

# Junção PN

André Ramos

Gonçalo Quintal

Pedro Silva

Rui Claro

28 de Maio de 2009

## Introdução

Nesta experiência temos como objectivo a determinação da característica corrente tensão  $I(V)$  numa junção PN, a sua variação com a temperatura e assim determinar as características da junção.

A junção PN é baseada nas propriedades de fronteira entre semicondutores do tipo P e do tipo N, que estão em contacto. Para obter um semicondutor do tipo N é preciso haver uma combinação da rede cristalina com impurezas dadoras (P, As, ou Sb), desta forma a rede vai possuir um excesso de electrões. Em contrapartida o do tipo P é constituído por impurezas aceitadoras (B, In ou Al), de forma que a rede vai ter “buracos” electrónicos.

Assim temos uma fronteira de contacto em que de um lado vamos ter um excesso de electrões, lado N e uma carência dos mesmos no lado P. Esta distribuição electrónica desigual vai provocar na junção uma difusão de electrões entre os dois semicondutores reduzindo assim a discrepância entre os semicondutores N e P. A este fenómeno chamamos difusão de electrões

Ainda assim, há que considerar que tais fenómenos ocorrem apenas na fronteira pelo que ao longo do semicondutor longe da junção a densidade de electrões e “buracos” electrónicos vai permanecer praticamente inalterada.

Após algumas combinações criam-se iões volumosos (na fronteira) e o processo de difusão cessa, pois os electrões são impedidos de atravessar o semicondutor tipo P. Em condições de equilíbrio (circuito aberto), há uma barreira de potencial que impede o fluxo de transportadores positivos. Assim sendo não há circulação de corrente em condições de circuito aberto, Obtendo-se as seguintes relações para cada um dos semicondutores N e P respectivamente:

$$\frac{Np_p}{Np_n} = e^{\frac{-q_p V}{K_B T}} \quad \frac{Nn_p}{Nn_n} = e^{\frac{-q_n V}{K_B T}}$$

Quando se aplica à junção pn uma tensão exterior, diz-se que a junção está polarizada, esta pode ser inversa ou directa.

O díodo junção pn em polarização inversa

Podemos verificar que o lado N vai ter um aumento de electrões. Este aumento vai forçar a difusão electrónica na junção o que se vai traduzir numa diminuição da barreira de potencial. Em termos práticos isto vai facilitar a passagem de corrente muito fraca pela junção. Esta corrente de fuga é da ordem dos microamperes. Para explicar esta passagem de corrente recorremos a 2 modelos distintos.

Para uma primeira análise usou-se o modelo matemático mais simples, pois este descreve o funcionamento do díodo ideal de Shockley, assim temos:

$$I = I_s \left( e^{\frac{q\Delta V}{K_B T \eta}} - 1 \right)$$

em que:  $\Delta V$  é variação de tensão nos terminais do díodo,  $K_B$  a constante de Boltzmann ( $1.3806505 \times 10^{-23} JK^{-1}$ ),  $T$  a temperatura da junção PN e  $\eta$  uma constante que depende do material da junção (no caso do silício, este valor é 2),  $I_s$  é ainda dado pela expressão:

$$I_s = aT^3 e^{\frac{-E_g}{K_B T}}$$

onde  $E_g$  é altura da banda proibida no semicondutor. (No silício  $E_g = 1.4eV$ ).

No segundo modelo temos

$$I = I_s \left( e^{\frac{q\Delta V}{K_B T}} - 1 \right) + I_r \left( e^{\frac{q\Delta V}{2K_B T}} \right)$$

onde  $I_s$  é igual ao modelo já descrito e  $I_r$ :

$$I_r = b(K_B T)^{5/2} e^{\frac{-E_g}{2K_B T}}$$

O díodo de junção pn em polarização directa

Neste caso, os electrões afastam-se da fronteira devido a necessidade de electrões do lado P ser menor. por outro lado, no lado

N a densidade electrónica vai ser menor, dificultando a difusão electrónica na fronteira, aumentando a diferença de potencial.

