

GLADISTON XAVIER DINIZ SILVA

ANTONIO PINTO NETO

EDSON DE CARVALHO

GRÁFICOS TÁTEIS PARA O ENSINO INCLUSIVO DE FÍSICA EXPERIMENTAL



EDUFMA

GRÁFICOS TÁTEIS PARA O ENSINO INCLUSIVO DE FÍSICA EXPERIMENTAL



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Reitor	Prof. Dr. Fernando Carvalho Silva
Vice-Reitor	Prof. Dr. Leonardo Silva Soares



EDITORA DA UFMA

Coordenadora	Dra. Suênia Oliveira Mendes
Conselho Editorial	Profa. Dra. Andréa Katiane Ferreira Costa
	Profa. Dra. Débora Batista Pinheiro Sousa
	Prof. Dr. Edson Ferreira da Costa
	Prof. Dr. José Carlos Aragão Silva
	Profa. Dra. Jussara Danielle Martins Aires
	Profa. Dra. Karina Almeida de Sousa
	Prof. Dr. Luís Henrique Serra
	Prof. Dr. Luiz Eduardo Neves dos Santos
	Profa. Dra. Luma Castro de Souza
	Prof. Dr. Márcio José Celeri
	Profa. Dra. Maria Áurea Lira Feitosa
	Profa. Dra. Raimunda Ramos Marinho
	Profa. Dra. Rosângela Fernandes Lucena Batista
	Bibliotecária Iole Costa Pinheiro



Associação Brasileira das Editoras Universitárias



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0.

**Gladiston Xavier Diniz Silva
Antonio Pinto Neto
Edson de Carvalho**

GRÁFICOS TÁTEIS PARA O ENSINO INCLUSIVO DE FÍSICA EXPERIMENTAL

São Luís



EDUFMA

2025

© 2025 EDUFMA - Todos os direitos reservados

Projeto Gráfico, Diagramação

Gladiston Xavier Diniz Silva

Antonio Pinto Neto

Revisão

Edson de Carvalho

Imagem: Arquivo pessoal, com ajustes realizados por Inteligência Artificial.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Gladiston Xavier Diniz

Gráficos táteis para o ensino inclusivo de física experimental [recurso eletrônico] / Gladiston Xavier Diniz Silva, Antonio Pinto Neto, Edson de Carvalho. — São Luís: EDUFMA, 2025.

E-book (51 p.) il.

Inclui Bibliografia

ISBN: 978-65-5363-495-4

Livro disponível em formato digital

Livro digital da Editora EDUFMA

Modo de Acesso: world wide web

1. Ensino de Física. 2. Educação inclusiva. 3. Gráfico tátil. I. Pinto Neto, Antonio. II. Carvalho, Edson de. III. Título.

CDD 530.07

CDU 53:376-056.262

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi/UFMA
Bibliotecária: Jousiane Leite Lima - CRB 13/700

CRIADO NO BRASIL [2025]

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microfilmagem, gravação ou outro, sem permissão do autor.

| EDUFMA | EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Av. dos Portugueses, 1966 | Vila Bacanga

CEP: 65080-805 | São Luís | MA | Brasil

Telefone: (98) 3272-8157

www.edufma.ufma.br | edufma@ufma.br

AGRADECIMENTOS

Ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)
À Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFMA (PROFIS)
À Superintendência de Tecnologias na Educação (STED) da UFMA
O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de
Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

APRESENTAÇÃO

Este e-book tem como objetivo tornar acessível a estudantes com deficiência visual a compreensão e a construção de gráficos no contexto do ensino de Física. Para isso, as representações tradicionalmente visuais foram convertidas em formatos táteis, possibilitando o acesso a conteúdos que, muitas vezes, são apresentados exclusivamente de forma gráfica.

A proposta está organizada em duas partes. Na primeira, discute-se como transformar informações visuais de gráficos em representações táteis. Esse processo permite que estudantes com deficiência visual interpretem dados gráficos e compreendam os princípios envolvidos na construção e no ajuste de curvas a partir de pontos experimentais. Para isso, são utilizadas técnicas de linearização de funções, que facilitam a análise de diferentes comportamentos físicos, como os de natureza linear, exponencial e de potência.

Na segunda parte, o foco recai sobre a autonomia do estudante para confeccionar seus próprios gráficos. São empregadas ferramentas acessíveis, como grades lineares, monolog e dilog, produzidas em acetato moldado por termoformação. Esses materiais foram selecionados por sua acessibilidade, baixo custo e viabilidade de aplicação em diversos contextos educacionais, incluindo escolas públicas com infraestrutura limitada.

Este material é resultado de um trabalho desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), no Polo 47 – Universidade Federal do Maranhão (UFMA), sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Pinto Neto, com edição técnica e científica do Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho (Edson de Carvalho). A proposta apresentada neste e-book está alinhada a uma perspectiva metodológica que busca promover práticas pedagógicas contextualizadas, inclusivas e socialmente comprometidas.

Ao assumir uma abordagem que valoriza o estudante como sujeito ativo do processo de aprendizagem, este recurso educacional contribui não apenas para o entendimento de conceitos físicos, mas também para a formação crítica e cidadã. Dessa forma, favorece a construção de sentidos que permitam ao aluno compreender diferentes dimensões da realidade e atuar de forma transformadora em seu meio.

Mais informações sobre a fundamentação e o desenvolvimento desta proposta podem ser encontradas em Pinto Neto (2019).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reta orientada.....	13
Figura 2 – Plano cartesiano	14
Figura 3 – Localização do par ordenado (x, y)	15
Figura 4 – Representação no plano cartesiano do ponto (x, y)	16
Figura 5 – Gráfico representativo dos pontos da Tabela 1	16
Figura 6 – Gráfico linear referente aos dados da Tabela 1.	17
Figura 7 – Gráfico demonstrando o coeficiente angular.....	17
Figura 8 – Pontos referentes à tabela 2.....	19
Figura 9 – Gráfico linear referente aos pontos da Tabela 2	19
Figura 10 – Gráfico genérico do comportamento exponencial.....	20
Figura 11 – Gráfico no plano monolog.....	21
Figura 12 – Representação dos pontos da Tabela 3	22
Figura 13 – Representação dos pontos da Tabela 3 em um plano monolog.....	23
Figura 14 – Gráfico genérico de um comportamento de potência.	24
Figura 15 – Representação dos pontos da tabela 3 em um gráfico dilog	25
Figura 16 – Representação dos pontos da Tabela 4	26
Figura 17 – Representação dos pontos da Tabela 4 em um plano dilog	26
Figura 18 – Disposição dos pontos experimentais da dilatação térmica de um determinado material	28
Figura 19 – Curva de ajuste dos pontos da Tabela 5.....	28
Figura 20 – Pares ordenados referentes à Tabela 6	30
Figura 21 – Dados referentes à Tabela 6 no plano monolog.....	30
Figura 22 – Disposição dos pontos da Tabela 7	32
Figura 23 – Representação dos pontos da Tabela 6 em um plano dilog	32
Figura 24- Gráfico escolhido.....	34
Figura 25- Gráfico invertido lateralmente.....	34
Figura 26 – Procedimento de inversão do gráfico	35
Figura 27 – (A) Prancheta+EVA, (B) Prancheta+EVA+offset e (C) Prancheta+EVA+offset+gráfico invertido	35
Figura 28 – Gráfico marcado no verso da placa de offset.....	36

Figura 29 – Gráfico marcado em alto-relevo na placa de offset.....	36
Figura 30 – (A) Grade linear, (B) Grade diolog e (C) Grade monolog.....	37
Figura 31- Impressora Sethi3D S3	37
Figura 32 – Montagem do gráfico tátil.	38
Figura 33 – Furo e sequência de encaixe so elementos do gráfico tátil	38
Figura 34 – Conjunto prancheta, EVA, chapa de offset e grade linear	39
Figura 35 – Acetato sendo perfurado	40
Figura 36 – Chapa de offset marcada	40
Figura 37 – Chapa de offset com a curva já linearizada e ajustada.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conjunto de medidas de causa efeito	15
Tabela 2 – Pontos a serem ajustados para o comportamento linear.....	18
Tabela 3 – Tabela de pares ordenados do exemplo numérico exponencial.....	22
Tabela 4 – Pares ordenados do exemplo numérico do comportamento de potência	25
Tabela 5 – Dados experimentais da dilatação térmica de um determinado material	27
Tabela 6 – Dados experimentais do resfriamento da água	29
Tabela 7 – Dados experimentais de uma queda livre	31

SUMÁRIO

1	Introdução	11
2	Fundamentos da análise gráfica: retas, escalas e comportamentos funcionais	13
2.1	Reta	13
2.2	Escalas	13
2.3	Plano cartesiano	14
2.4	Gráficos	14
2.4.1	Construção de gráficos cartesianos.....	15
2.5	Calculando o coeficiente angular.....	17
2.6	Comportamento linear.....	18
2.7	Comportamento exponencial.....	20
2.8	Comportamento de potência	24
2.8.1	Dilatação linear: caso 1	27
2.8.2	Resfriamento de newton: caso 2	29
2.8.3	Queda livre: caso 3.....	31
3	Produção e representação de gráficos táteis para o aluno cego.....	34
4	Produção e montagem do gráfico tátil	37
5	Processo de ajuste de curva realizado pelo aluno cego.....	39
	Referências	42
	Apêndice A - Plano de aula	43
	Apêndice B - Questionário prévio.....	44
	Apêndice C - Atividade proposta sobre ajuste de curvas	45
	Apêndice D - Pós-teste	47
	Apêndice E - Metodologia/Estratégia/Rotina	48

1 INTRODUÇÃO

Os gráficos são ferramentas fundamentais para a comunicação de informações em diversas áreas do conhecimento, pois permitem representar de forma visual, clara e objetiva dados frequentemente complexos. Nas Ciências da Natureza — e, em especial, na Física — seu uso torna-se ainda mais significativo, uma vez que historicamente eles têm sido essenciais não apenas para a apresentação de resultados experimentais, mas também para a descrição de fenômenos naturais e a formulação de leis empíricas.

Este e-book foi elaborado com o propósito de oferecer uma base sólida sobre o uso de gráficos no ensino e na aprendizagem da Física. O conteúdo abrange conceitos introdutórios — como plano cartesiano, localização de pontos e interpretação de retas —, além de técnicas avançadas, incluindo o ajuste de curvas a partir de dados experimentais. São exploradas funções matemáticas de diferentes tipos, como lineares, exponenciais e de potência, fundamentadas em referências consagradas na área (CRUZ *et al.*, 1997; SILVA; SILVA; NASCIMENTO, 1995; STEIN-BARANA; LOPES; URA, 2008).

