

SAA0187

Sistemas Aeronáuticos de Acionamento

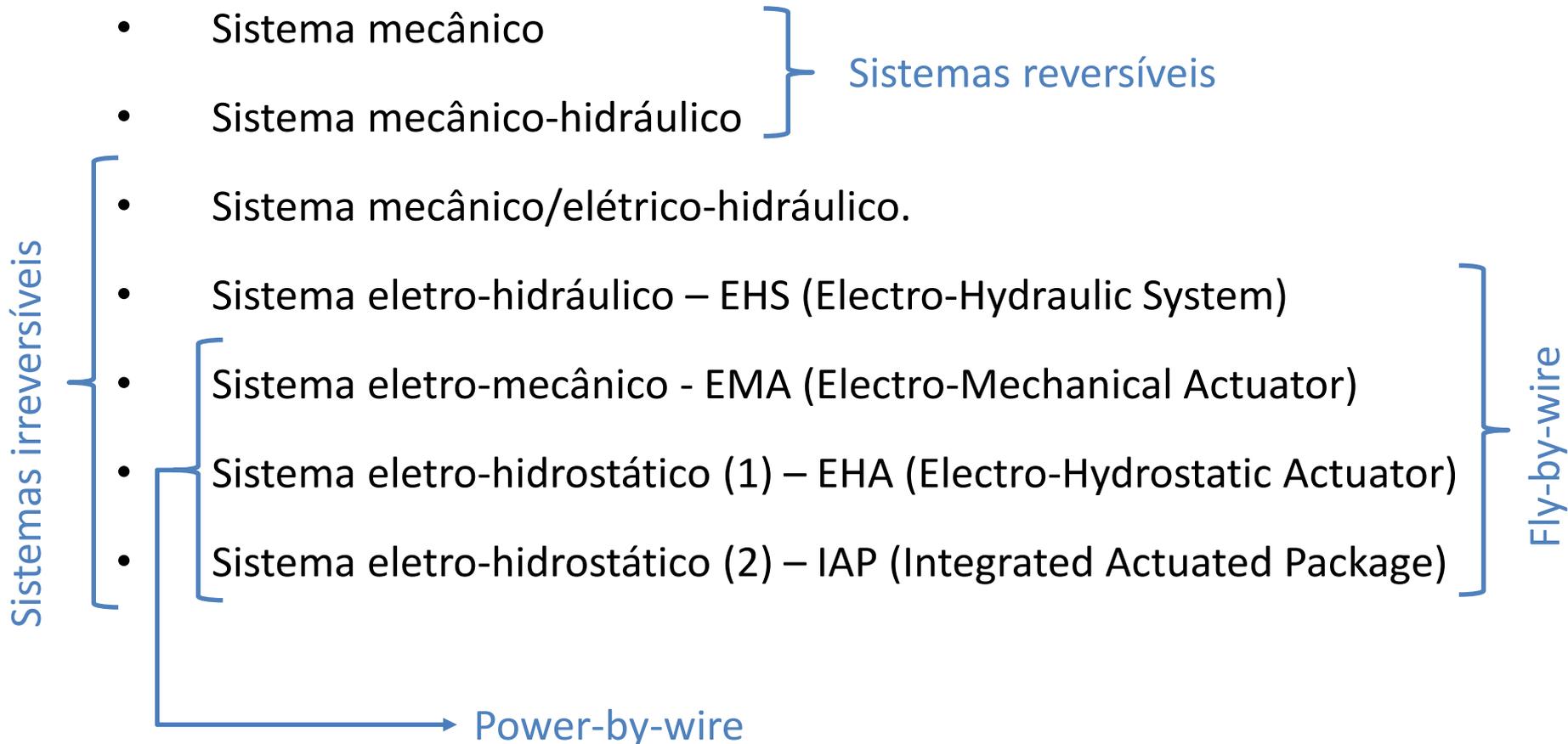
Sistemas com acionamento mecânico

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto
jhbidi@sc.usp.br

- **Classificação dos sistemas de comandos de voo**
- **Tipos de acionamento**
- **Acionamento em comandos de voo**
- **Elementos dos sistemas reversíveis**
- **Cinemática dos sistemas reversíveis**
- **Exemplos de sistemas reversíveis**
- **Requisitos de certificação**
- **Relações de transmissão**
- **Força de atuação nos comandos**