Isto traduz-se num impedimento da passagem de corrente. Neste caso a corrente é igual a  $I_s$  (expressão anteriormente referida)

## Experiência realizada

Esta experiência consiste numa junção de silício que estará em contacto com resistências de aquecimento, permitindo alterar a temperatura da junção.

A junção está ligada a uma resistência de limitação de corrente, que por sua vez está ligada a uma fonte de tensão. As resistências de aquecimento estão ligadas a uma fonte de tensão auxiliar. Um termómetro digital está ligado a caixa onde se encontra a junção.

Em primeiro lugar, deixamos as resistências de aquecimento à temperatura ambiente e induzimos uma tensão de modo a que a junção seja percorrida por uma corrente de  $10\mu A$ , medimos os valores da tensão de 20 em  $20\mu A$  até aos  $100\mu A$ . Repetimos o mesmo procedimento após induzirmos uma corrente de  $100\mu A$ , registando as medições de 20 em  $20\mu A$  até aos  $1000\mu A$ . Repetimos o mesmo procedimento após induzirmos uma corrente de  $1mA$ , registando as medições de 4 em  $4mA$  até aos  $20mA$ . Repetimos o mesmo procedimento após induzirmos uma corrente de  $20mA$ , registando as medições de 20 em  $20mA$  até aos  $100mA$ .

Após estas medições induzimos uma corrente de  $9V$  nas resistências de aquecimento e esperamos que a temperatura destas estabilizasse e realizámos as mesmas medições feitas anteriormente para esta temperatura. Repetimos todo o processo para as diferentes tensões nas resistências de aquecimento  $12.6V$ ,  $15.5V$ ,  $17.9V$  e  $20V$ .

## Resultados

Nos gráficos em anexo estão representados da figura 1 à 5 os gráficos para as várias tensões aplicadas às resistências de aquecimento, utilizando o método de aproximação mais simples. Na figura 6 estão representadas as várias resistências em relação a temperatura. Na figura 8 e 9 estão representados a variação do parâmetro  $b$  e  $c$  para o mesmo método. Nos restantes gráficos estão representados os mesmos valores mas agora foi utilizado o segundo método de aproximação.

## Análise de resultados

Para o primeiro método, numa primeira análise, os valores experimentais permitem um ajuste quase perfeito à expressão teórica. Os valores da resistência aumentam com a temperatura, como era esperado, e como se ajustam a uma recta foi possível fazer uma regressão linear dos dados. Alguns valores da resistência parecem estar fora da recta mas tal deve-se à variação da temperatura ao longo da experiência. No parâmetro  $b$  temos uma regressão linear, mas os valores obtidos estão todos muito afastados do ideal, pelo que o valor de  $b$  é muito inferior ao esperado. daqui se conclui que o método 1 é mais limitado e menos preciso. Finalmente para o parâmetro  $c$  obtivemos uma regressão linear com valores dentro do esperado e em concordância com a teoria. No segundo método, temos uma aproximação aos valores experimentais parecida ao método 1. No gráfico da variação da resistência com a temperatura, temos o quarto e quinto valor deslocados da recta de regressão linear, devido a oscilações na temperatura ao longo do procedimento experimental. Para os gráficos dos parâmetros  $b$  e  $c$  foi impossível fazer um *fit* aos valores devido à grande diferença entre os vários pontos.

## Conclusão e críticas

Na maioria, a experiência correu bem. houve algumas dificuldades com a tiragem de valores, derivada da variação da temperatura, o que se reflectiu nos valores da resistência. Mas, apesar disso, conseguiu-se aproximar a uma recta os valores da resistência em função da temperatura. Para os valores  $U(V)$ , conseguiu-se ajustes quase perfeitos aos valores teóricos. Conclui-se também que o modelo 2 é difícil de aplicar nesta situação, o que reflectiu nos gráficos, pelo que conclui-se que o modelo 1 é melhor para aplicar a uma junção PN.

