

# O DECIBEL

## OBJETIVOS:

- conhecer o decibel como unidade de relação entre potências ou tensões elétricas;
- conhecer níveis de referência de tensão e potência elétricas através da unidade de medida decibel;
- conhecer a relação entre o decibel e as variações da pressão do ar e os efeitos físicos.

## INTRODUÇÃO TEÓRICA

O decibel é muito utilizado como meio de comparação de valores de potência e tensão elétricas, isto é, tomando-se dois valores de potência por exemplo, pode-se relacioná-los e converter essa relação em decibel.

O decibel, abreviadamente **dB** é a décima parte do Bel. O Bel é uma unidade de medida do SI para nível sonoro, cujo símbolo é **B**.

Se tivermos dois sinais elétricos, podemos relacioná-los com um referencial previamente estabelecido e avaliar se entre os mesmos ocorreu um reforço (ganho) ou atenuação.

A relação entre duas grandezas expressas em dB não é linear,

### I - RELAÇÃO DE POTÊNCIAS:

Para comparar dois valores de potência utiliza-se a fórmula:

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \quad \text{ou} \quad \text{dB} = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

onde:

$P_{\text{out}} = P_2$  = potência de saída

$P_{\text{in}} = P_1$  = potência de entrada

Na relação entre potências pode ocorrer ganho ou atenuação. A atenuação deve ser representada com um sinal negativo (-).

### Exemplos:

- Qual é o ganho em dB para um aumento de potência de 13W para 26W?

*Solução:*

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{26}{13} = 10 \cdot \log 2 = 3$$

Resposta: 3dB

*OBS: Isto significa que para o dobro da potência ocorre um aumento de 3dB.*

b) Qual é a atenuação em dB para um decréscimo de potência de 8W para 1W?

*Solução:*

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{8}{1} = 10 \cdot \log 8 = 9$$

Resposta: - 9dB

c) Qual é o ganho de um amplificador cuja potência na entrada é de 200mW e na saída a sua potência é de 2W?

*Solução:*

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{2}{0,2} = 10 \cdot \log 10 = 10$$

Resposta: 10dB

*OBS: Isto significa que quando a potência aumenta 10 vezes, ocorre um ganho de 10dB.*

## **II - RELAÇÃO DE TENSÕES:**

Para comparar dois valores de tensão utiliza-se a fórmula:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_2}{V_1} \quad \text{ou} \quad \text{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

onde:

$V_{out} = V_2$  = tensão de saída

$V_{in} = V_1$  = tensão de entrada

A fórmula acima, que relaciona as tensões tem a seguinte origem:

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$$

considerando as duas impedâncias iguais e substituindo P por  $V^2 / Z$ , teremos:

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{V_2^2 / Z_2}{V_1^2 / Z_1}$$

simplificando, teremos:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_2 / \sqrt{Z_2}}{V_1 / \sqrt{Z_1}} = 20 \cdot \log \frac{V_2 \sqrt{Z_1}}{V_1 \sqrt{Z_2}}$$

sendo  $Z_1 = Z_2$ , teremos:  $\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_2}{V_1}$

### **Exemplos:**

a) Qual é o ganho em dB para um aumento de voltagem de 13V para 26V?

*Solução:* 
$$\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_2}{V_1} = 20 \cdot \log \frac{26}{13} = 20 \cdot \log 2 = 6$$

Resposta: 6dB

b) Qual é a atenuação em dB de uma tensão de 12mV que cai para 3mV?

*Solução:* 
$$\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_2}{V_1} = 20 \cdot \log \frac{12}{3} = 20 \cdot \log 4 = 12$$

Resposta: - 12dB

c) Calcular em dB a atenuação de uma tensão de 15mV (V2) sobre uma tensão de 3mV (V1). Sabe-se que V2 desenvolve-se sobre uma impedância de 75Ω enquanto que V1 desenvolve-se sobre uma impedância de 300Ω.