Mais do que apresentar fundamentos teóricos, este material adota uma abordagem prática e inclusiva, com foco especial na acessibilidade de estudantes com deficiência visual. A proposta pedagógica foi desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), como parte da dissertação de mestrado de Gladiston Xavier (PINTO NETO, 2019), intitulada **Gráfico tátil: uma proposta inclusiva para abordar gráficos e ajuste de curvas no ensino de Física**. O estudo apresenta uma metodologia que permite aos alunos cegos compreender, construir e interpretar gráficos por meio de recursos táteis.

Espera-se que este e-book auxilie educadores e estudantes a adquirirem não apenas conhecimento teórico sobre a construção e análise de gráficos, mas também competências práticas para seu uso no ensino de Física de forma acessível, clara e significativa.

A organização do material foi planejada para conduzir o leitor em uma trajetória de aprendizagem progressiva. No Capítulo 2, são apresentados os fundamentos da análise gráfica, desde conceitos básicos — como retas, escalas, plano cartesiano e construção de gráficos — até comportamentos funcionais mais complexos, como relações lineares, exponenciais e de potência, ilustrados por casos experimentais de dilatação linear, resfriamento de Newton e queda livre. O Capítulo 3 aborda a produção e representação de gráficos táteis como recurso inclusivo para estudantes cegos, enquanto o Capítulo 4 oferece orientações práticas para a confecção e montagem

desses gráficos. O Capítulo 5 detalha o processo de ajuste de curvas realizado pelo próprio aluno cego, com base em experiências conduzidas com uma turma piloto do ensino médio que incluía estudantes com deficiência visual, evidenciando a autonomia dos alunos na interpretação e construção de gráficos táteis numa abordagem inclusiva. Os apêndices reúnem planos de aula, questionários, atividades e propostas metodológicas que complementam a aplicação prática do material.

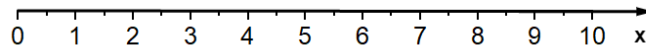
Assim, este e-book integra teoria, prática e acessibilidade, oferecendo subsídios para um ensino de Física experimental inclusivo, significativo e transformador.

2 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE GRÁFICA: RETAS, ESCALAS E COMPORTAMENTOS FUNCIONAIS

2.1 Reta

Reta é um conjunto de infinitos pontos colineares. Para utilizá-la como referencial, deve-se estabelecer seu tamanho e orientá-la no sentido crescente, conforme mostra a Figura 1. A divisão em espaços regulares recebe o nome de escala, conceito fundamental na representação gráfica de grandezas físicas (STEWART, 2013). Isso permite localizar qualquer ponto nesta reta.

Figura 1 – Reta orientada



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

2.2 Escalas

Escala é todo segmento de reta ou curva, chamado de linha de suporte, sob a qual se marcam valores ordenados de grandeza. O espaço entre duas marcas sucessivas é chamado de passo, enquanto o conjunto dessas marcas é denominado graduação. A diferença entre dois valores sucessivos de grandeza é chamada de degrau e o conjunto desses valores de calibração. A razão entre o passo e o degrau é denominada módulo da escala (STEWART, 2013).

As Equações (1) e (2) mostram como calcular as escalas:

$$\Delta l_{i,i+1} = m \Delta G_{i,i+1}, \quad (1)$$

para escalas lineares e

$$\Delta l_{i,i+1} = m \cdot \log \left(\frac{G_{i+1}}{G_i} \right), \quad (2)$$

para escalas logarítmicas, em que G é a grandeza a ser medida e l corresponde aos comprimentos disponíveis para marcar essa grandeza (MOORE; McCABE, 2003).

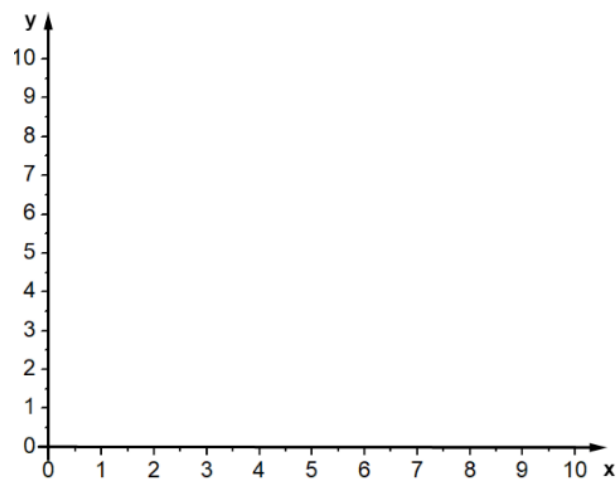
As equações de escala são usadas para adequar as dimensões do gráfico ao que está sendo medido. Entretanto isso pode ser feito de uma forma mais simples atribuindo valores às divisões consecutivas da escala conforme a necessidade (de 1 em 1, de 5 em 5, de 10 em 10...). Desta forma

é possível ajustar de maneira harmônica, o gráfico, as medidas e o tamanho do papel, para assim obter a melhor disposição e visibilidade.

2.3 Plano cartesiano

Plano cartesiano é a representação formada por duas retas escalonadas, dispostas perpendicularmente entre si, onde são representados pares ordenados (x, y) (BOYER, 2010). A Figura 2 mostra o plano cartesiano.

Figura 2 – Plano cartesiano



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

2.4 Gráficos

Gráficos bidimensionais cartesianos são linhas traçadas a partir de dois eixos ortogonais, que representam o comportamento relacional entre grandezas (STEWART, 2013). Essas grandezas recebem o nome de variáveis e são dispostas nos eixos da seguinte forma: no eixo horizontal (abscissa) são marcados valores referentes à variável manipulada (causa), enquanto no eixo vertical (ordenada) são marcados valores referentes à variável dependente (efeito).

Esse tipo de representação gráfica foi essencial para o desenvolvimento das ciências naturais, pois permite a análise de comportamentos e tendências de fenômenos físicos (KUHN, 1996).

2.4.1 Construção de gráficos cartesianos

Para a construção do gráfico no plano cartesiano é preciso ter os eixos devidamente graduados segundo a escala que melhor se adequa à grandeza e a situação estudada. Depois de graduados os eixos, segundo a escala determinada, devem-se localizar os pontos. Cada ponto será definido por um par ordenado $(x; y)$, em que x e y são as variáveis do processo (MOORE; McCABE, 2003). Esse conjunto de medidas está representado na Tabela 1.

Tabela 1 – Conjunto de medidas de causa efeito

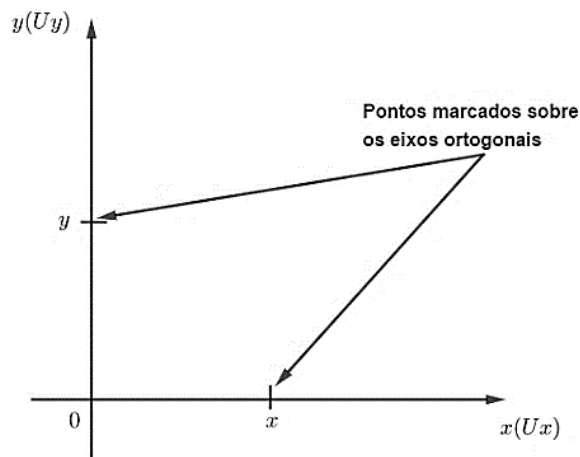
$x(U_x)$	$y(U_y)$
x_1	y_1
x_2	y_2
x_3	y_3
x_n	y_n

Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Vejamos como desenhar o gráfico desse conjunto de medidas:

- a) Marque o valor de cada variável em seu eixo como mostra a Figura 3.

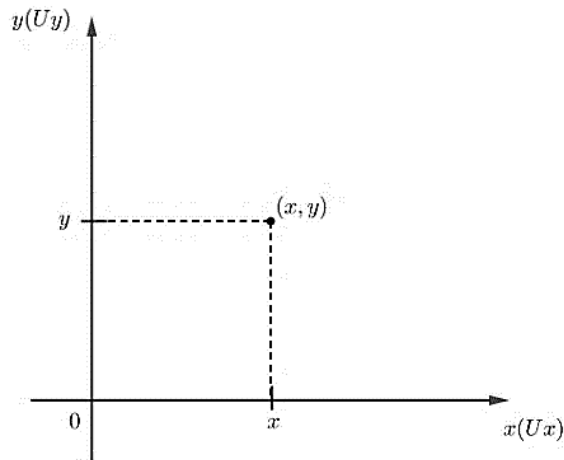
Figura 3 – Localização do par ordenado (x, y)



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- b) Trace segmentos perpendiculares aos eixos passando pelos pontos marcados, em cada eixo. Como mostrado na Figura 4. A intersecção desses segmentos de reta determina o ponto do par ordenado (x, y) .

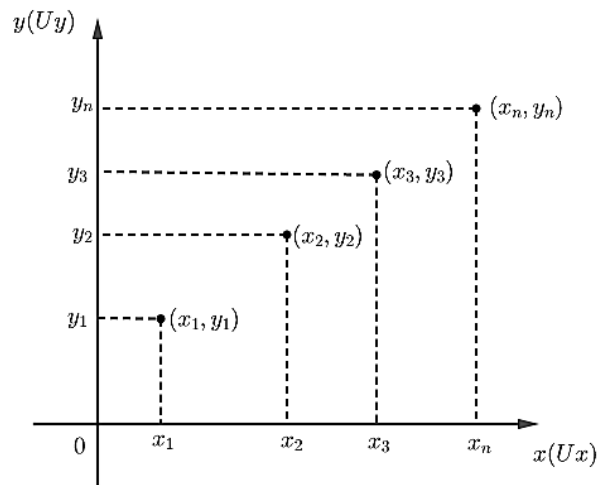
Figura 4 – Representação no plano cartesiano do ponto (x, y)



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- c) Deve-se marcar todos os pares ordenados (x, y) da tabela no gráfico. O conjunto de várias medidas (pontos) descreve o comportamento do fenômeno estudado (Figura 5).

Figura 5 – Gráfico representativo dos pontos da Tabela 1



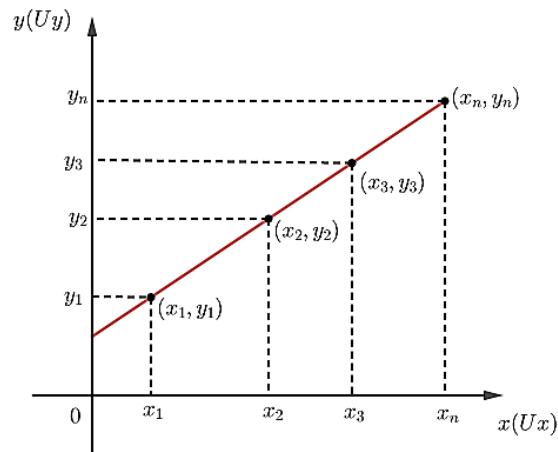
Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Quando os pontos apresentam comportamento linear, basta uni-los para obter a função do tipo:

$$y = ax + b, \quad (3)$$

em que a é o coeficiente angular (parâmetro que determina inclinação da reta) e b é o **coeficiente linear** (ponto em que a reta intercepta o eixo y) (STEWART, 2013; LEITHOLD, 1994).

