



Universidade Federal do ABC

## BCJ0205 - Fenômenos Térmicos

### Exp 4 - Máquina térmica de efeito Seebeck

---

Professor: _____	Data: ____/____/2018
Turma: _____	Turno (D/N): _____
Nome: _____	Campus (SA/SB): _____
Nome: _____	RA: _____
Nome: _____	RA: _____
Nome: _____	RA: _____
Nome: _____	RA: _____
Nome: _____	RA: _____
Nome: _____	RA: _____

---

## 1 Objetivos

Verificar experimentalmente a segunda lei da termodinâmica através da utilização do efeito Seebeck como mecanismo de uma máquina térmica. Relacionar a diferença de temperatura que uma liga metálica de Fe-Constantan é submetida à força eletromotriz observada nos extremos da liga metálica.

## 2 Introdução

O efeito Seebeck, descoberto em 1821 por Thomas Johann Seebeck, é a produção de uma diferença de potencial elétrico na junção entre dois condutores (ou semicondutores) de materiais diferentes, quando estes estão submetidos a diferentes temperaturas. Ele é associado ao efeito considerado inverso e descoberto pelo francês Jean Charles Athanese Peltier e em muitos livros texto é apresentado como efeito Peltier-Seebeck. Esses dois efeitos, em conjunto com o efeito Thomson são conhecidos como efeito termoelétrico. O efeito Joule - geração de calor pela passagem de corrente em um material resistivo - é relacionado aos demais, mas não é considerado termoelétrico, dado que processos com os efeitos Peltier-Seebeck e Thomson podem ser reversíveis[3], enquanto o efeito Joule nunca é.

O efeito Seebeck ocorre porque os níveis eletrônicos dos materiais da junta variam de forma diferente com a temperatura, levando a criação de uma diferença de potencial na junção. A figura 2 esquematiza um circuito termoelétrico construído com materiais de portadores de carga diferentes (tipo-p e tipo-n), e configurado como gerador elétrico.

A tensão produzida pelo efeito Seebeck num circuito semelhante ao mostrado na figura 2 pode ser descrita por

$$V \cong \alpha(T_Q - T_F) \quad (1)$$

onde  $V$  é a tensão,  $T_Q$  e  $T_F$  são as temperaturas quente e fria respectivamente e  $\alpha$  é o coeficiente de Seebeck ou potência termoelétrica, que de maneira geral, não é constante com a temperatura.

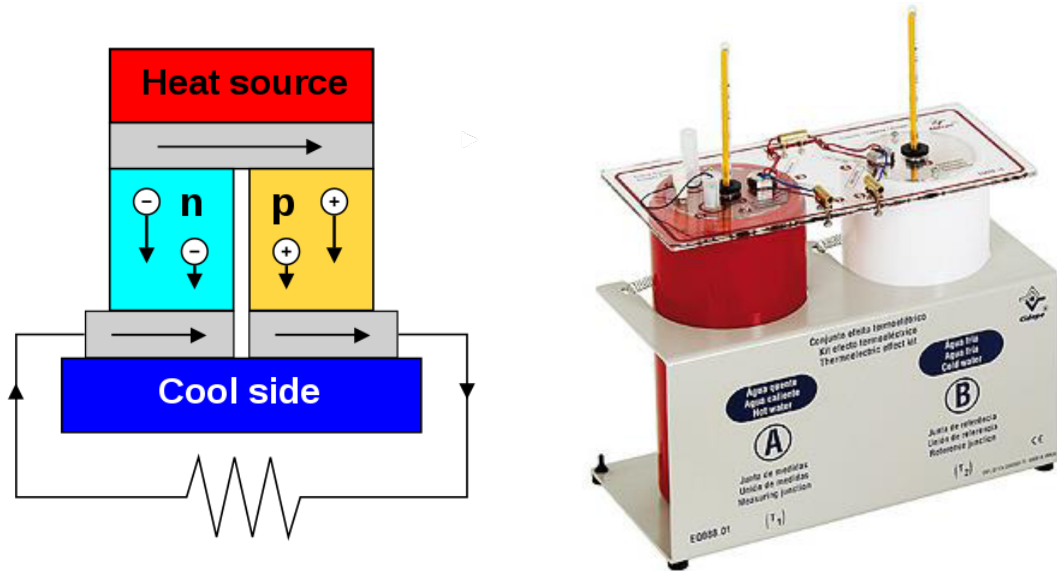


Figura 1: Esquerda: Esquema de um gerador termoeletrico por efeito Seebeck.[1] Neste circuito em particular não são os coeficientes de Seebeck que são diferentes, mas diferentes portadores de carga (tipo-p e tipo-n). Direita: Kit experimental de efeito Seebeck (CIDEPE EQ088A).[2]

