

## A.03.02 – Processos Politrópicos (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2020-09-11 01h21m15s UTC

# Sumário da Parte I

- 1 Processos Politrópicos
  - Apresentação
  - Trabalho de Fronteira

- 2 Tópicos de Leitura

# Sumário da Parte II

## 5 Tópicos Especiais em Processos Politrópicos

- Fundamentação Teórica
- Processos Localmente Politrópicos

## + Tópicos de Leitura

# Parte I

## Apresentação de Processo Politrópico

# Processos Politrópicos – Definição

É todo o processo para o qual:

$$Pv^n = \text{const.}$$

# Processos Politrópicos – Definição

É todo o processo para o qual:

$$Pv^n = \text{const.}$$

Onde:

- $P$  é a pressão do sistema

# Processos Politrópicos – Definição

É todo o processo para o qual:

$$Pv^n = \text{const.}$$

Onde:

- $P$  é a pressão do sistema
- $v$  é o volume específico do sistema

# Processos Politrópicos – Definição

É todo o processo para o qual:

$$Pv^n = \text{const.}$$

Onde:

- $P$  é a pressão do sistema
- $v$  é o volume específico do sistema
- $n$  é o **expoente politrópico**



# Processos Politrópicos – Definição

É todo o processo para o qual:

$$Pv^n = \text{const.}$$

A equação é utilizada na forma:

$$P_1 v_1^n = P_2 v_2^n.$$

Onde:

- $P$  é a pressão do sistema
- $v$  é o volume específico do sistema
- $n$  é o **expoente politrópico**

# Processos Politrópicos – Definição

É todo o processo para o qual:

$$Pv^n = \text{const.}$$

A equação é utilizada na forma:

$$P_1 v_1^n = P_2 v_2^n.$$

A versão  $PV^n = \text{const.}$ , também é usual.

Onde:

- $P$  é a pressão do sistema
- $v$  é o volume específico do sistema
- $n$  é o **expoente politrópico**

# Processos Politrópicos – Apresentação

Em processos politrópicos,

- um **parâmetro** de processo,  $n$ , é mantido constante

# Processos Politrópicos – Apresentação

Em processos politrópicos,

- um **parâmetro** de processo,  $n$ , é mantido constante
- e não **necessariamente** uma **propriedade** do sistema.

# Processos Politrópicos – Apresentação

Em processos politrópicos,

- um **parâmetro** de processo,  $n$ , é mantido constante
- e não **necessariamente** uma **propriedade** do sistema.
- porém uma propriedade **pode** ficar constante, como veremos.

# Processos Politrópicos – Apresentação

Em processos politrópicos,

- um **parâmetro** de processo,  $n$ , é mantido constante
- e não **necessariamente** uma **propriedade** do sistema.
- porém uma propriedade **pode** ficar constante, como veremos.

Um exemplo trivial é reconhecer que para  $n = 0$ , tem-se:

# Processos Politrópicos – Apresentação

Em processos politrópicos,

- um **parâmetro** de processo,  $n$ , é mantido constante
- e não **necessariamente** uma **propriedade** do sistema.
- porém uma propriedade **pode** ficar constante, como veremos.

Um exemplo trivial é reconhecer que para  $n = 0$ , tem-se:

$$Pv^0 = \text{const.} \rightarrow P = \text{const.}$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

$$Pv^n = \text{const.}$$



# Processos Politrópicos – Apresentação

$$Pv^n = c_1$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

$$\log (Pv^n = c_1) \rightarrow$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

$$\log(Pv^n = c_1) \rightarrow$$

$$\log(Pv^n) = \log(c_1) \equiv c_2 \rightarrow$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

$$\log(Pv^n = c_1) \rightarrow$$

$$\log(Pv^n) = \log(c_1) \equiv c_2 \rightarrow$$

$$\log P + n \log v = c_2 \rightarrow$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

$$\log(Pv^n = c_1) \rightarrow$$

$$\log(Pv^n) = \log(c_1) \equiv c_2 \rightarrow$$

$$\log P + n \log v = c_2 \rightarrow$$

$$\log P = c_2 - n \log v$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

$$\log(Pv^n = c_1) \rightarrow$$

$$\log(Pv^n) = \log(c_1) \equiv c_2 \rightarrow$$

$$\log P + n \log v = c_2 \rightarrow$$

$$\log P = c_2 - n \log v \quad \therefore \quad \text{uma equação na forma}$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