Figura 6 – Gráfico linear referente aos dados da Tabela 1.



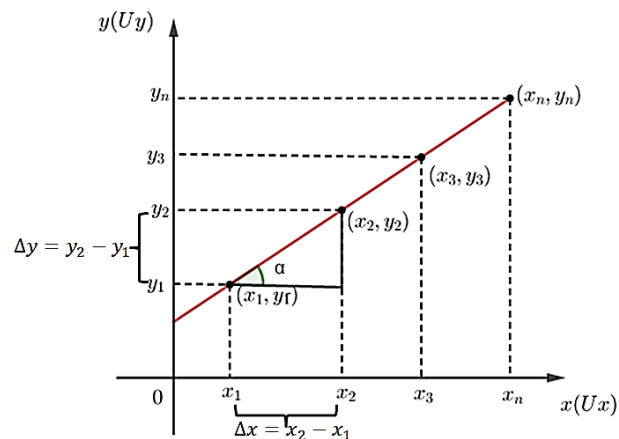
Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Como pode ser visto na Figura 6, o gráfico é uma reta. Sendo assim, pode-se calcular os parâmetros que a descrevem.

2.5 Calculando o coeficiente angular

Os parâmetros que determinam a reta são o coeficiente linear, que é o ponto onde o gráfico intercepta o eixo das ordenadas, e o coeficiente angular, que determina a inclinação dessa reta. Vejamos agora como calcular esses coeficientes considerando uma função do tipo $y = ax + b$.

Figura 7 – Gráfico demonstrando o coeficiente angular.



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Sabe-se que o coeficiente angular corresponde à inclinação do gráfico. Para obtê-lo, calcule-se a tangente do ângulo α mostrado na Figura 7 utilizando a equação (4) a seguir,

$$a = \tan \alpha = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (4)$$

O coeficiente linear pode ser calculado apenas encontrando o valor de y para $x = 0$ ou então usando a equação (5).

$$b = \frac{x_j y_i - x_i y_j}{x_j - x_i}, \text{ com } j > i. \quad (5)$$

Outras duas funções que se destacam na Física são a função exponencial e a função de potência. Com a inclusão dessas duas funções, pode-se abranger uma grande parte dos fenômenos físicos. Vamos agora discutir exemplos genéricos e matemáticos de cada um desses casos.

2.6 Comportamento linear

No comportamento linear, o conjunto de pontos experimentais descreve uma linha reta e a expressão para o comportamento do fenômeno é uma função do 1º grau. Tais situações podem ser vistas no movimento uniforme, dilatação linear, 1ª Lei de Ohm entre outros. As expressões são do tipo $y = ax + b$.

Vejamos agora um exemplo matemático de uma função de comportamento linear.

Sendo uma função do 1º grau $y = \frac{x}{2} + 1$ que gera um conjunto de pontos descritos na Tabela 2.

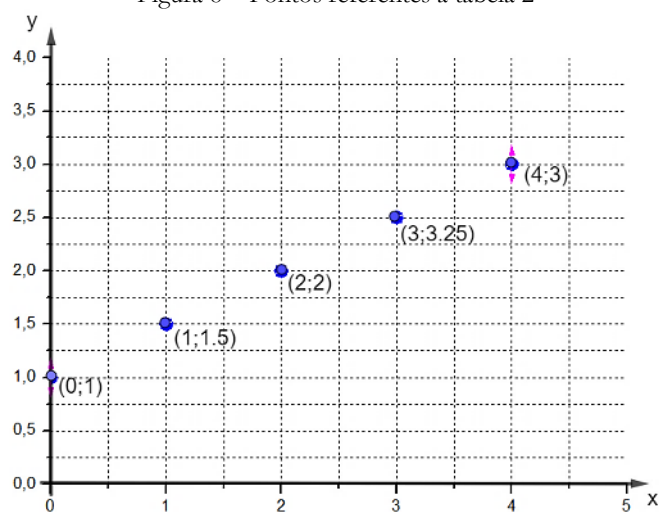
Tabela 2 – Pontos a serem ajustados para o comportamento linear

$x(U_x)$	$y(U_y)$
0	1
1	1,5
2	2
3	2,5
4	3

Fonte: (PINTO NETO, 2019).

São apresentados na Figura 8 os pontos referentes à Tabela 2.

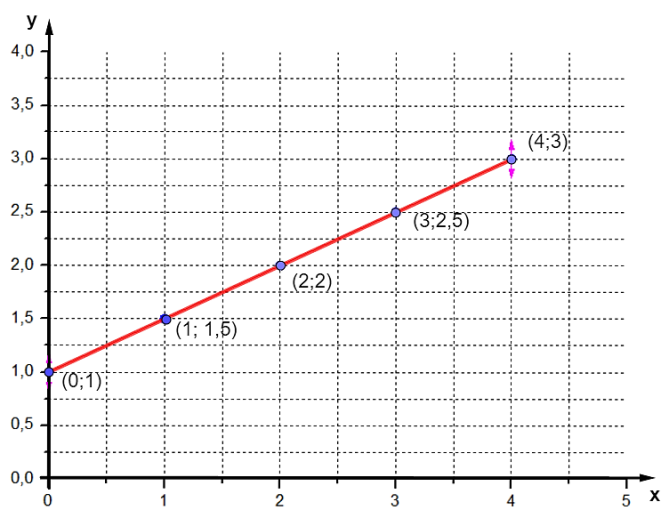
Figura 8 – Pontos referentes à tabela 2



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Ligando os pontos, tem-se um gráfico linear, representando o comportamento da função, mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Gráfico linear referente aos pontos da Tabela 2



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Utilizando as Equações (4) e (5) pode-se calcular os coeficientes angular e linear. Como para o cálculo dos coeficientes podem ser escolhidos quaisquer para ordenados optou-se por (2; 2) e (4;3), assim tem-se que:

$$a = \tan \alpha = \frac{3 - 2}{4 - 2} = \frac{1}{2}. \quad (6)$$

Para o coeficiente linear e usando os mesmos pares ordenados tem-se:

$$b = \frac{4 \cdot 2 - 2 \cdot 3}{4 - 2} = \frac{8 - 6}{2} = \frac{2}{2} = 1. \quad (7)$$

Sendo assim, a função é dada por $y = \frac{x}{2} + 1$. Observe que a reta está totalmente caracterizada. Agora, será tratado o comportamento exponencial.

2.7 Comportamento exponencial

Fenômenos físicos e naturais que apresentam crescimento ou decaimento podem ser descritos por funções exponenciais. Nesses casos, a função assume a forma:

$$y = y_0 e^{kx}, \quad (8)$$

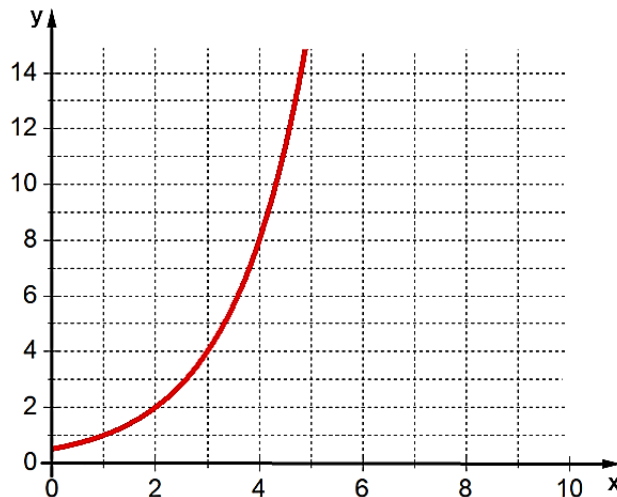
sendo amplamente aplicada em Física para modelar processos de resfriamento, decaimento radioativo, crescimento populacional e propagação de ondas sonoras (TIPLER; MOSCA, 2016).

De modo geral, uma função exponencial pode ser expressa na forma:

$$y(x) = AB^{ax}, \quad (9)$$

a qual descreve fenômenos como o **decaimento radioativo**, a **variação do nível sonoro**, a **diminuição da pressão atmosférica com a altitude** e o **resfriamento de Newton**. O gráfico genérico desse comportamento é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Gráfico genérico do comportamento exponencial



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Esse tipo de função **não é linear**. Contudo, pode ser **linearizada** pela aplicação do logaritmo em ambos os lados da equação (9), resultando em:

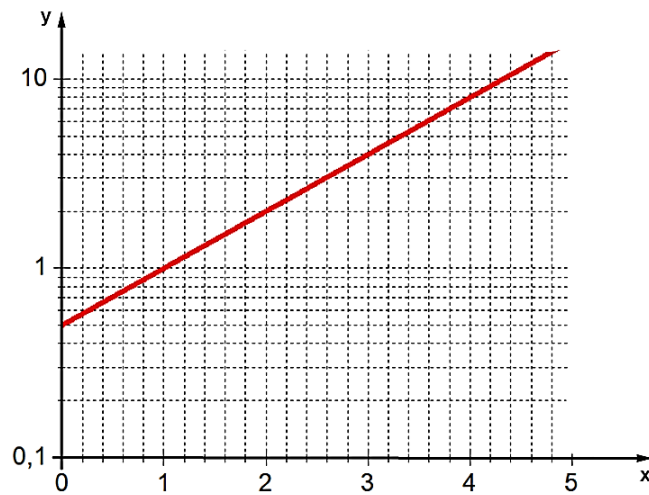
$$\log[y(x)] = \log A + (a \log B)x \quad (10)$$

que pode ser reescrita como

$$\log[y(x)] = C + Dx, \quad (11)$$

em que $C = \log A$ representa o coeficiente linear e $D = a \cdot \log B$ corresponde ao coeficiente angular. Nota-se que, nesse formato, o lado direito da equação é um logaritmo e o lado esquerdo é a equação de uma **reta**. Para linearizar esse gráfico deve-se construí-lo da seguinte forma: Para a abscissa será utilizada uma escala linear e para a ordenada uma escala logarítmica. Tal plano é denominado **monolog** (STEWART, 2013) e está demonstrado na Figura 11. Ao traçar o gráfico nesse plano, verifica-se que a função será linear.

Figura 11 – Gráfico no plano monolog



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Isso permite ajustar a função por uma reta na qual o coeficiente angular, que determina sua inclinação, é dado por $a \log B$ e o coeficiente linear é $\log A$ como mostra a equação (10).

Vejamos agora um exemplo matemático desse comportamento.

