 <p>INSTITUTO FEDERAL Triângulo Mineiro</p>	<p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TRIÂNGULO MINEIRO CAMPUS UBERABA PARQUE TECNOLÓGICO</p>
--	--

Curso de Engenharia de Computação

Relatório Técnico

Transistor Bipolar de Junção (TBJ) e Amplificadores

Isadora Cristina Borches Dias Silva

Uberaba – Minas Gerais

2025

SUMÁRIO

1. Introdução teórica.....	p. 3
2. Objetivos.....	p. 4
3. Desenvolvimento.....	p. 5
3.1 Cálculo analítico das grandezas do circuito	p. 5
3.2 Circuito montado no simulador	p. 9
3.3 Resultados da simulação	p. 10
3.4 Comparativo entre valores analíticos e simulados	p. 11
3.5 Análise dos resultados	p. 12
3.6 Verificação da coerência entre a saída e o ganho	p. 13
3.7 Análise com entrada de 0,1mV	p. 13
3.8 Análise com entrada de 5mV.....	p. 14
3.9 Análise do fenômeno observado.....	p. 14'
4. Conclusão.....	p. 15

1. Introdução Teórica

O Transistor Bipolar de Junção (TBJ) é um dos componentes fundamentais da eletrônica analógica. Ele pode atuar tanto como chave quanto como amplificador de sinais. Neste experimento, utilizamos o TBJ na configuração de amplificador emissor comum, uma das mais tradicionais e eficientes para amplificação de sinais de pequena amplitude.

A estrutura básica do TBJ é composta por três regiões: emissor, base e coletor. Quando corretamente polarizado, ele opera na região ativa, permitindo que uma pequena corrente na base controle uma corrente muito maior entre o coletor e o emissor. Esse princípio é a base da amplificação.

A configuração emissor comum oferece ganho de tensão, inversão de fase entre o sinal de entrada e o de saída, e sensibilidade moderada à impedância de entrada. Essa topologia é largamente empregada em estágios de amplificação de áudio, instrumentação e circuitos analógicos em geral.

No circuito proposto para análise, foi utilizada uma fonte de entrada senoidal de baixa amplitude com frequência de 10 kHz, simulando um sinal analógico típico. O objetivo é observar o comportamento do TBJ frente a diferentes amplitudes de entrada e analisar seu desempenho com base nas formas de onda da tensão de saída e nas variações de corrente nos terminais do transistor.

Durante a análise, foram determinados parâmetros fundamentais como as componentes de corrente contínua (I_C , I_B , V_{CE}), resistências de entrada do transistor e do circuito, limites das correntes alternadas (i_b e i_c), ganho de tensão, e formas de onda de saída. Além disso, foi realizado um comparativo entre os resultados obtidos analiticamente e por simulação no software Proteus.

Além disso, será realizado um comparativo entre os resultados obtidos por meio de cálculos analíticos — com base nas equações dos circuitos com TBJ — e os valores extraídos da simulação no software Proteus. Isso permitirá avaliar a precisão do modelo teórico frente à resposta prática do circuito simulado.

2. Objetivos

O presente relatório tem como objetivo principal analisar o comportamento de um Transistor Bipolar de Junção (TBJ) operando na configuração de amplificador emissor comum.

Inicialmente, serão realizados os cálculos analíticos das grandezas fundamentais do circuito, como as correntes de base, coletor e emissor, a tensão coletor-emissor (V_{CE}), bem como as resistências de entrada do transistor e do circuito completo.

Além da parte teórica, será feita a simulação do circuito no software Proteus, possibilitando a observação das formas de onda e a medição das tensões e correntes envolvidas. Os dados obtidos por simulação serão comparados aos resultados analíticos, permitindo avaliar a coerência entre teoria e prática.

Também será avaliado o comportamento do circuito frente a diferentes amplitudes de sinal de entrada, permitindo a verificação do ganho de tensão e a identificação de possíveis distorções no sinal de saída. Por fim, busca-se compreender os efeitos observados com base nas características do TBJ e da configuração adotada, consolidando o aprendizado sobre amplificadores em eletrônica analógica.

Por fim, é também objetivo deste relatório realizar uma comparação entre os valores calculados teoricamente e os valores obtidos na simulação, permitindo validar os conceitos estudados e analisar possíveis discrepâncias entre teoria e prática.