$$\log(Pv^n = c_1) \rightarrow$$

$$\log(Pv^n) = \log(c_1) \equiv c_2 \rightarrow$$

$$\log P + n \log v = c_2 \rightarrow$$

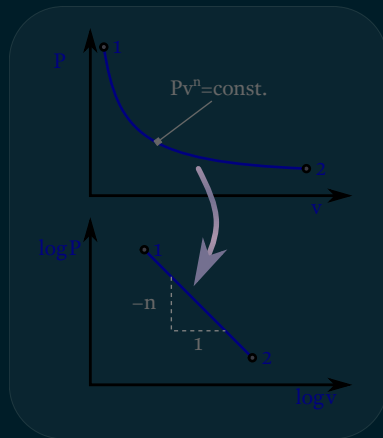
$$\log P = c_2 - n \log v \quad \therefore \quad \text{uma equação na forma}$$

$$y = A + Bx \quad \text{para } y \equiv \log P, \quad x \equiv \log v, \quad \text{etc.}$$

# Processos Politrópicos – Apresentação

Assim:

- **Todo** processo **politrópico**
- é representado por um **segmento de reta**
- que une os estados **inicial** e **final**
- em coordenadas  **$\log P \times \log v$** .



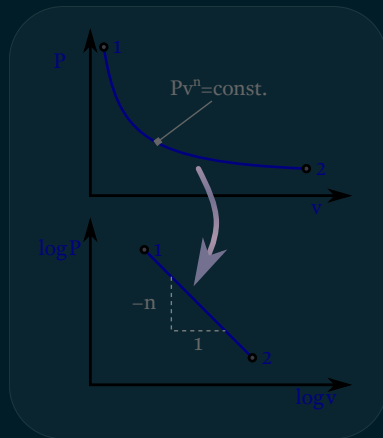


# Processos Politrópicos – Apresentação

Assim:

- **Todo** processo **politrópico**
- é representado por um **segmento de reta**
- que une os estados **inicial** e **final**
- em coordenadas  **$\log P \times \log v$** .

Logo, processos politrópicos a  $v = \text{const.}$ , são obtidos fazendo  $n \rightarrow \pm\infty$ .



## Processos Politrópicos – Etimologia

Segundo (Chantraine, 1968), o termo “politrópico”:



## Processos Politrópicos – Etimologia

Segundo (Chantraine, 1968), o termo “politrópico”:







# Processos Politrópicos – Etimologia

Segundo (Chantraine, 1968), o termo “politrópico”:





# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1$$



# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

$$P = c_1 v^{-n};$$

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

$$P = c_1 v^{-n};$$

$$w_f = \int_1^2 P dv \rightarrow$$

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

$$P = c_1 v^{-n};$$

$$w_f = \int_1^2 P dv \rightarrow$$

$$w_f = c_1 \int_1^2 v^{-n} dv \rightarrow$$

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

$$P = c_1 v^{-n};$$

$$w_f = \int_1^2 P dv \rightarrow$$

$$w_f = c_1 \int_1^2 v^{-n} dv \rightarrow$$

$$w_f = P_1 v_1^n \int_1^2 v^{-n} dv.$$

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

$$P = c_1 v^{-n};$$

$$w_f = \int_1^2 P dv \rightarrow$$

$$w_f = c_1 \int_1^2 v^{-n} dv \rightarrow$$

$$w_f = P_1 v_1^n \int_1^2 v^{-n} dv.$$

A integração de  $v^{-n}$  toma formas diferentes dependendo se  $n = 1$  ou não:

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

$$P = c_1 v^{-n};$$

$$w_f = \int_1^2 P dv \rightarrow$$

$$w_f = c_1 \int_1^2 v^{-n} dv \rightarrow$$

$$w_f = P_1 v_1^n \int_1^2 v^{-n} dv.$$

A integração de  $v^{-n}$  toma formas diferentes dependendo se  $n = 1$  ou não:

$$w_f = \begin{cases} \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases}$$

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira

$$Pv^n = c_1 = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \rightarrow$$

$$P = c_1 v^{-n};$$

$$w_f = \int_1^2 P dv \rightarrow$$

$$w_f = c_1 \int_1^2 v^{-n} dv \rightarrow$$

$$w_f = P_1 v_1^n \int_1^2 v^{-n} dv.$$

A integração de  $v^{-n}$  toma formas diferentes dependendo se  $n = 1$  ou não:

$$w_f = \begin{cases} \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases}$$

No último caso, o produto  $Pv$  pode ser tanto  $P_1 v_1$  ou  $P_2 v_2$ , em função do próprio processo.



# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira – Gases Ideais

Para gases ideais,  $Pv = RT$ , passando por um processo politrópico,  $Pv^n = \text{const.}$ , o resultado

$$w_f = \begin{cases} \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ Pv \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases}$$

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira – Gases Ideais

Para gases ideais,  $Pv = RT$ , passando por um processo politrópico,  $Pv^n = \text{const.}$ , o resultado

$$w_f = \begin{cases} \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ Pv \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases}$$

é válido, mas pode ser escrito como:

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira – Gases Ideais

Para gases ideais,  $Pv = RT$ , passando por um processo politrópico,  $Pv^n = \text{const.}$ , o resultado

$$w_f = \begin{cases} \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases}$$

$$w_f = \begin{cases} \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases} \quad (\text{gás ideal})$$

é válido, mas pode ser escrito como:

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira – Gases Ideais

Para gases ideais,  $Pv = RT$ , passando por um processo politrópico,  $Pv^n = \text{const.}$ , o resultado

$$w_f = \begin{cases} \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases}$$

é válido, mas pode ser escrito como:

$$w_f = \begin{cases} \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases} \quad (\text{gás ideal})$$

Para gases ideais, expoente  $n = 1$  significa:

# Processos Politrópicos – Trabalho de Fronteira – Gases Ideais

Para gases ideais,  $Pv = RT$ , passando por um processo politrópico,  $Pv^n = \text{const.}$ , o resultado

$$w_f = \begin{cases} \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases}$$

é válido, mas pode ser escrito como:

$$w_f = \begin{cases} \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - n} & \text{para } n \neq 1, \\ P v \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right) & \text{para } n = 1. \end{cases} \quad (\text{gás ideal})$$

Para gases ideais, expoente  $n = 1$  significa:

$$Pv^1 = \text{const.} = RT \quad \rightarrow \quad T = \text{const.}$$

# Tópicos de Leitura I



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

*Termodinâmica 7ª Edição. Seção 4-1.*

AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.



Photo by Nuno Obey from Pexels

## Parte II

# Tópicos Especiais em Processos Politrópicos



# Tópicos Especiais em Processos Politrópicos – Pré-Requisitos

Os tópicos especiais em processos politrópicos têm por pré-requisito:

- A primeira lei da Termodinâmica;
- O balanço de energia; e
- Propriedades energéticas de gases ideais.

Que constituem o tópico A0303 desta série.

# Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica

Tomando-se a 1ª lei na forma diferencial e:

# Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica

Tomando-se a 1ª lei na forma diferencial e:

- definindo a **razão de calor e trabalho**,  $K \equiv \frac{\delta q}{\delta w}$ ,

## Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica

Tomando-se a 1ª lei na forma diferencial e:

- definindo a **razão de calor e trabalho**,  $K \equiv \frac{\delta q}{\delta w}$ ,
- também conhecida como **razão de transferência de energia**,

## Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica

Tomando-se a 1ª lei na forma diferencial e:

- definindo a **razão de calor e trabalho**,  $K \equiv \frac{\delta q}{\delta w}$ ,
- também conhecida como **razão de transferência de energia**,
- e substituindo no balanço de energia na forma diferencial, tem-se:

## Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica

Tomando-se a 1ª lei na forma diferencial e:

- definindo a **razão de calor e trabalho**,  $K \equiv \frac{\delta q}{\delta w}$ ,
- também conhecida como **razão de transferência de energia**,
- e substituindo no balanço de energia na forma diferencial, tem-se:

$$\delta q - \delta w = du \quad \rightarrow$$

## Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica

Tomando-se a 1ª lei na forma diferencial e:

- definindo a **razão de calor e trabalho**,  $K \equiv \frac{\delta q}{\delta w}$ ,
- também conhecida como **razão de transferência de energia**,
- e substituindo no balanço de energia na forma diferencial, tem-se:

$$\delta q - \delta w = du \quad \rightarrow$$

$$(K - 1)\delta w = du \quad \rightarrow$$

## Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica

Tomando-se a 1ª lei na forma diferencial e:

- definindo a **razão de calor e trabalho**,  $K \equiv \frac{\delta q}{\delta w}$ ,
- também conhecida como **razão de transferência de energia**,
- e substituindo no balanço de energia na forma diferencial, tem-se:

$$\delta q - \delta w = du \quad \rightarrow$$

$$(K - 1)\delta w = du \quad \rightarrow$$

$$(K - 1)P dv = du.$$



# Tópicos Especiais – Fundamentação Teórica (cont.)

Assumindo comportamento ideal da substância que compõe o sistema:

A SER CONTINUADO PARA A PARTE-II...

# Tópicos de Leitura I



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

*Termodinâmica 7ª Edição. Seção 4-1.*

AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.



Photo by Brandon Montrone from Pexels