*Solução:*

Como as impedâncias não são iguais, devemos relacionar as impedâncias usando essa relação como fator de correção:

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 20 \cdot \log \left( \frac{V_2}{V_1} \times \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{15\text{mV}}{3\text{mV}} \times \sqrt{\frac{300\Omega}{75\Omega}} \right) = 20 \cdot \log (5 \cdot \sqrt{4}) \\ &= 20 \cdot \log 10 = 20 \end{aligned}$$

Resposta: - 20dB

### **III - RELACÃO DE CORRENTES:**

Embora raramente usada, a fórmula é dada por:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log \left( \frac{I_2}{I_1} \times \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} \right)$$

### **IV - NÍVEIS DE REFERÊNCIA EM dB:**

Um valor de potência ou tensão é convertido em dB a partir de um valor ou nível de referência. Isto justifica-se uma vez que para tal, devemos ter dois valores de potência ou tensão.

Os valores ou níveis de referência mais usados são:

$$\text{dB} = 6\text{mW} (0,006\text{W}) \text{ sobre } 500\Omega - 0\text{dB} = 1,73\text{V}$$

$$\text{dBm} = 1\text{mW} (0,001\text{W}) \text{ sobre } 600\Omega - 0\text{dBm} = 0,775\text{V}$$

$$\text{dBmV} = 1\text{mV} (0,001\text{V}) \text{ sobre } 75\Omega - 0\text{dBmV} = 1\text{mV}$$

### **Referência de 6mW:**

Qualquer nível de potência pode ser convertido em dB, pela fórmula:

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{P}{0,006W}$$

### **Exemplos:**

a) Um amplificador de áudio tem uma saída de 24W. Qual é a saída em dB?

*Solução:*  $\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{24W}{0,006W} = 10 \cdot \log 4.000 = 36$

Resposta: 36dB

b) Converter 3mW em dB.

*Solução:*  $\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{3mW}{6mW} = 10 \cdot \log 0,5 = -3$

Resposta: = - 3dB

Neste caso a resposta é negativa pois a potência a ser convertida é menor do que a referência 6mW, pouco importando se a potência de 3mW refere-se a entrada ou a saída.

Quando a potência a ser convertida é maior do que a referência (6mW) esta deve ficar como numerador; caso contrário a potência de referência deverá ficar como denominador. Isto é adotado para que a relação entre as potências seja maior do que 1.

No entanto se isto não for obedecido o resultado não se alterará pois o logaritmo de todo número menor do que 1 é negativo.

Na referência de 6mW, 0dB corresponde a 1,73V pois  $V = \sqrt{P \cdot Z}$

$$\text{logo: } V = \sqrt{0,006 \times 500} = \sqrt{3} = 1,73V$$

### **Referência de 1mW:**

Para a conversão em dB utiliza-se a fórmula:

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log \frac{P}{0,001W}$$

### **Exemplos:**

a) Calcular em dBm um sinal de áudio cuja potência é 20mW.

*Solução:*

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log \frac{20\text{mV}}{1\text{mV}} = 10 \cdot \log 20 = 13$$

Resposta: 13 dBm

b) Calcular em dBm um sinal de áudio cuja potência é  $200\mu\text{W}$ .

*Solução:*

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log \frac{1\text{mW}}{0,2\text{mW}} = 10 \cdot \log 5 = 6,989 \cong 7$$

Resposta: - 7dBm

Na referência de 1mW, 0dBm corresponde a uma tensão de 0,775V, pois

$$V = \sqrt{P \cdot Z} = \sqrt{0,001 \times 600} = \sqrt{0,6} = 0,7746\text{V} \cong 0,775\text{V}$$