3. Desenvolvimento

3.1 Cálculos analíticos

Antes da simulação, foram realizados os cálculos das grandezas fundamentais do circuito, considerando a entrada de 1 mV (pico), frequência de 10 kHz e as características do TBJ fornecidas. Os valores foram obtidos com três casas decimais, conforme orientado.

Etapa 1: Calcule analiticamente os resultados. Utilize μA para a corrente da base e mA para a corrente do coletor e do emissor. Além disso, considere três casa decimais.

Valores calculados:

- A) Corrente de base (I_B)
Pela fórmula de I_B , temos:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

Substituindo com os valores fornecidos, seria:

$$I_B = \frac{15 - 0,816}{280k} = 50,66\mu\text{A}$$

- Corrente de coletor (I_C)
Pela fórmula de I_C , temos:

$$I_C = \beta \times I_B$$

Substituindo com os valores fornecidos, seria:

$$I_C = 100 \times 50,66 \times 10^{-6} = 5,066 \times 10^{-3}$$

- Tensão V_{CE} :
Pela fórmula de V_{CE} , temos:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C$$

Substituindo com os valores fornecidos, seria:

$$V_{CE} = 15 - 5,066 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 10^3$$

$$V_{CE} = 7,40\text{V}$$

- B) Resistência de entrada do TBJ e a resistência de entrada do circuito:
Pela fórmula de R_{IN} , temos:

$$R_{in} = R_B || \beta \times R_E'$$

Como não temos R_E' , o calculamos da seguinte forma:

$$R_E' = \frac{2,6 \times 10^{-3}}{I_E}$$

Para o cálculo do I_E , temos a seguinte fórmula:

$$I_E = I_C + I_B$$

Onde podemos reescrevê-la como $I_E = (\beta - 1) \times I_B$
Então, substituindo com valores, temos:

$$I_E = (100 - 1) \times 50,66 \times 10^{-6}$$

$$I_E = 99 \times 50,66 \times 10^{-6}$$

$$I_E = 5,015 \text{mA}$$

Em posse de I_E , continuamos o cálculo de R_E' :

$$R_E' = \frac{2,6 \times 10^{-3}}{5,015 \times 10^{-3}}$$

$$R_E' = 5,184 \Omega$$

Voltando ao cálculo de R_{IN} e substituindo com os valores obtidos, temos:

$$R_{IN} = \frac{250k \times (100 \times 5,184)}{250k + (100 \times 5,184)}$$

$$R_{IN} = 517,4 \Omega$$

- C) Corrente de base (i_B _max / i_B _min):
Pela fórmula de i_B , temos:

$$i_B = \frac{V_{IN}}{R_{IN}}$$

$$i_B = \frac{1 \times 10^{-3}}{517,4}$$

$$i_B = 1,93 \mu\text{A (pico)}$$

$$i_B \text{ max} = 1,93 \mu\text{A}$$

$$i_B \text{ min} = -1,93 \mu\text{A}$$

- D) Corrente de coletor (i_{C_max} / i_{C_min}):
Pela fórmula, sabemos que:

$$i_C = \beta \times I_B$$

Substituindo com valores, temos:

$$i_C = 100 \times 1,93\mu$$

$$i_C = 193 \times 10^{-6}$$

$$i_{C_max} = I_C + i_c = 193 \times 10^{-6} + 5,066 \times 10^{-3} = 193\text{mA}$$

$$i_{C_min} = I_C - i_c = 193 \times 10^{-6} - 5,066 \times 10^{-3} = -193\text{mA}$$

- E) Tensão V_{CE} (máx / mín):
Pela fórmula, sabemos que:

$$V_{CE} = R_C \times i_c$$

Substituindo com valores, temos:

$$V_{CE} = 1,5 \times 10^3 \times 193 \times 10^{-6}$$

$$V_{CE} = 289,5 \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$V_{CE_min} = 7,4 - 289,5 \times 10^{-3} = 7,11 \text{ V}$$