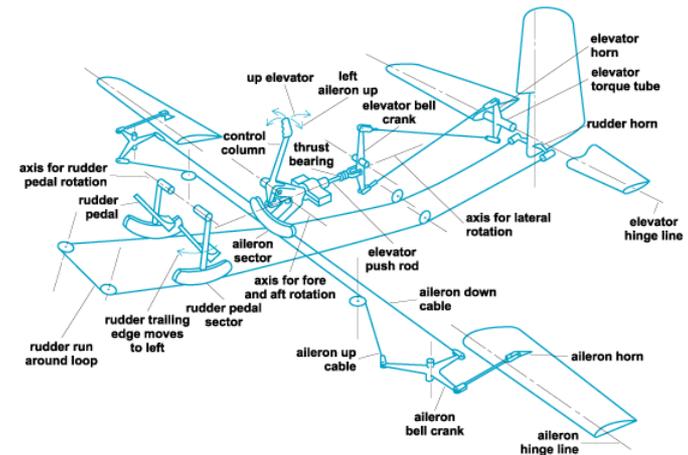
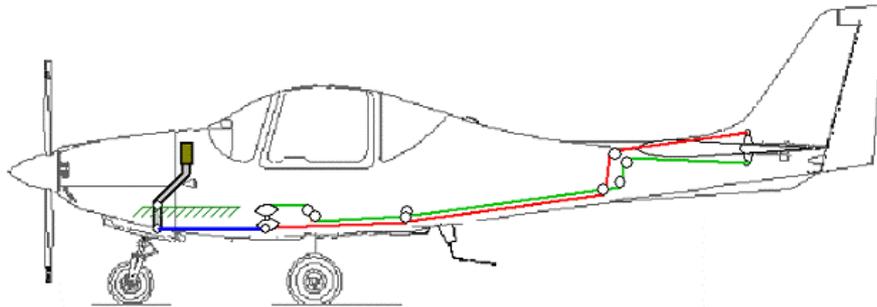
- **Classificação dos sistemas de comandos de voo**
- **Tipos de acionamento**
- **Acionamento em comandos de voo**
- **Elementos dos sistemas reversíveis**
- **Cinemática dos sistemas reversíveis**
- **Exemplos de sistemas reversíveis**
- **Requisitos de certificação**
- **Relações de transmissão**
- **Força de atuação nos comandos**

Diversas configurações e graus de complexidade:

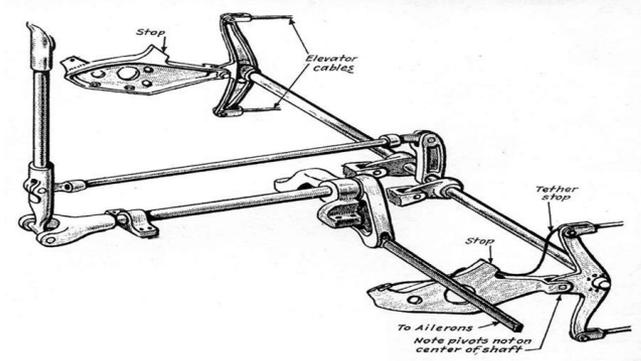
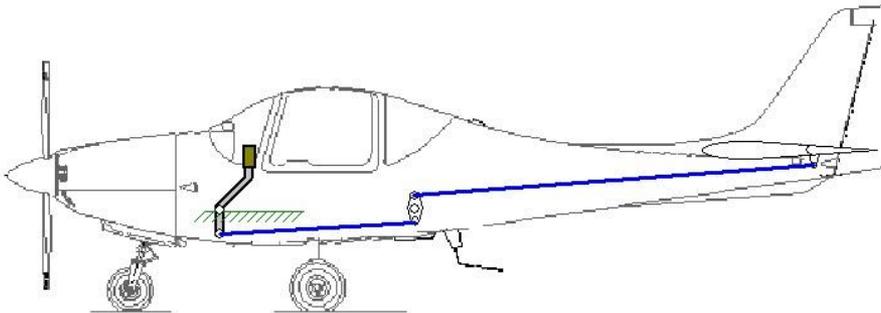