### **Referência de 1mV:**

Este referencial é usado em medidas de sinais de RF, com linhas de impedância de  $75\Omega$ , sendo dada pela fórmula:

$$\text{dBmV} = 20 \cdot \log \frac{V}{1\text{mV}}$$

**Exemplo:** Calcule o nível em dBmV de um sinal de 20mV em uma antena de impedância de  $75\Omega$ .

*Solução:*

$$\text{dBmV} = 20 \cdot \log \frac{20\text{mV}}{1\text{mV}} = 20 \cdot \log 20 = 26$$

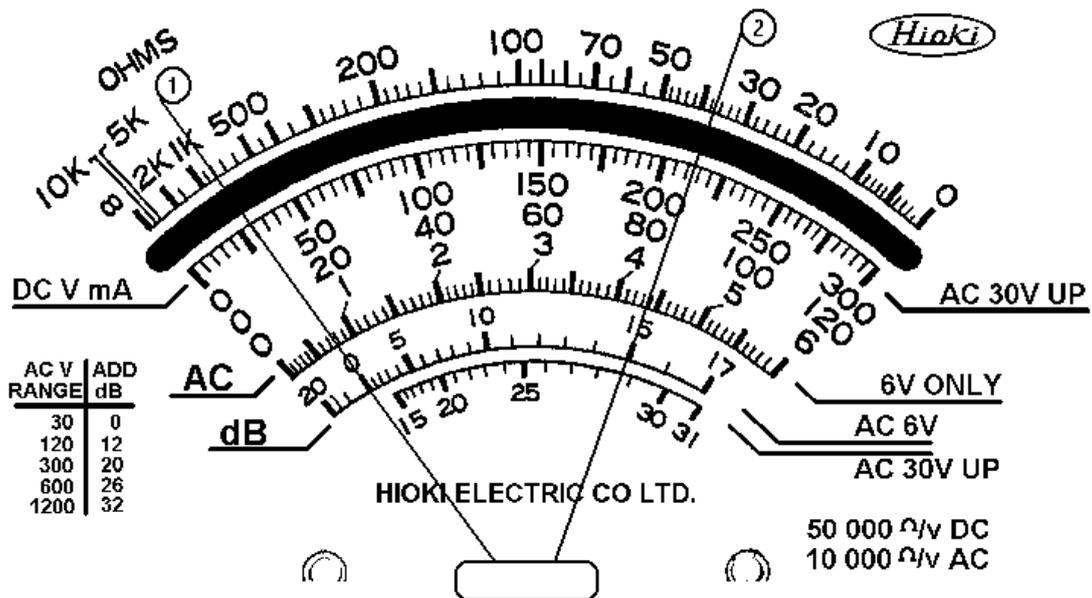
Resposta: 26dBmV

### **V - MEDIDAS COM O MULTÍMETRO:**

Os multímetros analógicos em geral além de medir tensões, correntes e resistências vem dotados de uma escala adicional para medir decibéis.

Normalmente as escalas são ajustadas para medir dBm, cujo nível de referência em 0dBm corresponde a 0,775V.

A figura abaixo ilustra a escala de um multímetro analógico convencional.



A leitura de decibéis pode ser efetuada em duas escalas: AC 6V e AC 30V UP, ambas diretas sem necessidade de correção. Leituras efetuadas fora destas escalas requerem correção conforme tabela indicada no painel do instrumento, fornecida pelo fabricante.

Assim por exemplo, uma leitura feita na escala de 120V requer uma correção de 12dB, isto é, adiciona-se ao resultado da leitura mais 12dB.

Tomemos como exemplo o ponteiro 2 e a leitura nas diversas escalas:

- na escala AC 6V a leitura é 15dB, que correspondente a aproximadamente 4,38V;
- na escala AC 30V UP a leitura está ao redor de 28,8dB que corresponde a aproximadamente 21,3V;
- na escala de 120V devemos acrescentar mais 12dB perfazendo um total de 40,8dB ( $28,8 + 12 = 40$ ), que corresponde a aproximadamente 85V;
- na escala de 300V devemos acrescentar mais 20dB perfazendo um total de 48,8dB ( $28,8 + 20 = 48,8$ ), que corresponde a aproximadamente 214V;
- na escala de 600V devemos acrescentar mais 26dB perfazendo um total de 54,8dB ( $28,8 + 26 = 54,8$ ), que corresponde a aproximadamente 438V;
- na escala de 1.200V devemos acrescentar mais 32dB perfazendo um total de 60,8dB ( $28,8 + 32 = 60,8$ ), que corresponde a aproximadamente 850V.