Considere os pontos descritos na Tabela 3 um conjunto de dados obtidos a partir da expressão

$$y = 2e^{\frac{x}{4}}, \quad (12)$$

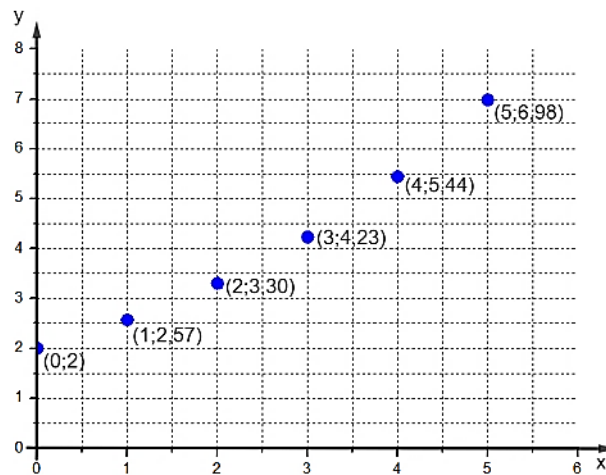
Tabela 3 – Tabela de pares ordenados do exemplo numérico exponencial

$x(U_x)$	$y(U_y)$
0	2,00
1	2,57
2	3,30
3	4,23
4	5,44
5	6,98

Fonte: (PINTO NETO, 2019)

Após marcar os pares ordenados, percebe-se que esses pontos descrevem uma curva não linear do tipo $y(x) = Ae^{ax}$. Havendo então a necessidade de linearização. Como mostra a Figura 12.

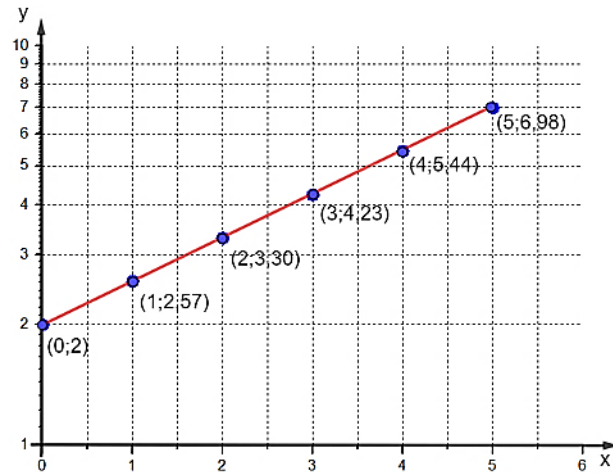
Figura 12 – Representação dos pontos da Tabela 3



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

A Figura 13 mostra a representação desses pontos em um gráfico monolog.

Figura 13 – Representação dos pontos da Tabela 3 em um plano monolog



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Com esses valores, pode-se calcular os coeficientes linear e angular da reta, determinando assim os parâmetros que descrevem tal comportamento.

Para o cálculo do coeficiente angular, serão utilizados a equação (10) e os pares ordenados (0;2) e (4;5,44).

$$D = \tan \alpha = \frac{\log y_2 - \log y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\log 5,44 - \log 2}{4 - 0} = \frac{0,74 - 0,30}{4} = 0,11 \quad (13)$$

Assim, sendo $D = a \cdot \log e = 0,11$, tem-se:

$$a = \frac{0,11}{\log e} = \frac{0,11}{0,43} \approx 0,25. \quad (14)$$

Para encontrar o coeficiente linear basta calculá-lo utilizar a equação (11) ou determinar o valor de y quando $x = 0$. Desta forma, quando $x = 0$, o gráfico toca o eixo das ordenadas em $y = 2$, determinando o valor de $A = 2$. Sendo assim a função fica:

$$y(x) = 2 \cdot e^{0,25x} \quad (15)$$

Observe que o resultado encontrado é igual a função que deu origem à Tabela 3.

Se for necessário expressar a função em **base 10**, basta utilizar $D = a \log e = 0,11$ como coeficiente do expoente da base dez, ou simplesmente, multiplicar o coeficiente do expoente da base neperiana por $\log e = 0,43$, e este será o coeficiente do expoente da base dez. Assim, a equação torna-se:

$$y(x) = 2 \cdot 10^{0,11x} \quad (16)$$

A seguir será apresentado o tratamento a ser dado quando o comportamento de potência se apresenta.

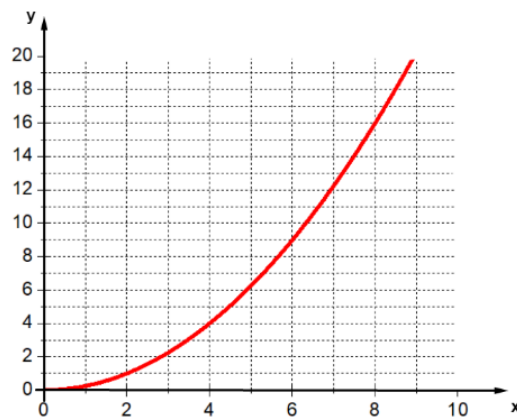
2.8 Comportamento de potência

Neste caso, a função é descrita pela forma:

$$y(x) = Ax^B, \quad (17)$$

sendo um modelo matemático aplicado em diversos fenômenos físicos. Por exemplo, a **queda livre** pode ser representada por uma função de potência, em que a distância percorrida é proporcional ao quadrado do tempo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). A Figura 14 mostra um gráfico genérico de uma função com comportamento de potência.

Figura 14 – Gráfico genérico de um comportamento de potência.



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Assim como nas funções exponenciais, pode-se aplicar logaritmo em ambos os membros da equação (17), obtendo:

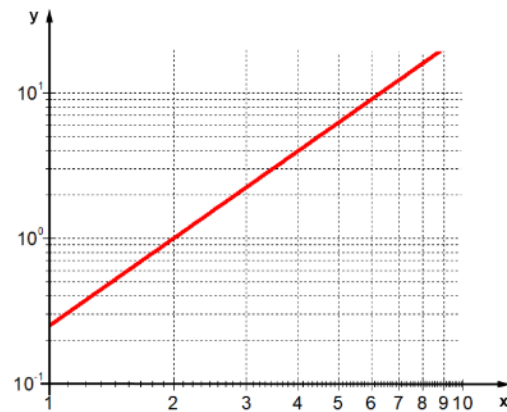
$$\log[y(x)] = \log A + B \log x. \quad (18)$$

Definindo-se $\log[y(x)] = Y$, $\log A = C$ e $\log x = X$, obtém-se:

$$Y = C + BX, \quad (19)$$

ou seja, uma função linear dos logaritmos de x e y . Isso significa que, se o gráfico for construído em escalas logarítmicas tanto na abscissa quanto na ordenada, o resultado será uma reta como mostra a Figura 15. Esse tipo de representação recebe o nome de **dilog** (STEWART, 2013).

Figura 15 – Representação dos pontos da tabela 3 em um gráfico log-log



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Isso mostra que através da linearização pode-se obter todos os parâmetros que descrevem a curva.

- **Exemplo numérico**

Seja uma função $y = \frac{1}{4}x^2$ que gera os pontos apresentados na Tabela 4.

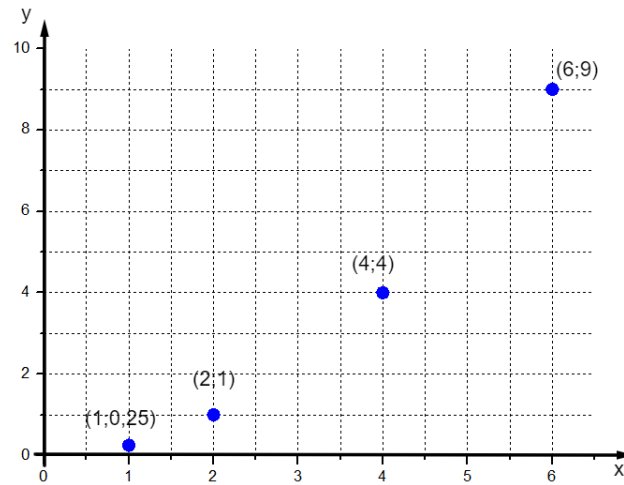
Tabela 4 – Pares ordenados do exemplo numérico do comportamento de potência

$x(U_x)$	$y(U_y)$
1	0,25
2	1
4	4
6	9

Fonte: (PINTO NETO, 2019).

No gráfico cartesiano, esses pontos descrevem uma parábola, como mostra a Figura 16.

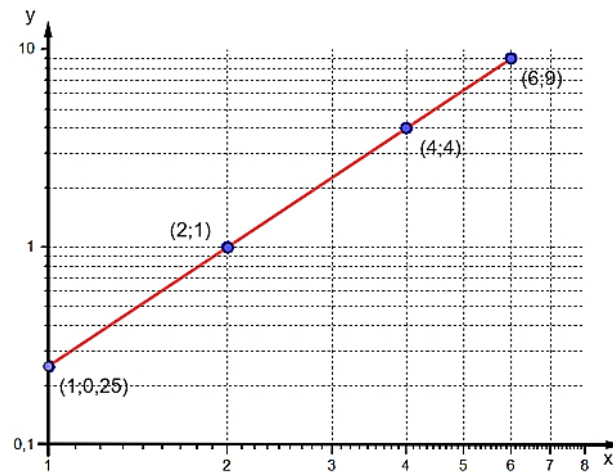
Figura 16 – Representação dos pontos da Tabela 4



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

A disposição dos pontos mostra que esse gráfico tem o comportamento de uma parábola, ou seja, $y(x) = Ax^B$. Isso significa que a função será linearizada em um gráfico dilog. A Figura 17 mostra a disposição desses pontos.

Figura 17 – Representação dos pontos da Tabela 4 em um plano dilog



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

O coeficiente angular pode ser calculado, por exemplo, utilizando os pares (2;1) e (6;9):

$$B = \frac{\log 9 - \log 1}{\log 6 - \log 2} = \frac{\log \left(\frac{9}{1}\right)}{\log \left(\frac{6}{2}\right)} = \frac{0,954}{0,477} = 2 \quad (20)$$

O coeficiente linear é obtido observando-se o ponto em que o gráfico toca o eixo das ordenadas ($y = 0,25$), o que implica $A = 0,25$, como pode ser visto na Figura 17. Assim, a função

ajustada é:

$$y = 0,25x^2. \quad (21)$$

Apesar de os exemplos aqui tratados representarem funções ideais, o objetivo desse método é mostrar como, a partir de pontos experimentais, pode-se obter a equação que descreve o fenômeno. Em situações reais, os dados apresentam dispersão em torno da curva, mas a linearização por escalas logarítmicas continua sendo uma ferramenta essencial para a análise (BOYCE; DIPRIMA, 2017; TIPLER; MOSCA, 2020).

2.8.1 Dilatação linear: caso 1

A dilatação térmica dos sólidos é um fenômeno bem estabelecido na literatura, descrito pela relação linear entre a variação de comprimento e a variação de temperatura, conhecida desde os trabalhos de **Joseph Louis Gay-Lussac** e **Jean-Baptiste Fourier** no início do século XIX (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). A expressão matemática que descreve esse fenômeno é:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T, \quad (22)$$

em que α é o coeficiente de dilatação linear, L_0 o comprimento inicial e ΔT a variação de temperatura.