Neste experimento, iremos determinar o coeficiente  $\alpha$ , bem como estimar a potência produzida pelo circuito em estudo. Iremos ainda estimar a potência consumida por uma máquina de Carnot que produzisse um trabalho equivalente ao do circuito testado.

Para isso, temos de lembrar que a potência dissipada num circuito elétrico é dada por

$$P = V \cdot i = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

onde  $R$  é a resistência elétrica do circuito. Cabe ainda lembrar que a eficiência de uma máquina de Carnot é dada por:

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = \frac{W}{Q_Q} \quad (3)$$

onde  $\varepsilon_C$  é a eficiência de Carnot,  $W$  e  $Q_Q$  são respectivamente o trabalho fornecido e o calor consumido pela máquina de Carnot. Manipulando o último termo da equação 3 com um intervalo de tempo arbitrário  $\Delta t$  obtemos a potência consumida pela máquina de Carnot equivalente

$$\varepsilon_C = \frac{W}{Q_Q} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t} = \frac{P_W}{P_Q} \Rightarrow P_Q = \frac{P_W}{\varepsilon_C} \quad (4)$$

onde  $P_W$  é a potência útil (trabalho) fornecida pela máquina e  $P_Q$  a potência consumida pela máquina a partir da fonte quente.

### 3 Procedimento experimental

#### 3.1 Materiais

- gelo
- um termopar calibrado para medida de temperatura
- dois multímetros para medidas de temperatura, resistência e tensão elétricas
- um par de cabos jacaré-banana
- um bquer graduado para transporte e dispensa de água quente

- Kit CIDEPE EQ088A, cujas peças a serem utilizadas são:
  - uma placa com circuito de junta Fe-Constantan
  - um funil de vidro para permitir a adição de água quente sem necessidade de remover a placa
  - um copo branco para acondicionar a água na temperatura ambiente (referência)
  - um copo vermelho para acondicionar a mistura de água de temperatura variável
  - um suporte metálico para acondicionar os copos e a placa com circuito sobre eles

### 3.2 Métodos

1. Insira o termopar na água do copo branco e anote a temperatura inicial,  $T_R$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) (a incerteza da temperatura neste método é de  $1^{\circ}\text{C}$ ) e anote o valor na tabela 3.
2. Antes de colocar água no copo vermelho, conecte os cabos jacaré-banana em um dos multímetros e nos terminais do circuito. Primeiramente, meça a resistência elétrica ( $R$ ), e anote na tabela 3. Em seguida meça e anote na mesma tabela a temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ).
3. Retorne o multímetro conectado ao circuito para a posição de leitura de tensão contínua (DC).
4. Coloque água gelada no copo vermelho em quantidade suficiente para cobrir a sonda do circuito em até  $\approx 5$  cm. Não deixe entrar pedras de gelo no recipiente!!!
5. Posicione o copo vermelho no suporte e sobre ambos os copos a placa do circuito, cobrindo-os. Insira o termopar pelo orifício central da tampa do copo vermelho, de forma que este chegue até o fundo e registre a temperatura da água. Certifique-se de que o funil está seguramente acoplado à tampa do copo vermelho. Anote o valor da temperatura da água no copo vermelho  $T_V$  e da tensão  $V$  na tabela 3.
6. Coloque água quente no bquer, e despeje no funil em pequenas quantidades, da ordem de 10 ml por vez. Use o misturador para agitar a mistura de água quente e fria para que seja atingido o equilíbrio rapidamente. Ele deve ser atingido, com a agitação do misturador, em alguns segundos. Monitore o valor da temperatura. Enquanto esta não tiver subido pelo menos  $\approx 8^{\circ}\text{C}$ , continue o processo de adição gradual (passos de 10 ml) de água quente. Quando atingida a nova temperatura, com esse mínimo intervalo, anote os novos valores de  $T_V$  e  $V$  na tabela 4.
7. Repita o passo anterior até completar a tabela 4. Se o copo encher antes, esvazie-o e coloque água quente sem mistura (até quase a metade do copo), conseguindo mais uma medida.
8. Antes de encerrar as medidas, faça mais uma medida da temperatura de referência do copo branco ( $T_R$ ) e mais uma medida de resistência elétrica do circuito ( $R$ ) retirando-o da água, e anote os valores respectivamente na tabela 3.