No entanto se dispusermos de um voltímetro que não possui escala para medida em decibel, podemos fazer a conversão para dBm a partir da referência 0,775V.

### Exemplos:

- Obteve-se uma leitura de 850V em um voltímetro digital. Qual é a equivalência em dBm?

*Solução:*

$$\text{dBm} = 20 \cdot \log \frac{850V}{0,775V} = 20 \cdot \log 1.096,77 = 60,8$$

Resposta: 60,8dBm

b) Obteve-se na saída de um determinado circuito uma leitura correspondente a 45dBm. Qual é a tensão correspondente?

*Solução:*

$$\text{dBm} = 20 \cdot \log \frac{V}{0,775V} \rightarrow 45 = 20 \cdot \log \frac{V}{0,775} \rightarrow 10^{\frac{45}{20}} = \frac{V}{0,775V}$$

$$10^{2,25} = \frac{V}{0,775} \rightarrow 177,83 = \frac{V}{0,775V} \rightarrow V = 0,775V \times 177,83 = 137,82V$$

Resposta: 137,82V

## **VI - TABELAS:**

Através da relação de potências ou tensões, pode-se construir tabelas para ambos os casos.

Considerando “x” a relação de potências, temos:  $\text{dB} = 10 \cdot \log x$

Considerando “y” a relação de tensões, temos:  $\text{dB} = 20 \cdot \log y$   
 Uma relação de potências igual a 400 será equivalente a:

$$\text{dB} = 10 \cdot \log 400 = 10 \cdot 2,6 = 26\text{dB}$$

Uma relação de tensões igual a 400 será equivalente a:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log 400 = 20 \cdot 2,6 = 52\text{dB}$$

Veja na tabela a seguir uma relação para potências e tensões. Trata-se de uma tabela simplificada, mostrada apenas como exemplo.

Relação de potências	Decibéis	Relação de tensões	Decibéis
100	20	100	40
10	10	10	20
2	3	2	6
1,26	1	1,4	3
1	0	1,12	1
0,5	- 3	1	0
0,1	- 10	0,5	- 6
0,01	- 20	0,1	- 20
		0,01	- 40

As tabelas mais completas mostram o ganho e a atenuação para cada relação de tensão ou potência, cujos exemplos são mostrados a seguir.

**Tabela de relação de potências**

Decibéis	Ganho	Atenuação
0,6	1,148	0,871
2	1,585	0,631
3	1,995	0,501
10	10	0,1

Procedimento do cálculo:

Tomemos como exemplo 0,6dB

$$\text{dB} = 10 \cdot \log x \rightarrow 0,6 = 10 \cdot \log x \rightarrow 0,6 \frac{0,6}{10} = \log x$$

$$\log x = 10^{0,06} = 1,148$$

Desta forma 1,148 representa ganho. Para calcular a atenuação basta inverter o ganho.

$$\text{Atenuação} = 1 / 1,148 = 0,871$$

Se uma potência de 1W por exemplo, sofrer um reforço ou ganho de 0,6dB, passará a 1,148W, no entanto se a mesma potência sofrer uma atenuação de 0,6dB passará a 0,871W.