## Bibliografia

- Cheng, David K., 1983, *Field and Wave Electromagnetics*, Addison-Wesley.
- Loureiro, Jorge, 1992, *Electromagnetismo*, Secção de folhas da AEIST.
- Mendirata, Sushil, 1995, *Introdução ao Electromagnetismo*, Fundação Calouste Gulbenkian.

# Anexo

## Gráficos obtidos

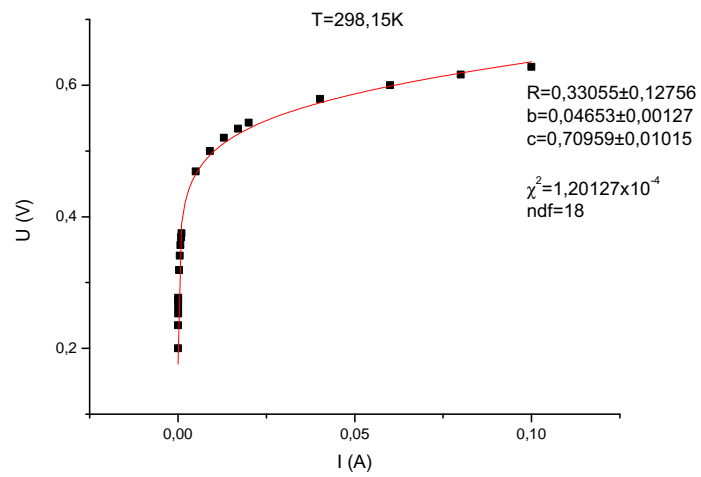