No experimento em questão, foi utilizada uma barra de 1000 mm, aquecida gradativamente de 20 °C até 100 °C, com medições a cada 10 °C. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 5.

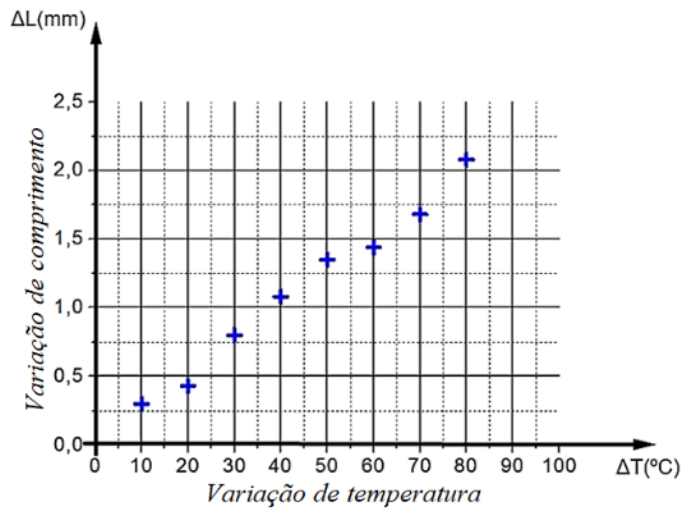
Tabela 5 – Dados experimentais da dilatação térmica de um determinado material

$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\Delta L(\text{mm})$
10	0,30
20	0,43
30	0,80
40	1,08
50	1,35
60	1,44
70	1,68
80	2,08

Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Marcando esses pontos no gráfico tem-se a disposição mostrada na Figura 18.

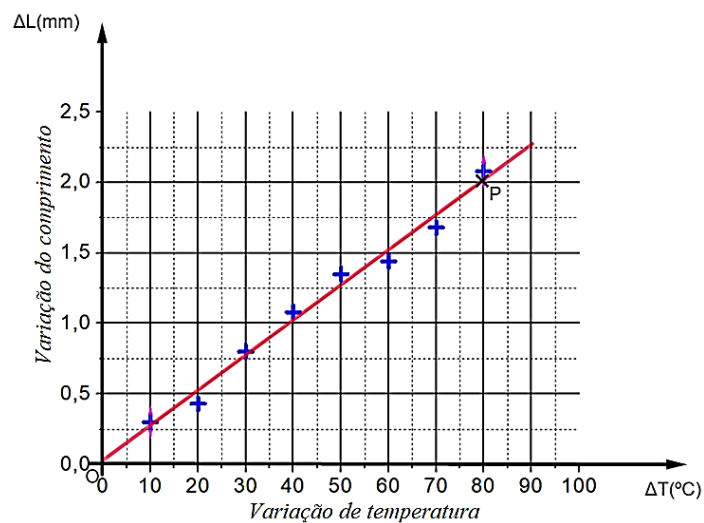
Figura 18 – Disposição dos pontos experimentais da dilatação térmica de um determinado material



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Fazendo uma análise visual percebe-se que o conjunto de pontos se adequa a uma reta. Assim sendo, está reta será traçada de modo que a mesma contenha o maior número de pontos e/ou possua uma distribuição homogênea de pontos em seu entorno, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Curva de ajuste dos pontos da Tabela 5



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Utilizando os pontos $O(0,0)$ e $P(80,2)$ que fazem parte da reta de ajuste, pode-se calcular seu coeficiente angular utilizando a equação (4), isto é,

$$a = \tan \alpha = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} = \frac{2 - 0}{80 - 0} = \frac{2}{80} \cong 0,025. \quad (23)$$

A análise gráfica (Figura 19) mostra que os pontos experimentais se ajustam a uma reta, confirmando a relação linear entre ΔL e ΔT , conforme descrito por Tipler e Mosca (2016). O

coeficiente angular da reta, obtido pelo ajuste, foi de aproximadamente 0,025. Comparando-se com a expressão teórica, tem-se $\alpha L_0 = 0,025$. Como $L_0 = 1000 \text{ mm}$, resulta em:

$$\alpha = 2,5 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}. \quad (24)$$

Consultando uma tabela de propriedades térmicas de materiais, constata-se que o material estudado é o **alumínio** (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

2.8.2 Resfriamento de Newton: caso 2

O fenômeno do resfriamento foi descrito pela primeira vez por **Isaac Newton**, em 1701, no *Philosophical Transactions of the Royal Society*. A lei de resfriamento estabelece que a taxa de variação da temperatura de um corpo é proporcional à diferença entre a temperatura do corpo e a do meio ambiente (NEWTON, 1701 apud TIPLER; MOSCA, 2016).

Em um experimento que pode ser feito em casa, monitora-se a temperatura de 400 ml de água, inicialmente a $T_0 = 98 \text{ }^{\circ}\text{C}$, em um local onde a temperatura ambiente era de $T_m = 30,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. O problema consiste em determinar uma equação empírica que descreva o fenômeno. Os dados são mostrados na Tabela 6.

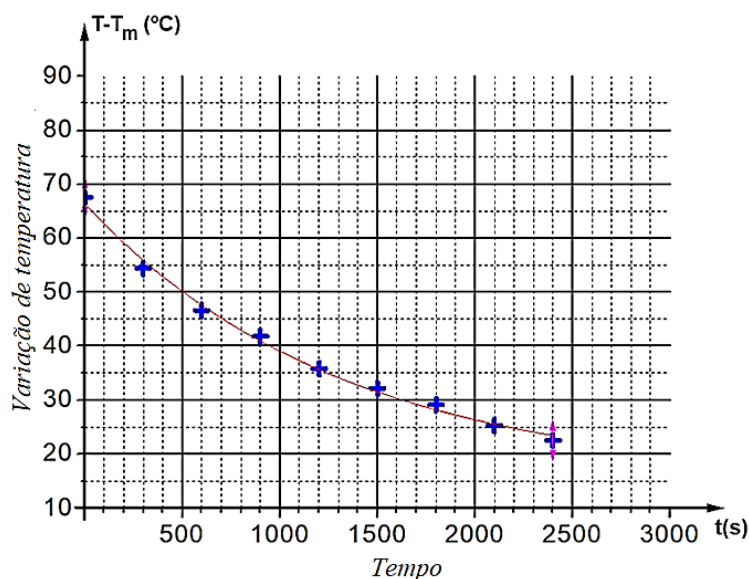
Tabela 6 – Dados experimentais do resfriamento da água

$t(s)$	$\Delta T = T - T_m(^{\circ}\text{C})$
0	67,5
300	54,4
600	46,6
900	41,8
1200	35,8
1500	32,2
1800	29,1
2100	25,3
2400	22,4

Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Os pontos da Tabela 6 são apresentados na Figura 20.

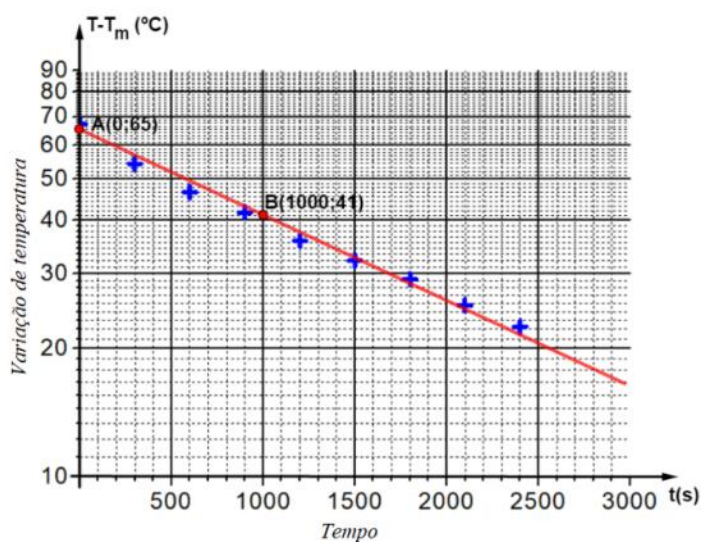
Figura 20 – Pares ordenados referentes à Tabela 6



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Pela disposição dos pontos experimentais, verifica-se que o fenômeno tem um comportamento exponencial do tipo $y(x) = Ae^{ax}$. Para linearizar a função, deve-se proceder como no exemplo matemático do comportamento exponencial e marcar os pontos, em gráfico monolog, obtendo a disposição mostrada na Figura 21.

Figura 21 – Dados referentes à Tabela 6 no plano monolog



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Pode-se calcular os coeficientes linear e angular, conforme descrito anteriormente. Utilizando os pares ordenados retirados da reta de ajuste (0;65) e (1000;41) e substituindo na equação (4), tem-se que

$$D = \tan \alpha = \frac{\log y_2 - \log y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\log 41 - \log 65}{1000 - 0} = \frac{1,61 - 1,81}{1000} = -0,0002. \quad (25)$$

Como $D = a \log e = -0,0002$, então resolvendo expressão para a tem-se que, $a = \frac{-0,0002}{0,43} = -0,00046$.

Quando $x = 0$, a função toca o eixo das ordenadas em $y = 65$, permitindo que o valor de A seja determinado. Com $A = 65$ a função será:

$$T - T_m = 65e^{-0,00046x}. \quad (26)$$

Em potência de dez,

$$T - T_m = 65 \times 10^{-0,0002x}. \quad (27)$$

É importante observar que o comportamento do resfriamento foi determinado de forma empírica.

2.8.3 Queda livre: caso 3

O estudo da queda livre tem origem nos experimentos de **Galileu Galilei**, no século XVII, que demonstraram que, na ausência de resistência do ar, todos os corpos caem com a mesma aceleração (MONTEIRO *et al.*, 2018).

Em um experimento de queda livre o objeto é abandonado de uma altura de 120 *m* e tem sua queda livre filmada e monitorada por um software de nome tracker, onde é possível medir as posições do objeto ao longo do tempo. Esses valores foram organizados na Tabela 7.

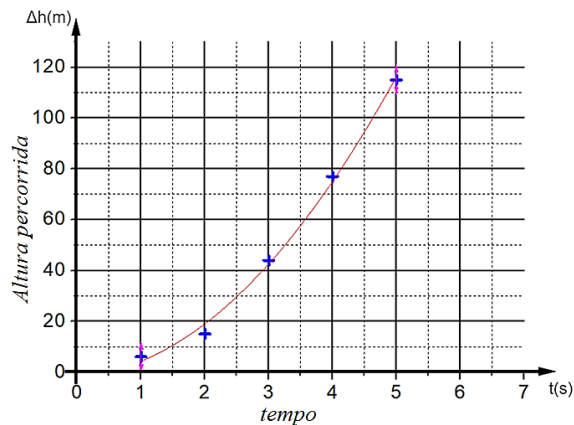
Tabela 7 – Dados experimentais de uma queda livre

$t(s)$	$\Delta h(m)$
1	6
2	16
3	44
4	77
5	115

Fonte: (PINTO NETO, 2019).