**Tabela de relação de tensões**

Decibéis	Ganho	Atenuação
0,6	1,0715	0,933
2	1,259	0,794
3	1,4125	0,708
10	3,162	0,316

Procedimento de cálculo:

Tomemos como exemplo 10dB

$$\text{dB} = 20 \cdot \log y \rightarrow 10 = 20 \cdot \log y \rightarrow 10 \frac{10}{20}$$

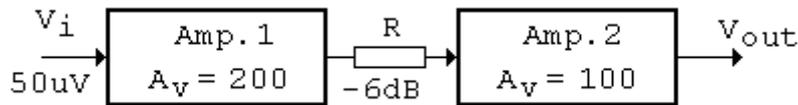
$$\log y = 10^{0,5} = 3,162 \text{ (ganho)}$$

$$\text{atenuação} = 1 / 3,162 = 0,316$$

Se uma tensão de 1V por exemplo, sofrer um reforço ou ganho de 3dB, passará a 1,4125V, no entanto se a mesma tensão sofrer uma atenuação de 3dB passará a 0,708V.

### Exercício resolvido:

No diagrama a seguir, calcule a tensão na saída. Sabe-se que o resistor provoca uma atenuação de 6dB.



*Solução:*

I - Devemos calcular o ganho em dB de cada amplificador:

Amplificador 1:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log 200 \rightarrow = 20 \cdot 2,3 = 46\text{dB}$$

Amplificador 2:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log 100 \rightarrow = 20 \cdot 2 = 40\text{dB}$$

II - O ganho total será:

$$46 - 6 + 40 = 80\text{dB}$$

III - A tensão na saída será:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{V_{out}}{V_i} \rightarrow 80 = 20 \cdot \log \frac{V_{out}}{0,05\text{mV}}$$

$$10^{\frac{80}{20}} = \frac{V_{out}}{0,05\text{mV}} \rightarrow V_{out} = 10^4 \cdot 0,05\text{mV} = 500\text{mV}$$

Resposta: 500mV

### VII - ONDAS SONORAS:

As ondas sonoras consistem nas variações de pressão do ar e, a intensidade do som que percebemos depende da quantidade de pressão do ar, que é medida em watts por centímetro quadrado ( $\text{W} / \text{cm}^2$ ).

A mínima intensidade de som (limiar da audição) que o ouvido humano percebe equivale a  $10^{-16} \text{W} / \text{cm}^2$ , sendo este valor definido como 0dB.

A sensação auditiva é exponencial, isto é, não obedece a incrementos lineares em face da quantidade de pressão do ar.

A relação entre a potência elétrica e a intensidade do som é bem distinta, isto é, um amplificador de áudio que fornece uma potência elétrica de 25W equivale a 36dB de potência elétrica.

$$\text{dB} = 10 \cdot \log \frac{25W}{0,006W} = 36\text{dB}$$

No entanto, uma potência elétrica de 25W através de um alto falante, produz uma intensidade sonora de 100dB (considerando-se a eficiência do alto falante próxima de 1%).

Uma característica importante do ouvido humano é sua sensibilidade a uma gama de frequências de 20Hz a 18kHz, sendo que esta sensibilidade é maior nas frequências médias, que abrangem a faixa de 500Hz a 5kHz.

A tabela a seguir mostra a equivalência entre a pressão sonora em  $W / \text{cm}^2$  e o nível em decibel.

Tipo de fonte sonora	$W / \text{cm}^2$	Equivalência em dB
Limiar da dor	$10^{-3}$	130
Martelo pneumático	$10^{-4}$	120
Trovoada	$10^{-5}$	110
Som muito alto (conjunto de rock)	$10^{-5}$	110
Metrô operando	$10^{-6}$	100
Trânsito numa avenida	$10^{-8}$	80
Música em volume alto	$10^{-8}$	80
Conversação normal	$10^{-10}$	60
Respiração ofegante	$10^{-13}$	30
Música suave	$10^{-13}$	30
Folhas agitadas por uma brisa	$10^{-14}$	20
Limiar da audição (silêncio)	$10^{-16}$	0

Estudos científicos comprovam que níveis sonoros de alta intensidade causam danos à saúde dos seres humanos como distúrbios circulatórios, distúrbios nervosos, diminuição da audição e em alguns casos perda da audição.

