

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Mecânica
Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

Equipamentos eficientes empregando hidráulica digital

Prof. Victor J. De Negri

Prof. Henri Carlo Belan (Doutorado LASHIP, 2018)

Marcos Paulo Nostrani (Doutorando)

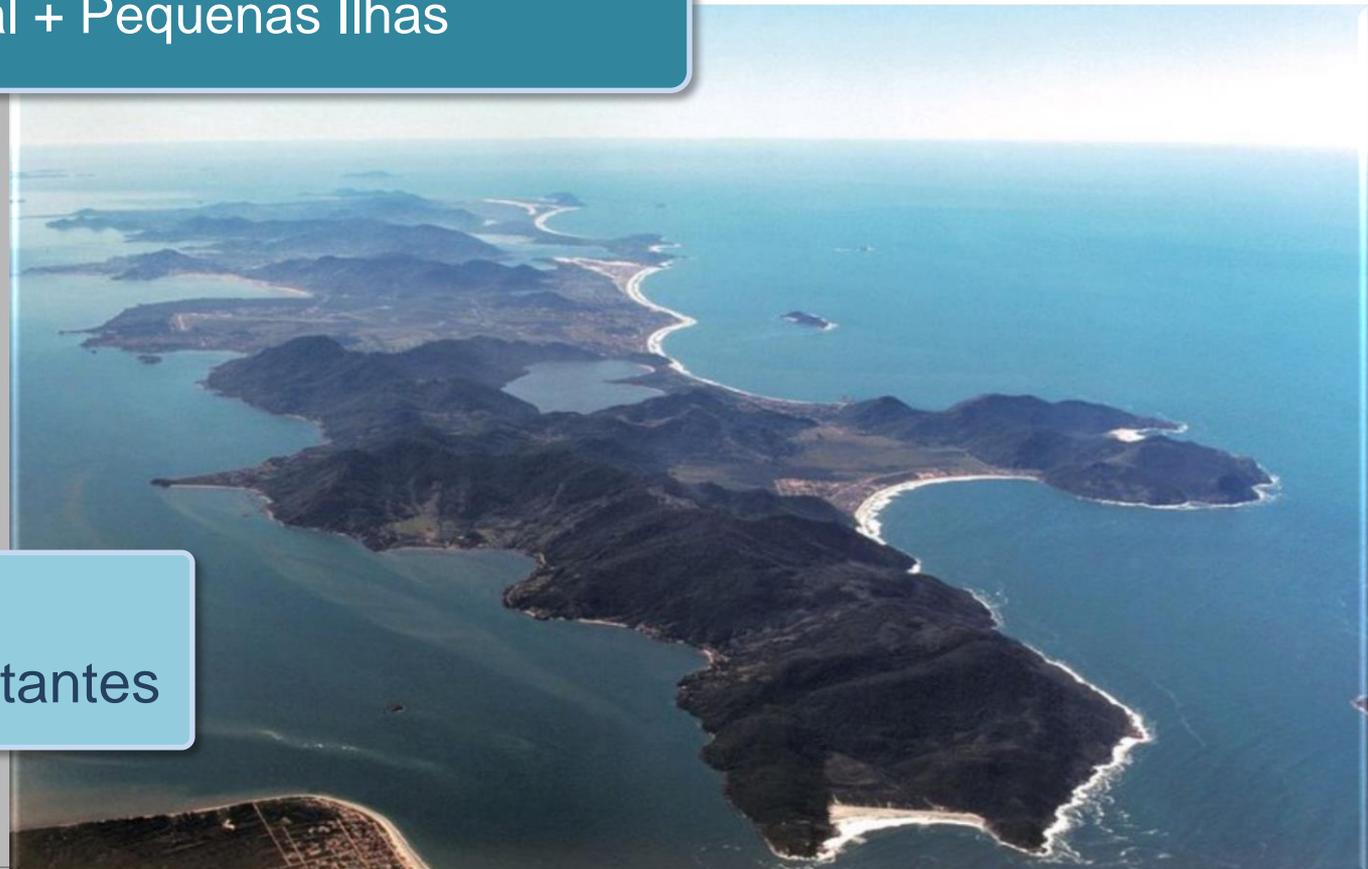
Diego Mise (Mestrando)

FEIMEC 2018 - São Paulo, abril de 2017



Capital do Estado de Santa Catarina (1726)

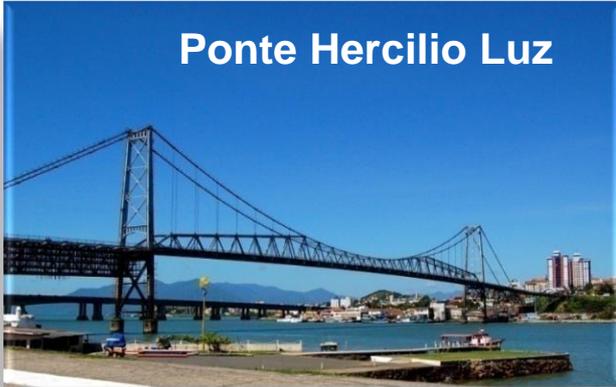
Ilha Principal (*Ilha de Santa Catarina*) + Área
Continental + Pequenas Ilhas



- 42 praias
- 406.564 habitantes

Ilha de Santa Catarina - Florianópolis

Ponte Hercilio Luz



Florianopolis, Brazil Is The Friendliest City In The World

3/5/13 2:02PM EST



Wall Street Insanity | by
Samantha Cortez

Conde Nast
Traveler Magazine, 2013



Mercado Público



Lagoa da Conceição



Dunas



Praia dos Ingleses



Fundação 1960

Área do Campus: 1 km²

Professores: 2.050

Técnico-Administrativos: 3.113

Estudantes: 48.603

Número de cursos:

Graduação: 117

Mestrado: 69

Doutorado: 54

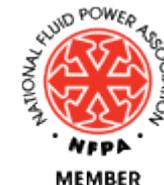


Objetivos:

- Qualificação de recursos humanos para atender demandas industriais e acadêmicas;
- Pesquisa para solução de problemas de relevância técnico-científica por meio de parcerias industriais;
- Consultoria industrial incluindo:
 - Teste de componentes hidráulicos e pneumáticos;
 - Desenvolvimento de sistemas especialistas;
 - Análise e projeto de componentes e sistemas hidráulicos e pneumáticos;
- Desenvolvimento de equipamentos didáticos para ensino de hidráulica e pneumática.

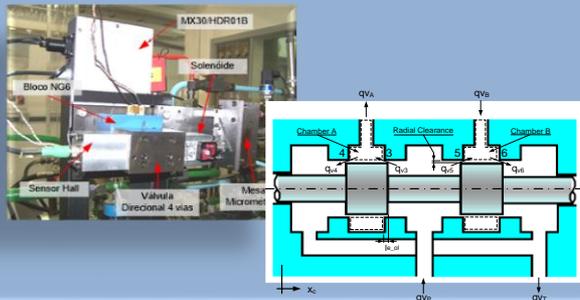
Grupo de Pesquisa do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC

Foco:
Hidráulica e pneumática e sua inserção em mecatrônica, automação e controle

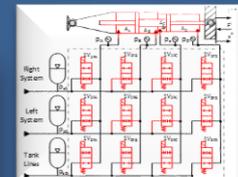


Análise e Projeto de Componentes e Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

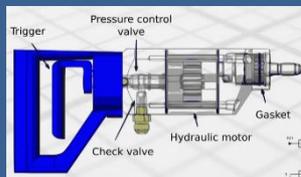
Análise e detecção de falhas



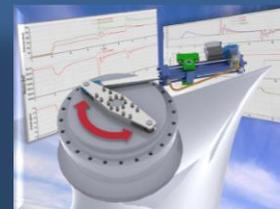
Sistemas Veiculares e Aeronáuticos



Projeto de componentes

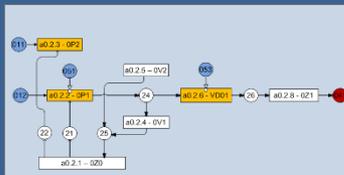


Reguladores de velocidade e de potência



Métodos para Desenvolvimento de Sistemas Mecatrônicos com Hidráulica e Pneumática

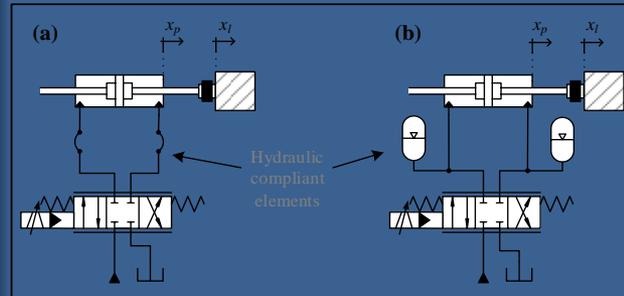
Projeto para confiabilidade



Sistemas com fluidos biodegradáveis

Ageing causes			
Operational effects	Physico-chemical effects		
Maintenance	Solid particles	Temperature	Oil quantity
Mixture	Oil mineral (oxidative)	Water	Sealing
Oil-change interval	Pressure	Oxygen	Coating

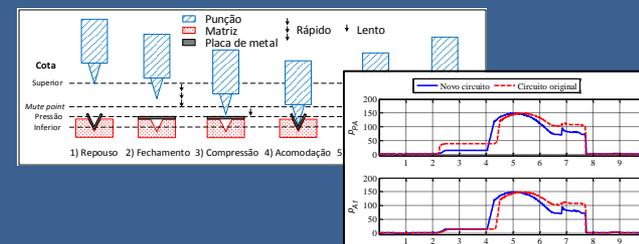
Robôs e controle de posição e força



Dimensionamento de sistemas

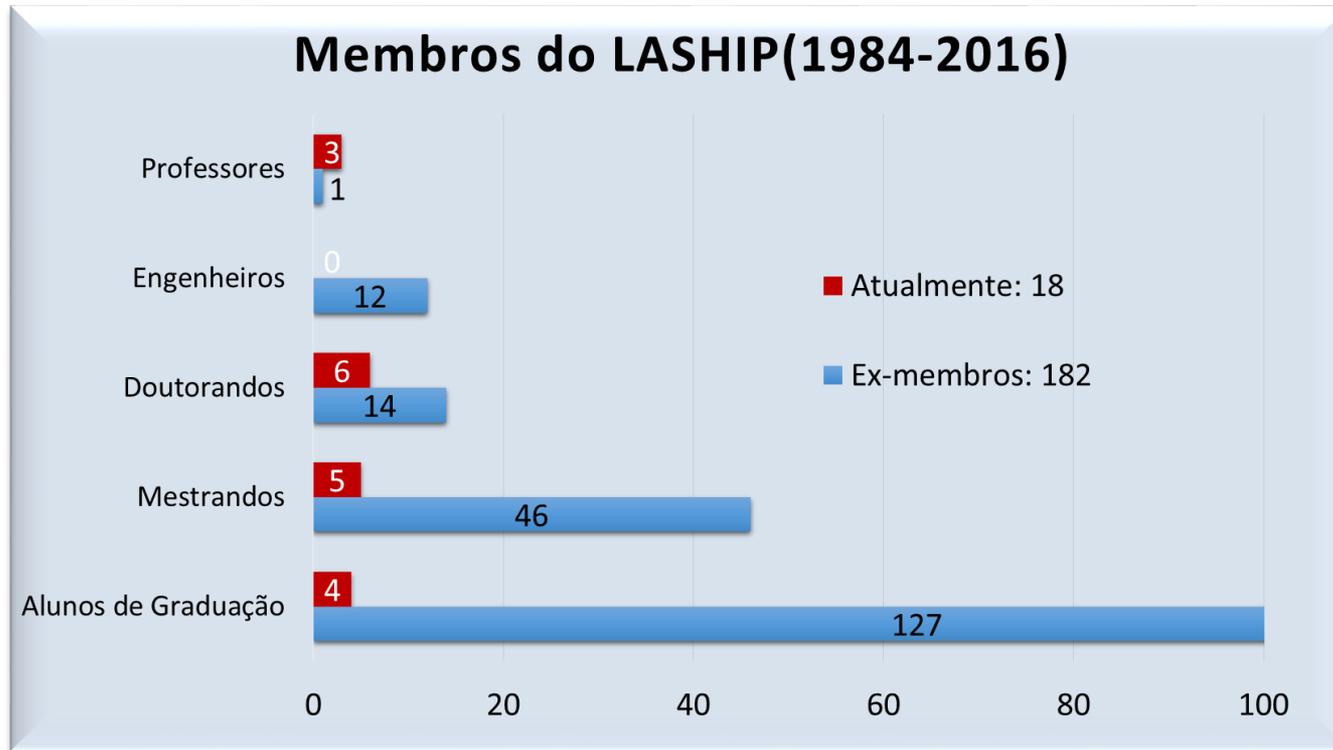


Projeto de máquinas

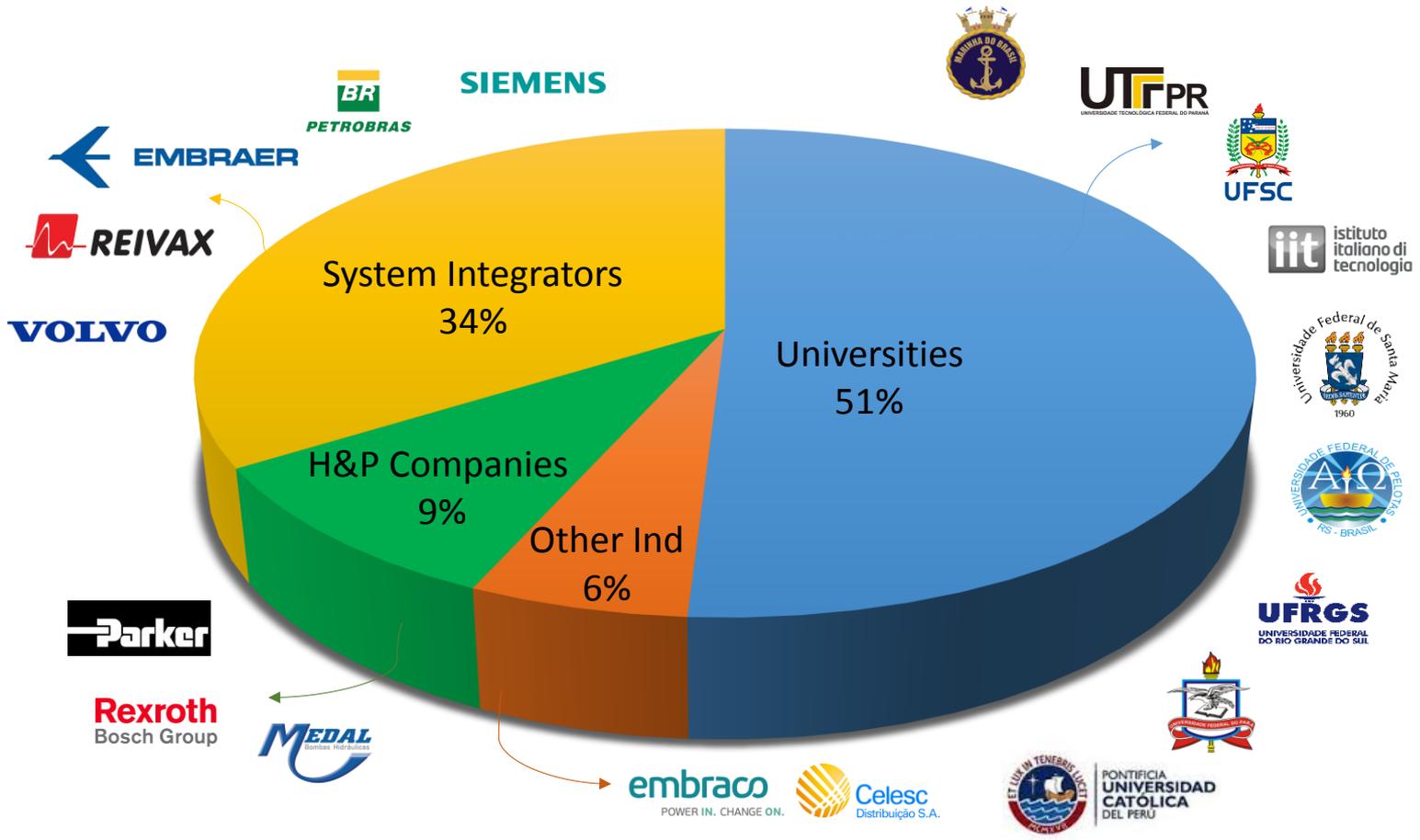


Professores:

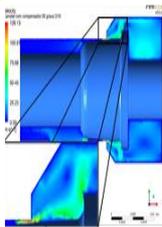
- Irlan von Linsingen (Educação tecnológica)
- Jonny C. da Silva (Modelagem e Sistemas especialistas)
- Victor J. De Negri (Hidráulica e Pneumática)
- Yesid E. Asaff Mendonza (Hidráulica e Pneumática)



Destinação de Mestres e Doutores



LASHIP: Resultados



14 Teses de doutorado



49 Dissertações de mestrado



>30 Projetos de fim de curso e estágios



Contínua participação em fóruns técnicos e científicos



>140 Publicações em congressos e periódicos científicos



6 Livros e coletâneas



> 30 Projetos de pesquisa

Caminhões e Máquinas de movimentação de terra



Guindastes



Aeronáutica



Aplicações Móveis

Entretenimento



Máquinas Agrícolas



Máquinas industriais



Geração de Energia:
Hidrelétricas, Turbinas eólicas ...



