

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE JUNÇÃO P-N – UMA AULA INTERDISCIPLINAR DE QUÍMICA TECNOLÓGICA

Elinton Luiz Leguenza – elinton@unicenp.edu.br

Centro Universitário Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas

Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300, Campo Comprido

81280-300 – Curitiba – PR

Giancarlo de França Aguiar – giancarl@unicenp.edu.br

***Resumo:** O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a importância da interdisciplinaridade entre as disciplinas básicas e aplicadas em engenharia. Este é um relato de uma das experiências pedagógicas a respeito de uma aula prática de laboratório da disciplina de Química Tecnológica, ilustra-se o forte caráter interdisciplinar e sua importância pedagógica para a formação dos alunos. Pode-se dizer que a prática, aqui denominada de Comportamento Térmico de Junção P-N, reuniu conceitos fundamentais de Física, Eletrônica e Estatística com os de Química Tecnológica. Os resultados encontrados, tanto do ponto de vista pedagógico como na prática de laboratório, foram satisfatórios para consolidar uma formação de maior amplitude e qualidade.*

***Palavras-chave:** Interdisciplinaridade, Junção P-N, Térmico, diodo, Eletrônica.*

1 INTRODUÇÃO

Dentro do escopo das aulas teóricas de Química Tecnológica, naturalmente pode ocorrer o envolvimento de conceitos trabalhados em determinadas disciplinas aqui, em particular, Eletrônica e Física. Este envolvimento torna-se mais evidente em atividades práticas de laboratório. Uma das práticas realizadas em meados de 2005 e 2006 foi a realização da atividade prática denominada de Comportamento Térmico da Junção P-N. De uma forma geral, esta prática de laboratório consiste em polarizar diretamente um diodo de silício e realizar medidas de tensão versus corrente, sob diversas temperaturas constantes. Através de dados experimentais coletados, é possível estimar a descontinuidade de energia da junção e, além disso, obter o comportamento térmico da junção para as temperaturas consideradas. Os alunos podem então, com os dados experimentais coletados, relacionar os conceitos vistos em sala de aula com outros conceitos já vistos em outras disciplinas. Além disso, os alunos podem discutir com o professor e entre seus próprios colegas, os resultados a luz dos conceitos vistos anteriormente em sala. Como resultado, pode-se dizer que isto motiva os alunos a tirar suas próprias conclusões a respeito do que foi estudado.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

Quando um material semiconductor é dopado com impurezas, suas propriedades elétricas são afetadas. Se a adição de um elemento com valência for maior do que o material semiconductor, haverá um elétron livre para contribuir para a condução. Um exemplo típico é a adição de As em Si. O As possui 5 elétrons de valência. Quatro participarão de ligações com átomos vizinhos de Si e um elétron participará da banda de condução. Elementos com número de valência menor que quatro também podem ser adicionados, por exemplo, B no Si. Isto equivale a deixar um buraco na banda de condução do material hospedeiro. No primeiro caso, o material é do tipo N (negativo) e no segundo, tipo P (positivo) (ATKINS, 1999).

Uma junção P-N caracteriza-se por um monocristal dopado com aceitadores em uma região e receptores em outra, de modo que exista uma região de interface. Os buracos da região P assim como os elétrons da região N tendem a se difundir por todo o material e o resultado é que na interface haverá transferência de elétrons da região N para P e de buracos da região P para N. Esta difusão na interface é limitada pelo campo elétrico. (HALLIDAY, *et al* 1996)