Figura 1: Tensão aplicada = 0V

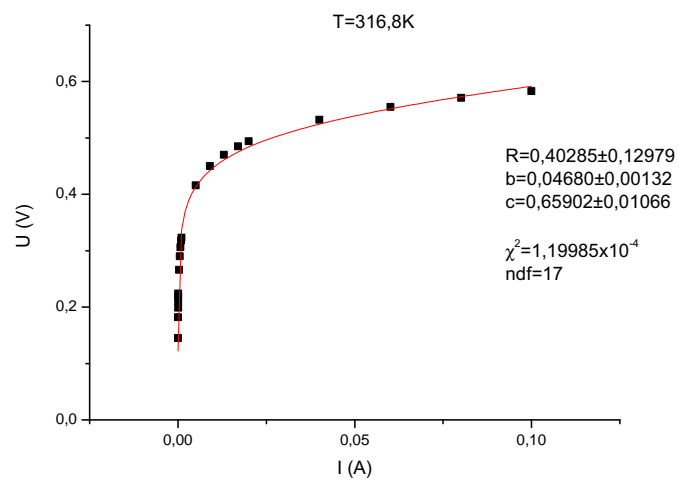


Figura 2: Tensão aplicada = 9V

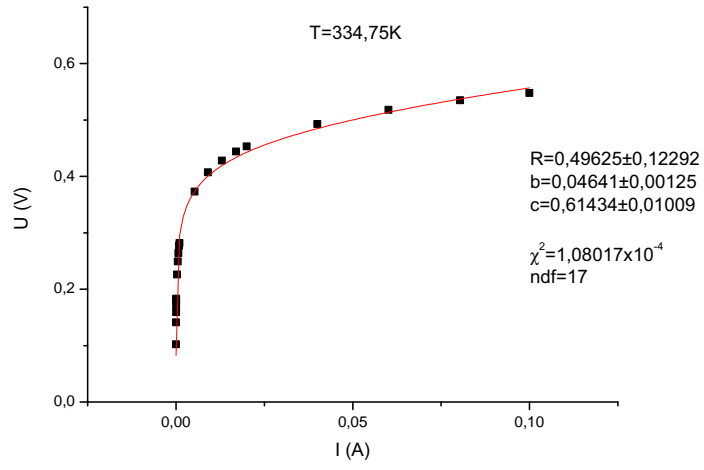


Figura 3: Tensão aplicada = 12.6V

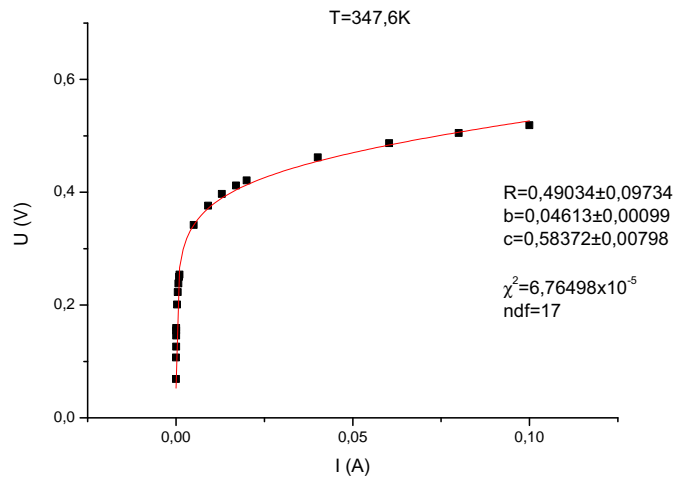


Figura 4: Tensão aplicada = 15.5V

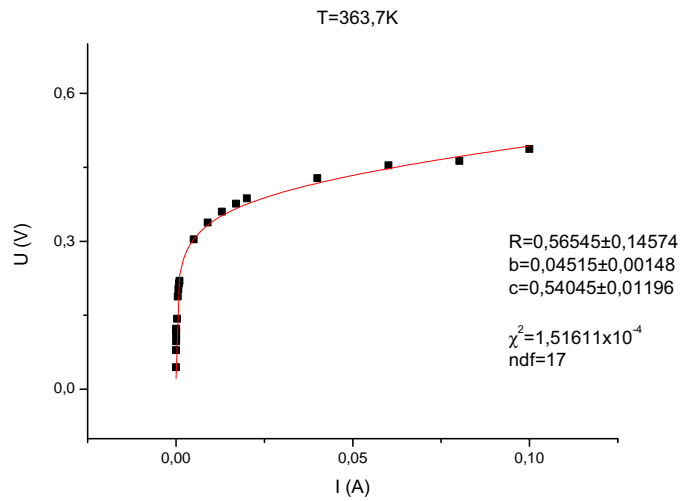


Figura 5: Tensão aplicada = 17.9V

