



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PROPOSTA DE TRABALHO: Cilindro de Freio

Disciplina: PME3380 – Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Professor: Décio Crisol Donha/Agenor de Toledo Fleury

Turma: 01/02

Data de entrega: 05/10/2020

Componentes:

Integrantes	N° USP
Enzo Rozenti Nunes	10771604
Gabriel Rodrigues Camargo	10772460
Lucas Nigro Matheo	10772911

São Paulo – Escola Politécnica

2º Semestre/2020

1 INTRODUÇÃO

A proposta do grupo é a modelagem de um sistema de N cilindros de freio pneumático para locomotivas, cujo funcionamento se dá através de ar comprimido. Desta forma, foram adotadas simplificações considerando o comportamento do fluido de trabalho e do mecanismo. O objetivo desse relatório é apenas apresentar uma visão geral para o problema que será abordado no trabalho final. Para isso, decidimos realizar a modelagem de um sistema extremamente simplificado do problema. Para esse relatório, fizemos diversas considerações para a modelagem do sistema de freios pneumáticos da locomotiva, tais como:

- Desconsideramos perdas de carga localizadas (devido à existência de válvulas, mangueiras, etc.)
- Adotamos que o cilindro de freio apresenta volume fixo (na realidade o volume é variável)
- Regime laminar de escoamento
- Processo adiabático

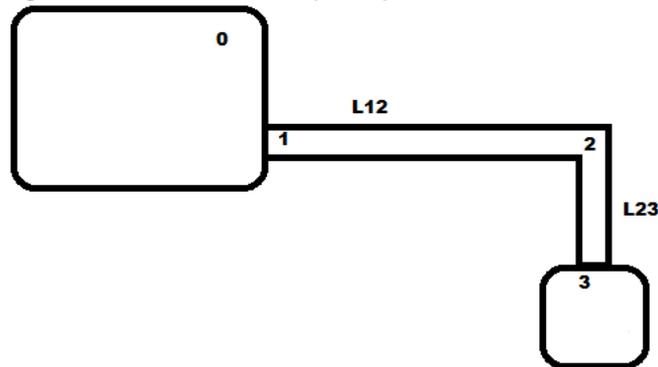
Para o modelo que será apresentado no trabalho final, tais simplificações expostas acima não serão adotadas e modelaremos um sistema mais próximo do mecanismo real.

2 MODELAGEM

- **1 Cilindro de Freio:** modelo simples – cilindro(s) de freio de volume fixo e sem perda de carga localizada.

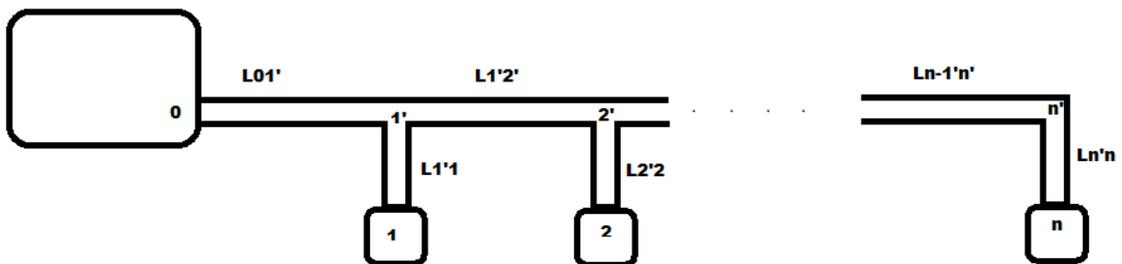
Para iniciar a modelagem do sistema, optou-se por, primeiramente, realizar a modelagem de um sistema único apresentando apenas um cilindro de freio, representado pelo reservatório de volume V na Figura 1, em que estão representadas, também, as seções 0, 1, 2 e 3, que representam, respectivamente, o reservatório principal, a entrada do encanamento principal, uma curvatura no encanamento principal e a entrada do reservatório do cilindro de freio. L_{12} e L_{23} são, respectivamente, as distâncias entre as seções 1 e 2 e 2 e 3.

Figura 1 – Modelo simples para 1 cilindro de freio



Fonte: Autores

- **N Cilindros de Freio:** modelo simples – cilindro(s) de freio de volume fixo e sem perda de carga localizada.