O gráfico da Figura 22 mostra a disposição dos pontos da Tabela 7.

Figura 22 – Disposição dos pontos da Tabela 7

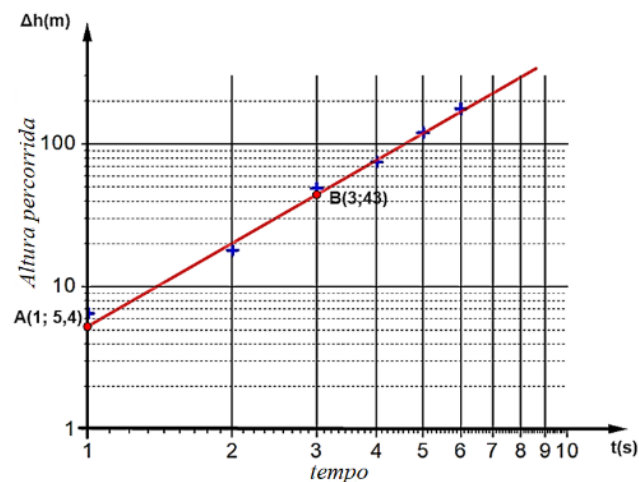


Fonte: (PINTO NETO, 2019).

A partir da inspeção visual dos dados experimentais, observa-se que o comportamento representado é característico de uma função do tipo potência, descrita genericamente pela expressão $y(x) = Ax^B$, em que A é uma constante de proporcionalidade e B é o expoente que determina o tipo de crescimento da função.

Para facilitar a análise e a determinação dos parâmetros da função, aplicamos o processo de **linearização**, conforme descrito anteriormente. Esse procedimento consiste em aplicar o logaritmo em ambos os lados da equação, transformando a relação não linear em uma expressão linear da forma $\log y = \log A + B \log x$. A representação gráfica desses dados em uma escala log-log (plano **dilog**) é apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Representação dos pontos da Tabela 6 em um plano dilog



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

A partir da reta de ajuste traçada no gráfico log-log, seleccionaram-se dois pontos para o

cálculo do coeficiente angular: $A(1; 5,4)$ e $B(3; 43)$. Esses valores representam pares ordenados na escala logarítmica e serão utilizados para determinar o expoente B da função de potência. O cálculo é realizado conforme segue:

$$B = \frac{\log(43) - \log(5,4)}{\log(3) - \log(1)} = \frac{\log\left(\frac{43}{5,4}\right)}{\log\left(\frac{3}{1}\right)} = \frac{0,9}{0,477} \approx 1,88. \quad (28)$$

Sabemos que, quando $x = 1$, a equação linearizada reduz-se a $\log y = \log A$, pois $x = 0$. Assim, $A = y(1) = 5,4$. Logo, a função ajustada aos dados é:

$$y = 5,4x^{1,88}. \quad (29)$$

Esse resultado é compatível com o modelo teórico da **queda livre**, cuja equação horária é dada por $\Delta h = \frac{1}{2}gt^2$, indicando um comportamento de potência com expoente igual a 2. Comparando com a função ajustada, observamos que o expoente obtido experimentalmente ($B \approx 1,88$) e o valor estimado da constante de proporcionalidade (relacionada à gravidade $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$) estão próximos dos valores teóricos ($B = 2$ e $g = 9,8 \text{ m/s}^2$), indicando que os resultados experimentais estão em bom acordo com a teoria.

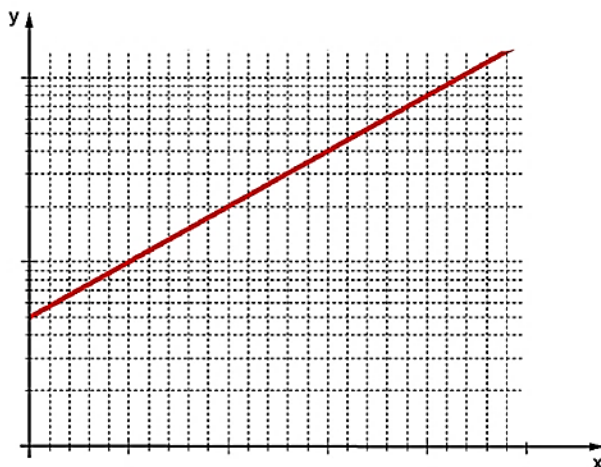
Na próxima seção, será discutido como as informações gráficas tradicionalmente apresentadas de forma visual podem ser convertidas em representações táteis. Essa conversão permite que estudantes cegos compreendam o comportamento funcional descrito, promovendo o acesso inclusivo ao conteúdo científico.

3 PRODUÇÃO E REPRESENTAÇÃO DE GRÁFICOS TATEIS PARA O ALUNO CEGO

Para que a pessoa com deficiência visual possa perceber as informações contidas no gráfico, faz-se necessário tornar a informação visual em tátil. Para isso procede-se da seguinte forma:

- **Passo 1** – Escolhe-se o gráfico a ser trabalhado, conforme mostra Figura 24.

Figura 24- Gráfico escolhido



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- **Passo 2** – Inverte-se o gráfico lateralmente, como mostrado na Figura 25. Esse procedimento pode ser feito em um software como, por exemplo, o WORD.

Figura 25- Gráfico invertido lateralmente

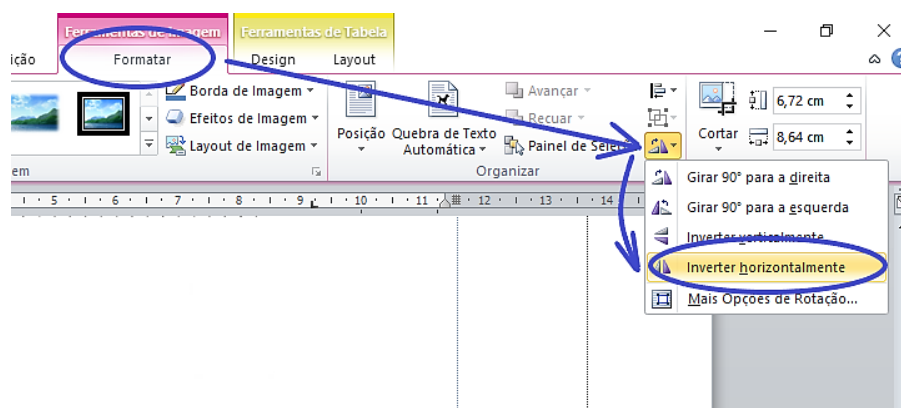


Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- Clicando sobre a figura, busca-se abaixo da aba **Ferramentas de imagem** em **Formatar** e procura-se pela aba **Inverter** e realizando a inversão horizontal, conforme mostra a Figura 26.

Gerando assim a imagem que servirá como molde.

Figura 26 – Procedimento de inversão do gráfico

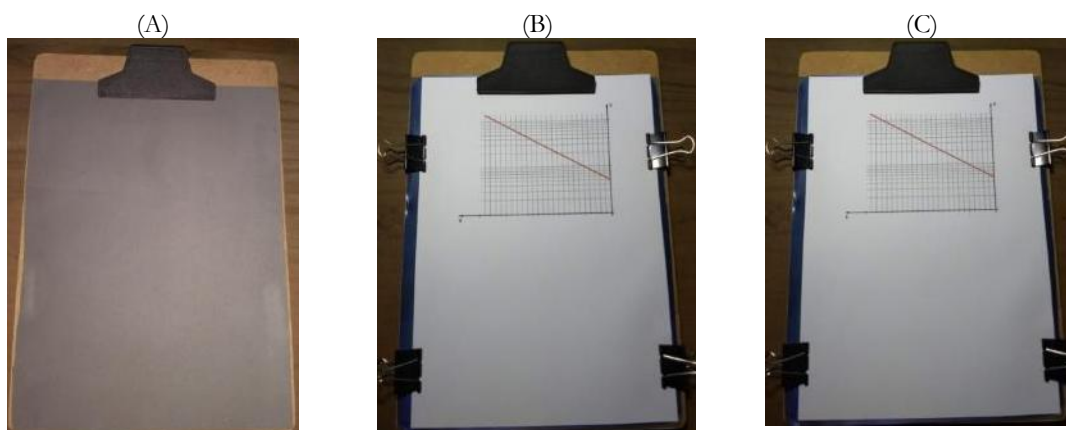


Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- Caso se tenha o apenas o gráfico já impresso, basta virar a folha e usar o desenho pelo verso do papel. Esta ação terá o mesmo efeito de uma inversão horizontal.

- **Passo 3** – Sobre uma prancheta, coloca-se uma folha de EVA de 2 mm e, sobre esta, uma chapa de offset, seguido do gráfico invertido. Todo o conjunto deve ser fixado por prendedores, conforme mostra as Figura 27 (A, B e C).

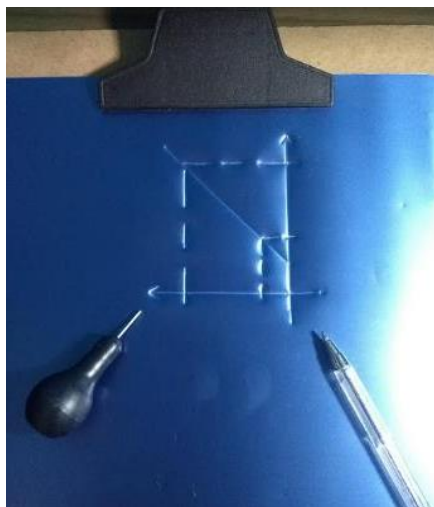
Figura 27 – (A) Prancheta+EVA, (B) Prancheta+EVA+offset e (C) Prancheta+EVA+offset+gráfico invertido



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- **Passo 4** – Utilizando-se uma punção ou uma caneta de ponta arredondada, marca-se todas as informações do gráfico invertido de modo a transferir tais informações em relevo para a placa offset. Observe que a placa offset ficara marcada como mostra a Figura 28.

Figura 28 – Gráfico marcado no verso da placa de offset



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Tomando o lado contrário da placa offset, todas as informações contidas no gráfico estarão impressas em alto-relevo, como mostra a Figura 29. Isso possibilitará que o aluno cego possa fazer a leitura tátil das informações contidas no gráfico. Observe que as informações contidas no gráfico são perenes.

