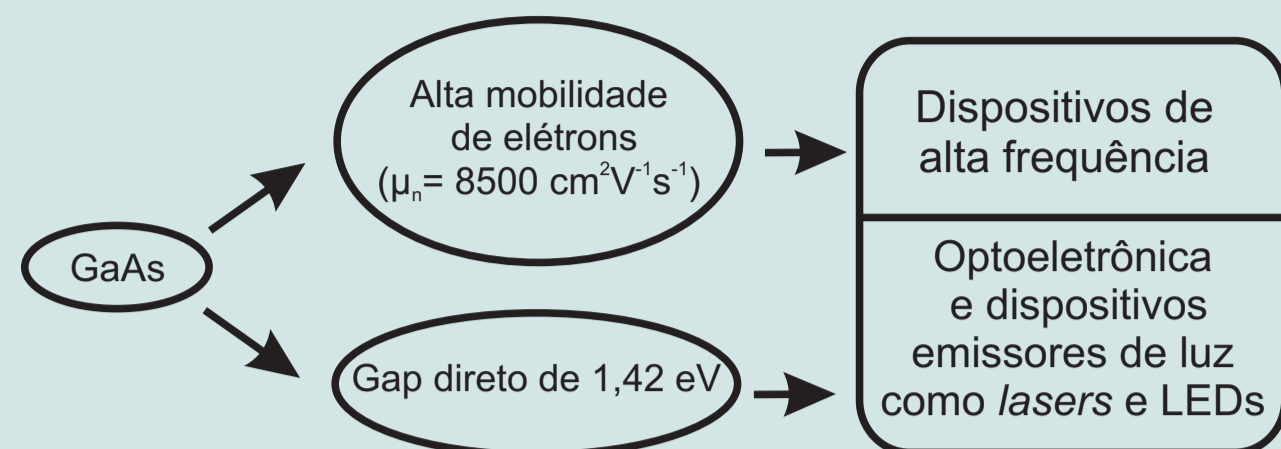


Introdução:



O processo de fabricação de circuitos integrados (CIs) requer **isolação elétrica entre dispositivos adjuntos**.

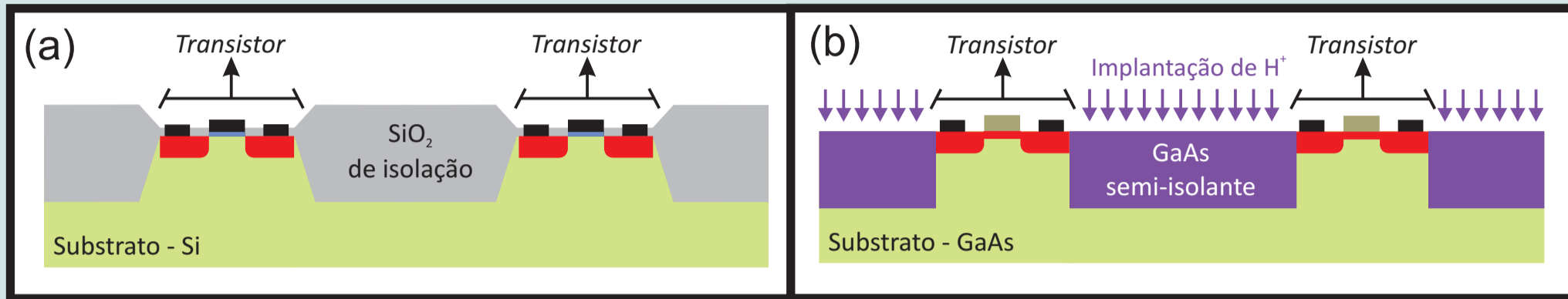


Figura 1: (a) Processo de isolação elétrica mais utilizado em CIs de Si, LOCOS (Local Oxidation of Silicon). (b) Processo de isolação elétrica por implantação de íons em GaAs.

