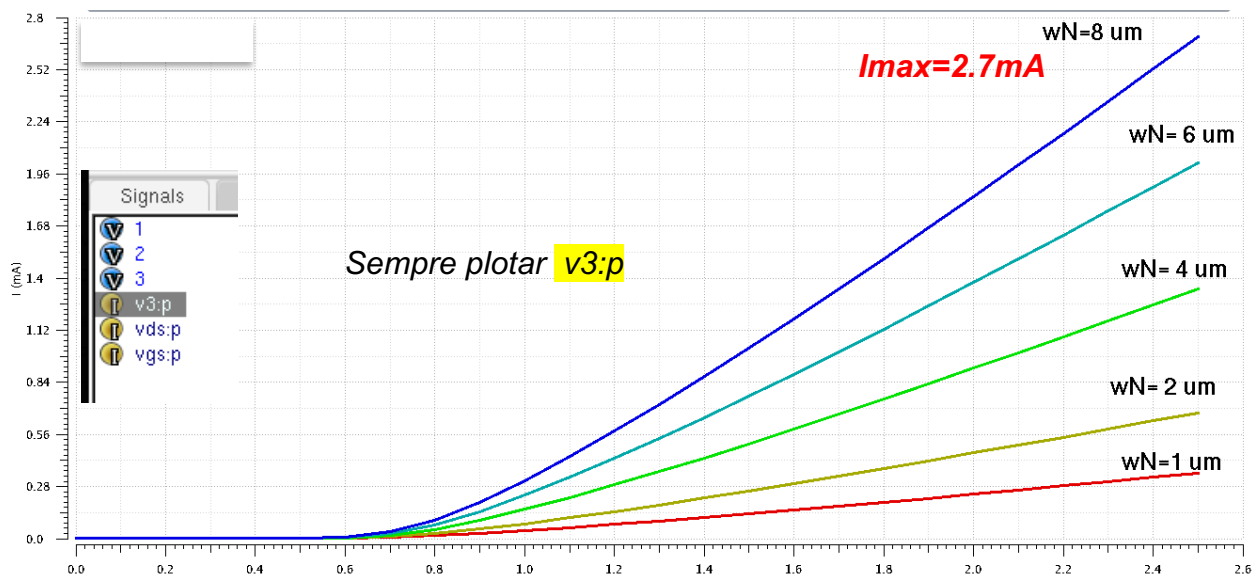
Observar que no eixo x temos  $V_{DS}$  variando de 0 a 2.5 volts, e no eixo y a corrente  $I_{DS}$ . Cada simulação é dada por uma cor.

### RESPONDA NO RELATÓRIO [5 pts]:

- [1,0 pt] Qual o objetivo desta simulação?
- [1,0 pt] No relatório plotar a curva de simulação (figura acima) e **identificar** as regiões de transistor cortado, linear e saturado nas curvas. Observar que a corrente máxima foi de 1 mA.
- [1,5 pt] Altere de tensão de *threshold* do transistor N para 1.5 V (alterar no arquivo tsmc035.mod o parâmetro VTH0 do transistor N), **simule novamente**, e explique o novo comportamento das curvas. No relatório mostrar as curvas, identificando as regiões de operação. Compare com a simulação original, **explicando** as principais diferenças observadas. **Ao final da simulação retorne o VTH0 para o valor original**. Qual a corrente máxima observada? Compare com o item 2 e explique a razão – **buscar no livro texto a equação de corrente (apresentar no relatório) para embasar a resposta**.
- [1,5 pt] **Simular** o arquivo **ids\_p.sp** (transistor P sendo avaliado). Apresentar as formas de onda, plotando  $i(vdi:p)$  e inserindo **o valor de VGS** (diferença de potencial entre o *gate* e o *source*) na forma de *label* sobre as curvas, e **explicar** o comportamento do circuito. Observar que o *source* está conectado em vcc (2,5 V), logo, quando  $V_G=0$ ,  $V_{GS}= -2,5V$ . Qual a corrente máxima observada? Compare com o item 2 e explique a razão.