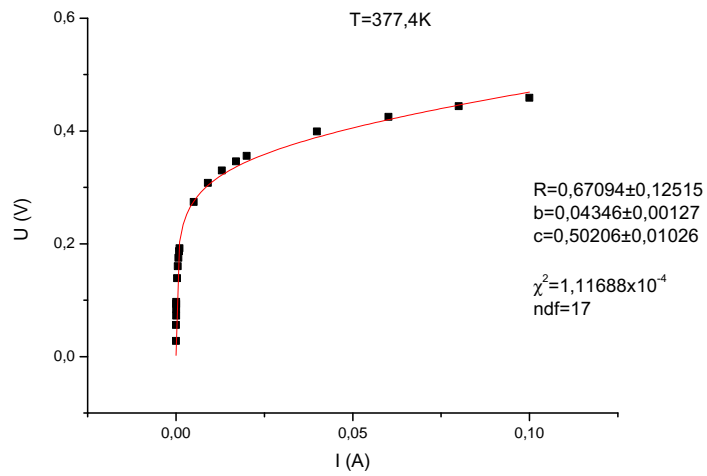


Figura 6: Tensão aplicada = 20V

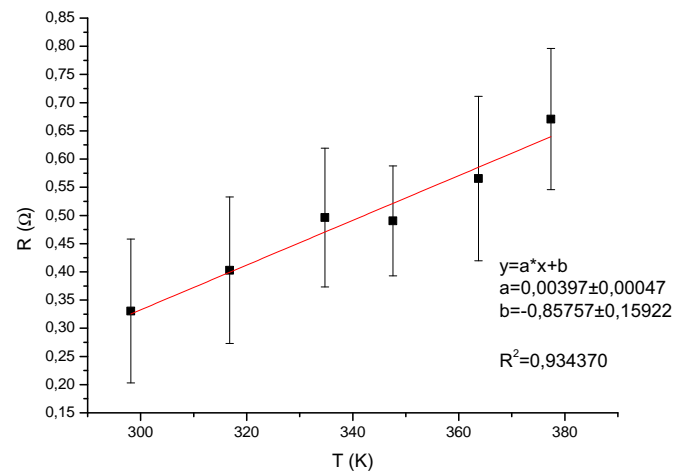


Figura 7: Variação da resistência com a temperatura

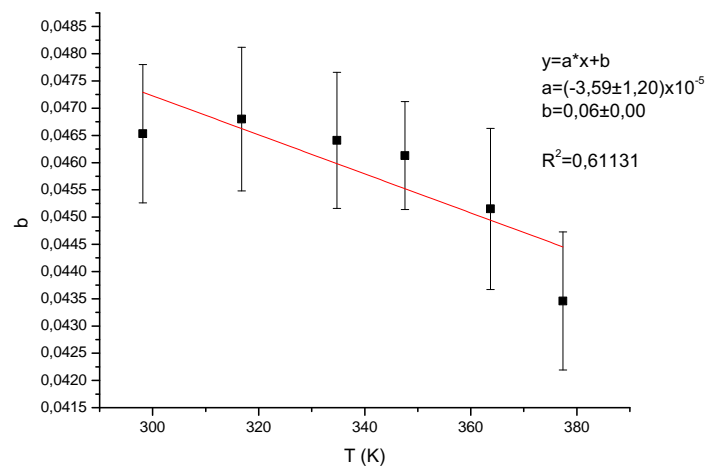


Figura 8: Variação do parâmetro  $b$  com a temperatura

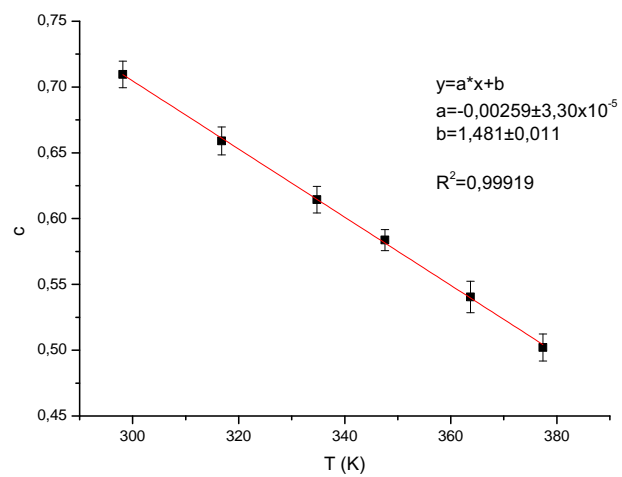
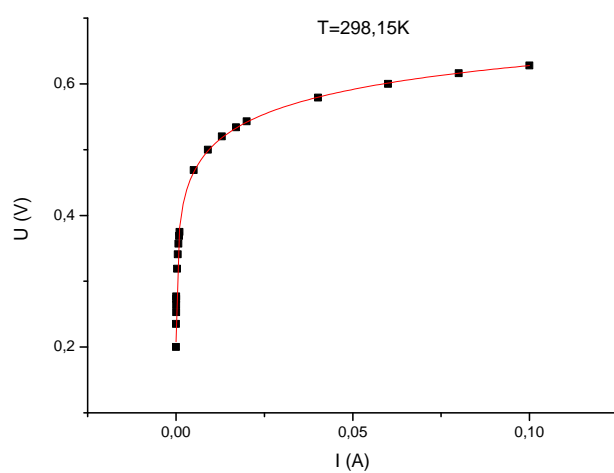