→ Vantagens do processo de isolação elétrica por implantação iônica:

- Mantém a planaridade da lâmina;
- O equipamento utilizado é padrão nas indústrias de CIs;
- Maior simplicidade no processo de fabricação de CIs.

→ Princípios físicos:

Implantação → Defeitos no semiconductor → Níveis profundos na banda proibida

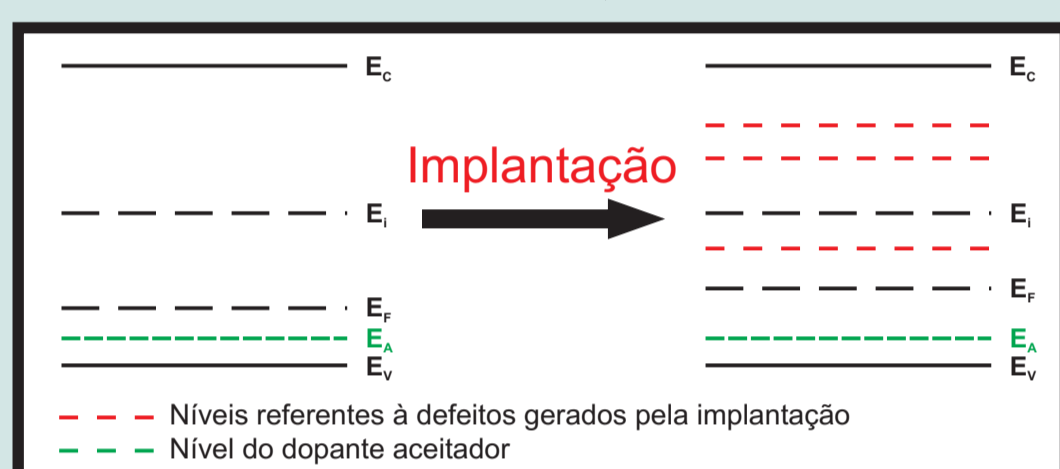


Figura 2: Banda proibida sem e com níveis profundos devido à implantação.

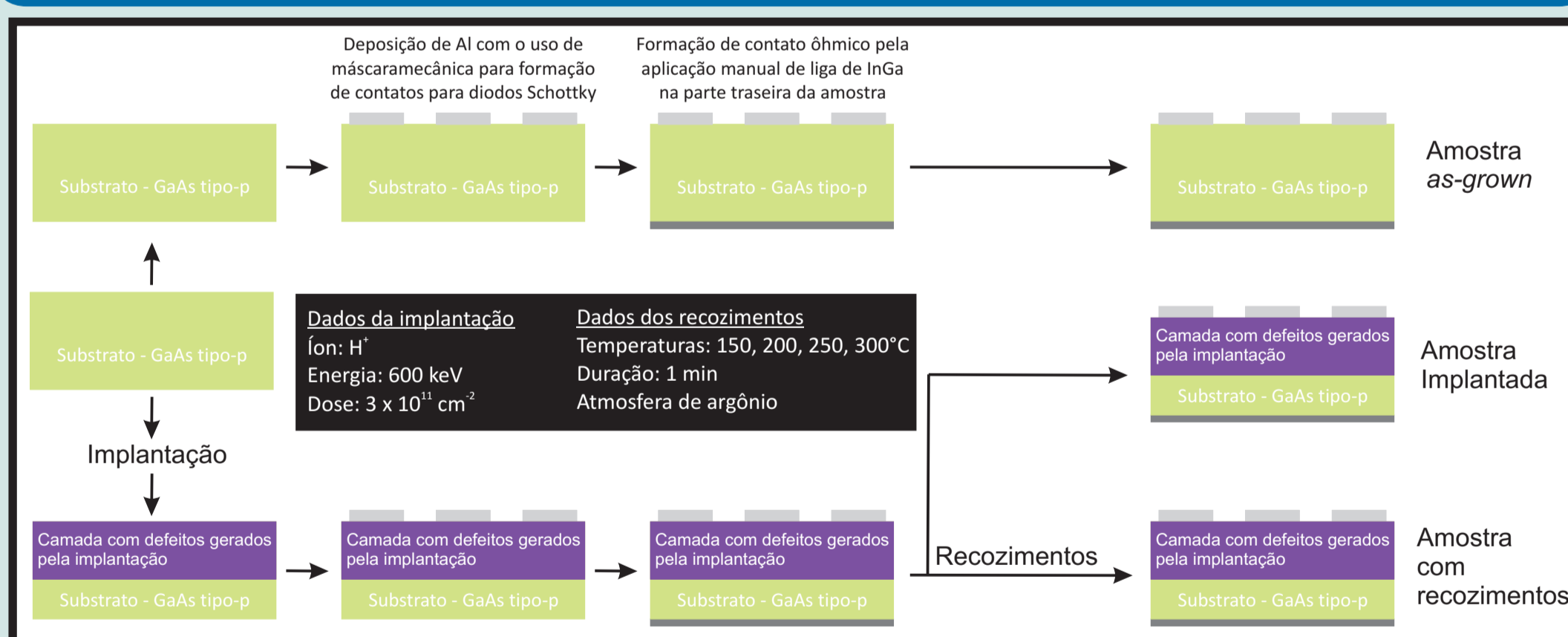
Esses níveis comportam-se como armadilhas para os portadores livres, fazendo a condutividade do semiconductor diminuir em ordens de grandeza devido à redução em sua concentração. Além disso, os defeitos atuam também como centro espalhadores, o que também contribui para a redução da condutividade. Com isso, regiões implantadas podem se tornar semi-isolantes.