Figura 2 – Modelo simples para N cilindros de freio

Fonte: Autores

Para o desenvolvimento do equacionamento desse modelo, utilizaremos as seguintes notações:

- 1- P_0 = pressão no tanque de volume infinito;
- 2- P'_i = pressão em i' (bifurcação no encanamento geral);
- 3- P_i = pressão no reservatório i ;
- 4- V_r = volume dos reservatórios;
- 5- $V_{i'}$ = volume simbólico da seção i' ;
- 6- \dot{m}_i = vazão mássica no reservatório i ;
- 7- $\dot{m}'_{i'}$ = vazão mássica na bifurcação i' do encanamento geral;
- 8- C_r = capacitância fluídica dos reservatórios;
- 9- $C_{i'}$ = capacitância fluídica em i' ;
- 10- R_{ab} = resistência fluídica entre a e b ;
- 11- ρ_i = massa específica do ar em i ;
- 12- g = constante gravitacional.

Pela equação da continuidade e conservação da energia, obtivemos as seguintes relações:

$$\frac{\partial P_i}{\partial t} = \frac{(P_i' - P_i)}{CrR_{i'-i}} \text{ (para o } i - \text{ésimo reservatório)}$$

$$P'_{i-1} - P'_i = \left(\sum_{j=i}^n \dot{m}_j + \dot{m}'_i \right) R_{(i-1)'-i}$$

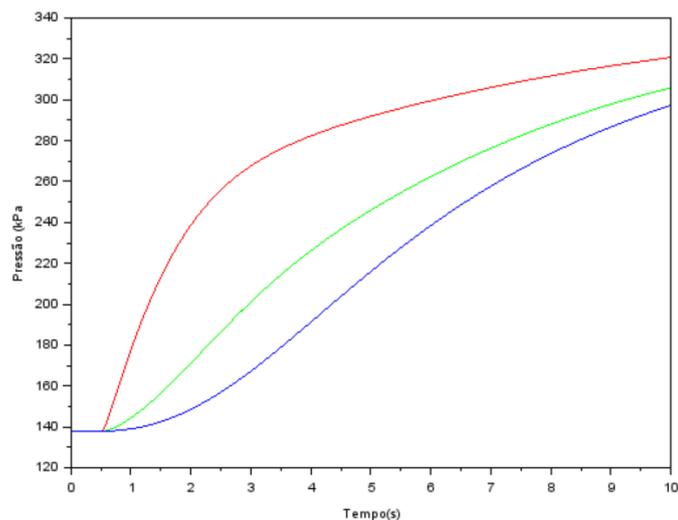
Utilizando as expressões para as vazões mássicas provenientes da equação dos gases ideais:

$$\dot{m}_i = Cr \frac{\partial P_i}{\partial t} = \frac{(P_i' - P_i)}{R_{i'-i}}$$

$$\dot{m}'_i = Ci' \frac{\partial P_i'}{\partial t}$$

Com essas relações podemos obter o espaço de estados do problema e utilizar a integração numérica para obtenção dos resultados. Basta saber que, utilizando as expressões para as vazões mássicas podemos construir a relação da variação temporal da pressão P_i' , necessária para obter $\frac{\partial P_i}{\partial t}$.

Apenas para ilustrar o modelo, tomamos a liberdade de realizar a modelagem computacional para um sistema com $N = 3$ cilindros de freio. Utilizando o software Scilab, obtivemos o seguinte resultado para a variação das pressões nos 3 cilindros de freio:



3 REFERÊNCIAS

BHARATH, S et al. A Distributed Mathematical Model for Pressure Transient Analysis in Railway Pneumatic Brake System. New Dheli, India. 1989

BHARATH, S et al. Modelling and Analysis of Pneumatic Railway Brake System, New Dheli, India. 1990

GARCIA, Claudio. Modelagem e Simulação de Processo Industriais e de Sistemas Eletromecânicos, São Paulo, EDUsp, 1997

FELICIO, Luiz Carlos, Modelagem da Dinâmica de Sistemas e Estudo da Resposta, Rima, 2010

PUGI, L et al. A parametric library for the simulation of a Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) Pneumatic Braking System, Florence, Italy, 2004