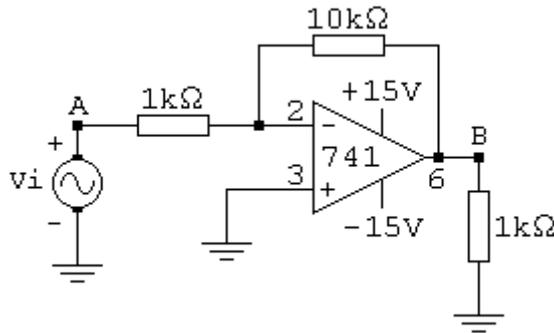
A um nível sonoro de 130dB o ouvido humano não percebe sons distintos e sim uma sensação de dor; a 140dB pode ocorrer o rompimento do tímpano.

## PARTE PRÁTICA

### MATERIAIS NECESSÁRIOS

- 1 - Fonte de alimentação simétrica 0-20V
- 1 - Gerador de áudio
- 1 - Circuito integrado LM741 ou CA741
- 1 - Osciloscópio
- 1 - Multímetro analógico ou digital
- 1 - Módulo de ensaios ELO-1
- 1 - Proto-board

1 - Monte o circuito a seguir:



2 - Ajuste a tensão do gerador para 0dBm a uma frequência de 1kHz. Converta 0dBm em valores de pico a pico e rms e anote na tabela 1.

3 - Meça a tensão na saída e anote na tabela 1, fazendo todas as conversões.

4 - Calcule o ganho do estágio (dB) e anote na tabela 1.

5 - Repita os itens 2, 3 e 4 para as tensões de entrada 1dBm, 2dBm e 3dBm e complete a tabela 1.

**TABELA 1**

Vi (dBm)	Vi (rms)	Vi (pp)	Vout (dBm)	Vout (rms)	Vout (pp)	Ganho (dB)
0						
1						
2						
3						

6 - Analise a tabela 1 quanto ao ganho para todos os níveis de tensão na entrada e apresente suas conclusões:

---



---



---



---

7 - Ajuste a tensão do gerador para 0dBm e varie a frequência conforme indicado na tabela 2. Meça a tensão na saída, converta-a para dBm e calcule o ganho em dB.

**TABELA 2**

Frequência	Vi (dBm)	Vout (dBm)	Ganho (dB)
100Hz	0		
500Hz	0		
1kHz	0		
10kHz	0		
100kHz	0		
1MHz	0		

6 - Analise a tabela 2 quanto ao ganho para as frequências na entrada e apresente suas conclusões:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### QUESTÕES:

1 - Sabe-se que a potência aplicada na entrada de um amplificador de áudio é 7mW e sua saída desenvolve 24W. Qual é o ganho em dB?

- a) 3,01dB
- b) - 3,01dB
- c) 30,1dB
- d) - 30,1dB
- e) n.r.a.

2 - Um atenuador resistivo reduz uma potência de 10mW para 5mW. Qual é a atenuação em dB?

- a) 30,1dB
- b) -30,1dB
- c) 3,01dB
- d) - 3,01dB
- e) n.r.a.

3 - Qual é o valor em dB para uma relação de potência igual a 1.000?

- a) 3dB
- b) 30dB
- c) 300dB
- d) 0,3dB
- e) n.r.a.

4 - Um amplificador excitado na entrada com 7mV fornece na saída 14mV. Qual é o ganho em dB?

- a) 30,1dB
- b) 60,2dB
- c) 6,02dB
- d) 3,01dB
- e) n.r.a.

5 - Qual é o ganho de potência que corresponde a 35dB?

- a) 316,2278
- b) 31,62278
- c) 3.162,278
- d) 3,162278
- e) n.r.a.

6 - Qual é a equivalência em mW de - 9dB?

- a) 755mW
- b) 0,755mW
- c) 75,5mW
- d) 0,0755mW
- e) n.r.a.