O estudo, identificação e caracterização desses defeitos e seus respectivos níveis são passos de caráter crucial para o aperfeiçoamento e otimização da etapa de isolação por implantação.

Objetivo:

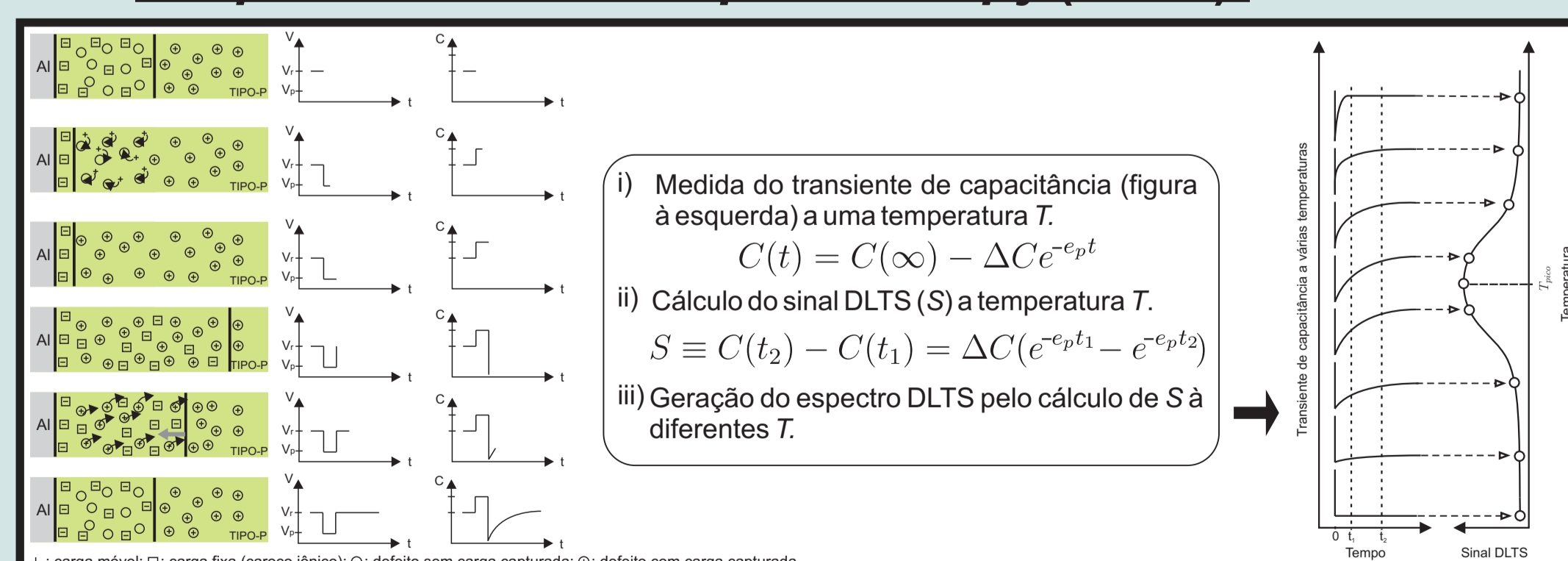
O presente trabalho de pesquisa tem por objetivo identificar os níveis próximos à banda de valência para GaAs implantado com prótons e avaliar a contribuição desses para o processo de isolação por implantação.