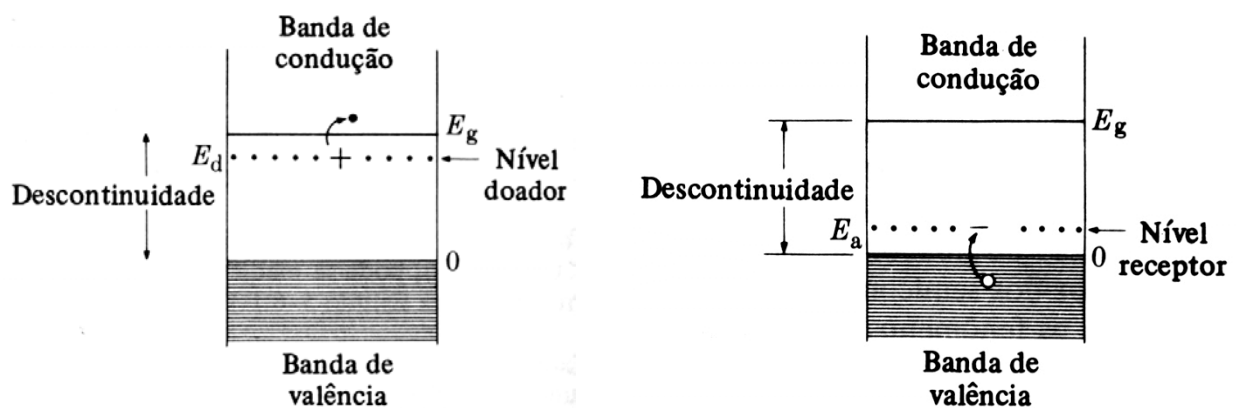


Figura 1 - Diagramas de energia indicando os níveis: doador para o tipo N e aceitador (ou receptor) para o tipo P. (VAN VLACK, 1984)

Se um campo elétrico é produzido através da aplicação de um pólo negativo na região P e o pólo positivo na região N (polarização reversa), a diferença de potencial na junção aumentará e poucos elétrons serão capazes de atravessar a junção. Se a polaridade agora for trocada (polarização direta), haverá uma redução da barreira de potencial e haverá passagem de corrente elétrica, ver Figura 2.

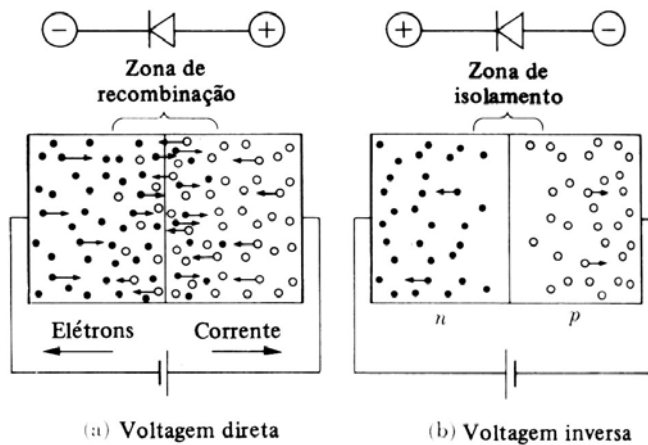


Figura 2 - Diodo em polarização direta (esquerda) e reversa (direita). (VAN VLACK, 1984)

Na Figura 3 é mostrada a relação corrente x tensão para um diodo ideal e real. Para o caso ideal, o diodo apresenta resistência infinita quando a polarização é reversa e resistência nula quando a polarização é direta. Na prática, existe uma pequena corrente de fuga em polarização reversa e em certa tensão, ocorre ruptura onde o diodo passa a conduzir. Em polarização direta, é necessária certa tensão para ocorrer condução através do diodo. Em Si, ela é de aproximadamente 0,6 V e em Ge é de aproximadamente 0,4 V (HALLIDAY, *et al* 1996).