Figura 9: Variação do parâmetro  $c$  com a temperatura



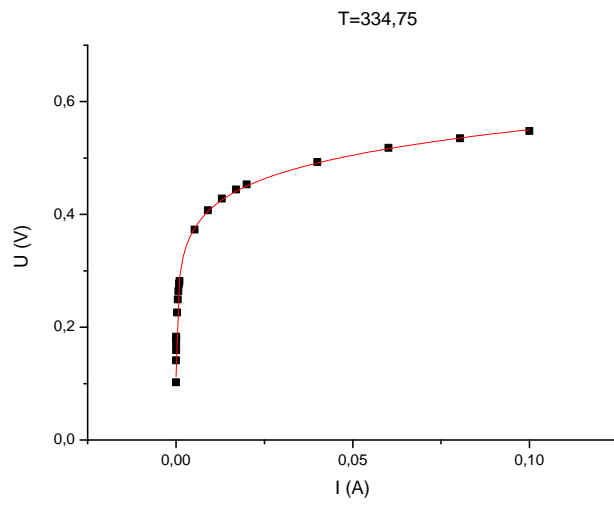


Figura 12: Tensão aplicada = 12.6V

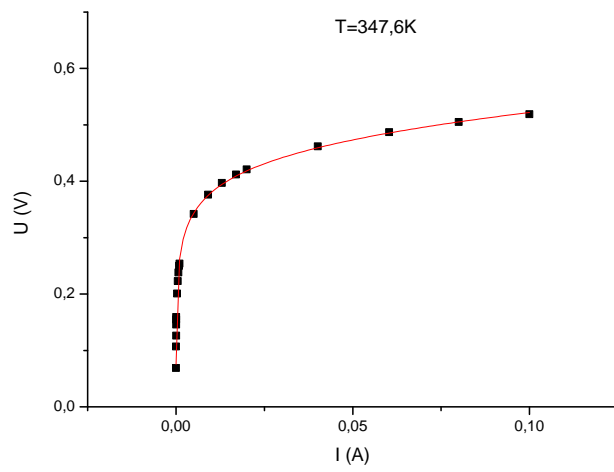


Figura 13: Tensão aplicada = 15.5V

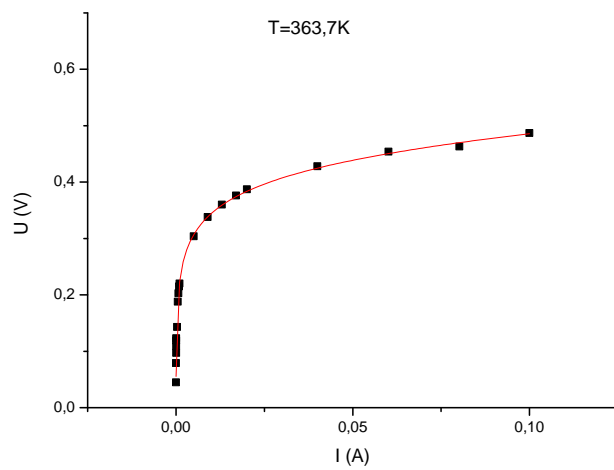


Figura 14: Tensão aplicada = 17.9V

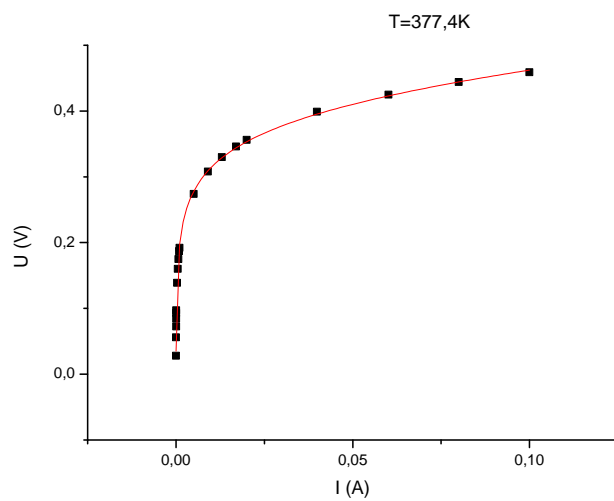