Preparação das amostras:



Técnicas experimentais:

→ **Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS):**



Mostra-se que a taxa de emissão das lacunas capturadas por um defeito é:

$$e_p(T) = \gamma_p T^2 \sigma_p e^{-\frac{E_t - E_V}{kT}}$$

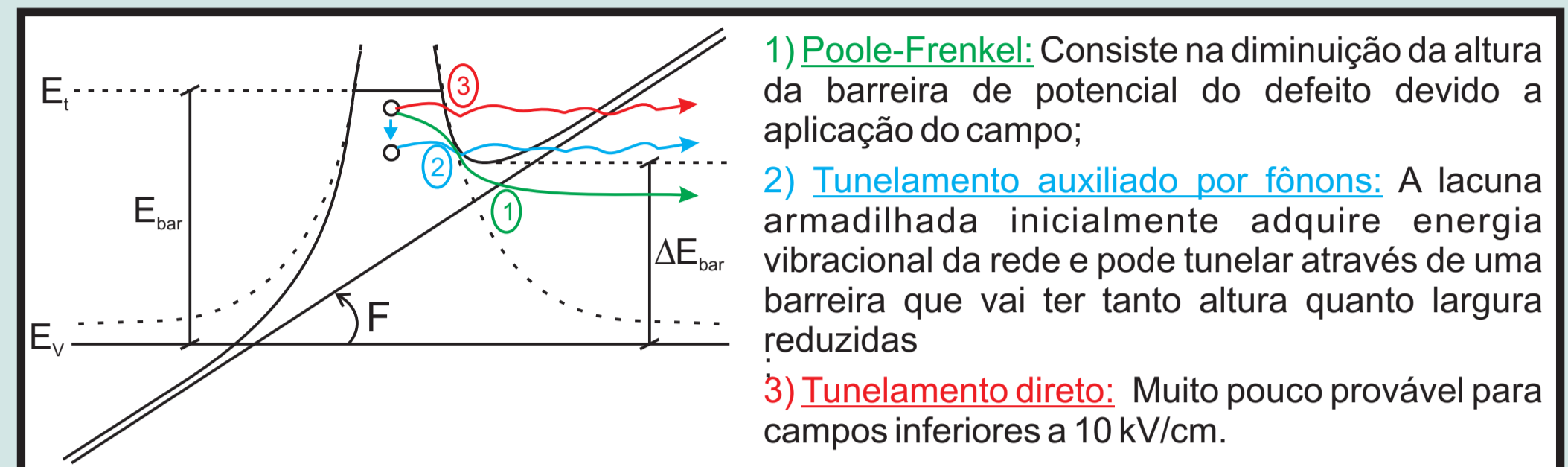
Cada nível aparece como um pico na medida de DLTS e, na temperatura do seu máximo, a taxa de emissão do correspondente nível será:

$$e_p(T_{pico}) = \frac{\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{t_2 - t_1}$$