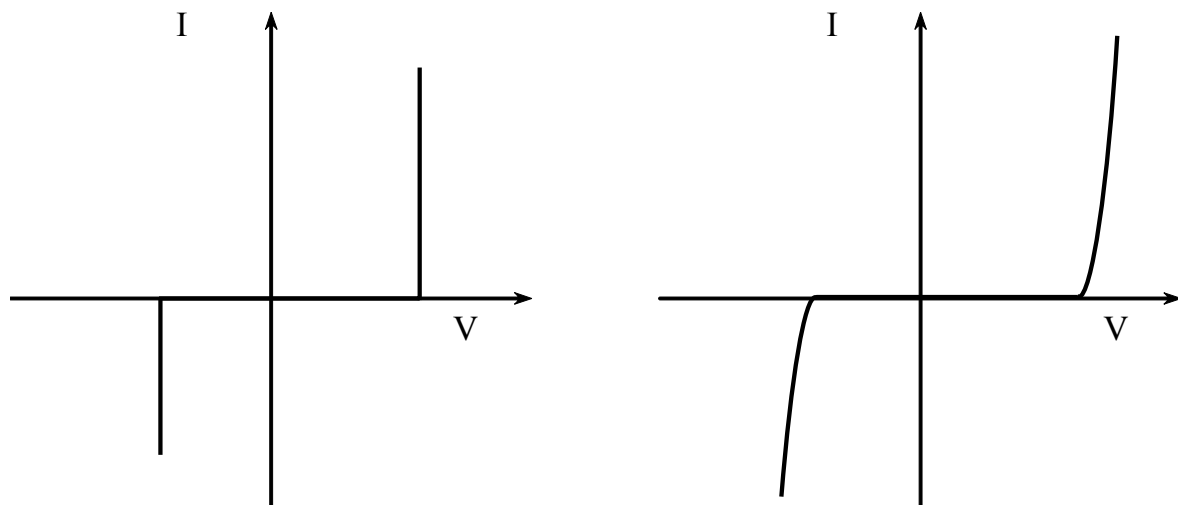


Figura 3 - Representação da variação de corrente em função da tensão aplicada em um diodo: ideal (esquerda) e real (direita). (LEGUENZA, 2004)

Do ponto de vista teórico, quando a corrente elétrica for pequena, é válida a estatística de Boltzmann para a concentração de portadores de carga. Se ela é aplicada considerando a difusão de elétrons para o interior da junção P e buracos para o interior da região N da junção, a corrente total $i(T)$ atravessando o diodo é dada pela equação de Shockley por (HALLIDAY, *et al* 1996).

$$i(T) = i_0(T) \left(e^{eV/kT} - 1 \right) \quad (1)$$

onde

$$i_0(T) = AT^3 e^{-E_g/kT} \quad (2)$$

onde k é a constante de Boltzmann, V é a tensão aplicada, T é a temperatura absoluta e E_g é o gap de energia e A , i_0 são constantes. Esta relação vale tanto para polarização direta como reversa, sendo que neste último caso a tensão é considerada negativa.

3 EXPERIMENTAL

O procedimento experimental adotado em laboratório tem por objetivo fazer com que os alunos determinassem a relação e/k , e o valor da carga elétrica dos portadores e a descontinuidade da barreira de energia do semiconductor do Si (HALLIDAY, *et al* 1996).

Foi montado pelos alunos um circuito utilizando um uma junção P-N de Si 1N4007, indicado na Figura 4, conforme orientação do professor. Polarizou-se diretamente o diodo de Si com de uma fonte de tensão e corrente contínua DC e simétrica.

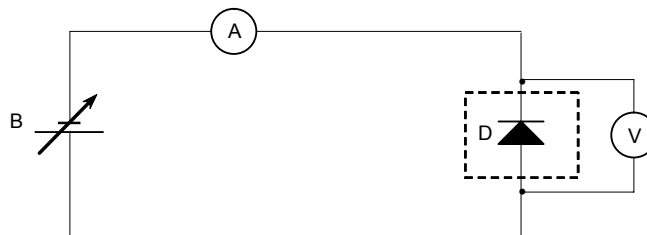


Figura 4 - Diagrama indicando as ligações do diodo D, amperímetro A e voltímetro V. (LEGUENZA, 2004)

