

Séries Numéricas – Teste da Raiz

Luis Alberto D'Afonseca

Integração e Séries



<https://material-didatico.github.io/pages/is>

Conteúdo

Teste da Raiz

Exemplos do Teste da Raiz

Lista Mínima

Teste da Raiz

Seja $\sum a_n$ tal que $a_n \geq 0$ para $n \geq N$

Teste da Raiz

Seja $\sum a_n$ tal que $a_n \geq 0$ para $n \geq N$ e

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$$

Teste da Raiz

Seja $\sum a_n$ tal que $a_n \geq 0$ para $n \geq N$ e

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$$

Se $\rho < 1$ a série converge

Teste da Raiz

Seja $\sum a_n$ tal que $a_n \geq 0$ para $n \geq N$ e

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$$

Se $\rho < 1$ a série converge

Se $\rho > 1$ ou $\rho \rightarrow \infty$ a série diverge

Teste da Raiz

Seja $\sum a_n$ tal que $a_n \geq 0$ para $n \geq N$ e

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$$

Se $\rho < 1$ a série converge

Se $\rho > 1$ ou $\rho \rightarrow \infty$ a série diverge

Se $\rho = 1$ o teste é inconclusivo

Limite Importante

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n}$$

Limite Importante

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n}$$

Limite Importante

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right)\end{aligned}$$

Limite Importante

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)\end{aligned}$$

Limite Importante

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)\end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x}$$

Limite Importante

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)\end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1/x}{1}$$

Limite Importante

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)\end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1/x}{1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x}$$

Limite Importante

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n}$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right)$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1/x}{1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} = 0$$

Limite Importante

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)\end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1/x}{1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} = 0$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n}$$

Limite Importante

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)\end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1/x}{1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} = 0$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = \exp \left(\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln n}{n} \right)$$

Limite Importante

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n}$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right)$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1/x}{1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} = 0$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = \exp \left(\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln n}{n} \right) = e^0$$

Limite Importante

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/n}$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\ln n^{1/n} \right)$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \exp \left(\frac{\ln n}{n} \right)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1/x}{1} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} = 0$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = \exp \left(\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\ln n}{n} \right) = e^0 = 1$$

Conteúdo

Teste da Raiz

Exemplos do Teste da Raiz

Lista Mínima

Exemplo 1

Use o teste da raiz para analisar a convergência da série

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{4^n}{(3n)^n}$$

Exemplo 1

$$a_n = \frac{4^n}{(3n)^n}$$

Exemplo 1

$$a_n = \frac{4^n}{(3n)^n} = \left(\frac{4}{3n} \right)^n$$

Exemplo 1

$$a_n = \frac{4^n}{(3n)^n} = \left(\frac{4}{3n} \right)^n$$

$$\sqrt[n]{a_n}$$

Exemplo 1

$$a_n = \frac{4^n}{(3n)^n} = \left(\frac{4}{3n} \right)^n$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\left(\frac{4}{3n} \right)^n}$$

Exemplo 1

$$a_n = \frac{4^n}{(3n)^n} = \left(\frac{4}{3n} \right)^n$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\left(\frac{4}{3n} \right)^n} = \frac{4}{3n}$$

Exemplo 1

$$a_n = \frac{4^n}{(3n)^n} = \left(\frac{4}{3n} \right)^n$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\left(\frac{4}{3n} \right)^n} = \frac{4}{3n} \rightarrow 0$$

Exemplo 1

$$a_n = \frac{4^n}{(3n)^n} = \left(\frac{4}{3n} \right)^n$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \sqrt[n]{\left(\frac{4}{3n} \right)^n} = \frac{4}{3n} \rightarrow 0 < 1$$

A série converge

Exemplo 2

$$a_n = \begin{cases} \frac{n}{2^n} & n \text{ impar} \\ \frac{1}{2^n} & n \text{ par} \end{cases}$$

Exemplo 2

$$a_n = \begin{cases} \frac{n}{2^n} & n \text{ impar} \\ \frac{1}{2^n} & n \text{ par} \end{cases}$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \begin{cases} \frac{\sqrt[n]{n}}{2} & n \text{ impar} \\ \frac{1}{2} & n \text{ par} \end{cases}$$

Exemplo 2

$$a_n = \begin{cases} \frac{n}{2^n} & n \text{ impar} \\ \frac{1}{2^n} & n \text{ par} \end{cases}$$

$$\frac{1}{2} \leq \sqrt[n]{a_n} \leq \frac{\sqrt[n]{n}}{2}$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \begin{cases} \frac{\sqrt[n]{n}}{2} & n \text{ impar} \\ \frac{1}{2} & n \text{ par} \end{cases}$$