Robôs/Plataformas
industriais e de
Serviços



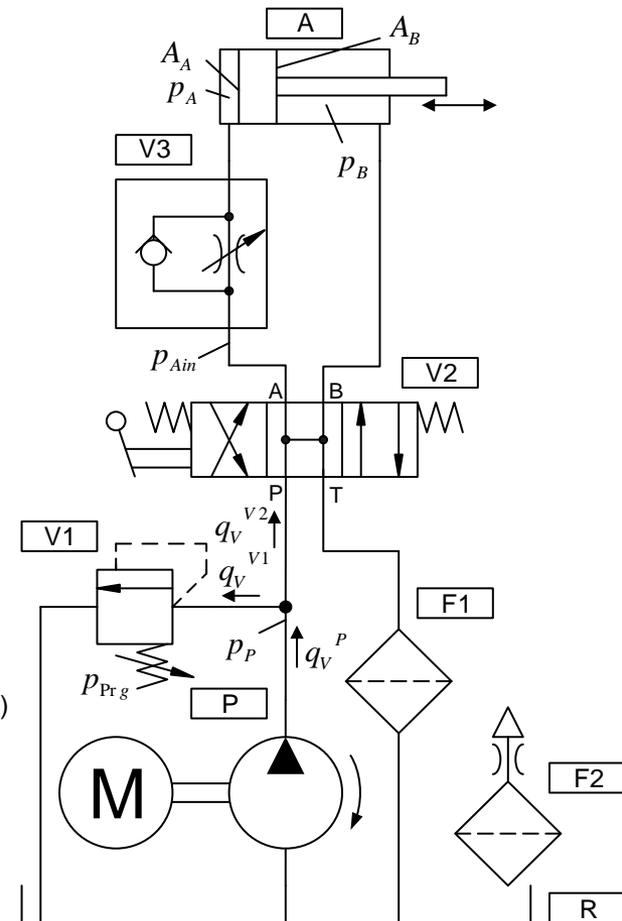
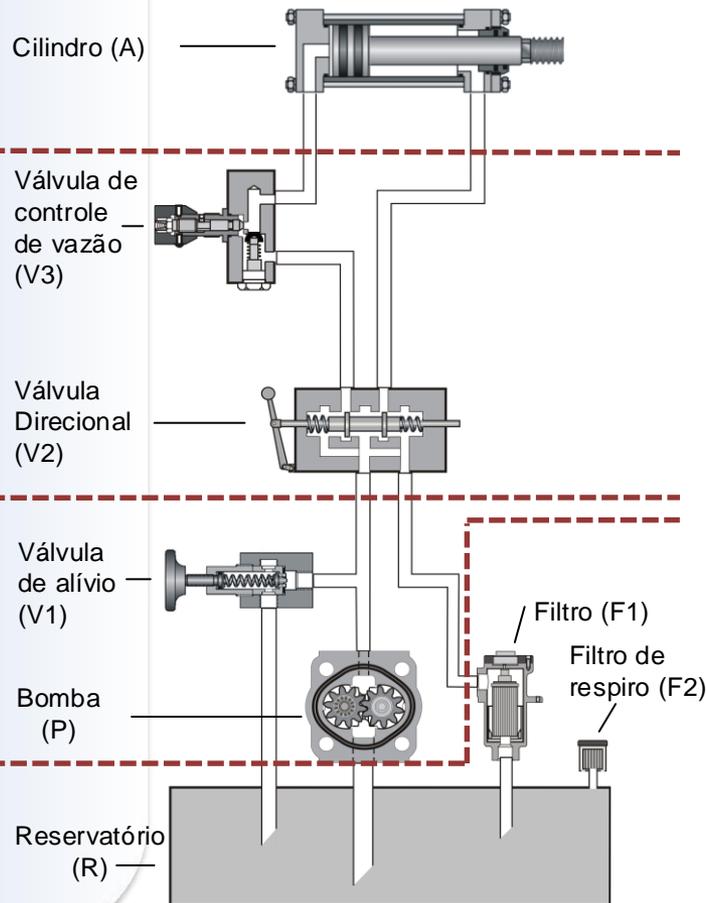
Aplicações
Estacionárias

Processos industriais



CIRCUITO ABERTO: Controle por restrição ao escoamento

- 4 unidades funcionais
- Conversão secundária
- Limitação e controle
- Conversão primária
- Armazenamento e condicionamento

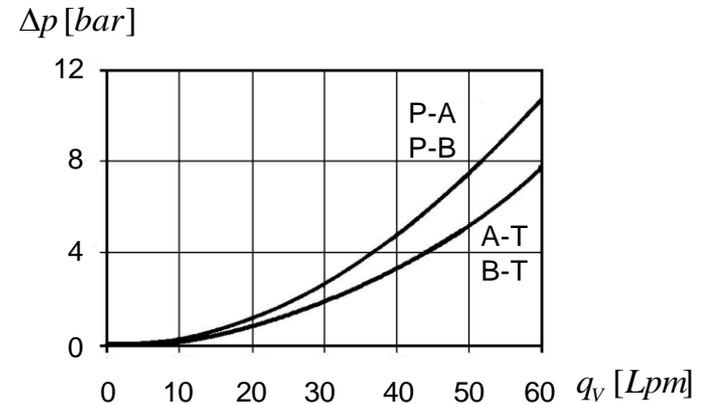


- Controle por restrição ao escoamento

- Vazão requer diferença de pressão

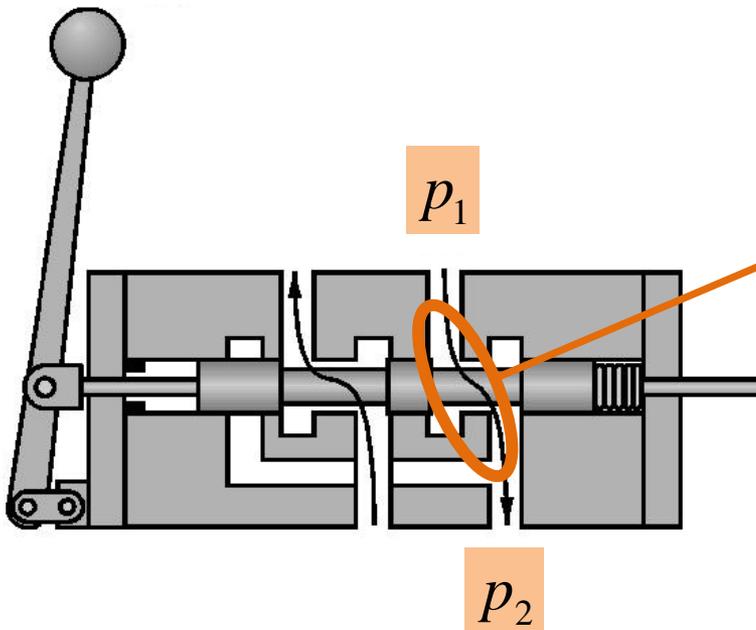
$$q_v = cd \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