O diodo foi introduzido num becker contendo gelo e conectado com o amperímetro e voltímetro de acordo com a Figura 4. Os alunos coletaram as medidas de tensão e corrente elétrica, iniciadas com o diodo dentro do banho. Primeiramente, começaram com uma temperatura de 0°C , e fazendo as leituras simultaneamente de corrente e tensão até $0,9\text{ V}$. Após isso os alunos repetiram todo o processo para as temperaturas de 20°C , 40°C e 60°C . (LEGUENZA, 2004)

4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

As figuras 5-8 mostram resultados encontrados por um dos grupos de alunos, as quais indicam o comportamento do logaritmo da corrente x tensão para as temperaturas de 0 °C, 20 °C, 40 °C e 60 °C, respectivamente. Podem ser observados, nos gráficos, os ajustes dos dados experimentais e suas respectivas equações obtidas por regressão linear, através do software Origin® mostrando boa concordância entre os dados experimentais com o ajuste linear. Outro fato importante observado é o fato de que os coeficientes angulares tendem a sofrer redução a medida que a temperatura aumenta.

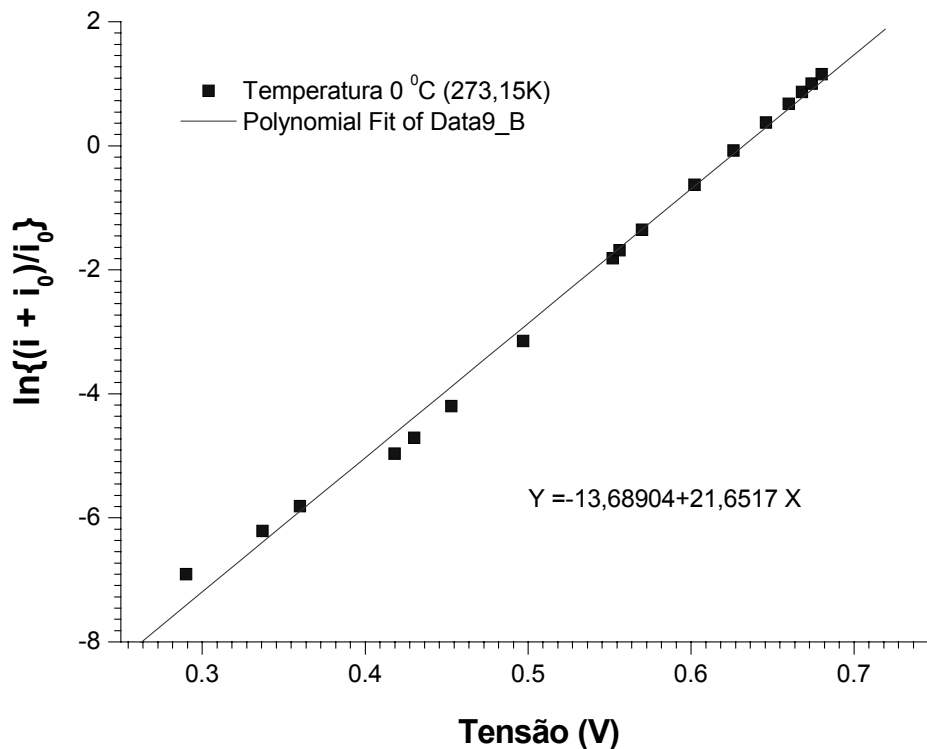


Figura 5 - comportamento do logaritmo da corrente x tensão para a temperatura de 0 °C. (LEGUENZA, 2004)