Faixa	Precisão	Resolução
400 $\Omega$	$\pm (0,8\% + 5D)$	0,1 $\Omega$
4 k $\Omega$	$\pm (0,8\% + 4D)$	1 $\Omega$
40 k $\Omega$		10 $\Omega$
400 k $\Omega$		100 $\Omega$
4 M $\Omega$		1 k $\Omega$
40 M $\Omega$	$\pm (1,2\% + 5D)$	10 k $\Omega$

Faixa	Precisão	Resolução
40 mV	$\pm (0,5\% + 6D)$	0,01 mV
400 mV	$\pm (0,5\% + 5D)$	0,1 mV
4 V		1 mV
40 V		10 mV
400 V		100 mV
1000 V	$\pm (1,0\% + 5D)$	1 V

Tabela 1: Tabela de precisão do multímetro **Minipa ET-2075B** na modalidade de resistência e tensão DC.

Faixa	Precisão	Resolução
400 $\Omega$	$\pm (1,2\% + 4D)$	0,1 $\Omega$
4 k $\Omega$		1 $\Omega$
40 k $\Omega$		10 $\Omega$
400 k $\Omega$		100 $\Omega$
4 M $\Omega$		1 k $\Omega$
20 M $\Omega$	$\pm (3\% + 5D)$	10 k $\Omega$

Faixa	Precisão	Resolução
400 mV	$\pm (0,5\% + 4D)$	100 $\mu V$
4 V	$\pm (0,8\% + 4D)$	1 mV
40 V		10 mV
400 V		100 mV
600 V		1 V

Tabela 2: Tabela de precisão do multímetro **Minipa ET-1953** na modalidade de resistência e tensão DC.

## 4 Resultados e Discussões

- (5 pontos) Anote na tabela abaixo os dados iniciais e finais (no final do experimento) solicitados na etapa dos Métodos. Para o erro das medidas com o multímetro consulte as tabelas 1 e 2.

Medida	$T_R$ ( $^{\circ}C$ )	$\sigma_{T_R}$ ( $^{\circ}C$ )	Medida	R ( $\Omega$ )	$\sigma_R$ ( $\Omega$ )	$T_{amb}$ ( $^{\circ}C$ )	$\sigma_{T_{amb}}$ ( $^{\circ}C$ )
Inicial			Inicial				
Final			Final				

Tabela 3: À esquerda, valores para o copo branco. À direita, valores do circuito de Fe-Constantan.

1. \_\_\_\_\_

- (10 pontos) Preencha o lado esquerdo da tabela 4 com os dados coletados de temperatura e tensão.

2. \_\_\_\_\_

Medida	$T_V(^{\circ}C)$	V (mV)	$\sigma_V$ (mV)	P (nW)	$\sigma_P$ (nW)	$\epsilon_C$	$\sigma_{\epsilon_C}$	$P_Q$ (nW)	$\sigma_{P_Q}$ (nW)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									

Tabela 4: Dados coletados de temperatura e tensão. As demais colunas estão destinadas aos cálculos da análise.

- (10 pontos) Preencha a coluna da tabela 4 com os respectivos erros de tensão ( $\sigma_V$  (mV)), os valores da potência dissipada dado pela equação 2, e o seu respectivo erro.

3. \_\_\_\_\_

4. (15 pontos) No espaço destinado à figura 2, faça o gráfico da dependência de  $V$  em função de  $\Delta T = T_V - T_R$ .