- **Sistema reversíveis**
- Sistemas Reversíveis são sistemas em que as superfícies de comando estão conectadas fisicamente com a cabine de comando
- O movimento ocorre em ambos sentidos, ou seja, se os comandos são acionados as superfícies de controle se movimentam e o oposto também é válido (se a superfície de controle é movimentada os comandos se movimentam na cabine)

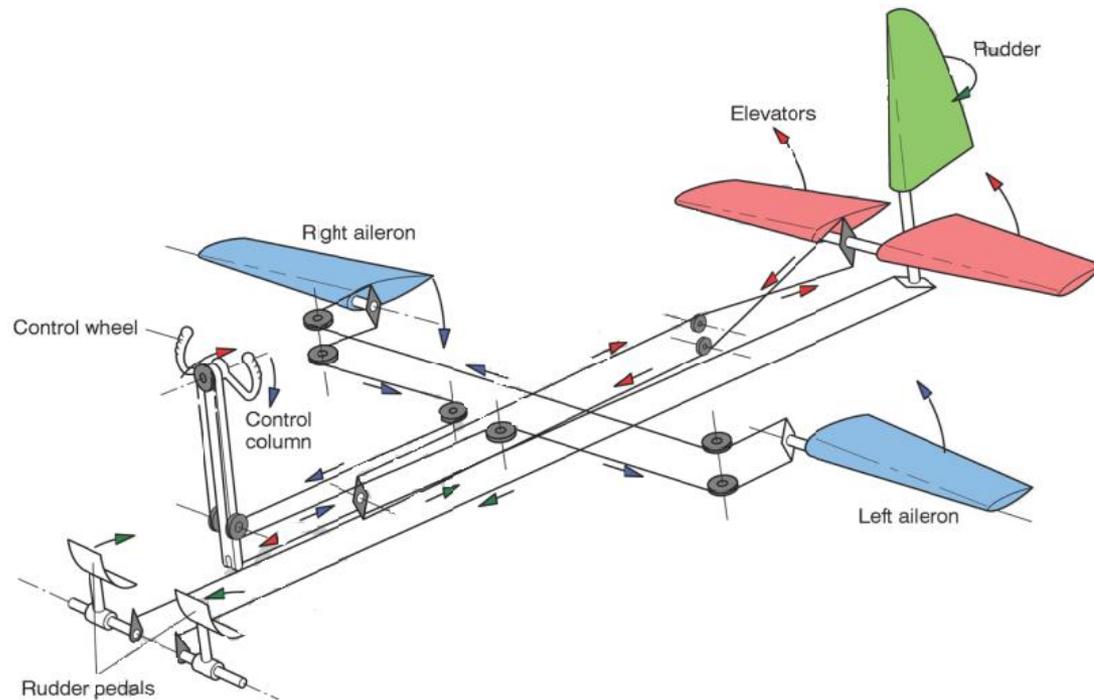
- Sistema reversíveis
- Podem ser por cabos e polias