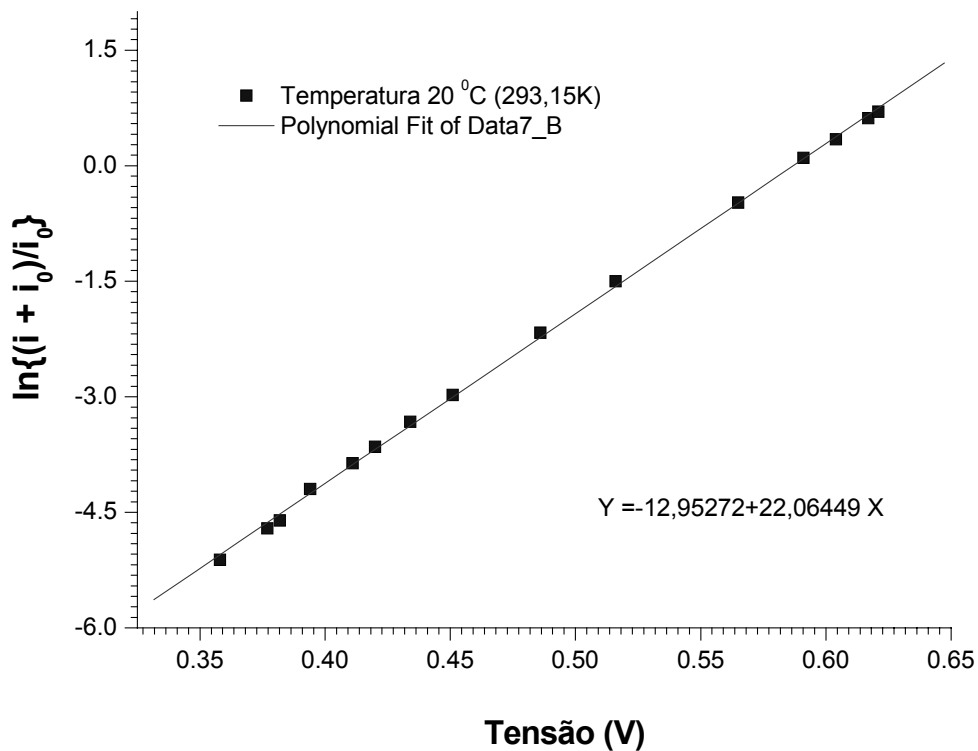


Figura 6 - comportamento do logaritmo da corrente x tensão para a temperatura de 20 °C. (LEGUENZA, 2004)