- Curva da perda de carga



- Potência de entrada > Potência de saída

$$(P_{h1} = p_1 \cdot q_{V1}) > (P_{h2} = p_2 \cdot q_{V2})$$

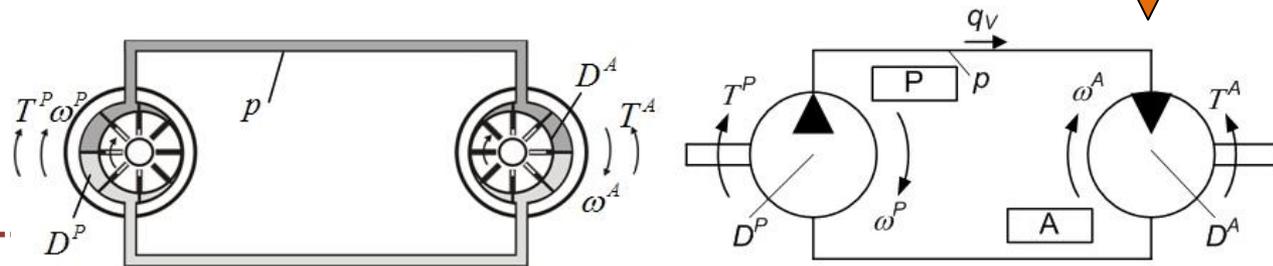


CIRCUITO FECHADO: Controle por deslocamento volumétrico

▪ **Circuito ideal**

- Conversão secundária

- Limitação de controle



- Conversão primária

- Armazenamento e condicionamento

CIRCUITO FECHADO: Controle por deslocamento volumétrico

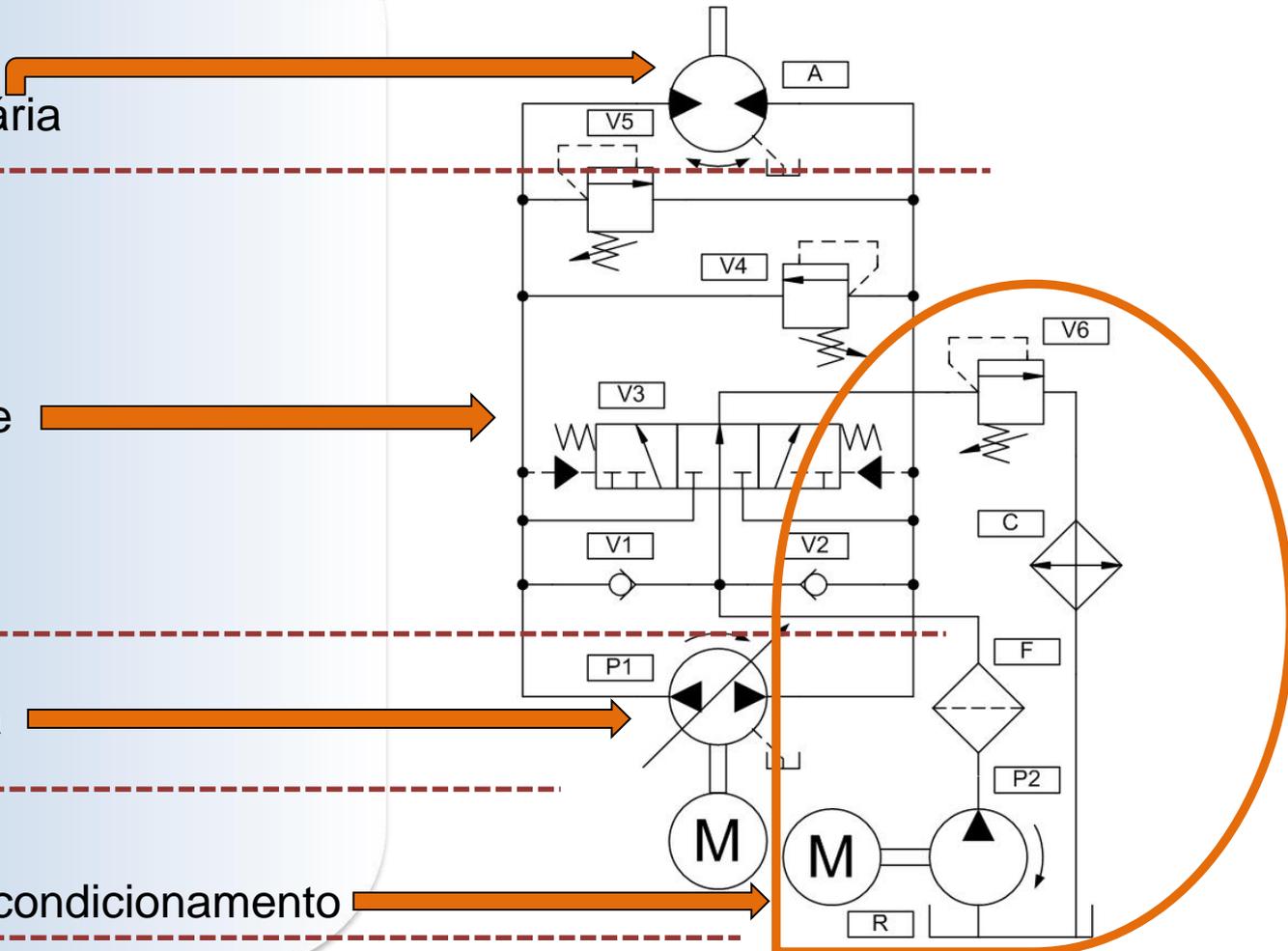
▪ **Circuito real:**

• Conversão secundária

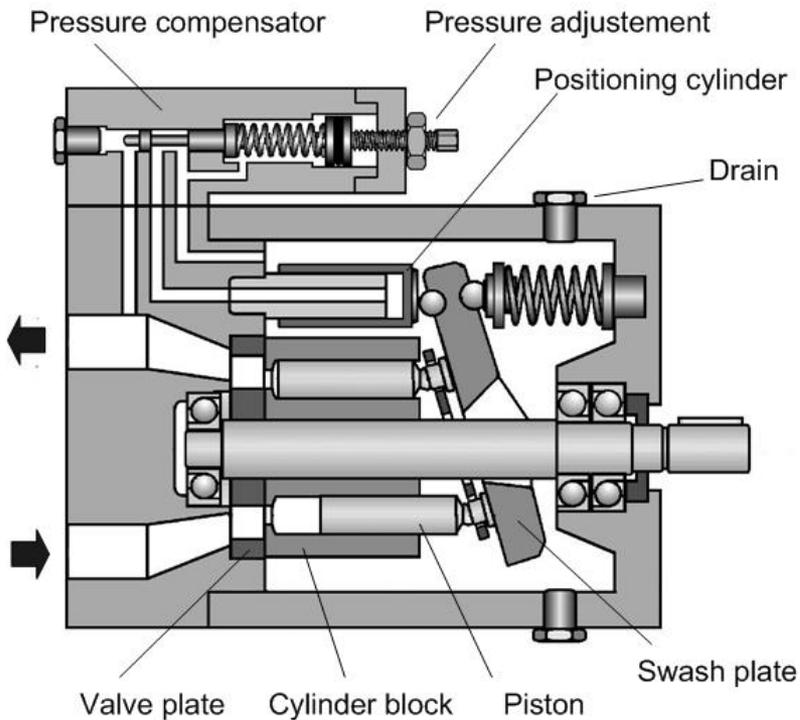
• Limitação e controle

• Conversão primária

• Armazenamento e condicionamento

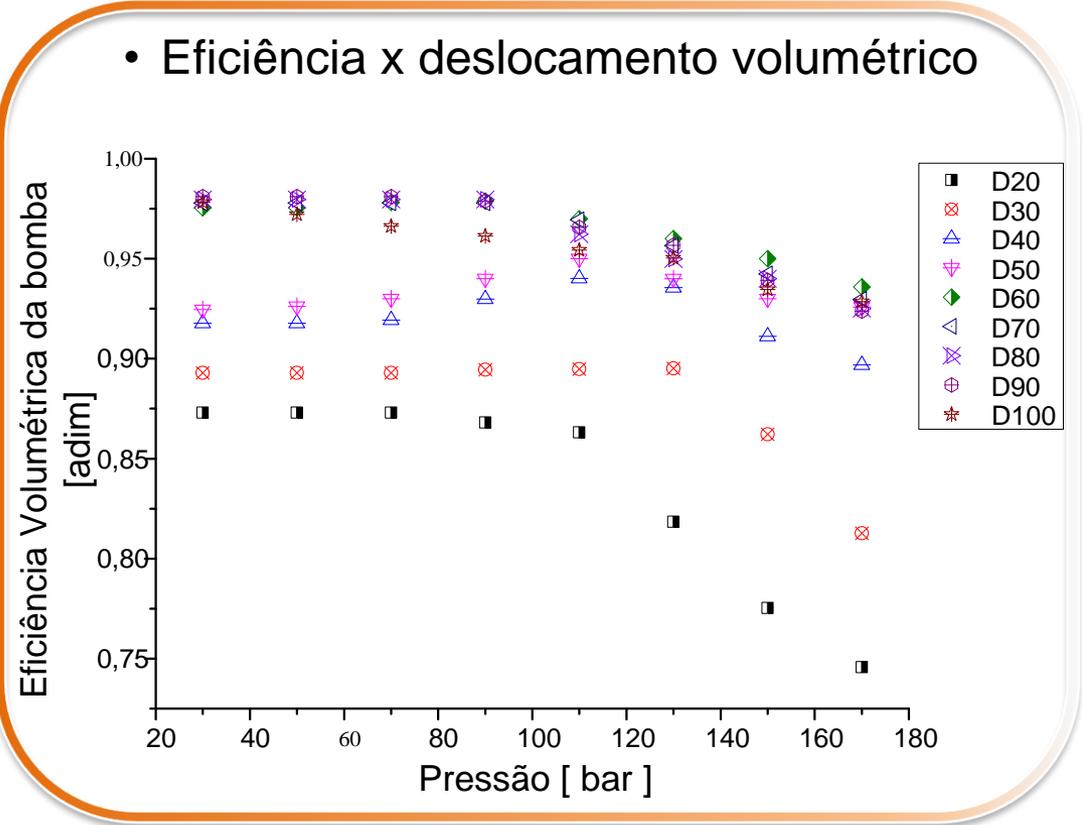


• Controle por variação do deslocamento volumétrico



(Linsingen, 2013)

• Eficiência x deslocamento volumétrico



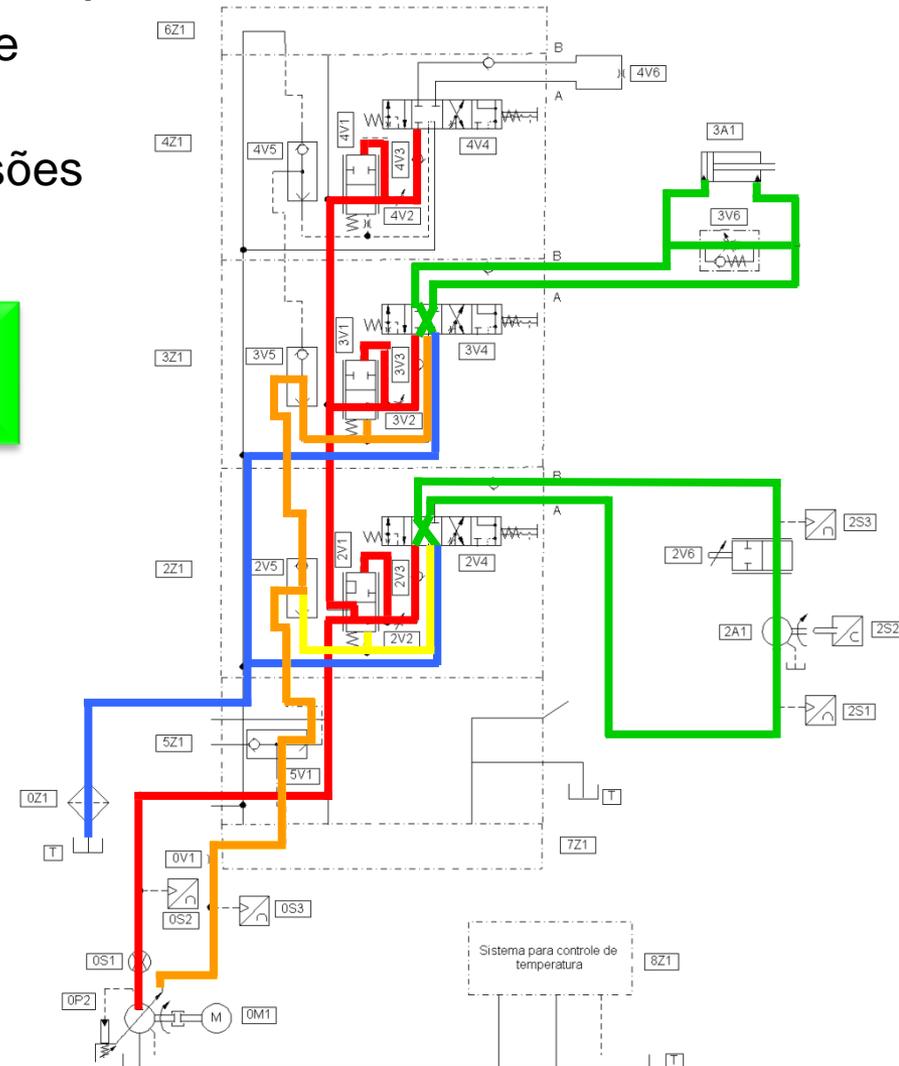
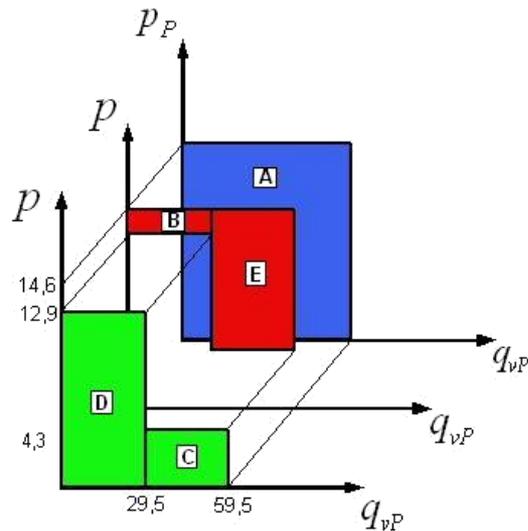
▪ Bombeamento centralizado e controle por válvulas:

- Bomba sujeita a único valor de pressão de descarga
- Atuadores operando com diferentes pressões de carga.

Potência hidráulica
suprida

>

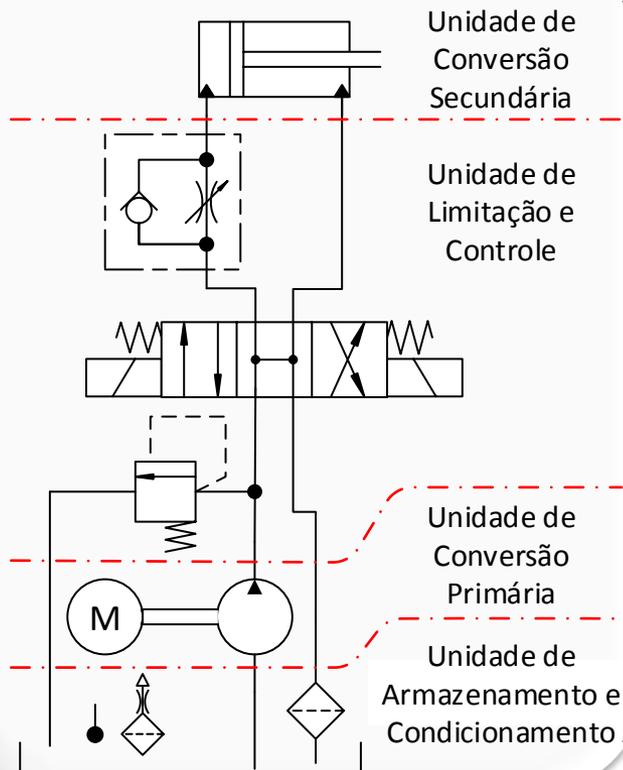
Potência hidráulica
utilizada



▪ Definição de HIDRÁULICA DIGITAL:

- “Sistemas hidráulicos que possuem componentes discretos, os quais controlam ativamente a saída do sistema” (Linjama, 2011).

Sistema Convencional



▶ Ainda não há consenso quanto a **classificação** dos sistemas hidráulicos digitais;

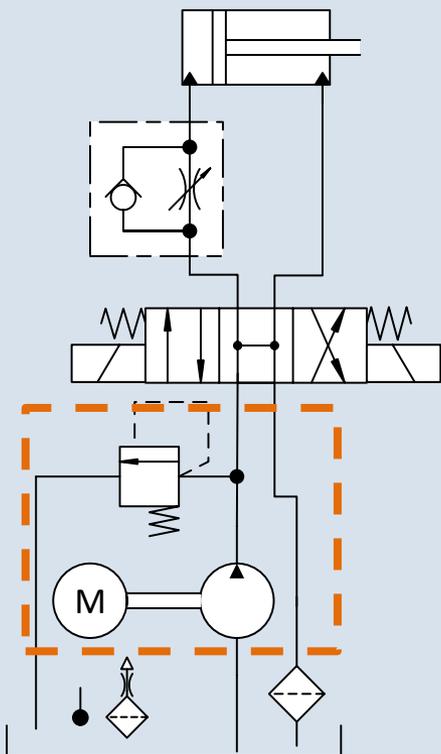
▶ No LASHIP adota-se a classificação com base nas **4 unidades funcionais**

Sistemas Digitais: Belan *et al.* (2014)



Primeira publicação sobre hidráulica digital em língua portuguesa.

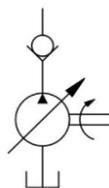
Sistema Convencional



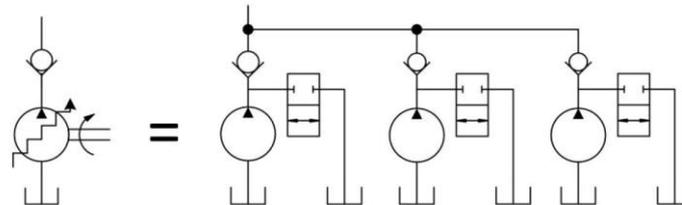
(Belan *et al.*, 2014)

Unidade de Conversão Primária

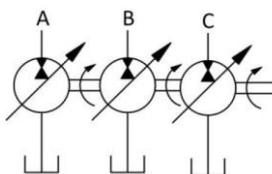
ANALÓGICO



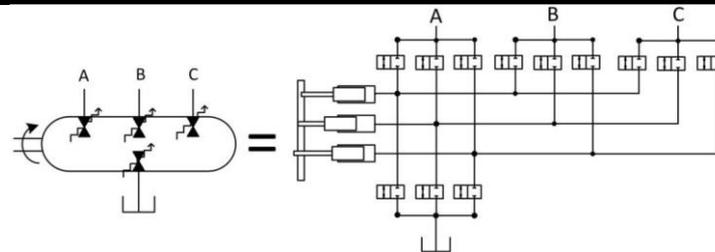
DIGITAL



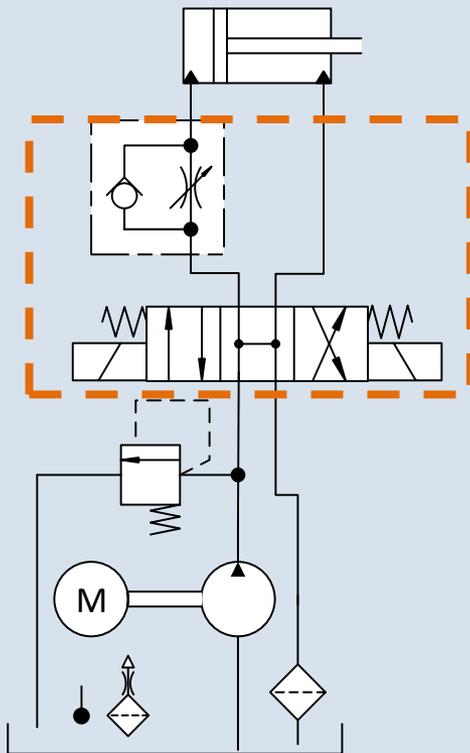
ANALÓGICO



DIGITAL



Sistema Convencional

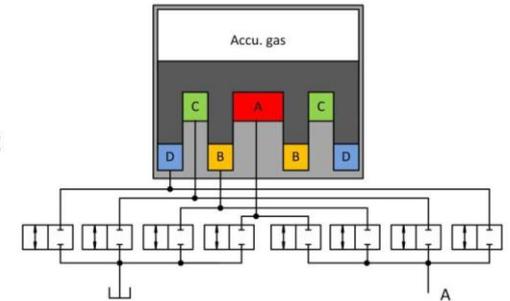
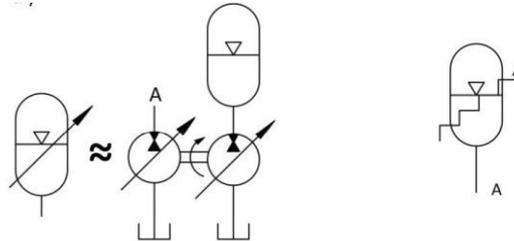


(Belan et al., 2014)

Unidade de Limitação e Controle

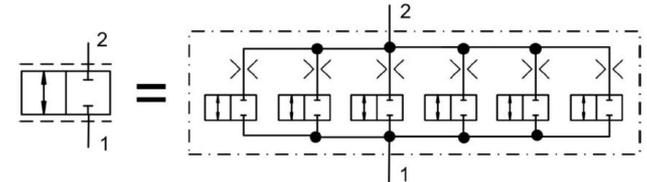
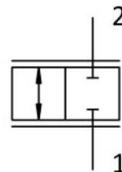
ANALÓGICO

DIGITAL



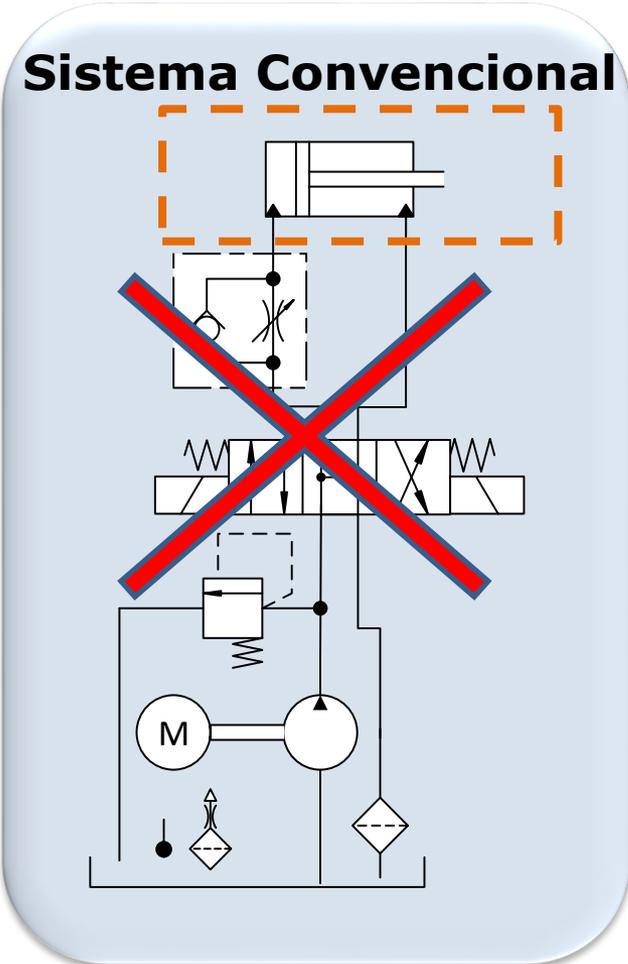
ANALÓGICO

DIGITAL

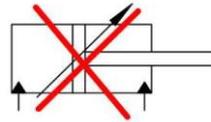


Unidade de Conversão Secundária

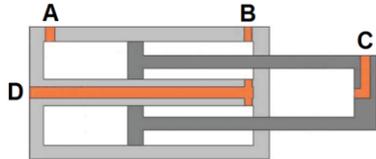
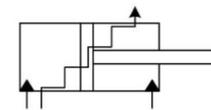
Sistema Convencional