- Ou eixos e hastes

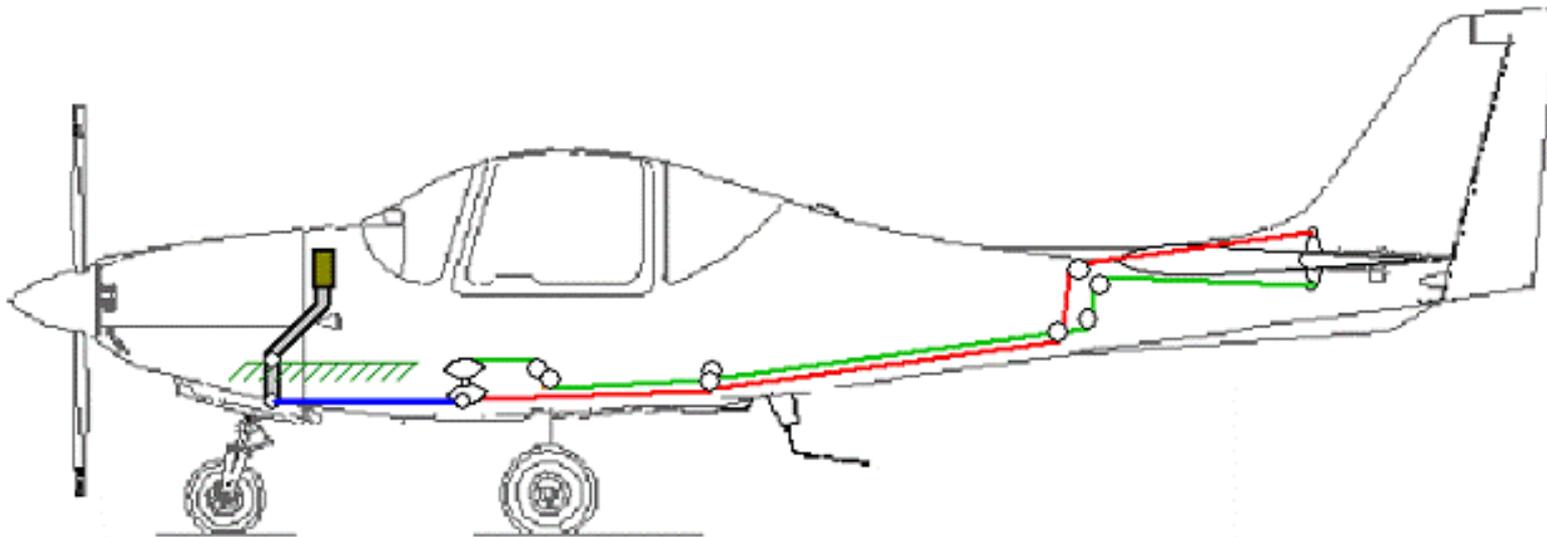


- Acionamento por cabos e polias

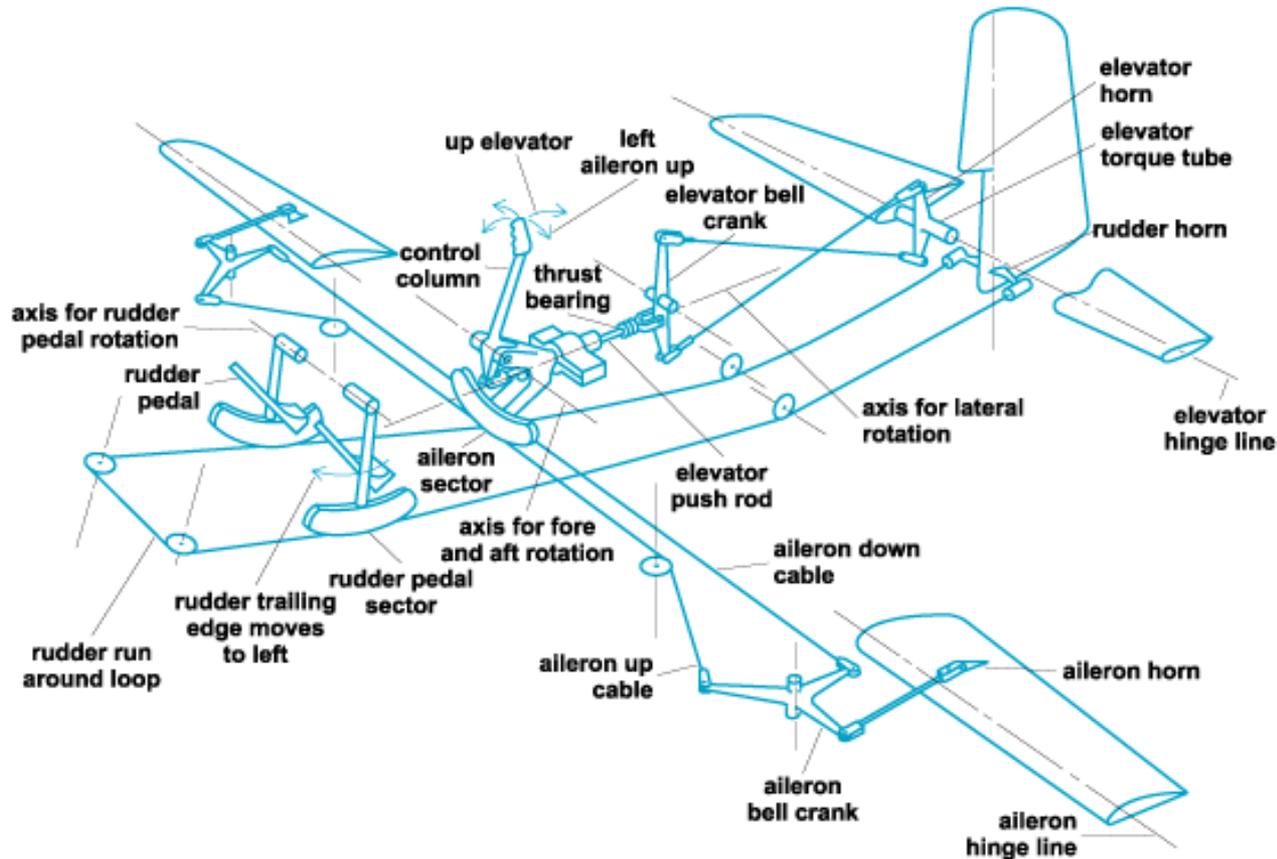


- Classificação dos sistemas de comandos de voo
- **Tipos de acionamento**
- Acionamento em comandos de voo
- Elementos dos sistemas reversíveis
- Cinemática dos sistemas reversíveis
- Exemplos de sistemas reversíveis
- Requisitos de certificação
- Relações de transmissão
- Força de atuação nos comandos