$$V_{CE_max} = 7,4 + 289,5 \times 10^{-3} = 7,69 \text{ V}$$

- F) A forma de onda da tensão do coletor V_{CE}

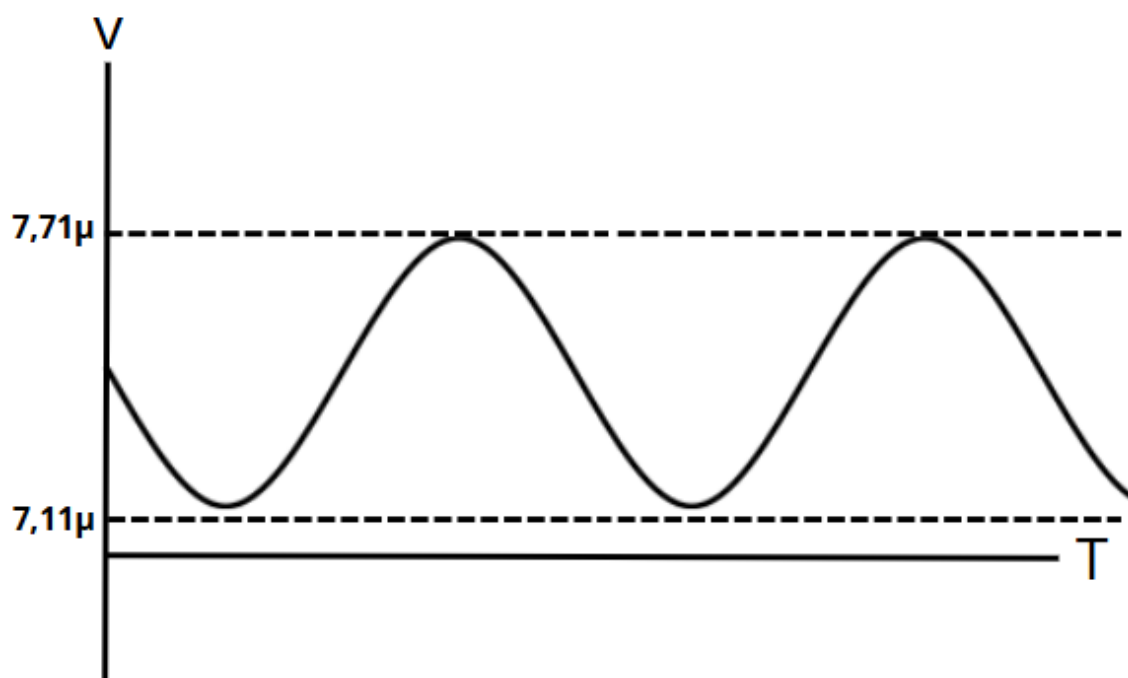


Figura 1 – Forma de onda da tensão do coletor V_{CE}

- G) A forma de onda da tensão de saída V_o

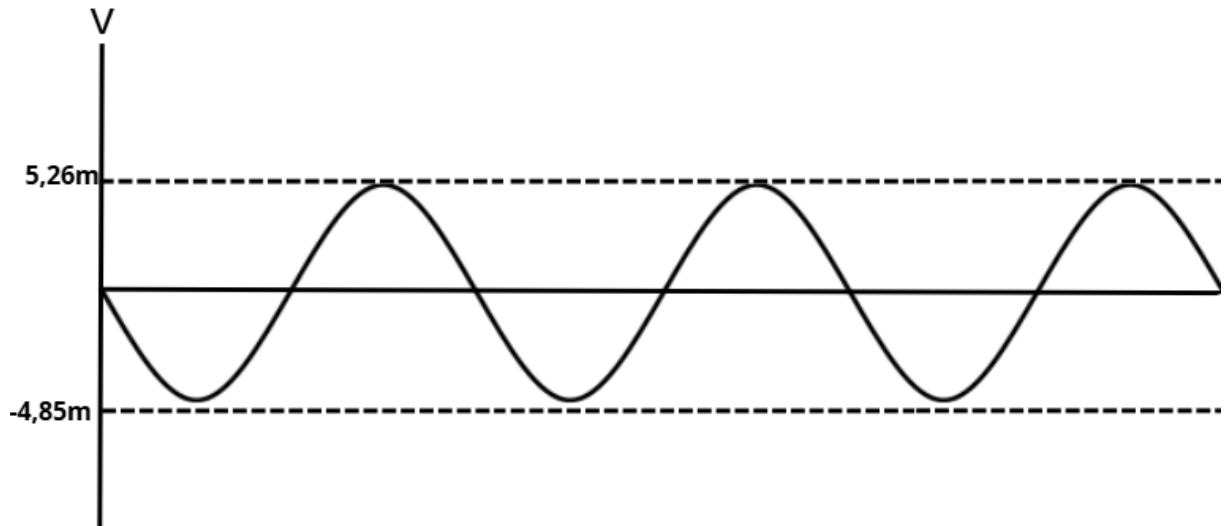


Figura 2 – Forma de onda da tensão de saída V_o

- H) A forma de onda da tensão de saída V_o
Pela fórmula, temos:

$$AV = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Substituindo com valores, temos:

$$AV = \frac{5,26 \times 10^{-3}}{1m}$$

$$AV = 5,26$$

3.2 Circuito montado no simulador

Etapa 2: Simule o circuito, anote os resultados, tabelle os valores e compare os valores analíticos com os simulados para cada letra da etapa anterior.