ANALÓGICO

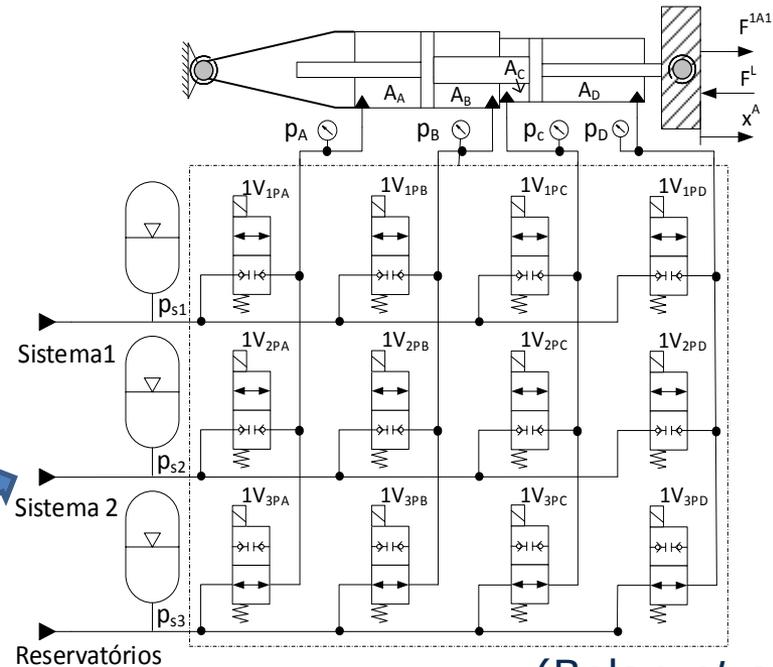


DIGITAL



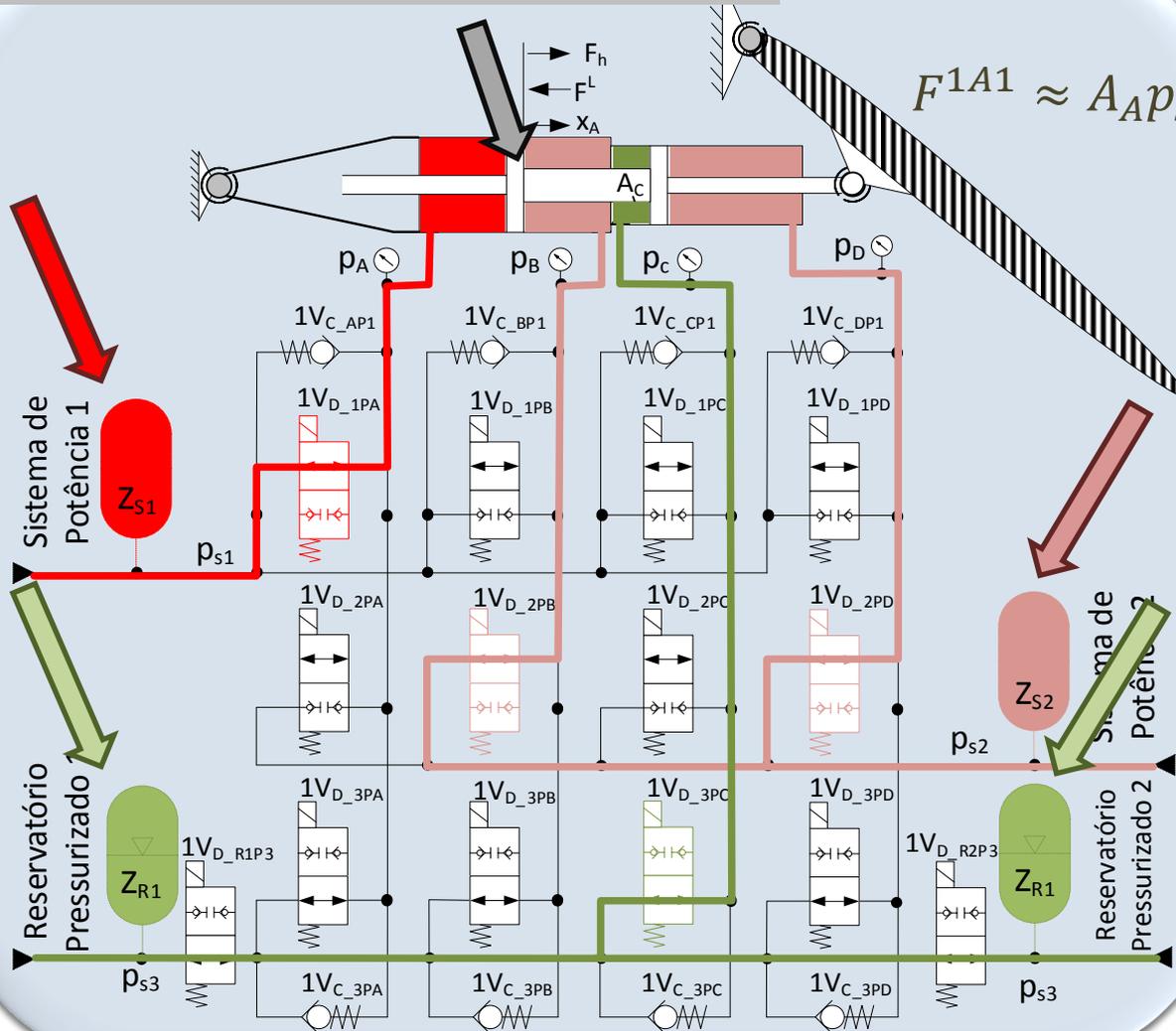
Controle Secundário com Atuador Linear (Linjama et al., 2009)

Fontes de Pressão



(Belan et al., 2015)

Cilindro em configuração tandem



$$F^1 A_1 \approx A_A p_{s1} - A_B p_{s2} + A_C p_{s3} - A_D p_{s2}$$

Duas linhas de suprimento de pressão

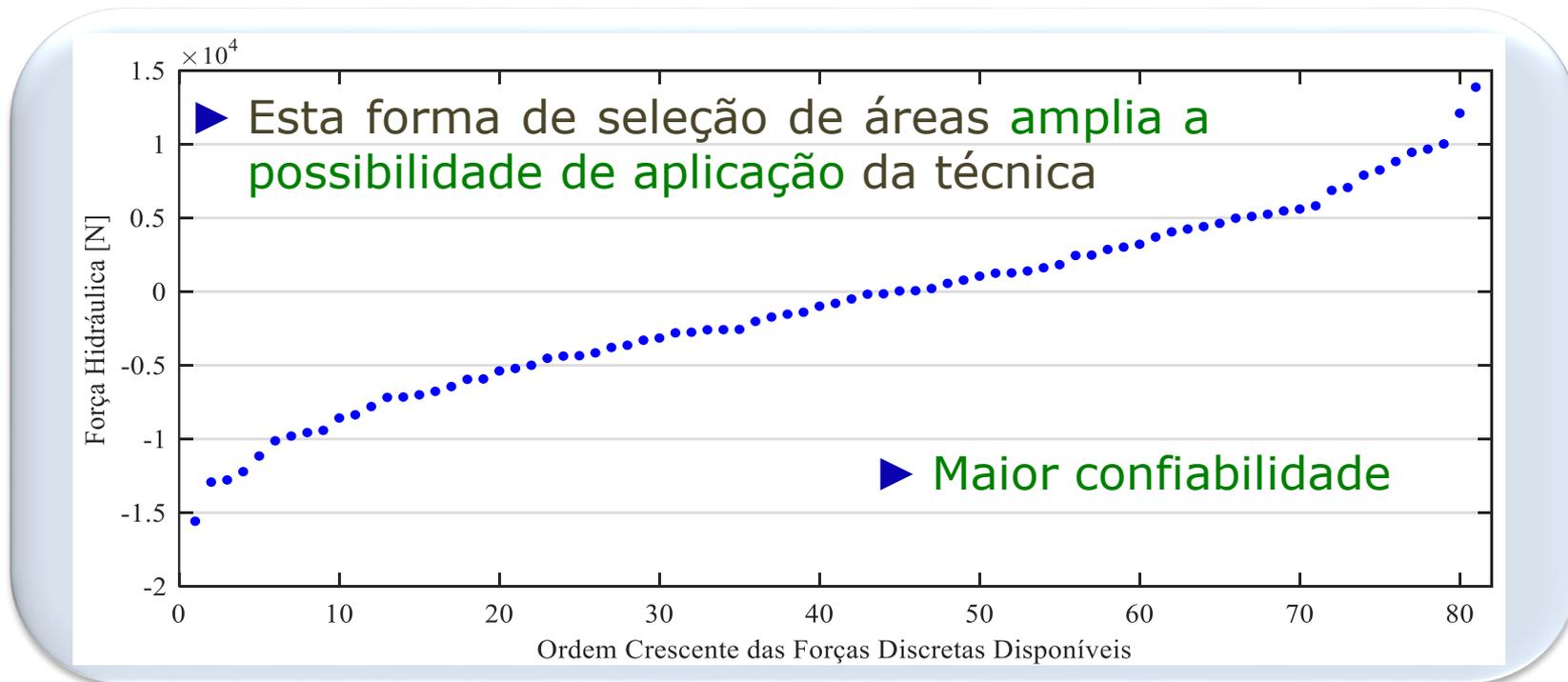
Reservatórios pressurizados

(Belan *et al.*, 2016)

- A distribuição de forças discretas depende das **áreas e pressões** utilizadas.

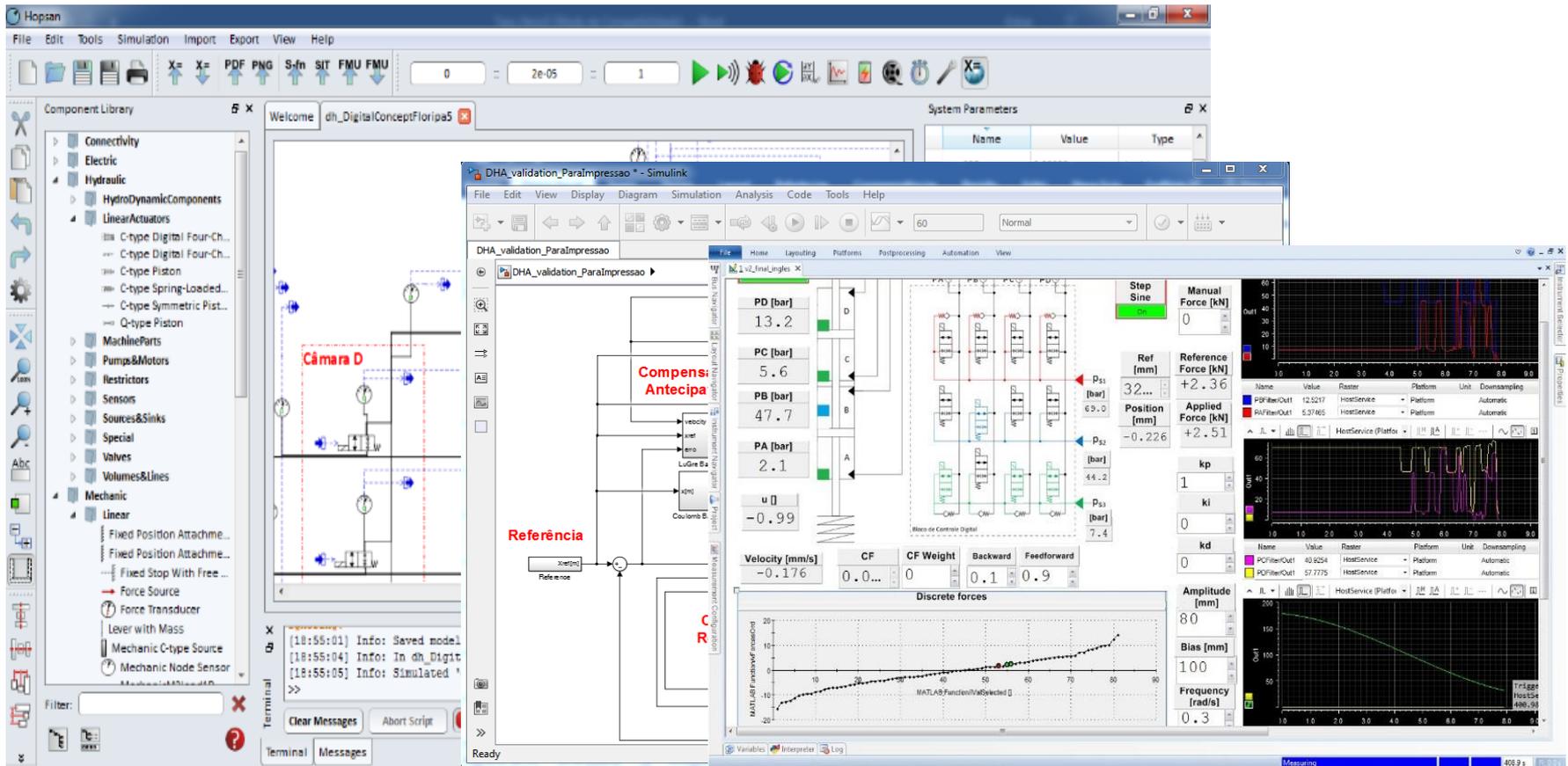
$$n_{Forças} = (n_{pressões})^{n_{câmaras}}$$