Figura 29 – Gráfico marcado em alto-relevo na placa de offset



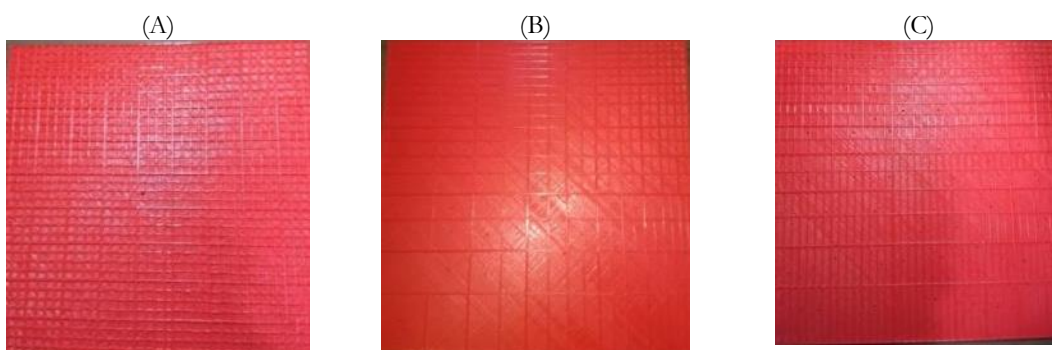
Fonte: (PINTO NETO, 2019).

O procedimento descrito anteriormente permite transformar as informações visuais em informações que os cegos podem perceber. O próximo passo será capacitar o cego a produzir seu próprio gráfico.

4 PRODUÇÃO E MONTAGEM DO GRÁFICO TÁTIL

Para que aluno com deficiência visual seja capaz de produzir seu próprio gráfico, foram produzidas grades em impressora 3D que serviram de moldes para que se pudesse gravar essas grades em alto-relevo em chapas de acetato. Três grades foram feitas, uma linear, para fenômenos cujo comportamento pode ser descrito por uma reta, uma monolog, para fenômenos com comportamento exponencial e uma dilog para fenômenos com comportamento de potência. Como mostram a Figura 30 (A, B e C).

Figura 30 – (A) Grade linear, (B) Grade dilog e (C) Grade monolog



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Os degraus de calibração e os módulo dessas escalas podem ser obtidos utilizando as Equações (1) e (2) de tal forma que as medidas se adequem as dimensões das placas. Neste caso, foram utilizadas placas de 25×25 cm cujas dimensões foram determinadas por conta das limitações da impressora utilizada. A impressora citada é mostrada na Figura 31.

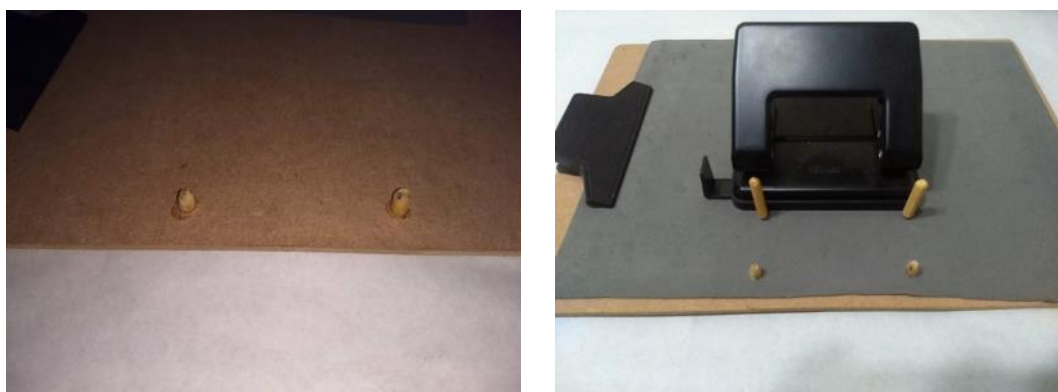
Figura 31- Impressora Sethi3D S3



Fonte: Sethi3D (2018)

O gráfico tátil consiste de uma prancheta com pinos de madeira afixados em sua margem esquerda, separados por uma distância correspondente a um furador de papel. Estes pinos são afixados na prancheta perfurando-a e usando cola branca ou cola quente. Como mostra a Figura 32. Para perfurar a prancheta usa-se a furadeira com broca 10 mm e o encaixe dos pinos será justo. Pode-se ainda, usar também uma broca de 8 mm e lixar (lixa 60) os pinos para reduzir, um pouco, seu diâmetro.

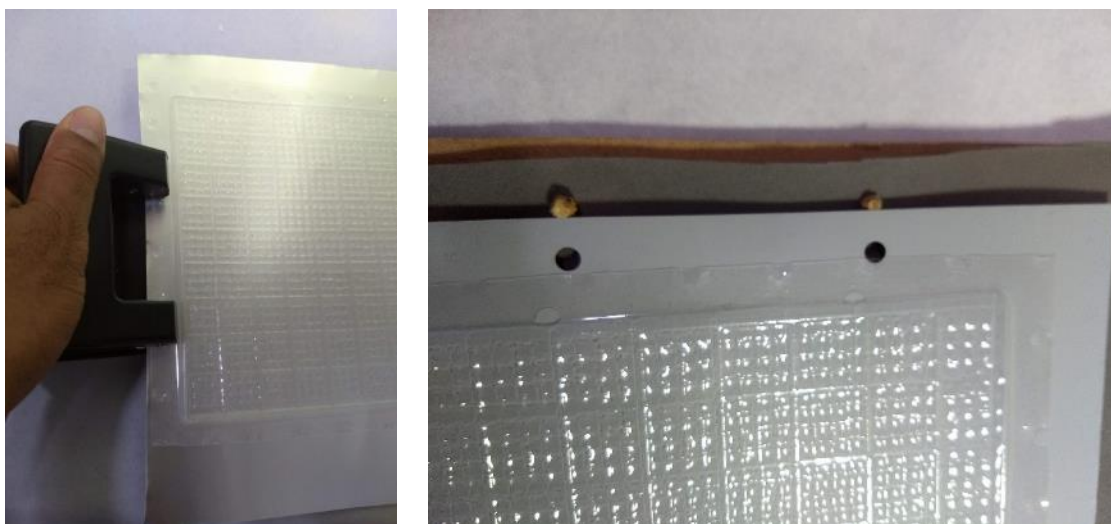
Figura 32 – Montagem do gráfico tátil



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

Fura-se a folha de EVA, para revestir a prancheta. Em seguida fura-se a chapa de offset com a grade de acetato juntas, de maneira a forma um conjunto único e sem movimento, para serem encaixadas nos pinos de madeira, nessa ordem conforme mostra Figura 33.

Figura 33 – Furo e sequência de encaixe so elementos do gráfico tátil



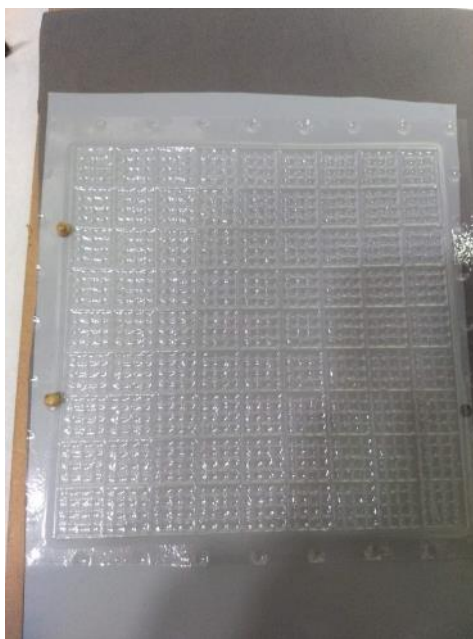
Fonte: (PINTO NETO, 2019).

5 PROCESSO DE AJUSTE DE CURVA REALIZADO PELO ALUNO CEGO

Antes do início da construção do gráfico deve-se escolher a escala que melhor se adequa as medidas e tamanho de folha que deseja trabalhar e seguir os seguintes passos.

- 1- O aluno cego deve construir uma tabela com os pontos gerados ou medidos, que servirão para a construção do gráfico.
- 2- Deve montar sobre prancheta o EVA, a chapa de offset e a grade linear de acetato, fixando-os por um par de pinos de modo a fazer dos três um sistema fixo, como mostra a Figura 34.

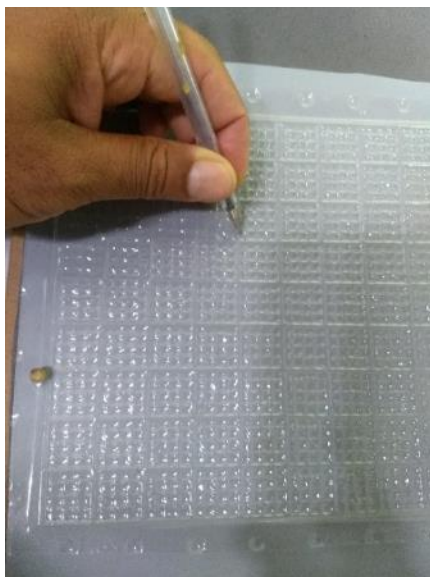
Figura 34 – Conjunto prancheta, EVA, chapa de offset e grade linear



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- 3- Procurar o valor da abscissa no eixo horizontal, conferindo da esquerda para a direita. Isso é possível devido a existência da escala em alto-relevo na grade de acetato. Como pode ser observado na própria Figura 34.
- 4- Sobre essa abscissa, o aluno, deve seguir na vertical até achar o valor da ordenada. Esse local corresponde ao par ordenado procurado, devendo perfurá-lo com uma punção ou uma caneta, de forma a perfurar o acetato e marcar a chapa de offset (Figura 35).

Figura 35 – Acetato sendo perfurado



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

- 5- Deve-se repetir os passos 3 e 4, até que todos os pontos da tabela estejam perfurados na grade de acetato em escala linear.
- 6- Inverte-se a chapa de offset já com os pontos. Em seguida, o aluno cego deve examinar os pontos, em alto relevo, para perceber qual curva melhor ajusta os pontos do gráfico, procurando a grade que melhor linearize a função. Como mostra Figura 36. Feito isso, deve utilizar a grade escolhida e com os valores linearizados, repetir os passos de 1 até 5. Observe que esse é o mesmo procedimento metodológico utilizado anteriormente para marcação de gráficos em alto-relevo.

Figura 36 – Chapa de offset marcada



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

7. Retira-se o acetato e traça-se a curva de ajuste que deve passar por entre os pontos de tal forma que as distâncias entre os pontos e a reta sejam as mínimas possíveis. Assim que é virada a chapa de offset, os pontos e a curva de ajuste estarão em alto-relevo, como mostra a Figura 37. A partir de então serão calculados os coeficientes necessários para encontrar a função que descreve este fenômeno.

Figura 37 – Chapa de offset com a curva já linearizada e ajustada



Fonte: (PINTO NETO, 2019).