## 2) SIMULAÇÃO PARA VISUALIZAR IDS EM FUNÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO TRANSISTOR

- **Simular o arquivo vds.sp.** Esta simulação aplica uma tensão no *gate* (VGS, eixo x), que varia de 0 a 2.5 volts, para 5 condições de W (largura de canal). Plotar a corrente  $i(v3:p)$ . A variação da largura do transistor N gera o seguinte comportamento:

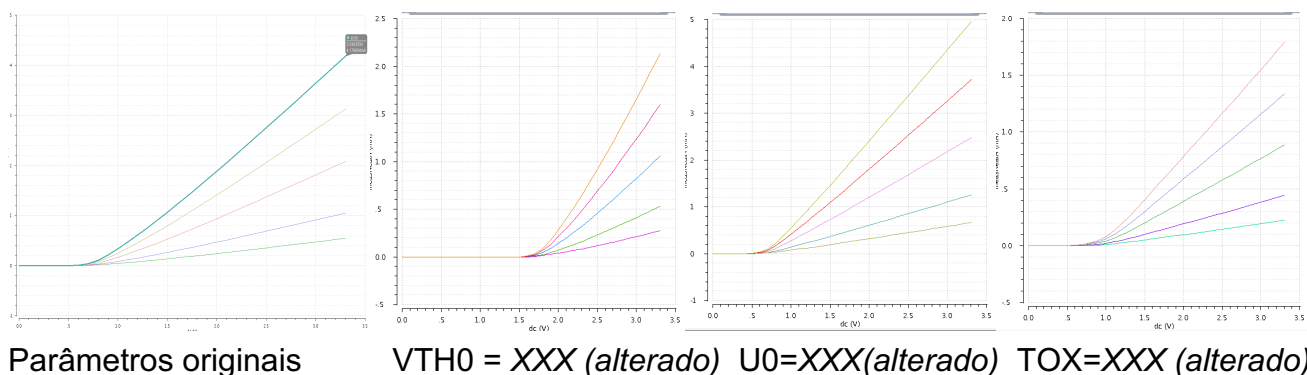


Observar na simulação o momento em que o transistor começa a conduzir ( $V_{TH0} = 0.5048265$ ), e o efeito do tamanho do transistor (W) na corrente. Observar que o W não influi na tensão de *threshold*, pois este é um parâmetro da tecnologia.

**Anotar a corrente máxima observado no plot (passando o mouse sobre a curva).**

### RESPONDA NO RELATÓRIO:

5. [0,5 pt] Obtenha a gráfico acima, a partir da simulação do arquivo **vds.sp**.
6. [1,5 pt] Variar (**individualmente**) os seguintes parâmetros do arquivo de tecnologia, para o transistor N. Pode-se multiplicar ou dividir por um dado valor (por exemplo **4**) cada parâmetro do arquivo de tecnologia.
  - tensão de threshold - **VTH0** (alterar VTH0 para novo valor)
  - mobilidade - **U0** (alterar U0 para novo valor, e voltar ao VTH0 original)
  - espessura do óxido – **TOX** (alterar TOX para novo valor, e voltar ao U0 original)



Apresentar o gráfico das quatro simulações, cada uma variando um dado parâmetro. Adicionar um título no gráfico, indicando o parâmetro alterado, por exemplo: “ $U_0 = 1245 (*3)$ ” (mobilidade multiplicada por três). **Além de inserir os labels de W nas 4 simulações, inserir label com a corrente máxima, como acima ( $I_{max} = 2.7 \text{ mA}$ ).**

7. [1,5 pt] Relacionar as variações de corrente  $I_{ds}$  acima com a equação de corrente do transistor MOS, explicando os comportamentos observados na questão ‘6’ com a equação. Apresentar no relatório a equação de corrente utilizada, **e a referência** de onde ela foi obtida. **Consultar o livro texto, ou outro livro de microeletrônica.**
8. [1,0 pt] Comente no arquivo vds.sp o transistor N (acrescentando um “\*” no início da linha) e acrescente um transistor P como abaixo:

\*M1 ...

M2 dreno gate 0 vds pmos  $I=0.35e-6$  W=wtr AD=4.0P AS=4.0P PD=6.0U PS=6.0U

Plote a curva para o transistor P, e explique o comportamento observado. Porque entre 1.8V e 2.5V não há corrente?

9. [0,5 pt] Calcular a relação de mobilidade entre o transistor N ( $U_0 = 415.8570638$ ) e o transistor P ( $U_0 = 150.6275733$ )? O que indica esta relação de mobilidade? **Consultar o livro texto, ou outro livro de microeletrônica.**

## FIM DO LABORATÓRIO 1