$$n_{Forças} = 3^4 = \mathbf{81}$$

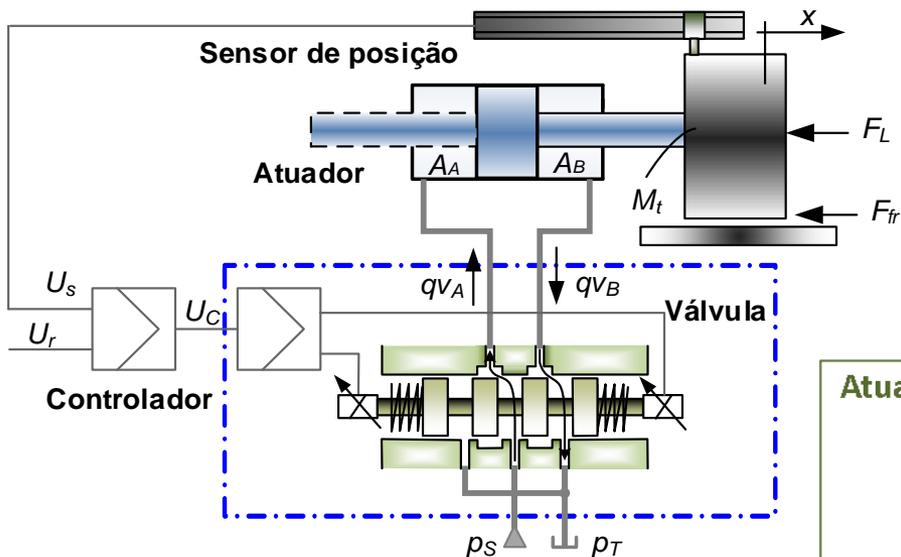




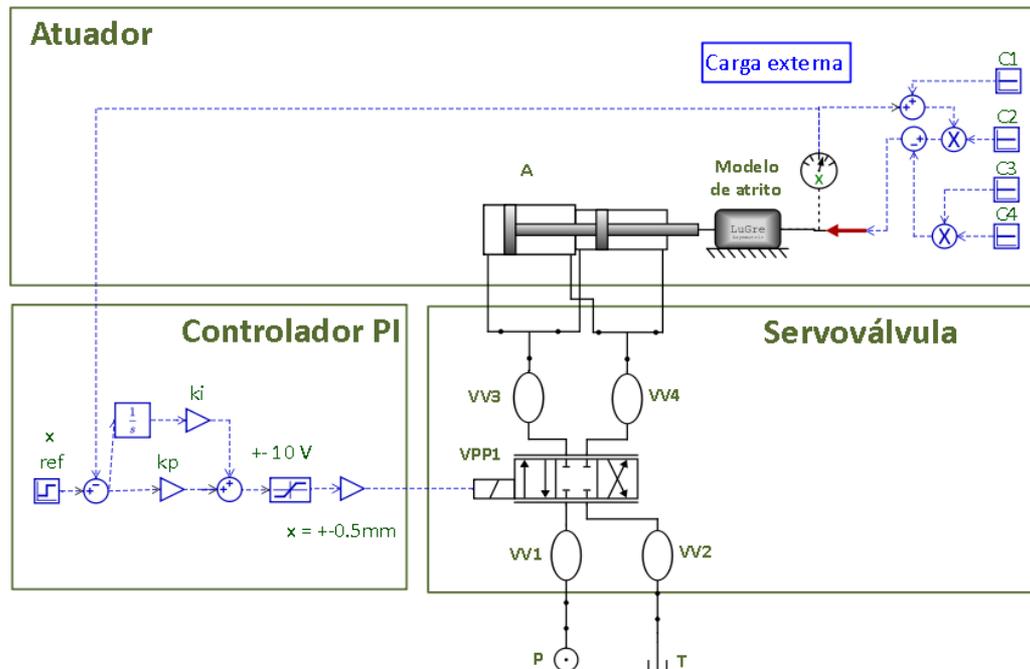
- Hopsan (software livre) – DHA (FLUMES/LiU – Suécia)
- MatLab/Simulink - Controle
- dSpace/Control Desk – Hardware e Supervisório



- Utilizando servoválvula ou válvula proporcional



Simulação em Hopsan



■ Análise energética:

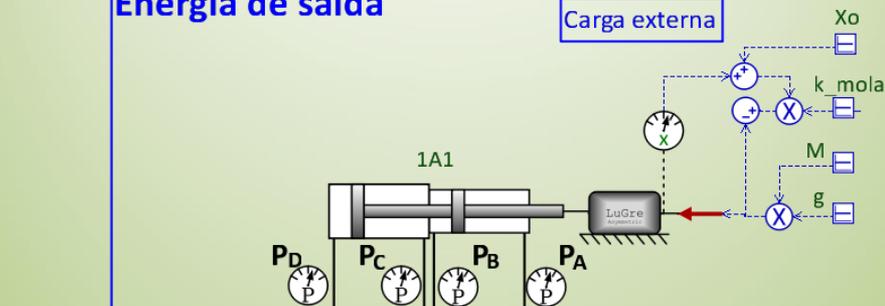
- Atuador Hidráulico Digital

- Atuador Servo-Hidráulico

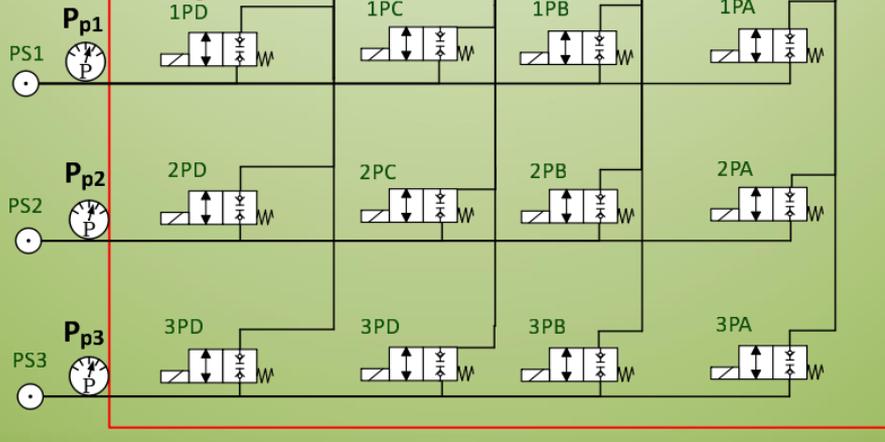
Energia de entrada

Energia de saída

Carga externa



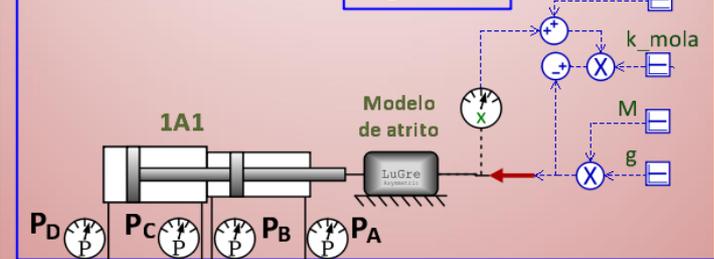
Energia dissipada



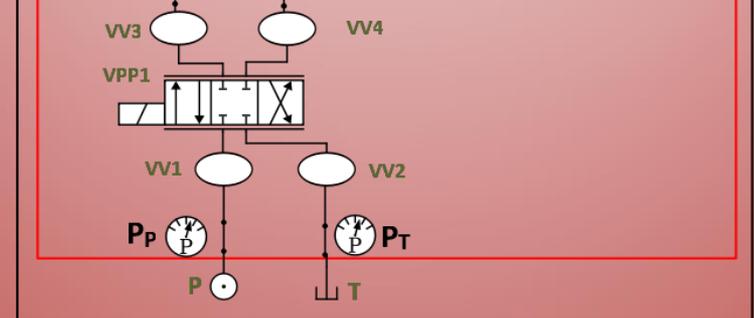
Energia de entrada

Energia de saída

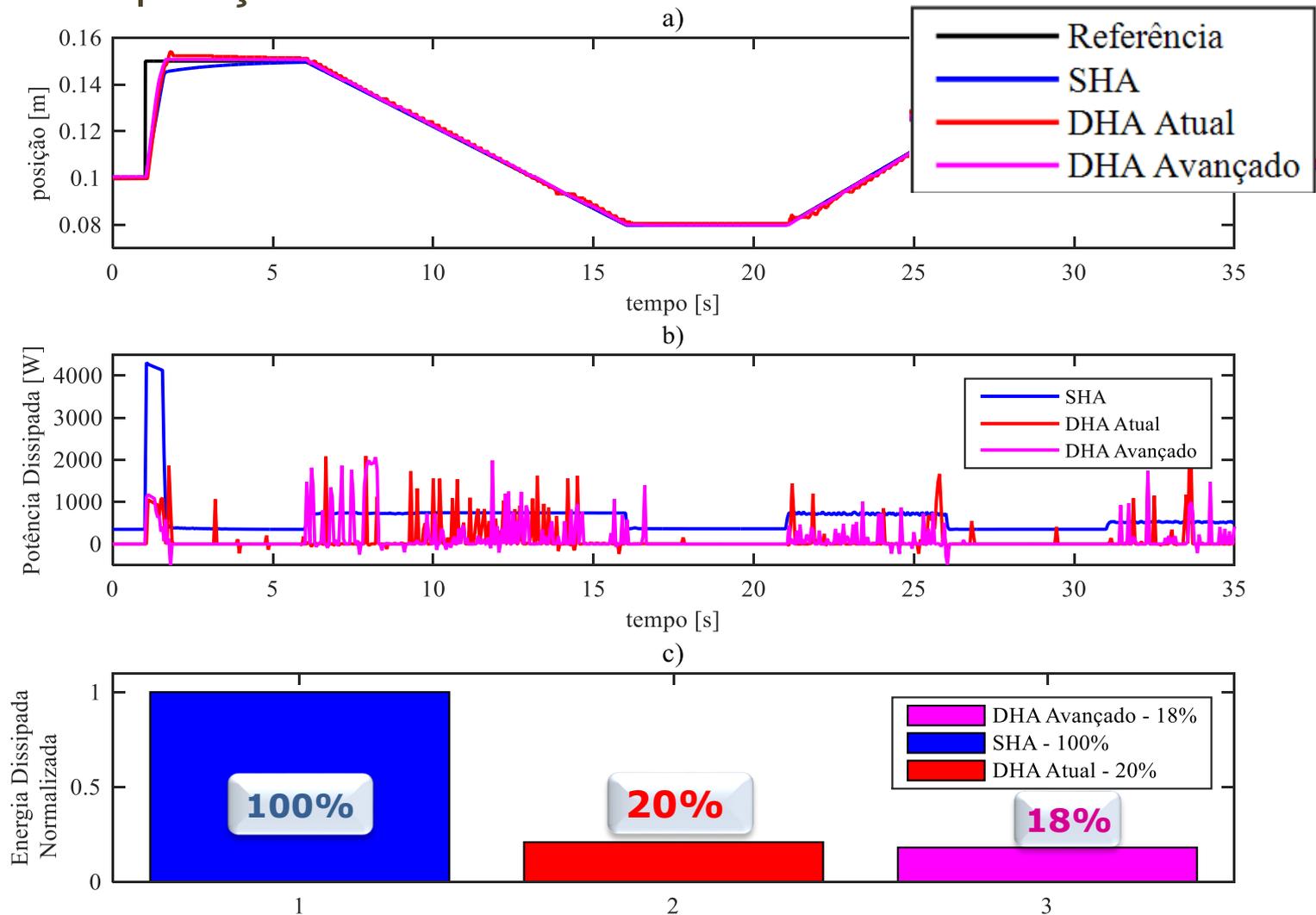
Carga externa



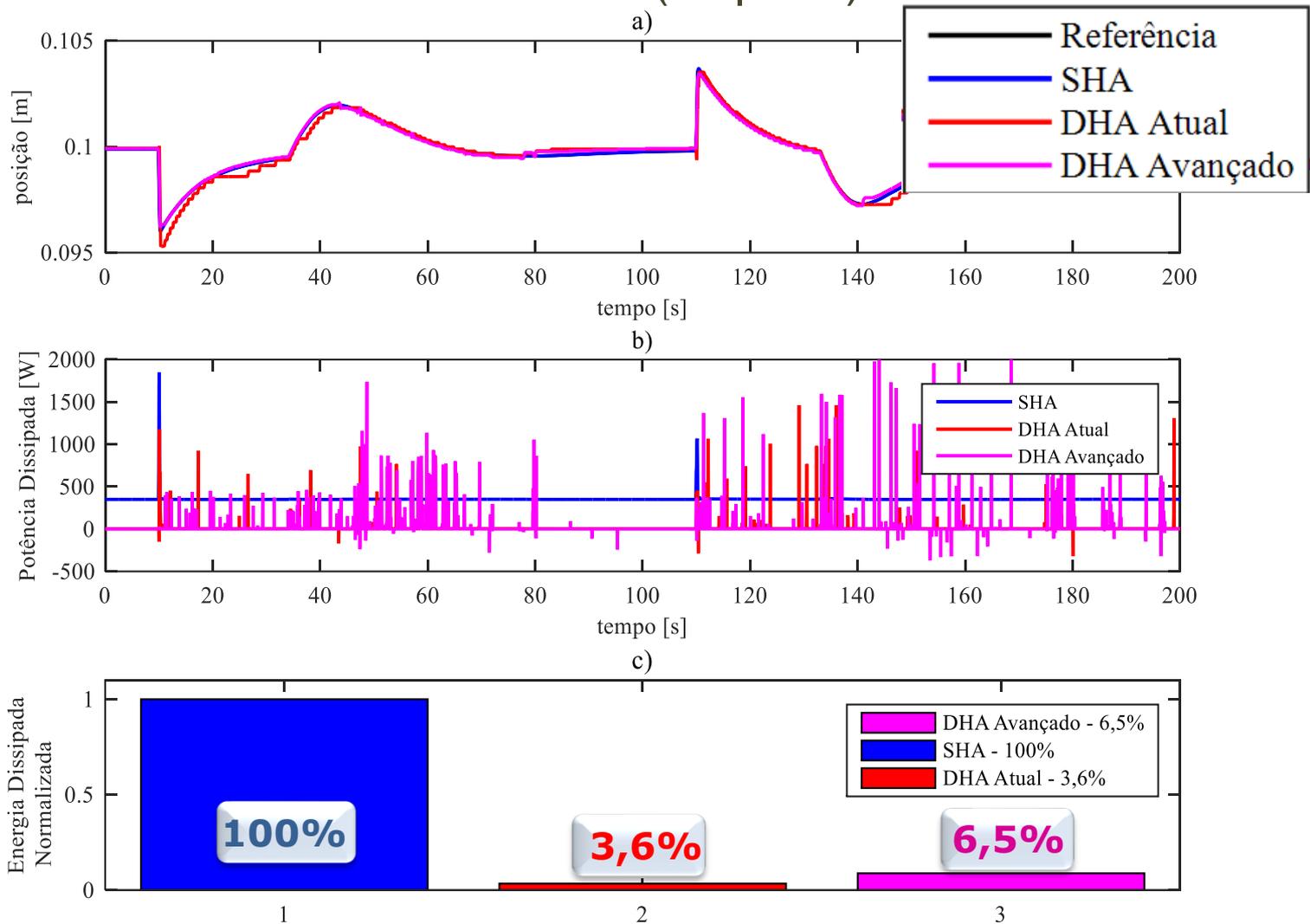
Energia dissipada



■ Controle de posição

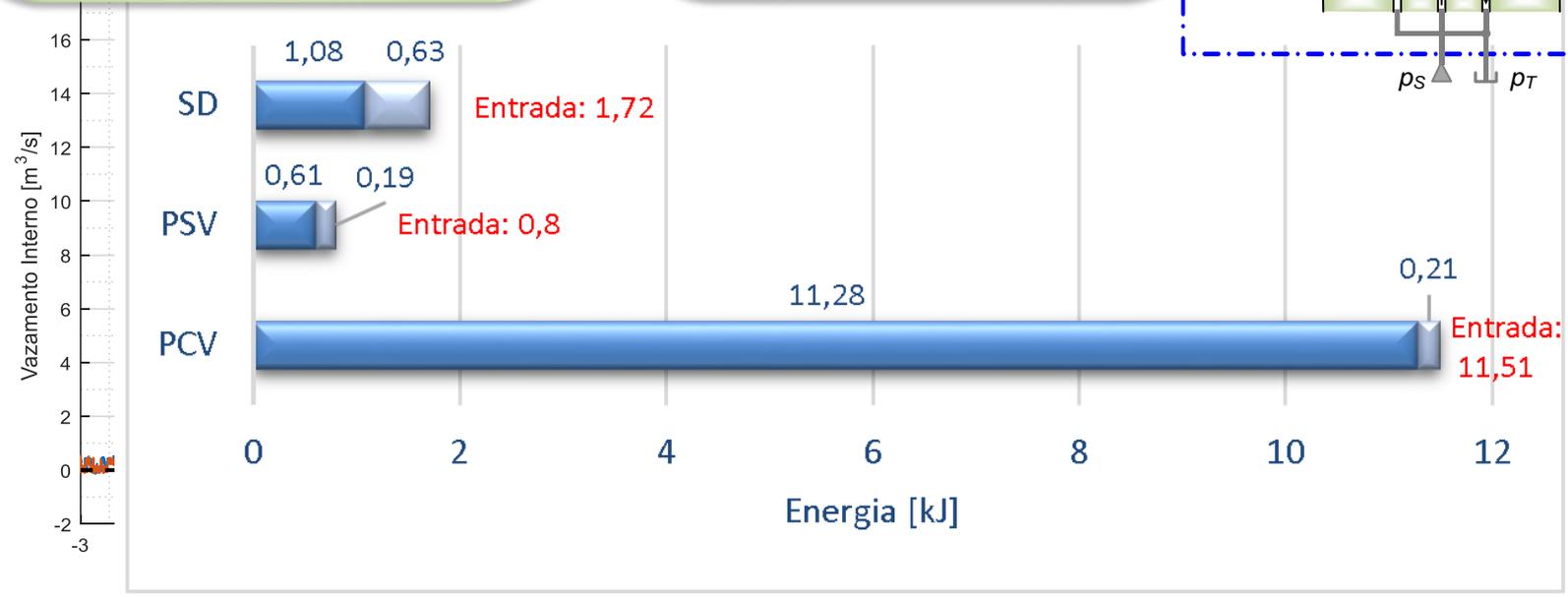
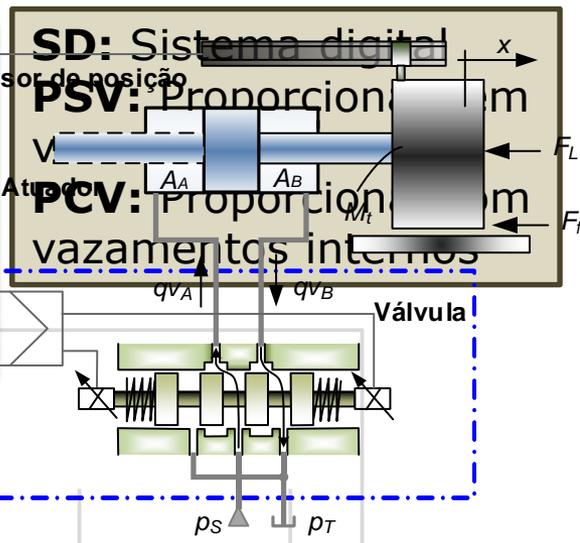
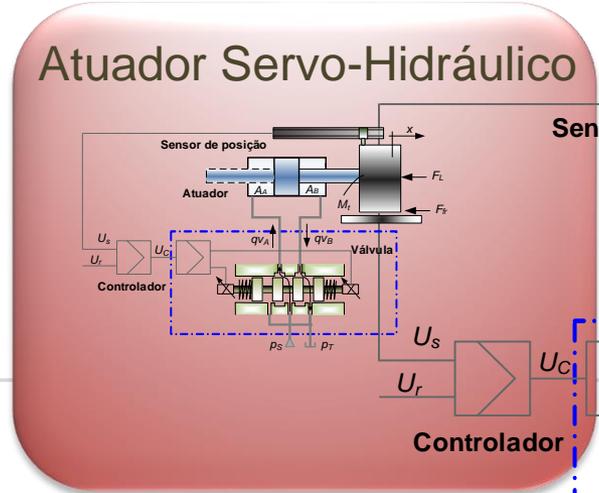


Curva de referência de avião F16 (Hopsan)



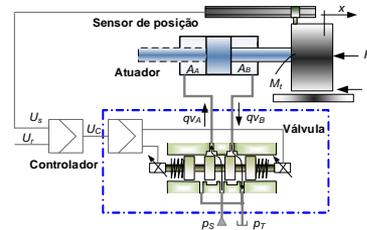
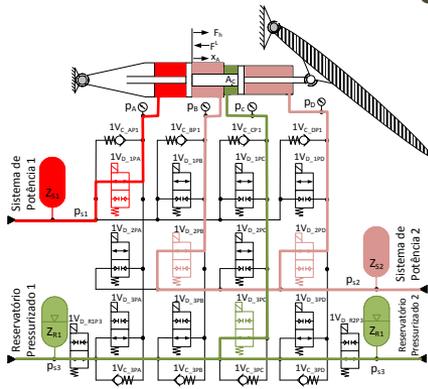
Análise energética:

- Atuador Hidráulico Digital x Atuador Servo-Hidráulico

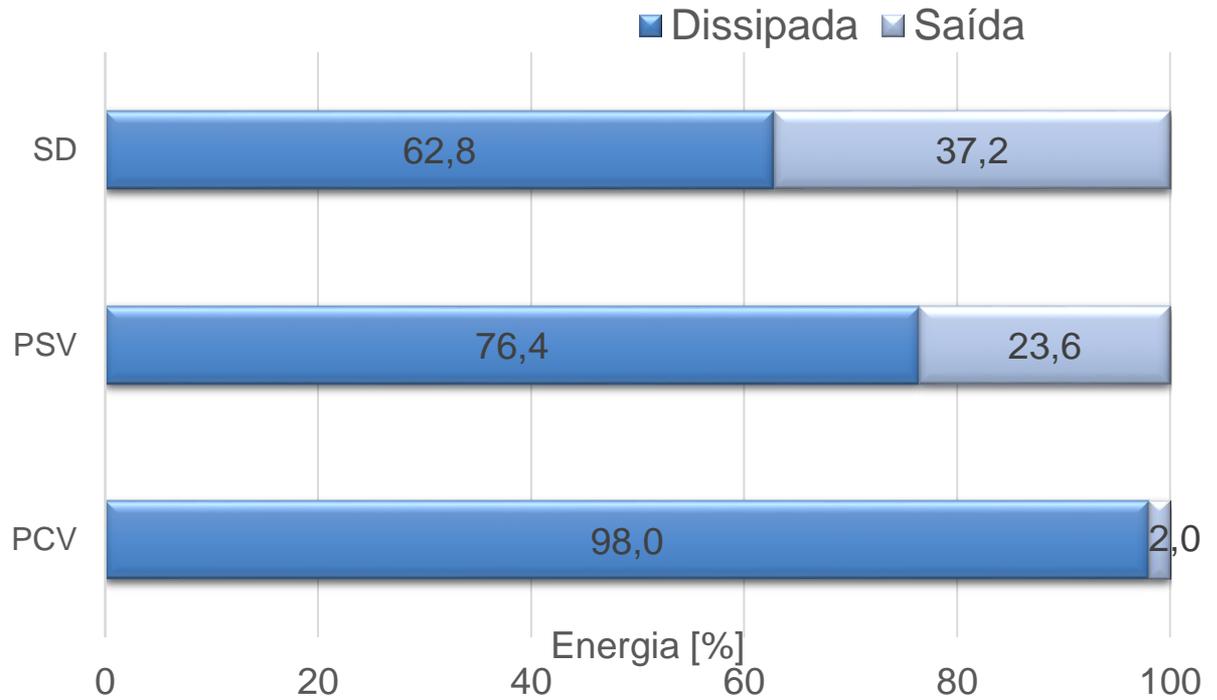


■ Análise energética:

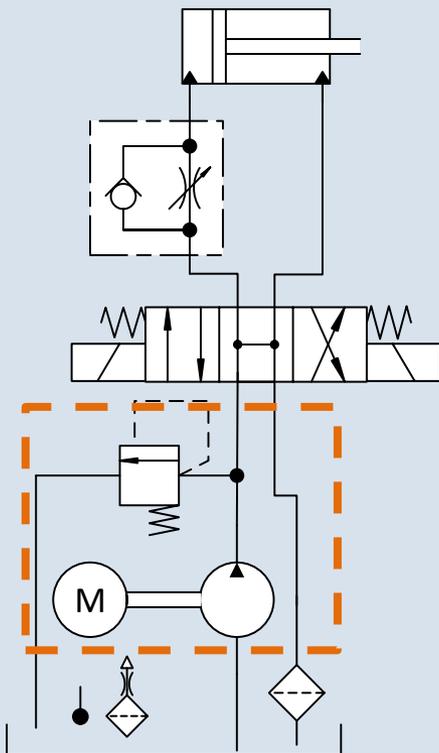
- Atuador Hidráulico Digital x Atuador Servo-Hidráulico



SD: Sistema digital
PSV: Proporcional sem vazamentos internos
PCV: Proporcional com vazamentos internos



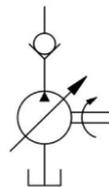
Sistema Convencional



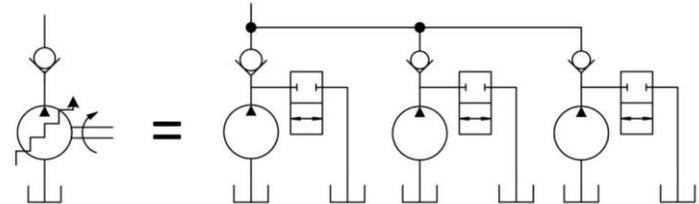
(Belan *et al.*, 2014)

Unidade de Conversão Primária

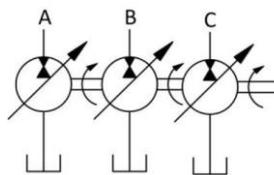
ANALÓGICO



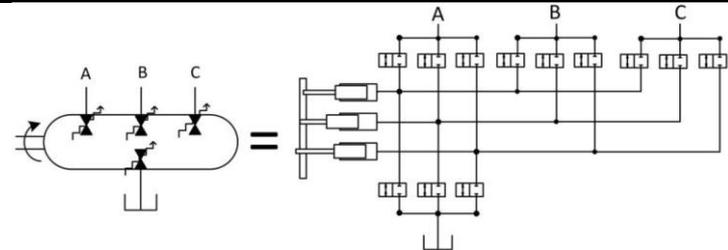
DIGITAL



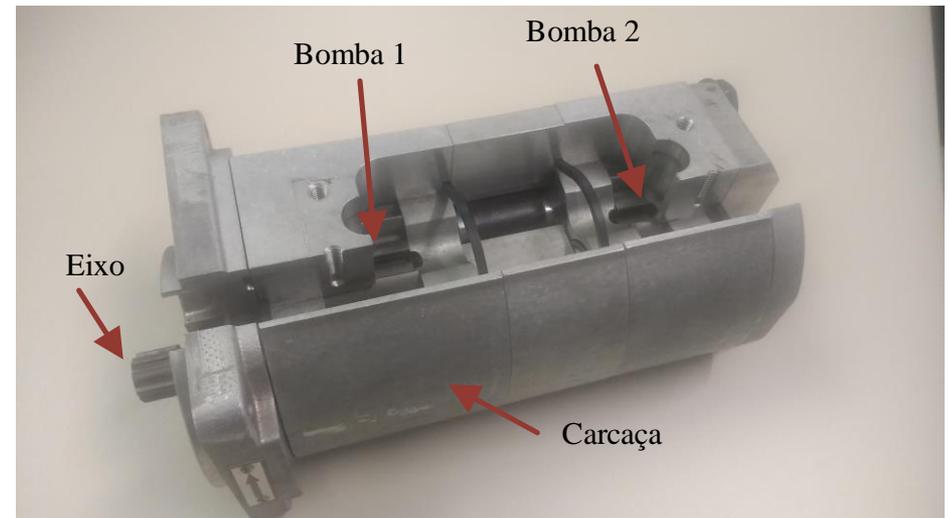
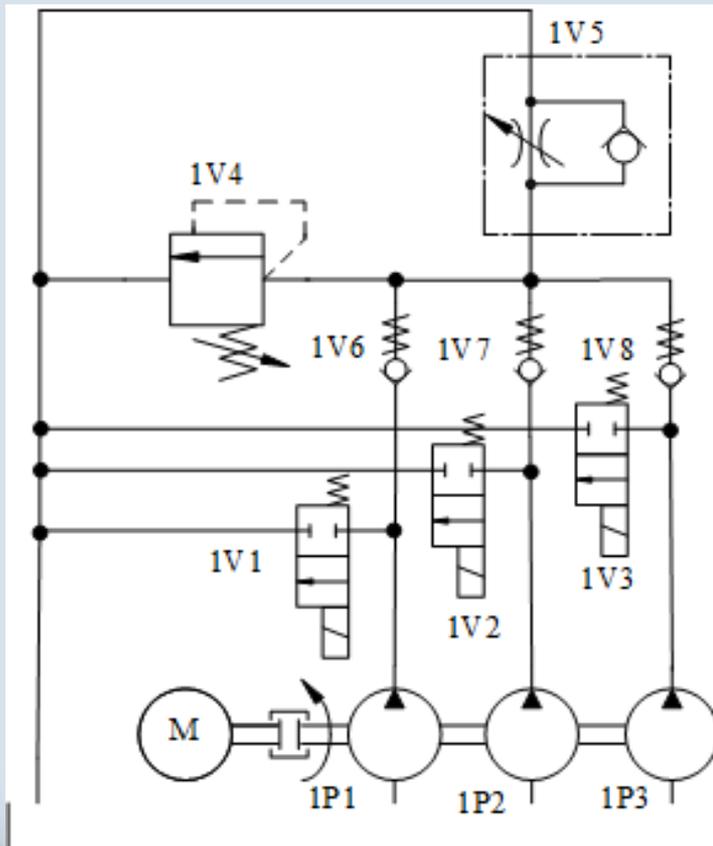
ANALÓGICO