Figura 15: Tensão aplicada = 20V

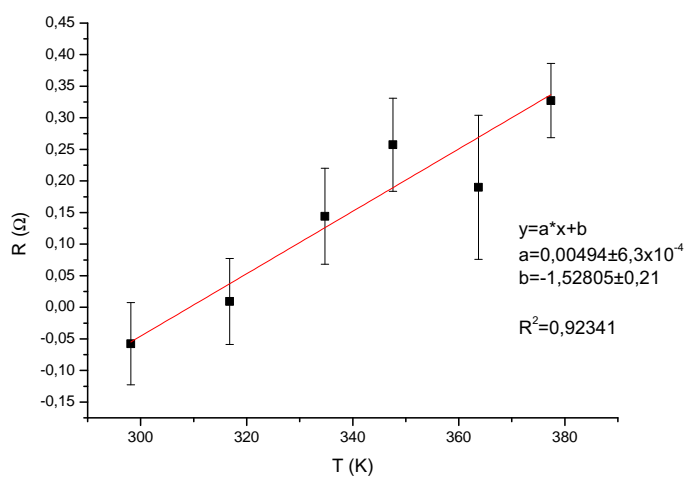


Figura 16: Variação da resistência com a temperatura

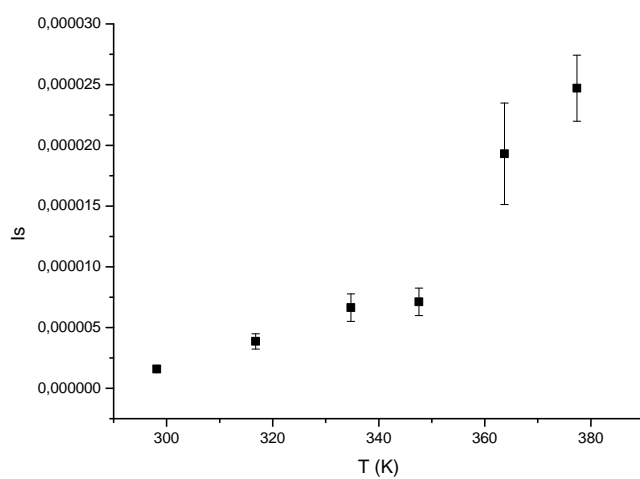


Figura 17: Variação do parâmetro  $b$  com a temperatura



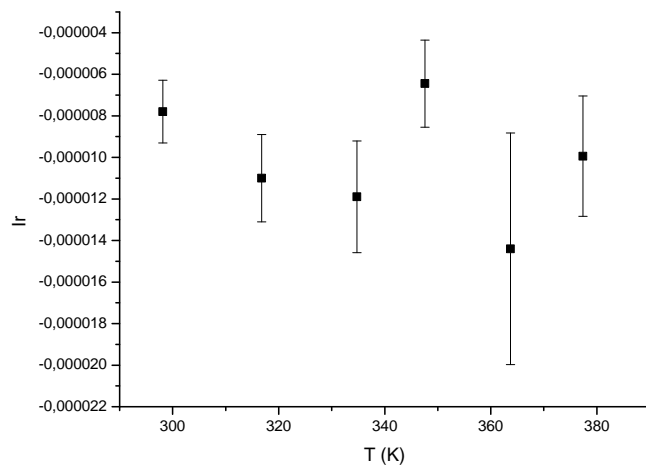


Figura 18: Variação do parâmetro  $c$  com a temperatura