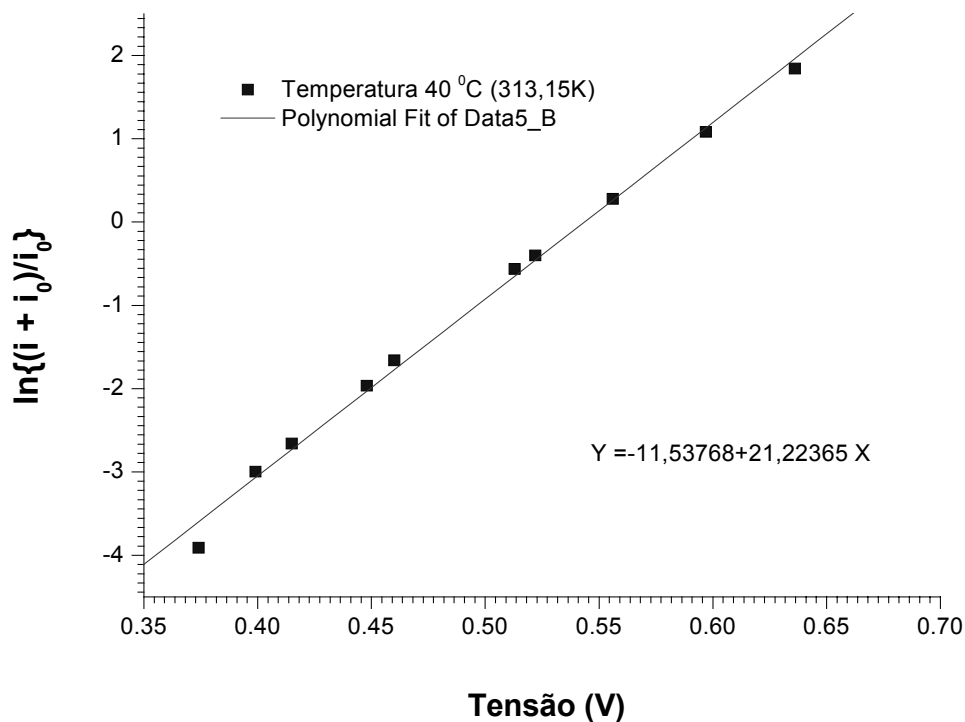


Figura 7 - comportamento do logaritmo da corrente x tensão para a temperatura de 40 °C. (LEGUENZA, 2004)

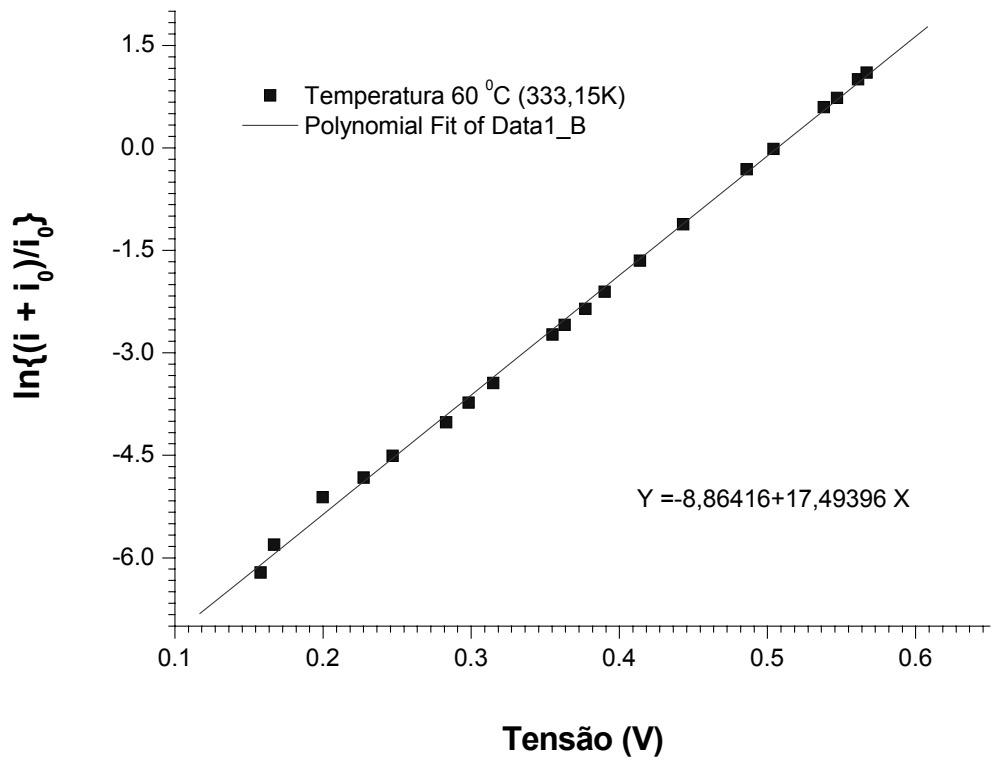


Figura 8 - comportamento do logaritmo da corrente x tensão para a temperatura de 60 °C. (LEGUENZA, 2004)