Escolhendo diferentes valores de t_1 e t_2 para que o pico varie em função da temperatura, calculamos a secção de choque e a energia do nível relacionado ao defeito através do "plot de Arrhenius" (gráfico do logaritmo de T^2 dividido pela taxa em função do inverso da temperatura). Vale também salientar que, medindo-se a altura de cada pico, pode-se calcular a concentração de cada um dos diferentes níveis.

→ **Medida da dependência da taxa de emissão de lacunas com o campo elétrico:**

• Processos de emissão de lacunas na presença de campo elétrico:



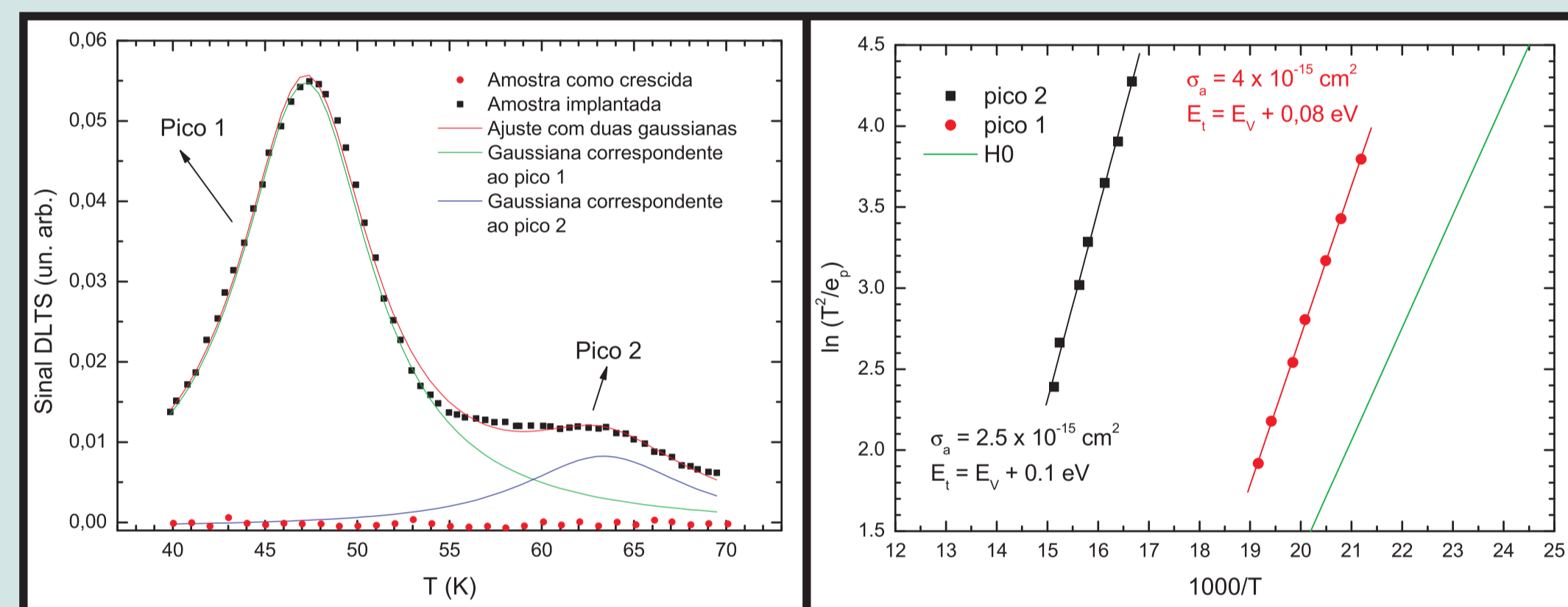
• Identificação dos processos de emissão:

	Teoria	Identificação
Poole-Frenkel	$e_p(F) = e_{p0} e^{\frac{\Delta E_{bar}(F)}{kT}}$, $\Delta E_{bar}(F) = \sqrt{\frac{ZqF}{\pi\epsilon\epsilon_0}}$	Gráfico do logaritmo da taxa de emissão como função da raiz quadrada do campo. Se a taxa de emissão seguir a relação ao lado, uma reta é obtida.
Tunelamento auxiliado por fônons	$e_p(F) = e_{p0} e^{F^2/F_c^2}$	Gráfico do logaritmo da taxa de emissão como função do quadrado do campo elétrico.

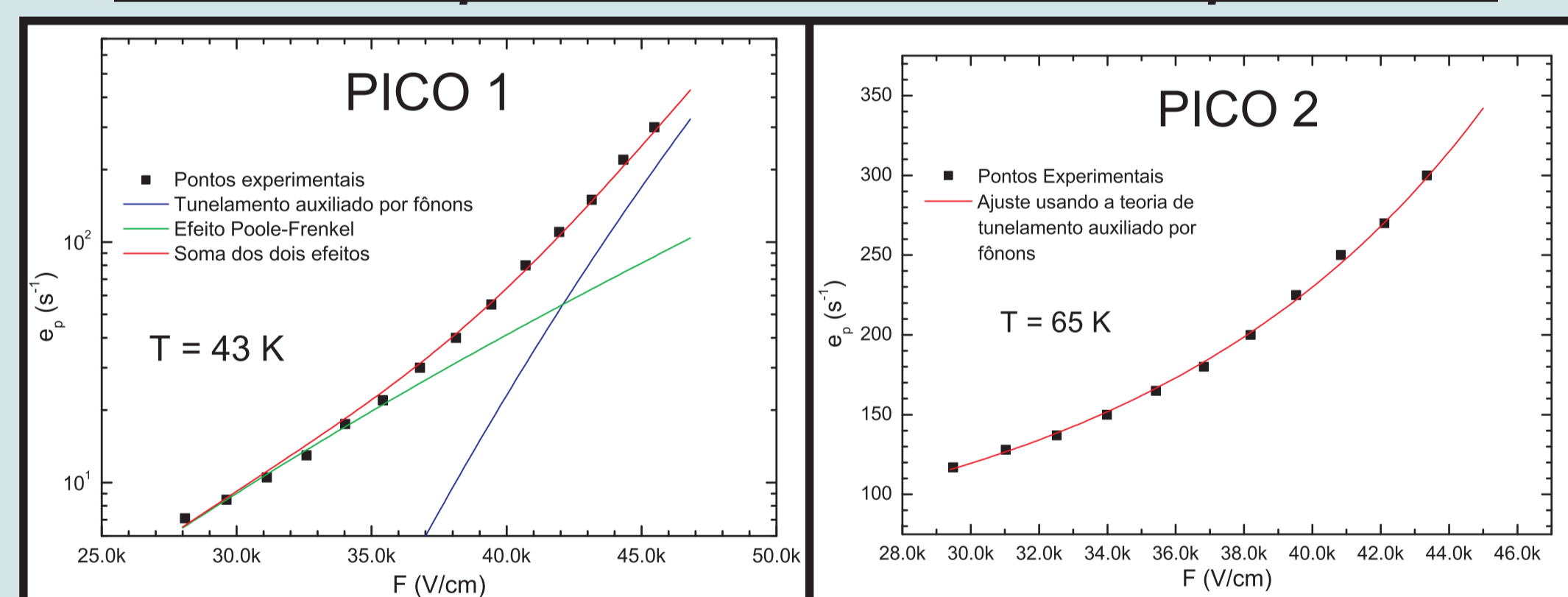
e_{p0} : taxa de emissão de lacunas sem campo aplicado; F : módulo do campo elétrico; F_c : constante que depende do material; Z : estado de carga correspondente ao nível sem lacuna