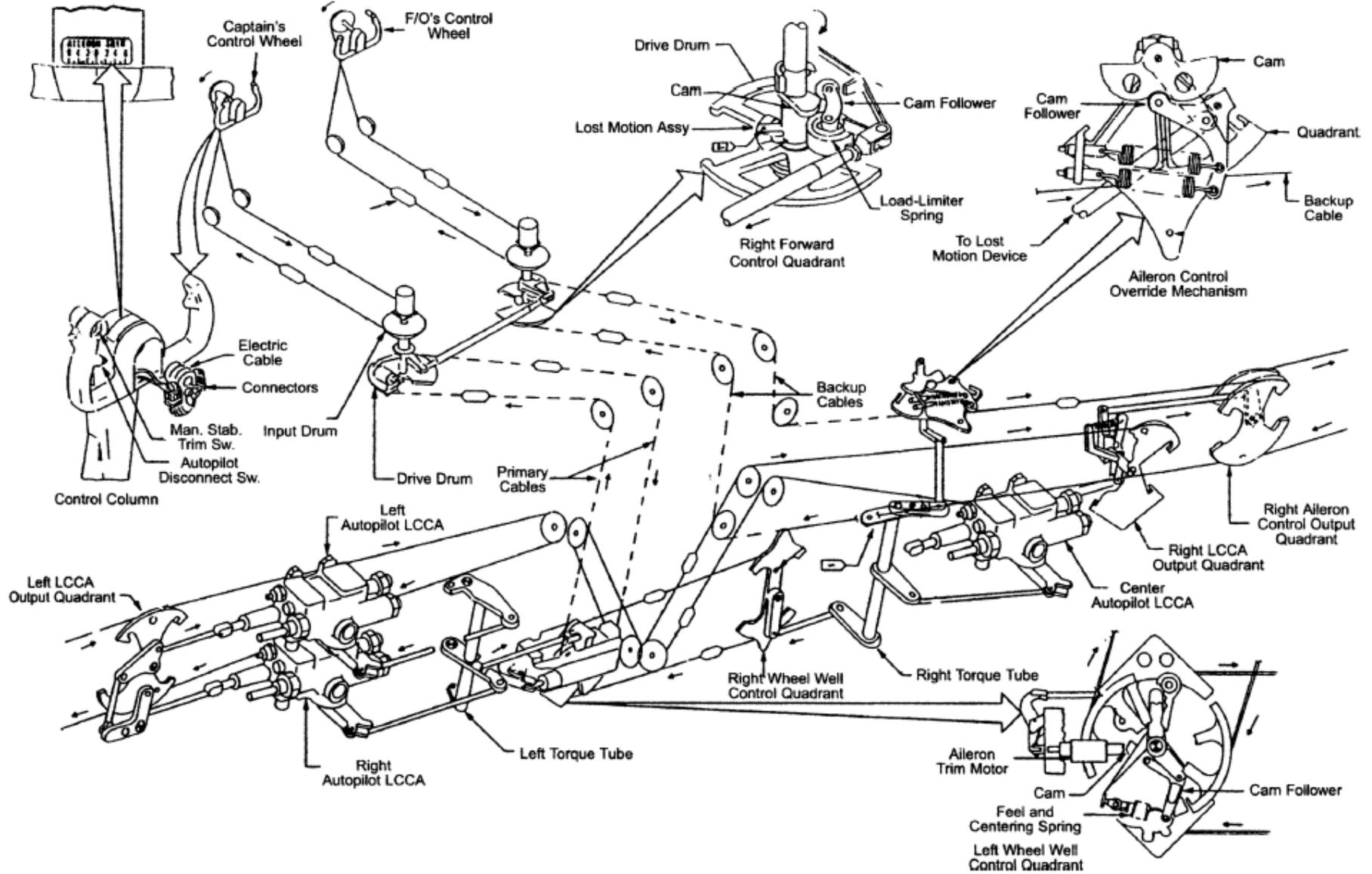
- **Acionamento por cabos e polias**