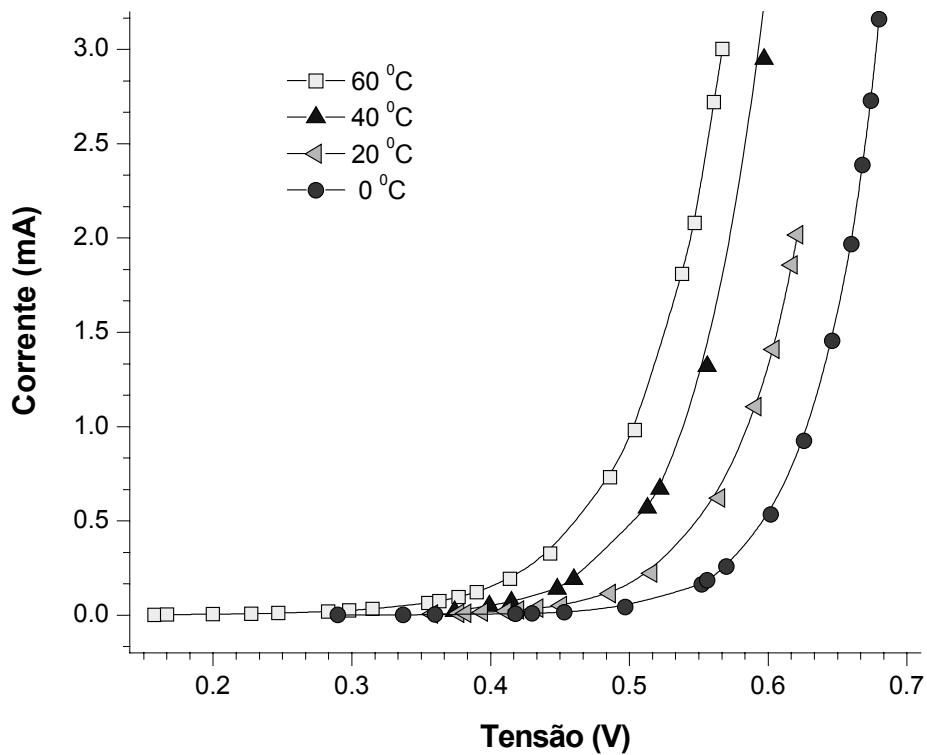


Figura 9 - comportamento da corrente x tensão para as temperaturas de 0 °C, 20 °C, 40 °C e 60 °C. (LEGUENZA, 2004)

Finalmente a Figura 9 mostra o comportamento da corrente x tensão para todas as temperaturas medidas. Durante as medidas em laboratório, observou-se que a subida das curvas ocorrem em tensões menores a medida que a temperatura aumenta. Posteriormente, pode-se discutir este comportamento amplamente, associando aspectos teóricos vistos em sala de aula com os dados de laboratório. Interpretou-se este fato como a ocorrência de uma corrente de fuga, muito provavelmente, devido ao crescente número de elétrons que atravessaram para a banda de condução, ativados pela temperatura. (HALLIDAY, *et al* 1996).

4.1 Cálculo da carga elétrica dos portadores

A partir dos dados experimentais, Figuras 5-8, os alunos puderam determinar a carga dos portadores. Partindo da equação de Schokley na forma linear, temos (VAN VLACK, 1984)

$$\ln \left\{ \frac{(i_0 + i)}{i_0} \right\} = \frac{e}{kT} V \quad (3)$$

do coeficiente angular a encontramos que

$$e = akT \quad (4)$$

Os valores encontrados para um dos grupos de alunos para os portadores foram

Tabela 1 - Valores de carga elétrica dos portadores (LEGUENZA, 2004)

Temperatura (K)	Carga (C)
273	$3,7 \times 10^{-19}$
293	$3,8 \times 10^{-19}$
313	$3,4 \times 10^{-19}$
333	$3,5 \times 10^{-19}$

os resultados encontrados mostram que estão dentro da ordem de grandeza para valores da literatura que é $1,6 \times 10^{-19}$ C.