REFERÊNCIAS

- BOYCE, W. E.; DIPRIMA, R. C. **Equações diferenciais elementares e problemas de valores de contorno**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- CRUZ, C. H. B. et al. **Guia para física experimental: caderno de laboratório, gráficos, medidas e erros**. São Paulo: I FGW/Unicamp, 1997. Disponível em: <<https://www.ifi.unicamp.br/~brito/graferr.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 6. ed. São Paulo: Perspectiva, 1996.
- LEITHOLD, L. **O cálculo com geometria analítica**. 3. ed. São Paulo: Harbra, 1994.
- MONTEIRO, M. A. A.; CARVALHO, S. J. de; MONTEIRO, I. C. de C.; CINDRA, J. L. **Estudo da queda livre em aulas de Física do Ensino Médio a partir de um marcador de tempo e da História da Ciência**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 35, n. 3, p. 1004–1019, dez. 2018. DOI: 10.5007/2175-7941.2018v35n3p1004.
- MOORE, D. S.; McCABE, G. P. **Introdução à prática da estatística**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- NEWTON, I. **Scala graduum caloris**. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, 1701
- PINTO NETO, Antonio. **Gráfico tátil: uma proposta inclusiva para abordar gráficos e ajuste de curvas no ensino de Física**. 2019. 113 folhas. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/CCET) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís.
- SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; NASCIMENTO, M. S. **Tratamento de dados experimentais**. João Pessoa: Editora da UFPB, 1995.
- STEIN-BARANA, A. C. M.; LOPES, D. P. M.; URA, S. K. Brincando com gráficos. **Física na Escola**, São Luís, v. 9, n. 2, p. 42-43, 2008. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol09-Num2/a131.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- STEWART, J. **Cálculo**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- STHI3D. **Impressora Sethi3D S3**. 2018. Disponível em: <<https://www.sethi3d.com.br/impressora-sethi3d-s3>>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 12. ed. São. Paulo: Addison Wesley, 2008.

APÊNDICE A – PLANO DE AULA

TEMA: GRÁFICOS E AJUSTE DE CURVAS DE FENÔMENOS FÍSICOS

CARGA HORÁRIA: 3(três) encontros de 3 horas/aula cada.

OBJETIVOS GERAIS:

Ajustar curvas para determinação de parâmetros e consequente estabelecimento de leis empíricas, percebendo assim, a importância do método para a Física experimental.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a) Conhecer os elementos de um gráfico;
- b) Reconhecer os planos, linear, monolog e dilog;
- c) Identificar os comportamentos linear, exponencial e de potência;
- d) Perceber a necessidade de linearização e linearizar gráficos quando necessário;
- e) Ajustar curvas com os comportamentos já citados;
- f) Ajustar curvas utilizando o material adaptado gráfico tátil.

CONTEÚDOS:

- a) Escalas
- b) Plano Cartesiano
- c) Gráficos
- d) Construção de gráficos cartesianos
- e) Comportamentos linear, exponencial e de potência
- f) Ajuste de curvas

RECURSOS:

- a) Material de apoio impresso, retirado do produto educacional.
- b) Material de apoio adaptado em alto-relevo
- c) Régua milimetrada
- d) Papel milimetrado, monolog e dilog
- e) Gráfico tátil para ajuste de curvas
- f) Datashow
- g) Aplicativo *Curve Fitting Tool Free*
- h) Internet *wi-fi*.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PRÉVIO

UNIDADE DE ENSINO

Aluno: _____

Responda:

1. Você sabe como traçar o gráfico de uma função?

☐ Sim☐ Não☐ Mais ou menos

2. Você já ouviu falar em papel milimetrado monolog e dilog?

☐ Sim☐ Não

3. Sabe a diferença entre esses dois papéis?

☐ Sim☐ Não

4. Você já ouviu falar em ajuste de curvas?

☐ Sim☐ Não☐ Mais ou menos

5. Se a resposta anterior for sim, para que serve?

6. Você acredita ser possível descrever uma lei para determinado comportamento a partir de um conjunto de medidas experimentais?

☐ Sim☐ Não

APÊNDICE C – ATIVIDADE PROPOSTA SOBRE AJUSTE DE CURVAS

UNIDADE DE ENSINO

Estudante(s): _____

1. Os dados abaixo são da corrente elétrica que passa por um circuito em função da tensão nos terminais da bateria que se encontra ligado a ele:

$i(A)$	$U(V)$
1	6,5
2,3	6,25
3	5,5
4	5
5,1	4,7
6,2	4
7,5	3,5

Coloque esses pontos em plano cartesiano e ajuste um gráfico que melhor se adequar a curva característica desse gerador.

2. Considere a evolução de uma população de uma cultura de bactérias que cresce segundo os dados expostos na tabela abaixo:

$t(min)$	Pop(milhões)
0	2
0,25	2,5
0,5	3,5
1	6
1,25	8,5

Encontre através do ajuste a função que melhor se adequa a evolução populacional dessas bactérias.

3. Em um planeta hipotético, por conta de um comportamento estranho na queda de objetos, fez-se a célebre experiência da queda livre a fim de se calcular o valor da gravidade desse planeta. Foram obtidos os seguintes valores:

$t(s)$	$\Delta h(m)$
1	1,4
1,2	2
1,5	3,5
2	6
2,3	8

Qual o valor da gravidade desse planeta?

APÊNDICE D – PÓS-TESTE

UNIDADE DE ENSINO

Estudante: _____

1. Que avaliação você faz da aula sobre ajuste de curva?

☐ Ótima ☐ Boa ☐ Regular ☐ Ruim

2. Que avaliação você faz do material impresso? E do adaptado?

Impresso:

☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Regular ☐ Ruim

Adaptado:

☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Regular ☐ Ruim

3. Você consegue identificar um plano monolog e dialog?

☐ Sim ☐ Não ☐ Mais ou menos

4. Você se considera capaz de realizar um ajuste de curva linear?

☐ Sim ☐ Não ☐ Mais ou menos

5. Você acredita ser possível descrever uma lei para determinado comportamento a partir de um conjunto de medidas experimentais?

☐ Sim ☐ Não

6. Como você avalia os métodos de ajuste de curvas?

Manual

☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Regular ☐ Ruim

Aplicativo

☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Regular ☐ Ruim

Adaptado

☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Regular ☐ Ruim

APÊNDICE E – METODOLOGIA/ESTRATÉGIA/ROTINA

1º ENCONTRO (3 HORAS/AULA)

No primeiro encontro com os alunos, recomendamos as seguintes ações:

1. **Aplicação de um questionário prévio:** Avalie o nível de conhecimento dos alunos sobre gráficos utilizados em fenômenos físicos e o procedimento de ajustes de curva (Apêndice B).
2. **Divisão em grupos:** Divida a sala em grupos de três alunos para promover melhor interação e cooperação entre eles.
3. **Distribuição de material de apoio:** Entregue o material de apoio impresso, contendo toda a descrição dos procedimentos a serem seguidos para a construção dos gráficos e ajustes das curvas correspondentes, para cada aluno vidente. Caso haja algum aluno cego, forneça o material adaptado em alto-relevo, baseado na apresentação em PowerPoint que será utilizada na aula expositiva.
4. **Aula expositiva:** Durante a aula expositiva, apresente os elementos básicos de um gráfico, alguns comportamentos de curvas e sua importância tanto na Física quanto em outras áreas do conhecimento. Aborde a linearização de funções e sua utilização no ajuste de curvas.
5. **Apresentação de dados reais:** No último terço da aula, apresente dados de situações reais para cada um dos comportamentos, a saber: dilatação linear, decaimento de temperatura e movimento de queda livre.

2º ENCONTRO (3 HORAS/AULA)

Recomendações para o segundo dia de atividades:

1. **Revisão dos Assuntos Anteriores:** Inicie o segundo dia com uma breve revisão dos tópicos abordados no encontro anterior. Esta revisão deve incluir cálculos de coeficientes angulares e lineares e os procedimentos de ajustes de curvas. Esses conceitos são fundamentais para a continuidade dos trabalhos.
2. **Divisão em Grupos:** Conduza as atividades de forma semelhante ao primeiro dia, dividindo a turma em grupos de três alunos. Cada equipe deve receber uma folha de papel milimetrado e uma folha da atividade proposta (Apêndice C).
3. **Realização dos Ajustes:**

- **Alunos Videntes:** Utilize o papel milimetrado e o aplicativo *Curve Fitting Tool Free* para realizar os ajustes.
- **Aluno Cego:** Utilize o gráfico tátil para realizar os ajustes.

4. **Rotina de Trabalho:** Siga a rotina elaborada para alcançar os objetivos:

- Primeiro, todos os alunos devem escalonar os eixos.
- Após a conclusão desta tarefa por todos, passe para a próxima etapa: a marcação dos pares ordenados.
- Finalmente, realize o ajuste conforme explicado na aula expositiva.

5. **Comparação de Resultados:** Enquanto o aluno cego realiza seu ajuste utilizando o gráfico tátil, seu parceiro deve fazer o ajuste utilizando o aplicativo. Compare os resultados posteriormente para avaliar a precisão e eficácia de ambos os métodos.

3º ENCONTRO (3 HORAS/AULA)

Recomendações para o Terceiro Encontro

1. **Divisão dos Grupos:** Divida a sala em grupos de três alunos e entregue um kit do gráfico tátil para cada grupo.
2. **Atividade de Ajuste Exponencial:** Instrua cada equipe a realizar um ajuste exponencial da atividade proposta no dispositivo adaptado para a confecção de gráficos para pessoas com deficiência visual.
3. **Assistência ao Aluno com Deficiência Visual:** Assim como nos encontros anteriores, assegure que o aluno cego receba o suporte necessário, incluindo explicações sobre o escalonamento logarítmico e a localização dos pontos no gráfico.
4. **Processo de Realização da Atividade:**
 - Siga a mesma sequência descrita no segundo encontro.
 - Após utilizar a grade linear, os alunos deverão perceber que os dados são não lineares.
 - Instrua os alunos a usar uma segunda grade, desta vez monolog, conforme orientado na apresentação.
5. **Objetivo da Atividade:**
 - A atividade deve incluir uma tabela com um conjunto de dados referentes ao crescimento populacional de uma colônia de bactérias (Apêndice C).

- Oriente os alunos a encontrar a taxa de crescimento dessa colônia, utilizando a tabela que contém a quantidade de indivíduos em função do tempo.

AVALIAÇÃO:

Serão avaliados os procedimentos de ajuste de curvas e a precisão dos parâmetros ajustados pelos alunos no papel milimetrado e no gráfico tátil, comparando-os com os parâmetros ajustados pelo aplicativo. Estes procedimentos de ajustes acontecem no segundo e terceiro encontros.

Realizado o Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme a Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.

TÍTULO	Gráfico táteis para o ensino inclusivo de física experimental
AUTORES	Gladiston Xavier Diniz Silva Antonio Pinto Neto Edson de Carvalho
SUPORTE	Digital
PROJETO GRÁFICO	Gladiston Xavier Diniz Silva Antonio Pinto Neto
ILUSTRAÇÃO DA CAPA	Maiara do Nascimento Pacheco
PÁGINAS	51
FORMATO	160 x 250 mm
TIPOGRAFIA	Adobe Garamond Pro CORPO Balham e Aquiline Two TÍTULOS



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