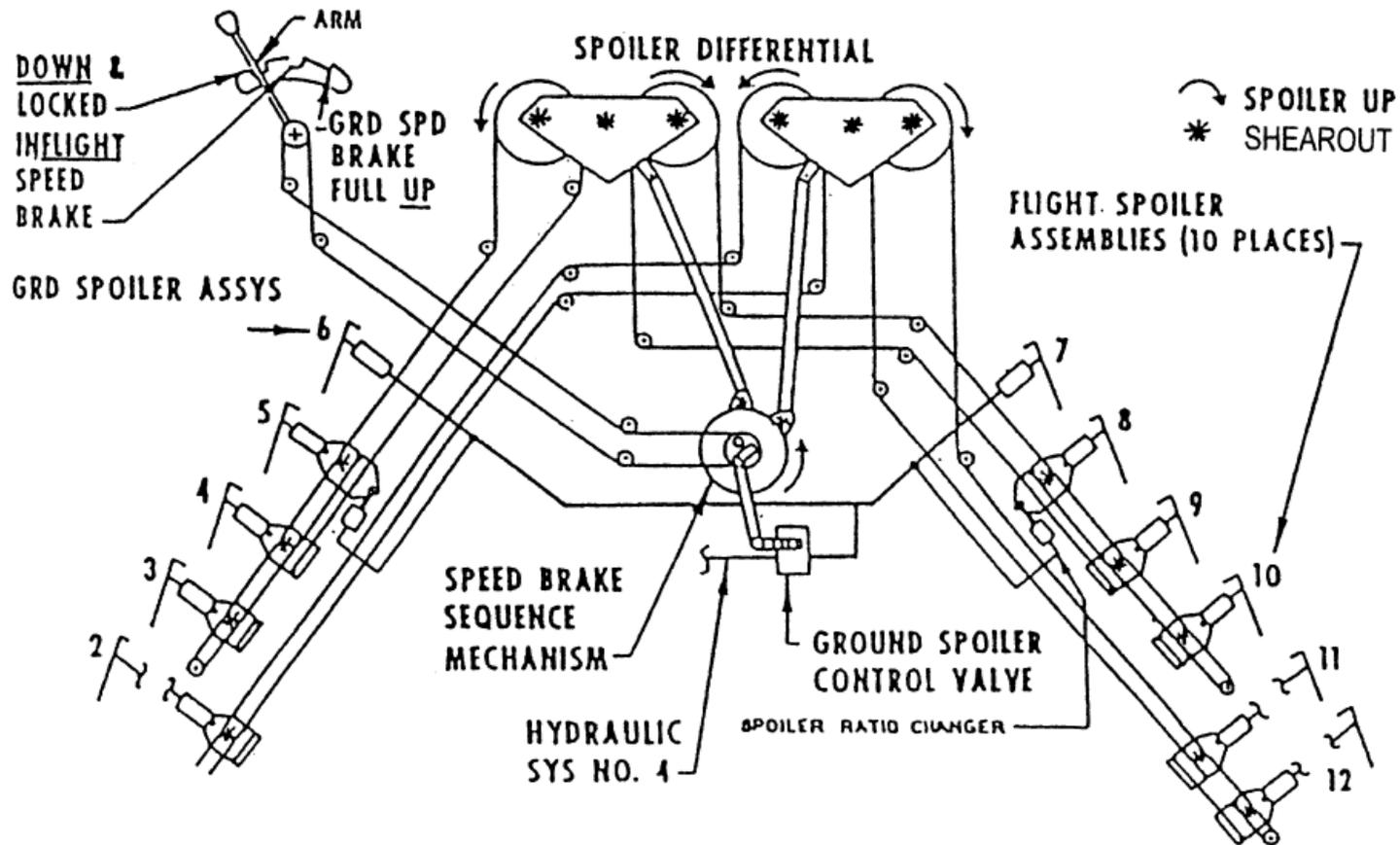
- Acionamento por cabos e polias



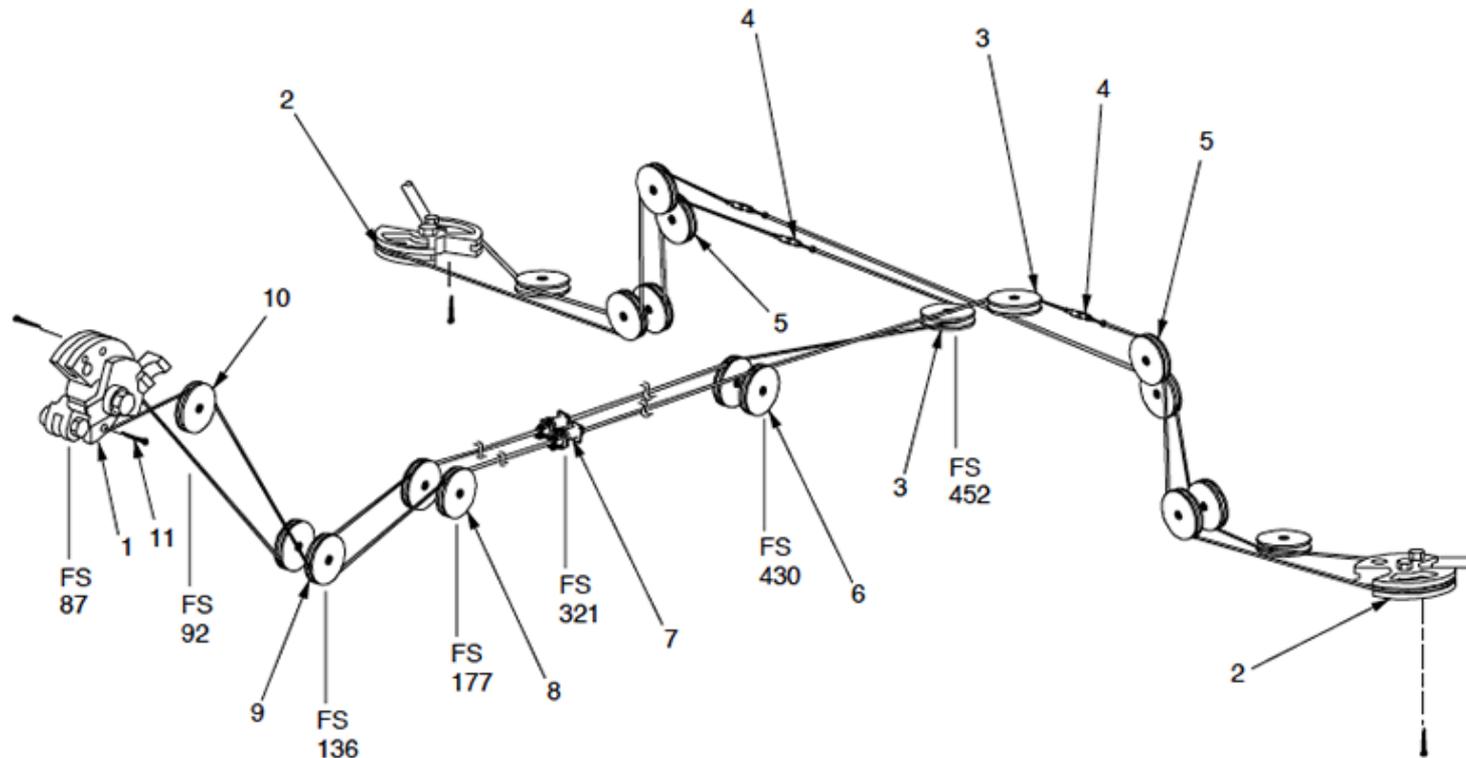