4.2 Cálculo da descontinuidade de energia

Para o cálculo descontinuidade de energia (gap de energia) do Si os alunos tiveram que resolver um sistema de equações de Shockey, sendo dada por

$$\ln i_0 = \ln A + 3 \ln T - \frac{E_g}{k} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (5)$$

$$\begin{cases} \ln i_{0(1)} = \ln A + 3 \ln T_{(1)} - \frac{E_g}{k} \left(\frac{1}{T_{(1)}} \right) \\ \ln i_{0(2)} = \ln A + 3 \ln T_{(2)} - \frac{E_g}{k} \left(\frac{1}{T_{(2)}} \right) \end{cases} \quad (6)$$

resolvida para E_g , temos que

$$E_g = \frac{k}{\left(\frac{1}{T_{(2)}} - \frac{1}{T_{(1)}} \right)} \left\{ \ln \left(\frac{i_{0(1)}}{i_{0(2)}} \right) - 3 \ln \left(\frac{T_{(1)}}{T_{(2)}} \right) \right\} \quad (7)$$

através das Figuras 5 e 6 podemos determinar os valores de $i_{0(1)}$ e $i_{0(2)}$ e encontrar os valores que se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes de corrente em função da temperatura (LEGUENZA, 2004)

Temperatura (K)	Corrente (A)
273	$3,59 \times 10^{-16}$
293	$4,34 \times 10^{-17}$

A partir desses dados, fornecidos pelas Figuras 5 e 6, os alunos substituíram na Equação 7 e determinaram a descontinuidade de energia E_g para o semicondutor de Si em joules e elétron-volt

$$E_g = 1,413 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (8)$$

$$E_g = 0,8824 \text{ eV} \quad (9)$$

Comparando com valores tabelados, 1,1 eV, os resultados encontrados pelos alunos estão razoavelmente próximos da literatura, considerando os erros experimentais introduzidos durante o experimento, como por exemplo flutuações nas temperaturas que foram realizadas as medidas. (HALLIDAY, *et al* 1996) (VAN VLACK, 1984)

5 CONCLUSÃO

Foram apresentados resultados experimentais de um dos grupos de alunos da disciplina de química tecnológica. Eles observaram e concluíram, após discussões realizadas em aula que a subida das curvas ocorrem em tensões menores a medida que a temperatura aumenta, pode estar ligado provavelmente, ao crescente número de elétrons que atravessaram para a

banda de condução por processos termicamente ativados. Os seus resultados mostraram, quando comparados com valores tabelados, que estão razoavelmente próximos da literatura, considerando os erros experimentais introduzidos durante os experimentos.

Embora os resultados encontrados tenham erros experimentais significativos, salientamos aqui a importância do relato de uma experiência pedagógica satisfatória, envolvendo tanto do ponto de vista pedagógico como na prática de laboratório. Ficou demonstrado que atividades teórico-experimentais interdisciplinares instigaram os alunos a motivação e ao questionamento gerando suas próprias conclusões a respeito do que foi estudado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VAN VLACK, L.H., **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. 5^a ed. (tradução da 4^a ed.). Editora Campus, 1984.

ATKINS, P. W. **Inorganic chemistry**. 3rd ed. Oxford. Oxford University Press, 1999.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. & WALKER, J. **Fundamentos de Física**, Vol 2, 3 e 4. 4^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

LEGUENZA, E. L. **Comportamento Térmico do Diodo de Si**. Curitiba, 2004, Notas de aula, – Centro Universitário Positivo.

THERMAL BEHAVIOR OF P-N JUNCTION – AN INTERDISCIPLINARY CLASS OF TECHNOLOGICAL CHEMISTRY

Abstract: *The present work has the objective to demonstrate the importance of the interdisciplinarity among the theoretical and the experimental disciplines in engineering. This is a report about one pedagogic experiment regarding a practical laboratory class of the discipline of Technological Chemistry. It illustrates the strong interdisciplinary character and its pedagogic importance for the students formation. The practice, here denominated as the "Thermal Behavior of P-N Junction", gathered fundamental concepts from the disciplines of Physics, Electronics and Statistics among with the knowledge of Technological Chemistry. The results found, considering both the pedagogic point of view as well as the resultant laboratory practice, were satisfactory, leading to consolidate a broader quality student formation.*

Key-words: *Interdisciplinary, P-N Junction, Thermal, diode, Electronic.*