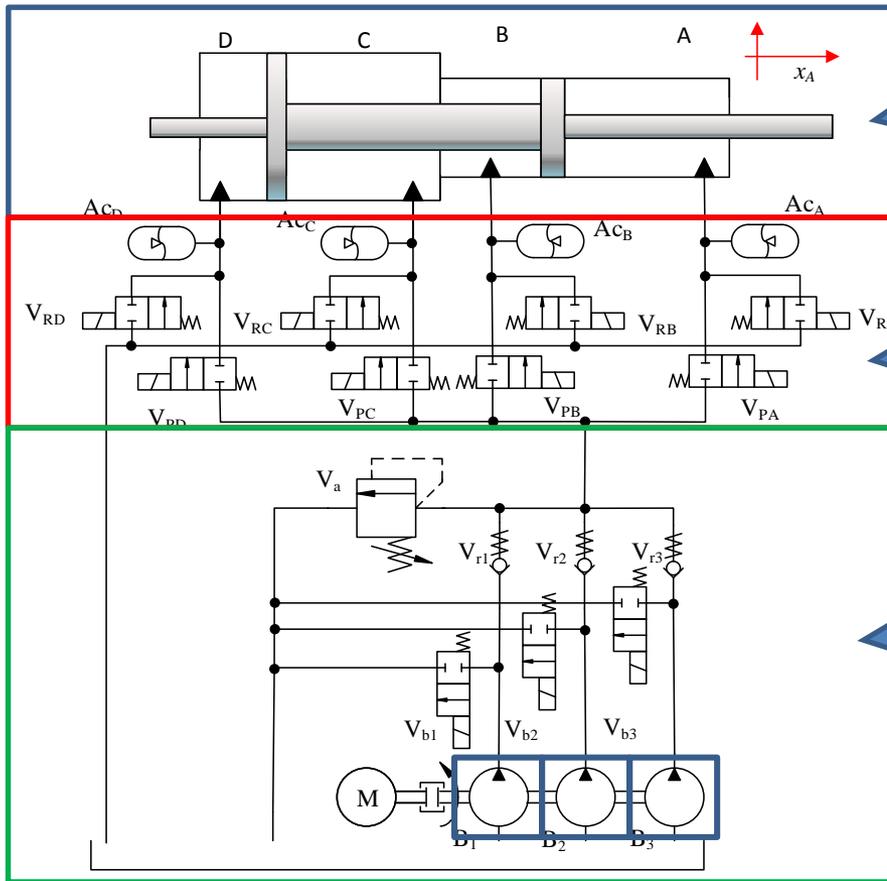


DIGITAL



Bombas em paralelo





1 Atuador Multicâmaras

8 Válvulas *on/off*

4 acumuladores

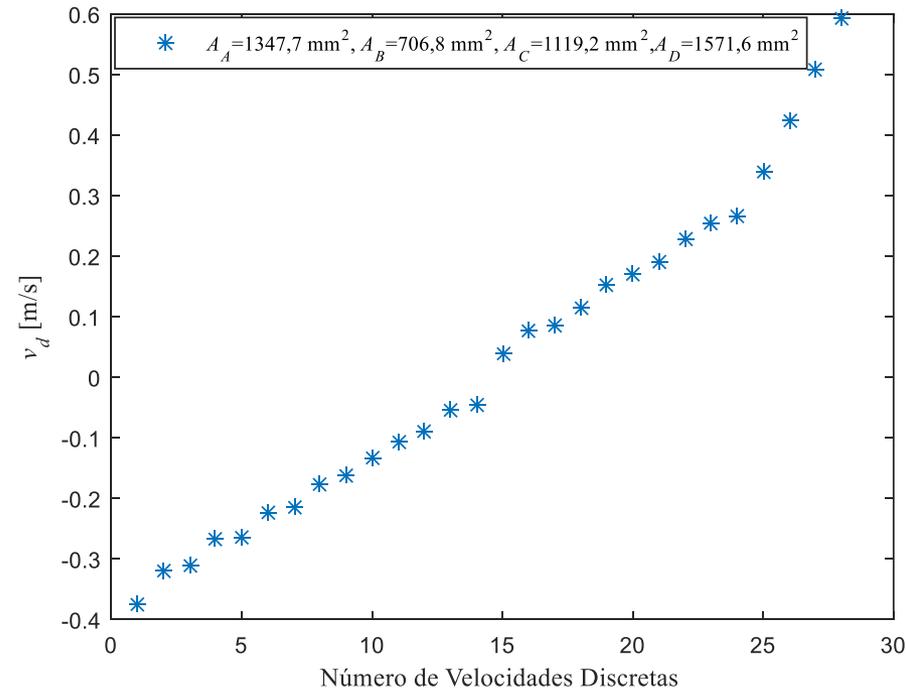
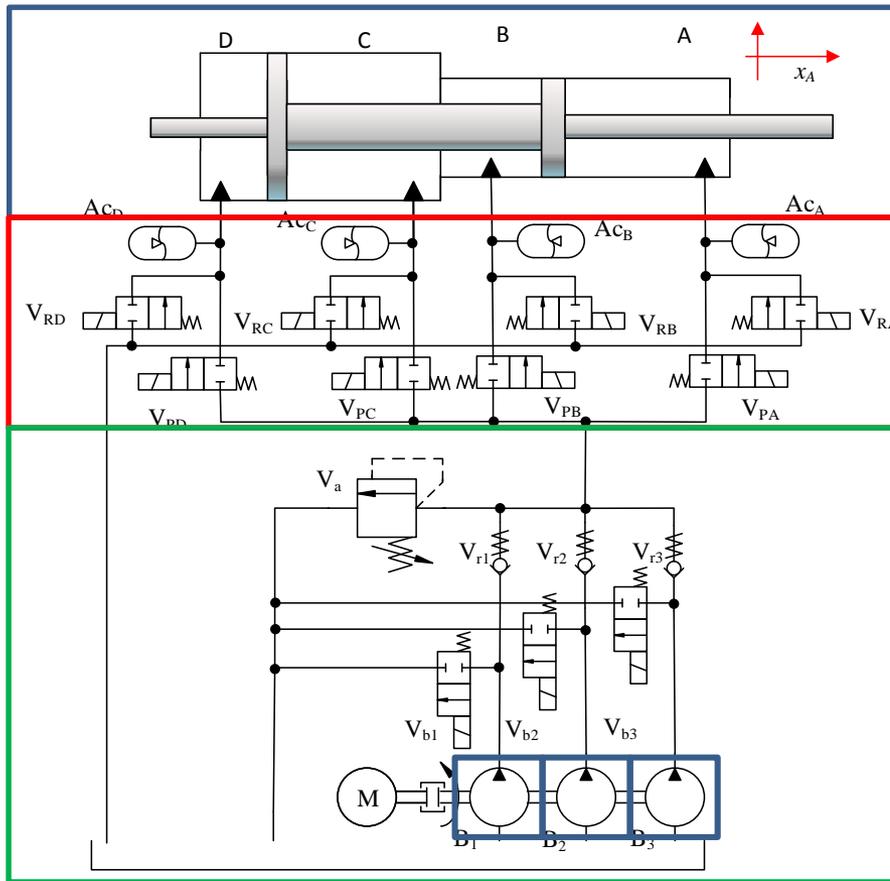
3 Bombas de deslocamento fixo

3 Válvulas *on/off*

1 Válvulas de segurança

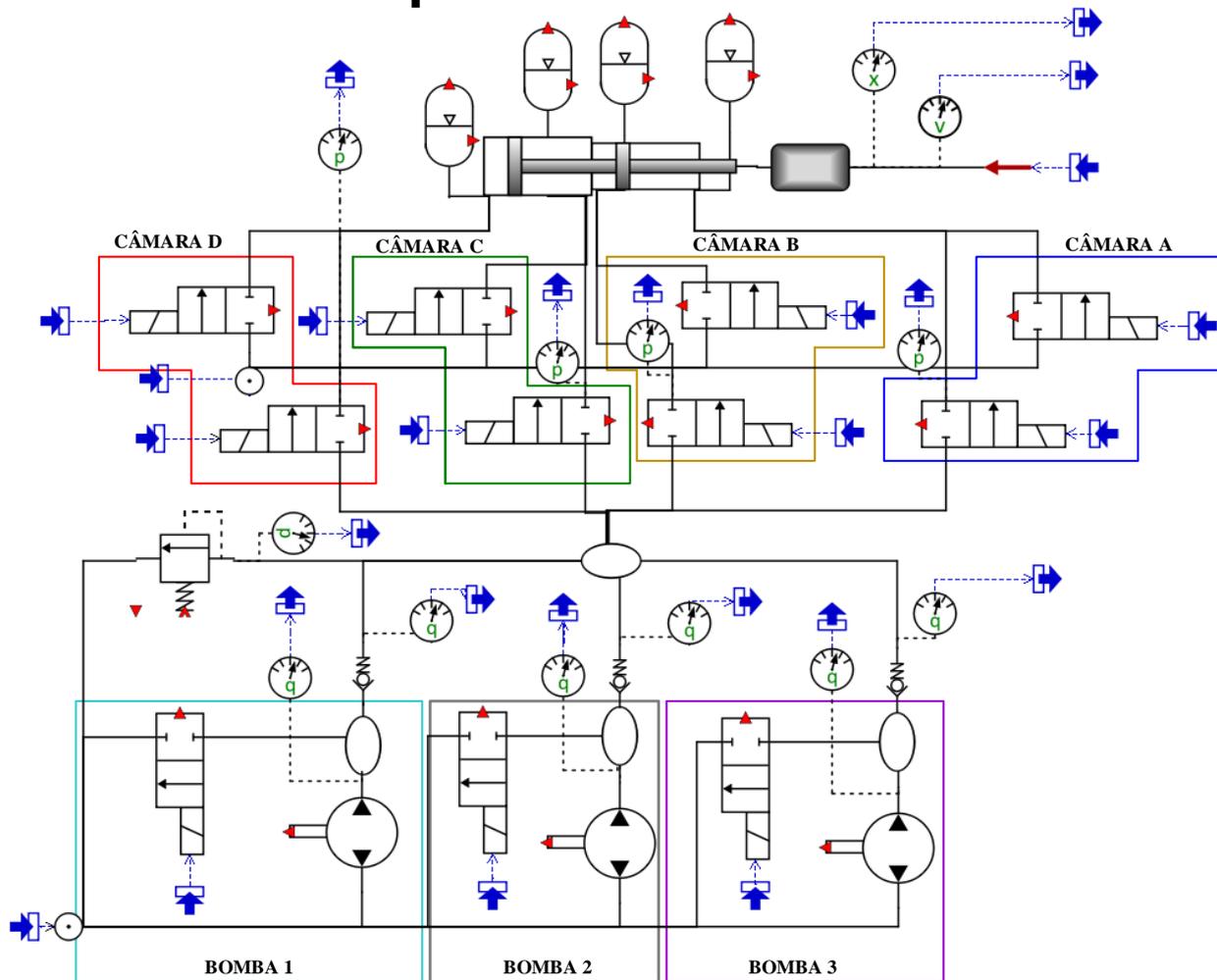
Elaborada pelo autor.

DHP+A - Bomba + Atuador Hidráulico Digital

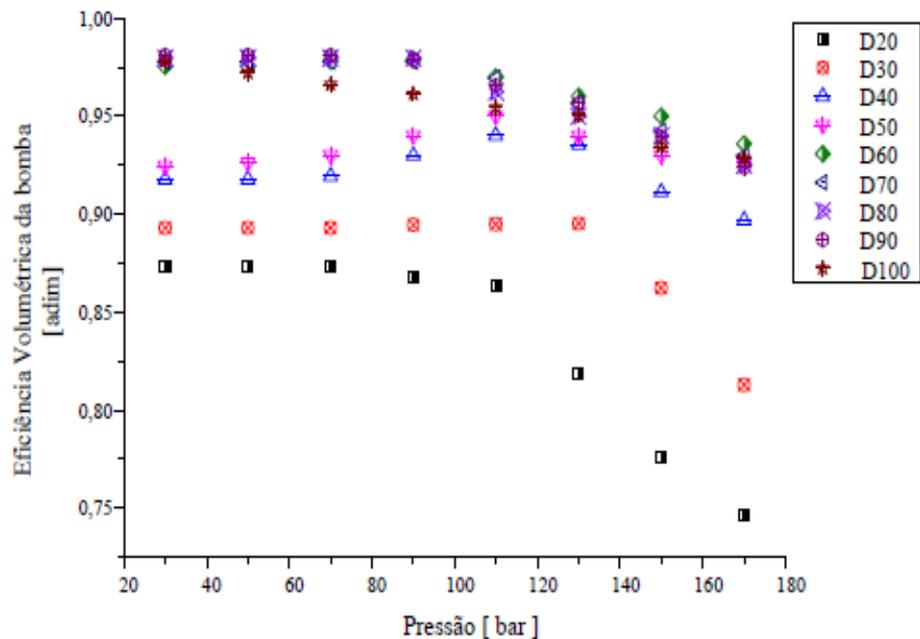
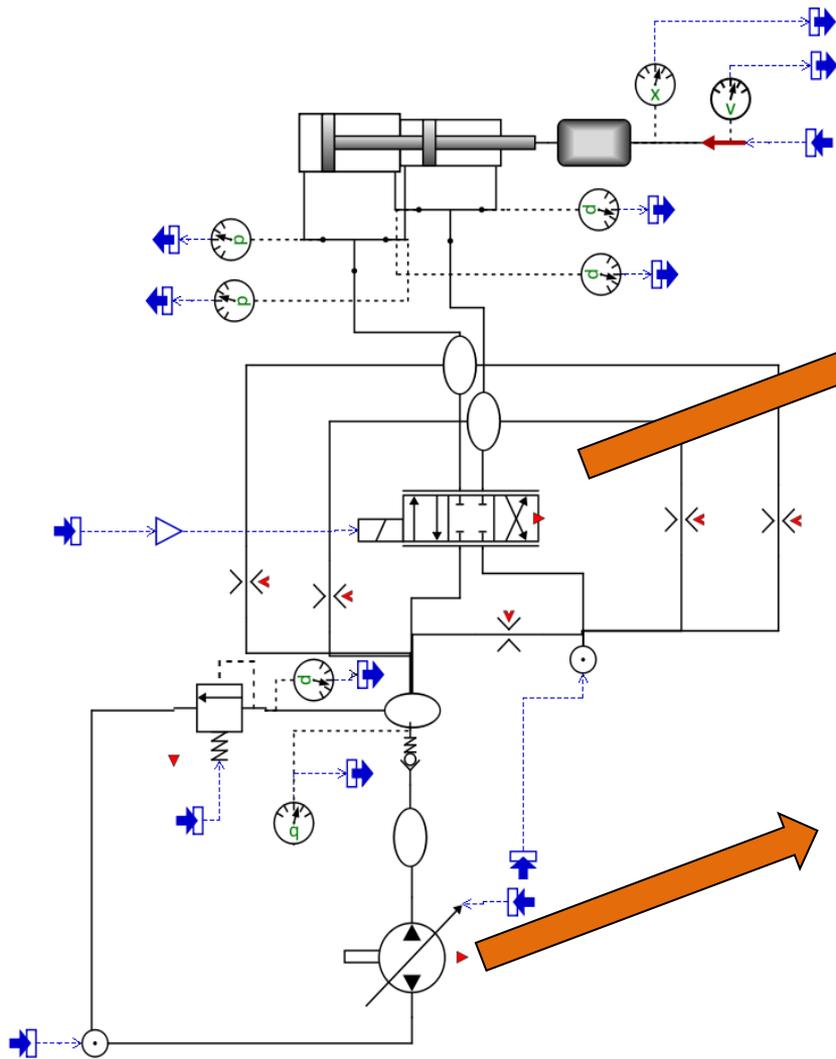


Elaborada pelo autor.

▪ Simulação utilizando Hopsan



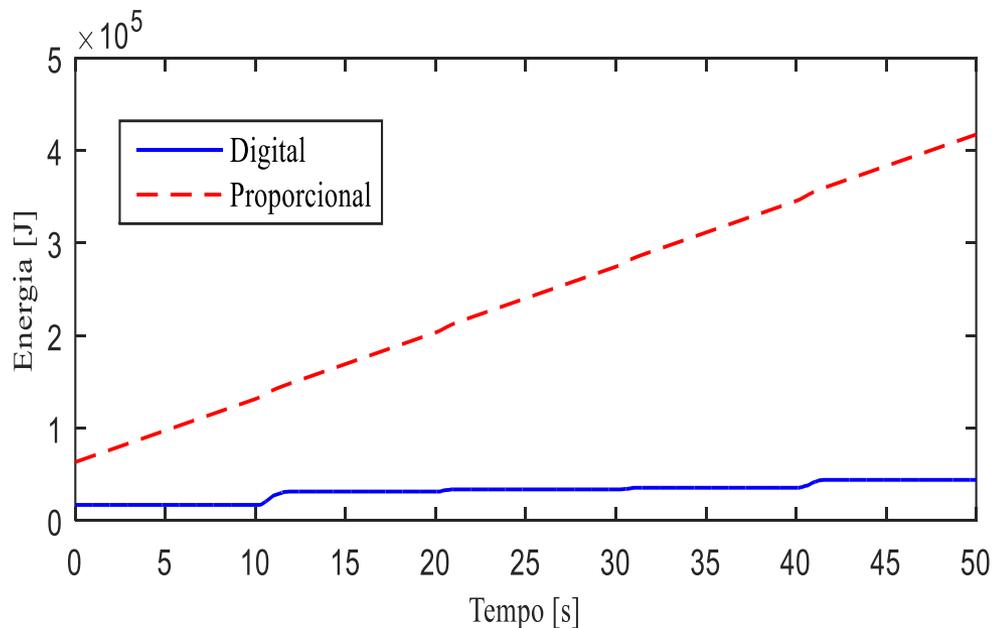
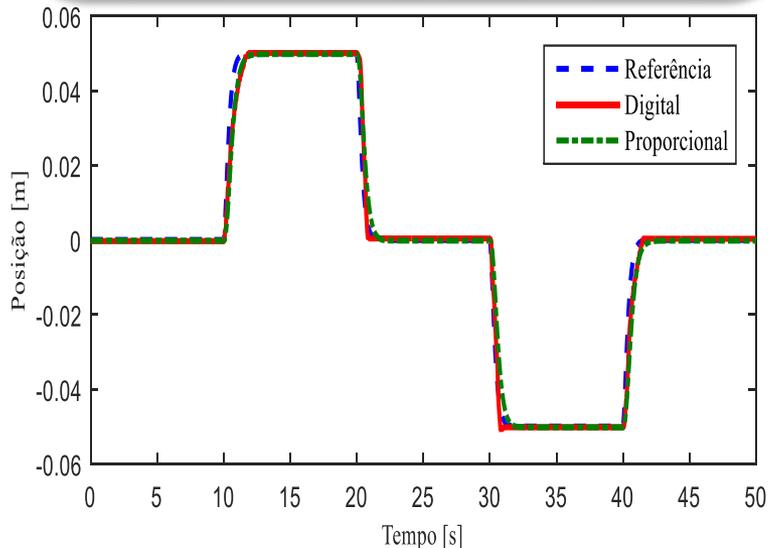
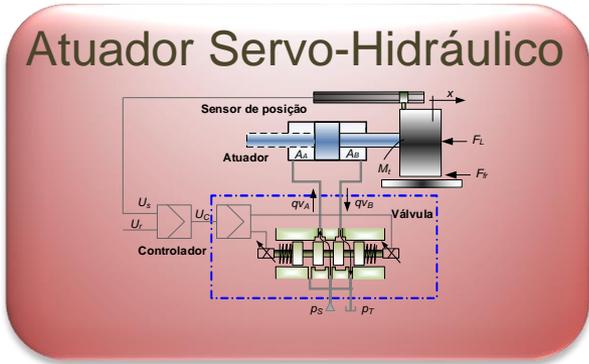
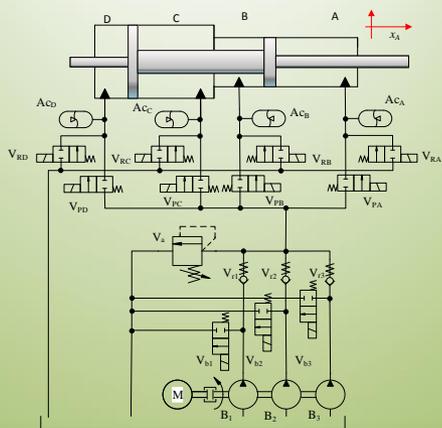
SHA com Bomba de deslocamento variável