4. \_\_\_\_\_

5. (10 pontos) Ajuste os dados da figura 2 por uma reta. Pelo método das retas máximas e mínimas obtenha o coeficiente de Seebeck (veja equação 1) e sua incerteza. Explícite os seus cálculos.

5. \_\_\_\_\_

6. (10 pontos) Qual o valor esperado para o coeficiente linear do ajuste do gráfico da figura 2? Por quê? O valor obtido do ajuste é consistente com o esperado? Justifique com base nas incertezas obtidas pelo ajuste.

6. \_\_\_\_\_

7. (10 pontos) Com base nos dados coletados, calcule a eficiência correspondente a uma máquina de Carnot,  $\epsilon_C$ , operando entre as temperaturas anotadas na tabela 4 e preencha as colunas correspondentes aos seus valores e respectivas incertezas.

7. \_\_\_\_\_

8. (10 pontos) Responda se a eficiência desta máquina térmica seria maior, menor ou igual a  $\epsilon_C$  ?

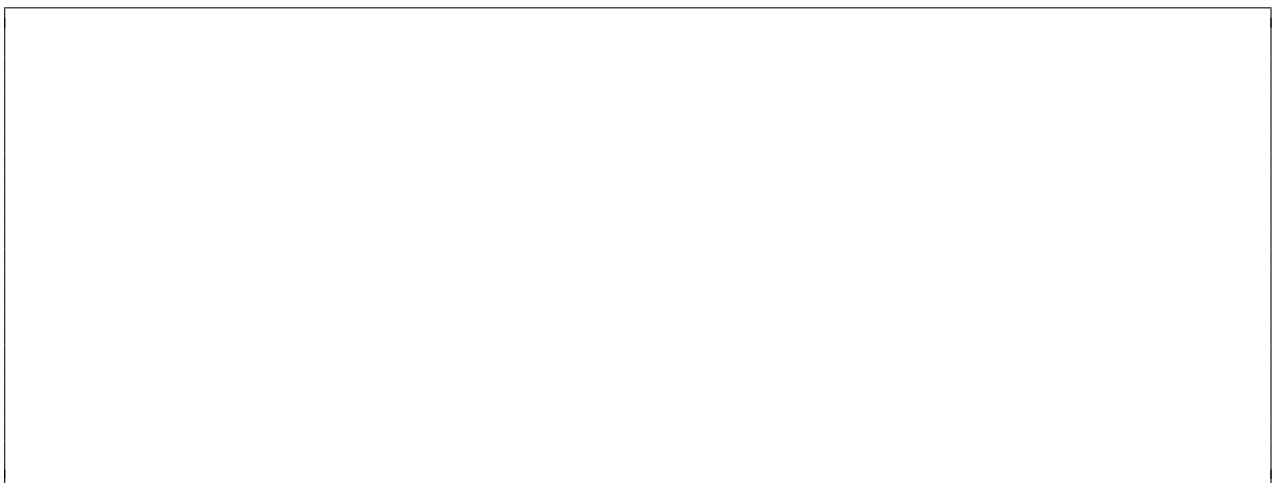


8. \_\_\_\_\_

9. (10 pontos) Considere que este circuito tivesse a eficiência de Carnot e produzisse a potência observada no experimento. Calcule qual seria a potência consumida da fonte quente e anote seus resultados na tabela 4 com suas respectivas incertezas.

9. \_\_\_\_\_

10. (10 pontos) Explique como os resultados deste experimento corroboram a segunda lei da termodinâmica?



10. \_\_\_\_\_

## Pontos

Question:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Points:	5	10	10	15	10	10	10	10	10	10	100
Score:											

## Referências

- [1] Ken Brazier e C.M. Cullen, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermoelectric\\_Generator\\_Diagram.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermoelectric_Generator_Diagram.svg), última visita em 25/03/2017
- [2] Manual CIDEPE, kit EQ088A
- [3] F.J. Disalvo, Thermoelectric Cooling and Power Generation, *Science* **285** (5428): 703–6, 1999
- [4] H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica - 2, Editora Edgard Blücher (1996)
- [5] R.A Serway, J.W. Jewett Jr., Princípios de Física - vol. 2, Cengage Learning (2004)
- [6] A. A. Campos, E. S. Alves, N. L. Speziali, Física experimental básica na Universidade, Ed. UFMG (2008).
- [7] Otaviano A. M. Helene e Vito R. Vanin, Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental - Editora Edgard Blücher, 2ª edição (1991).