Com base no circuito apresentado na Etapa 1 do trabalho, foi realizada a montagem do amplificador utilizando o software Proteus. A simulação teve como objetivo validar os resultados analíticos obtidos anteriormente, permitindo a visualização das formas de onda, o comportamento dinâmico do transistor e a medição das grandezas elétricas.

O circuito foi montado com os mesmos valores utilizados nos cálculos, respeitando as características do TBJ, a polarização adequada e os componentes de acoplamento. Foram realizados testes com diferentes amplitudes de sinal de entrada, conforme as etapas posteriores do experimento.

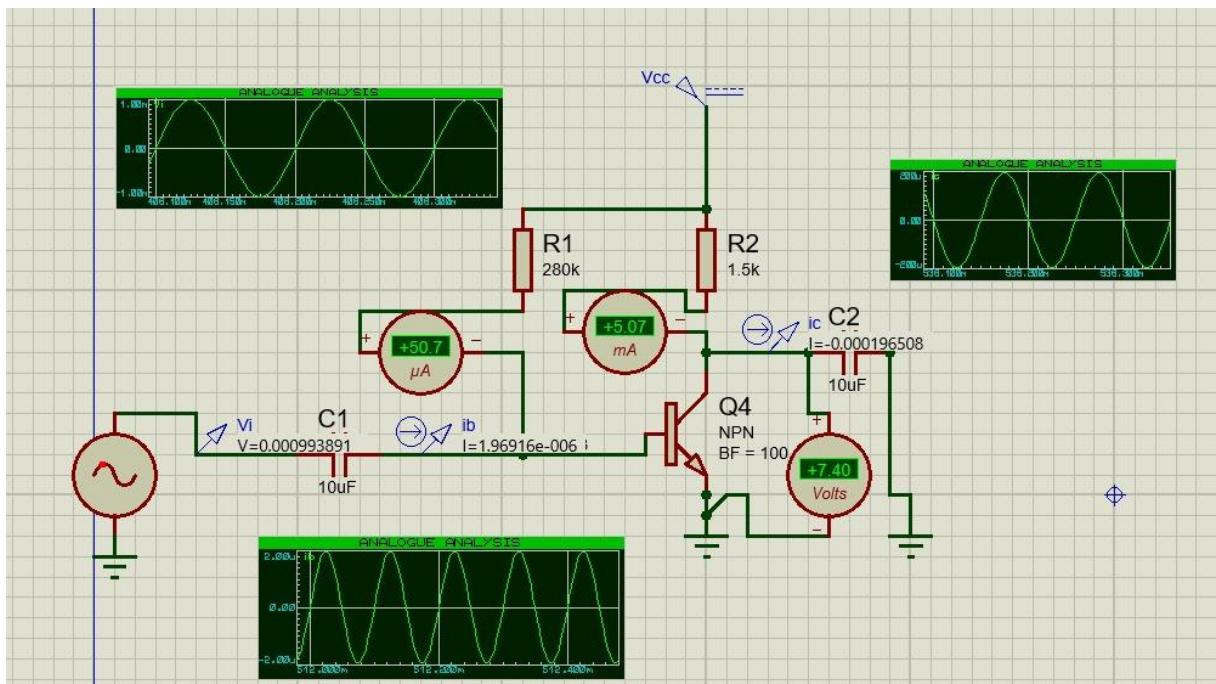


Figura 3 – Circuito amplificador com TBJ simulado no Proteus, conforme as especificações da Etapa 1.

3.3 Resultados da simulação

Com o circuito montado no Proteus, foram realizadas simulações para diferentes amplitudes de entrada. A partir das formas de onda obtidas, foi possível medir as principais grandezas do circuito, como correntes, tensões e ganho de tensão. Os dados obtidos servem de base para comparação com os valores analíticos calculados anteriormente.