Análise energética:

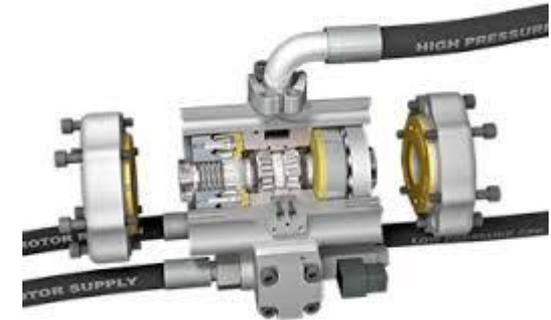
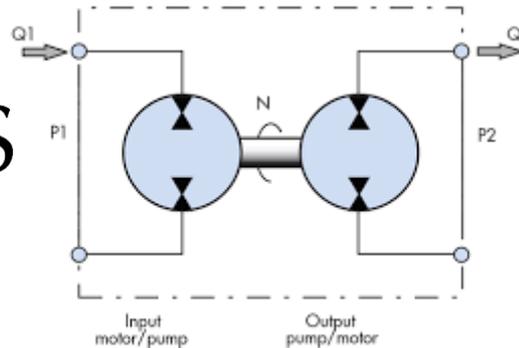
Atuador+Bomba Hidráulica Digital x

Atuador Servo-Hidráulico

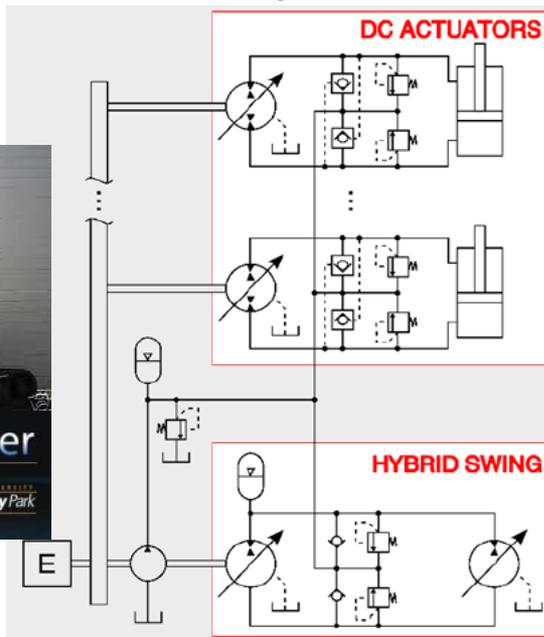


Transformadores hidráulicos

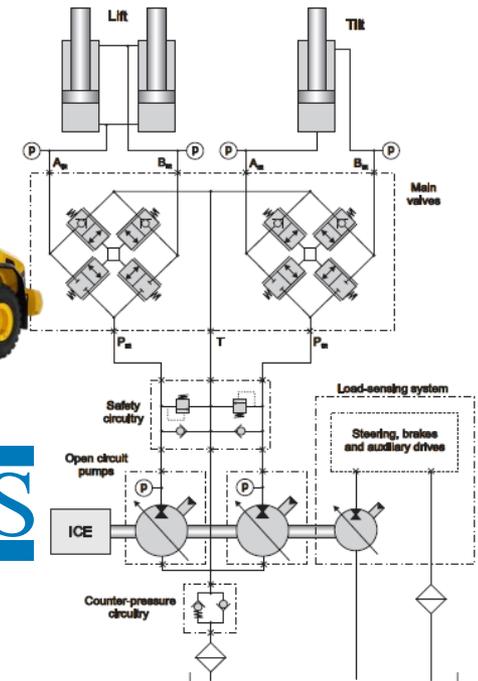
I N N A S



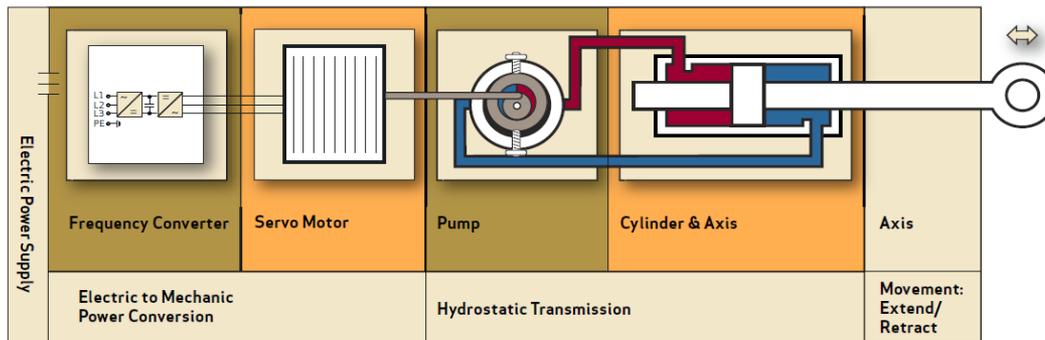
Atuador controlado por bomba dedicada



Fluida och Mekatroniska System
FluMeS
 Fluid and Mechatronic Systems



- Atuadores eletro-hidrostáticos (EHA)

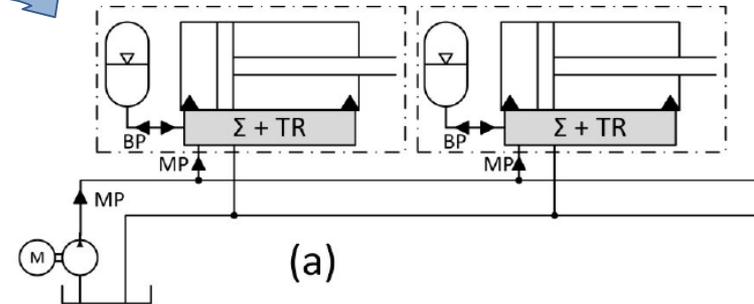


MOOG

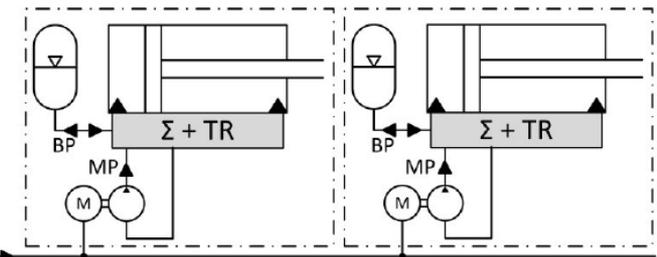
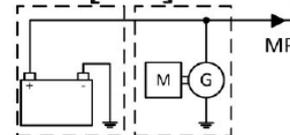
- Híbridos hidráulicos / eletro-hidráulicos



**TAMPERE
 UNIVERSITY OF
 TECHNOLOGY**



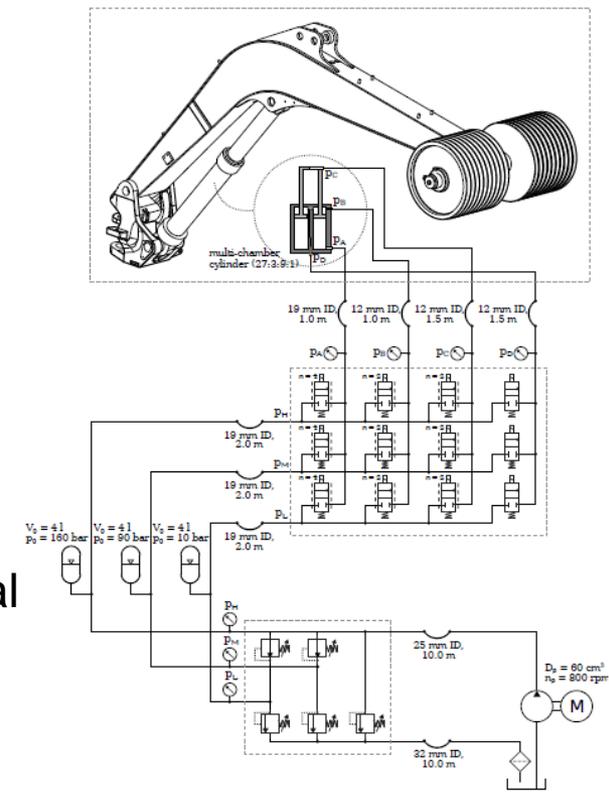
Alternatives



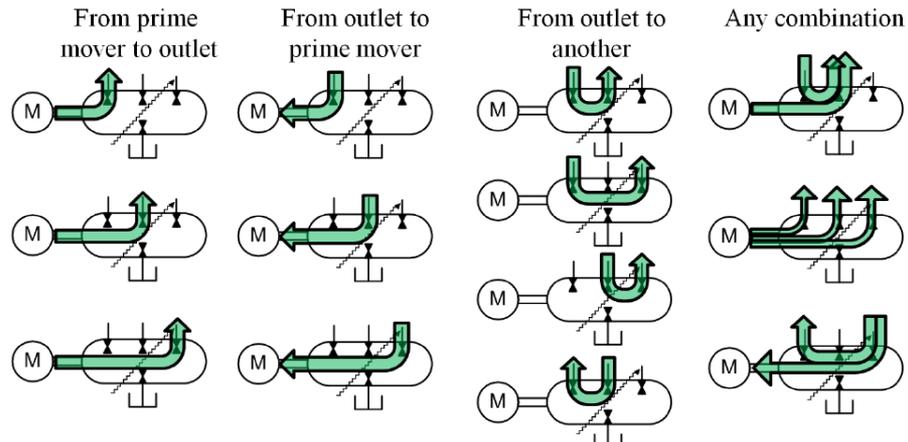
TR = Pressure – Force Transformation
 Σ = Power Summation

▪ Hidráulica digital:

- Diversas fontes de pressão + Cilindros multicâmaras:



- Sistema de gerenciamento de potência hidráulica digital



**TAMPERE
 UNIVERSITY OF
 TECHNOLOGY**



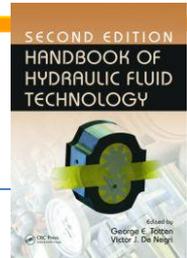
Livro: Fundamentos de Sistemas Hidráulicos

Autor: Irlan von Linsingen



Livro: Handbook on Hydraulic Fluid Technology

Autores: George Totten; Victor De Negri



Tese de doutorado: Sistemas de Atuação Hidráulicos Digitais para Aviões com Foco em Eficiência Energética

Autor: Henri Carlo Belan



Tese de doutorado: Sistema hidráulico-pneumático de frenagem regenerativa aplicado a veículos comerciais híbridos médios e pesados

Autor: Rafael R. da Silva Bravo



Exame de Qualificação: Unidade de Potência hidráulica digital para Aplicação em Aeronaves

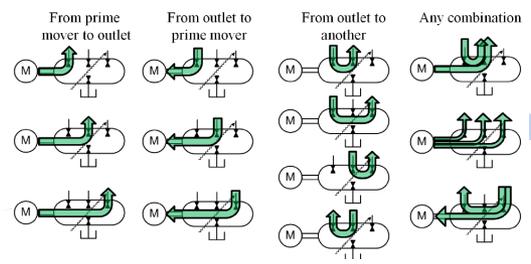
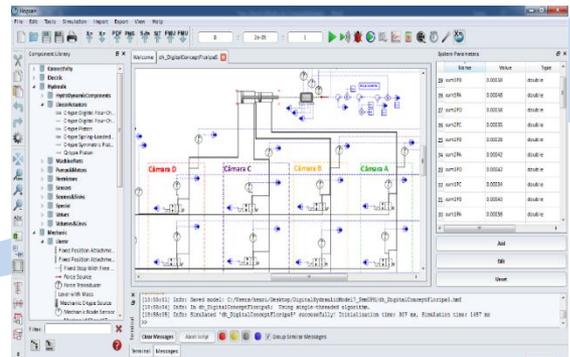
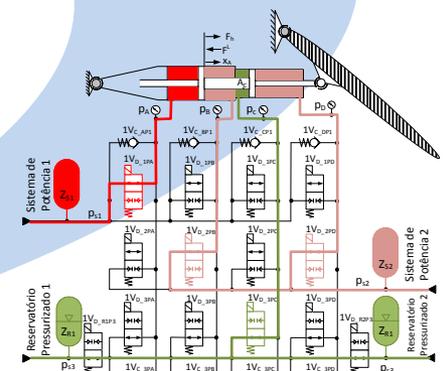
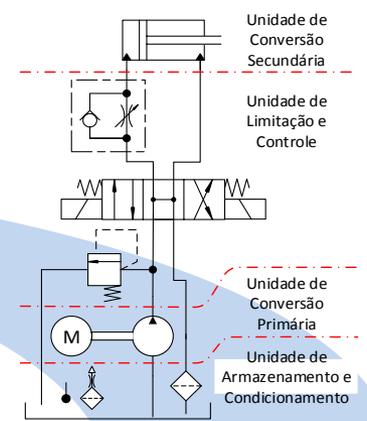
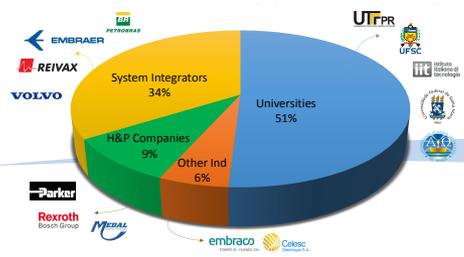
Autor: Marcos Paulo Nostrani



Dissertação de mestrado: Análise do sistema hidráulico digital para aviões com foco em eficiência energética

Autor: Diego Mise

Outcome



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Mecânica
Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

Equipamentos eficientes empregando hidráulica digital

Victor J. De Negri
victor.de.negri@ufsc.br
laship.ufsc.br

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
posmec.ufsc.br
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
emc.ufsc.br