Resultados:

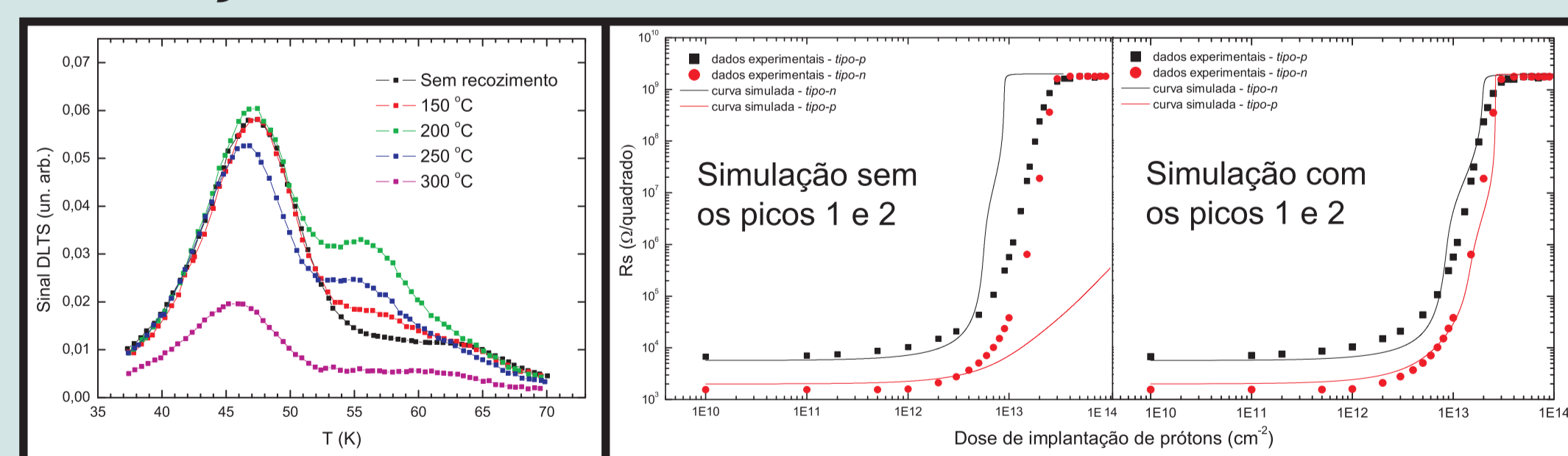
→ **DLTS:**



→ **Medida da dependência da taxa com o campo elétrico:**



→ **Estabilidade térmica dos defeitos e simulação da curva de isolação:**



Conclusões:

• Dois níveis foram introduzidos próximos à banda de valência devido à implantação de prótons: o primeiro tem $E_t = E_v + 0,08$ eV e $\sigma_{pa} = 4 \times 10^{15}$ cm⁻², e o segundo tem $E_t = E_v + 0,1$ eV e $\sigma_{pa} = 2,5 \times 10^{15}$ cm⁻²;

• Os dois níveis sofrem uma diminuição forte em sua concentração para temperaturas de ~ 300°C e um terceiro nível é introduzido pelo tratamento térmico a temperaturas de ~ 150°C;

• A dependência da taxa de emissão do primeiro nível com o campo elétrico revelou a presença tanto do efeito Poole-Frenkel quanto do efeito de tunelamento auxiliado por fônons, indicando uma transição de estado de carga do tipo 0/-;

• Já para o segundo nível, apenas o efeito de tunelamento auxiliado por fônons foi observado.

• Juntando estes níveis com outros medidos anteriormente para GaAs implantado com prótons, foi possível reproduzir a curva de isolação. Este cálculo mostrou a importância principalmente do nível referente ao pico 1 para o processo de isolação, atuando como excelente armadilha de elétrons.