Valores obtidos pela simulação:

- A) As componentes em operação CC (I_B , I_C , V_{CE}).
 $I_B = 50,7 \text{ uA}$
 $I_C = 5,07 \text{ mA}$
 $V_{CE} = 7,40\text{V}$
- B) Resistência de entrada do TBJ e a resistência de entrada do circuito:
 $R_{IN} = 517,4 \text{ } \Omega$
 $R_{TBJ} = 5,184 \text{ } \Omega$
- C) Corrente de base (i_{b_max} / i_{b_min}):
 $I_{b \text{ Max}} = 2\text{uA}$
 $I_{b \text{ min}} = -2\text{uA}$
- D) Corrente de coletor (i_{c_max} / i_{c_min}):
 $I_{c \text{ max}} = 193\text{mA}$
 $I_{c \text{ min}} = -193\text{mA}$
- E) Tensão V_{CE} (máx / mín):
 $V_{CE \text{ Max}} = 7,69\text{V}$
 $V_{CE \text{ min}} = 7,11\text{V}$
- H) O ganho de tensão v_o / v_{in} .
 $AV = 5,26$

3.4 Comparativo entre valores analíticos e simulados

A tabela a seguir apresenta uma comparação direta entre os valores obtidos por meio de cálculos analíticos e os resultados extraídos da simulação no software Proteus. Essa análise tem como objetivo verificar a coerência entre a teoria e o comportamento prático do circuito amplificador com TBJ.

Foram consideradas todas as grandezas solicitadas na Etapa 1, desde os valores de corrente e tensão contínuos até as variações alternadas, além do ganho de tensão do circuito. A diferença percentual entre os valores foi calculada para facilitar a análise de possíveis desvios, que podem estar relacionados a aproximações adotadas nos cálculos teóricos, limitações do modelo simulado ou variações nas características do transistor.

LETRA	GRANDEZA ANALISADA	VALOR ANALÍTICO	VALOR SIMULADO	DIFERENÇA (%)
A	Corrente de base I_B (μA)	50,66 μA	50,7 μA	0,079%
A	Corrente do coletor I_C (mA)	5,066mA	5,07 mA	0,079%
A	Tensão V_{CE} (V)	7,40V	7,40V	0%
B	Resistência de entrada do TBJ (Ω)	5,184	5,184	0%
B	Resistência de entrada do circuito (Ω)	517,4	517,4	0%
C	Corrente de base mín./máx.	Máx: 1,93 μA Mín: -1,93 μA	Máx: 2 μA Mín: -2 μA	3,63%
D	Corrente do coletor mín./máx.	Máx: 193mA Mín: -193mA	Máx: 193mA Mín: -193mA	0%
E	Tensão coletor-emissor mín./máx.	Máx: 7,69 Mín: 7,11	Máx: 7,69 Mín: 7,11	0%'
H	O ganho de tensão v_o/v_{in} .	5,26	5,26	0%

3.5 Análise dos resultados

A análise dos resultados obtidos evidencia uma excelente concordância entre os valores analíticos e os simulados, demonstrando a eficácia tanto do modelo teórico quanto da simulação realizada. As diferenças observadas foram, em sua maioria, insignificantes. Grande parte das grandezas apresentou valores idênticos, com diferença percentual de 0%, como a tensão coletor-emissor (VCE), as resistências de entrada do TBJ e do circuito, o ganho de tensão (v_o/v_{in}) e a corrente de coletor alternada nos valores máximos e mínimos, indicando que o modelo teórico foi suficiente para prever com precisão o comportamento do circuito.

Em alguns casos, pequenas variações foram registradas, como na corrente de base (IB) e na corrente de coletor (IC), com diferença de cerca de 0,079%. Esses desvios são desprezíveis na prática e podem ser atribuídos a arredondamentos nos cálculos ou às características da simulação, que considera parâmetros mais realistas dos componentes, como resistências internas e pequenas capacitâncias parasitas, normalmente desconsideradas nos cálculos manuais.

A maior diferença percentual foi de 3,63% na corrente de base alternada, considerando seus valores máximo e mínimo. Essa variação é esperada, pois a simulação representa oscilações e distorções sutis da forma de onda, não previstas nos cálculos ideais. Ainda assim, trata-se de uma diferença dentro da margem aceitável para esse tipo de análise.

O ganho de tensão calculado e simulado foi exatamente o mesmo, comprovando que o amplificador funciona de forma estável e com polarização correta do transistor. Assim, os resultados confirmam que o circuito está bem modelado teoricamente e sua simulação reflete com precisão o comportamento real, validando o projeto como um todo.