Exemplo 2

$$a_n = \begin{cases} \frac{n}{2^n} & n \text{ ímpar} \\ \frac{1}{2^n} & n \text{ par} \end{cases}$$

$$\frac{1}{2} \leq \sqrt[n]{a_n} \leq \frac{\sqrt[n]{n}}{2}$$

Sabemos que $\lim \sqrt[n]{n} = 1$

$$\sqrt[n]{a_n} = \begin{cases} \frac{\sqrt[n]{n}}{2} & n \text{ ímpar} \\ \frac{1}{2} & n \text{ par} \end{cases}$$

Exemplo 2

$$a_n = \begin{cases} \frac{n}{2^n} & n \text{ ímpar} \\ \frac{1}{2^n} & n \text{ par} \end{cases}$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \begin{cases} \frac{\sqrt[n]{n}}{2} & n \text{ ímpar} \\ \frac{1}{2} & n \text{ par} \end{cases}$$

$$\frac{1}{2} \leq \sqrt[n]{a_n} \leq \frac{\sqrt[n]{n}}{2}$$

Sabemos que $\lim \sqrt[n]{n} = 1$

Pelo teorema do confronto

$$\lim \sqrt[n]{a_n} = \frac{1}{2} < 1$$

Exemplo 2

$$a_n = \begin{cases} \frac{n}{2^n} & n \text{ ímpar} \\ \frac{1}{2^n} & n \text{ par} \end{cases}$$

$$\sqrt[n]{a_n} = \begin{cases} \frac{\sqrt[n]{n}}{2} & n \text{ ímpar} \\ \frac{1}{2} & n \text{ par} \end{cases}$$

$$\frac{1}{2} \leq \sqrt[n]{a_n} \leq \frac{\sqrt[n]{n}}{2}$$

Sabemos que $\lim \sqrt[n]{n} = 1$

Pelo teorema do confronto

$$\lim \sqrt[n]{a_n} = \frac{1}{2} < 1$$

Portanto a série é convergente

Exemplo 3

Use o teste da raiz para analisar a convergência da série

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{n+1}}$$

Exemplo 3

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{n+1}} = \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{(k-1)^k}$$

Exemplo 3

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{n+1}} = \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{(k-1)^k}$$

$$a_k = \frac{1}{(k-1)^k}$$

Exemplo 3

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{n+1}} = \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{(k-1)^k}$$

$$a_k = \frac{1}{(k-1)^k}$$

$$\sqrt[k]{a_k} = \frac{1}{k-1}$$

Exemplo 3

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{n+1}} = \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{(k-1)^k}$$

$$a_k = \frac{1}{(k-1)^k}$$

$$\sqrt[k]{a_k} = \frac{1}{k-1} \rightarrow 0$$

Exemplo 3

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{n+1}} = \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{(k-1)^k}$$

$$a_k = \frac{1}{(k-1)^k}$$

$$\sqrt[k]{a_k} = \frac{1}{k-1} \rightarrow 0 < 1$$

A série converge

Exemplo 4

Use o teste da raiz para analisar a convergência da série

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1}$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k \quad \sqrt[k]{a_k} = \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k \quad \sqrt[k]{a_k} = \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Aplicando o Teste da Raiz

$$\rho = \lim \sqrt[k]{a_k}$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k \quad \sqrt[k]{a_k} = \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Aplicando o Teste da Raiz

$$\rho = \lim \sqrt[k]{a_k} = \lim \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k \quad \sqrt[k]{a_k} = \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Aplicando o Teste da Raiz

$$\rho = \lim \sqrt[k]{a_k} = \lim \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) = \ln \left(e^2 + \lim \frac{1}{k-1} \right)$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k \quad \sqrt[k]{a_k} = \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Aplicando o Teste da Raiz

$$\rho = \lim \sqrt[k]{a_k} = \lim \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) = \ln \left(e^2 + \lim \frac{1}{k-1} \right) = \ln (e^2)$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k \quad \sqrt[k]{a_k} = \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Aplicando o Teste da Raiz

$$\rho = \lim \sqrt[k]{a_k} = \lim \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) = \ln \left(e^2 + \lim \frac{1}{k-1} \right) = \ln (e^2) = 2$$

Exemplo 4

Fazendo a mudança de índice $k = n + 1$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{n} \right) \right]^{n+1} = \sum_{k=2}^{\infty} \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k$$

$$a_k = \left[\ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) \right]^k \quad \sqrt[k]{a_k} = \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right)$$

Aplicando o Teste da Raiz

$$\rho = \lim \sqrt[k]{a_k} = \lim \ln \left(e^2 + \frac{1}{k-1} \right) = \ln \left(e^2 + \lim \frac{1}{k-1} \right) = \ln (e^2) = 2 > 1$$

A série diverge

Conteúdo

Teste da Raiz

Exemplos do Teste da Raiz

Lista Mínima

Lista Mínima

Estudar as Seção 6.7 da Apostila

Exercícios: 1a-f

Atenção: A prova é baseada no livro, não nas apresentações