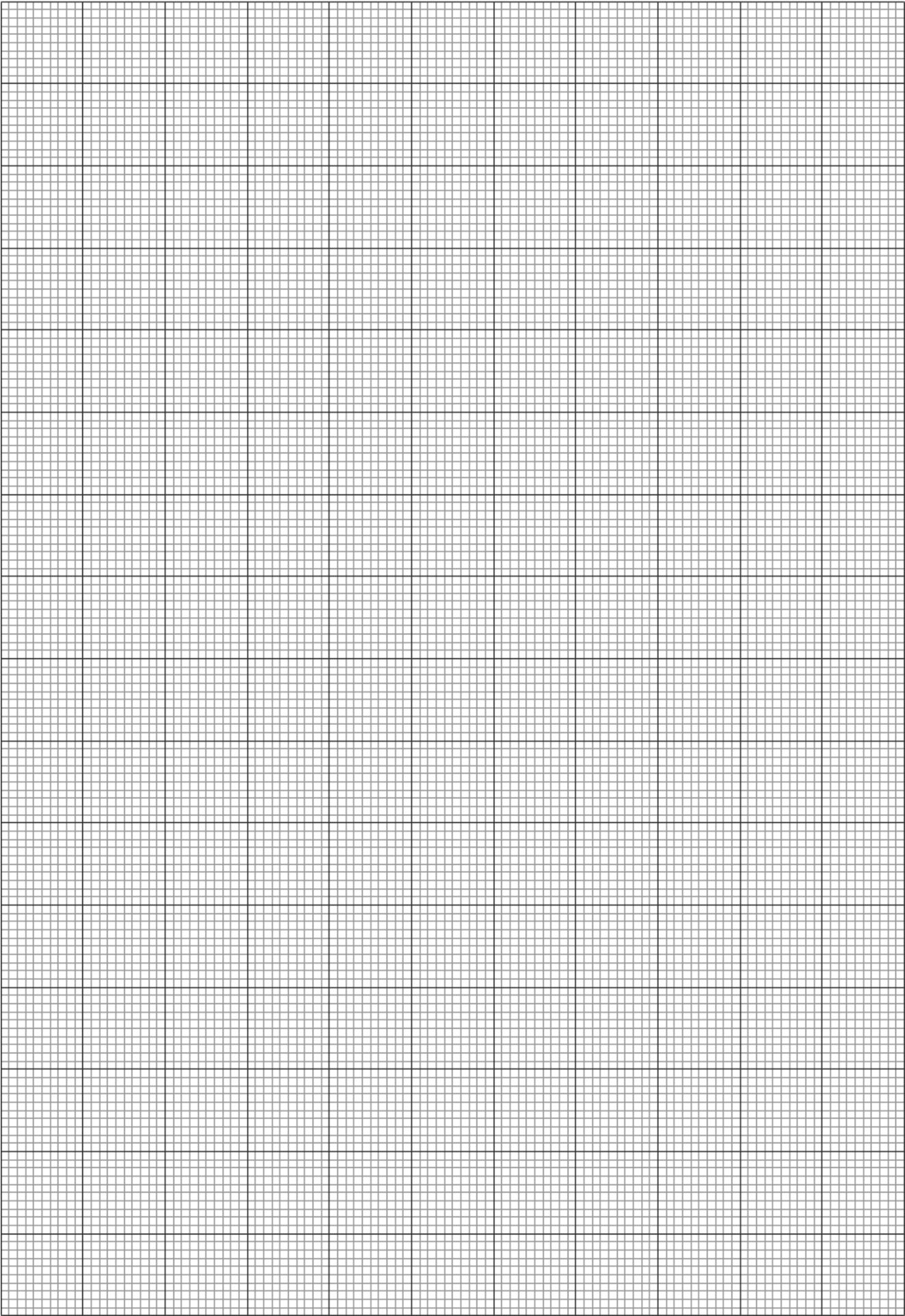


Figura 2: -----