3.6 Verificação da coerência entre a saída e o ganho

Com base na letra “g” da Etapa 1, foi analisada a forma de onda da tensão de saída do circuito, medida após o capacitor de acoplamento. O objetivo é verificar se os valores de pico

observados na simulação estão de acordo com o ganho de tensão previamente calculado na letra “h”, conforme solicitado na Etapa 3 do trabalho.

Foi analisada a forma de onda da tensão de saída, medida após o capacitor, para uma entrada senoidal de 1 mV pico. A forma de onda obtida na simulação apresentou:

- Valor de pico máximo: -193 mV
- Valor de pico mínimo: $+193 \text{ mV}$

Com isso, o ganho experimental foi:

O valor obtido é coerente com o ganho de tensão analítico, que também foi calculado como, indicando que a simulação confirmou os resultados teóricos.

3.7 Análise com entrada de 0,1mV

Nesta etapa, foi aplicada ao circuito uma tensão senoidal de entrada com amplitude de 0,1 mV (pico), conforme solicitado. A forma de onda da tensão de saída após o capacitor foi observada no simulador para analisar se o ganho de tensão se manteve proporcional, sem distorção visível.

Os valores observados na simulação foram:

- Valor de pico máximo da saída: $-19,3 \text{ mV}$
- Valor de pico mínimo da saída: $+19,3 \text{ mV}$

O ganho obtido com essa entrada foi:

O resultado mostra que o circuito manteve o mesmo ganho de tensão, confirmando o comportamento linear do amplificador para sinais de baixa amplitude.

3.8 Análise com entrada de 5mV

Nesta etapa, foi aplicada ao circuito uma tensão senoidal de entrada com amplitude de 5 mV (pico), conforme solicitado na Etapa 5 do trabalho. O objetivo é verificar se, mesmo com uma amplitude maior, o circuito ainda apresenta ganho consistente e comportamento linear.

Os valores observados na simulação para a tensão de saída após o capacitor foram:

- Valor de pico máximo da saída: -965 mV
- Valor de pico mínimo da saída: $+965\text{ mV}$

Com base nesses valores, o ganho experimental foi:

Apesar do aumento da amplitude do sinal de entrada, o circuito manteve o mesmo ganho de tensão, demonstrando que o TBJ ainda opera na região ativa sem apresentação de distorção significativa. Isso confirma a estabilidade do amplificador para sinais de média amplitude.

3.9 Análise do fenômeno observado

Com base nas etapas anteriores, foi observado que o circuito amplificador com TBJ manteve um comportamento linear para diferentes amplitudes de entrada, desde que o sinal permanecesse dentro dos limites da região ativa de operação do transistor. Para sinais de baixa e média amplitude ($0,1\text{ mV}$ e 1 mV), o ganho de tensão permaneceu constante e proporcional, sem distorção perceptível na forma de onda.

Contudo, à medida que o sinal de entrada se aproxima de valores mais altos (como os 5 mV utilizados na Etapa 5), o circuito se aproxima dos limites da região ativa, e o transistor pode entrar em regiões de corte ou de saturação, resultando em distorções na forma de onda. No caso estudado, mesmo com 5 mV de entrada, não foi observada distorção significativa, mas esse comportamento pode variar dependendo do ponto de polarização e da margem operacional do TBJ.

Esse fenômeno é característico dos amplificadores com transistores bipolares, e é importante considerá-lo no projeto de circuitos analógicos para garantir que o sinal amplificado não ultrapasse os limites seguros de operação e mantenha sua integridade.

4. Conclusão

O desenvolvimento deste trabalho permitiu compreender o funcionamento de um transistor bipolar de junção (TBJ) operando como amplificador em configuração emissor comum. Por

meio da realização de cálculos analíticos e da simulação no software Proteus, foi possível determinar as principais grandezas envolvidas no circuito e verificar a coerência entre teoria e prática.

As simulações confirmaram os valores calculados para correntes, tensões e ganho de tensão, com diferenças percentuais desprezíveis. Além disso, o circuito demonstrou comportamento linear para diferentes amplitudes de entrada, operando de forma estável e sem distorções significativas dentro da região ativa do TBJ.

Conclui-se que a análise conjunta entre teoria e simulação é fundamental para a compreensão dos amplificadores com TBJ e sua aplicação prática em sistemas eletrônicos. A experiência reforçou o entendimento sobre a importância da polarização adequada e dos limites operacionais do transistor para garantir a fidelidade do sinal amplificado.