Tipos de acionamento



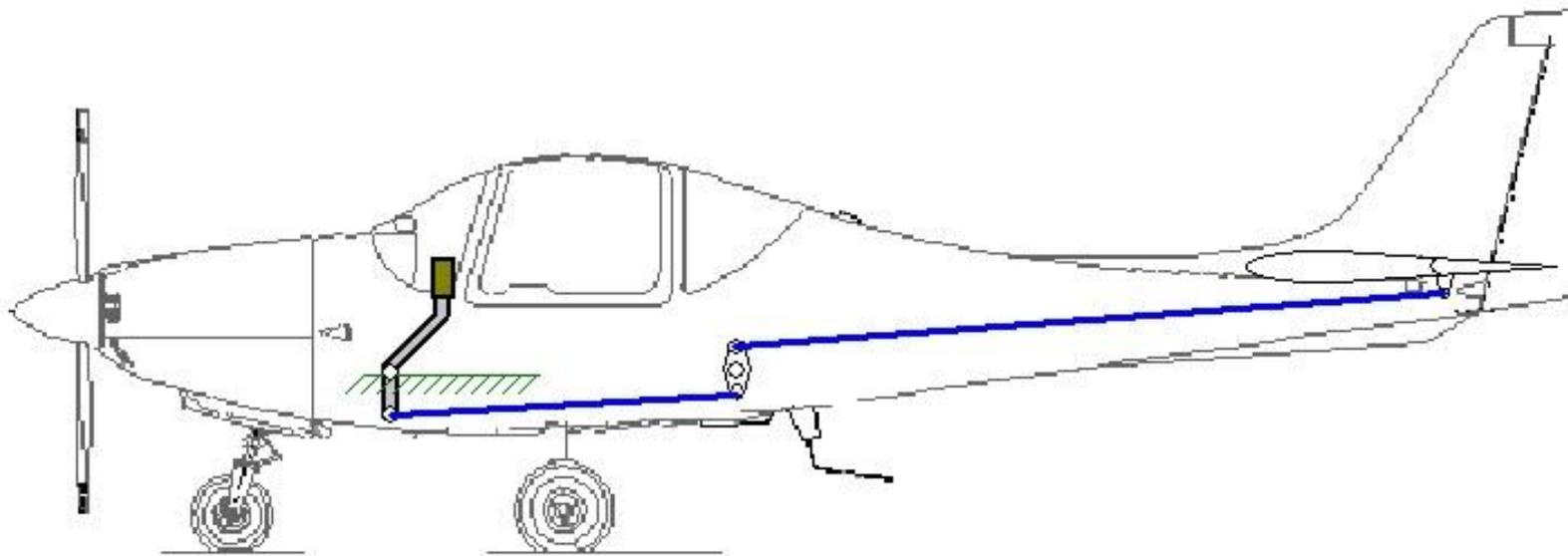
- **Acionamento por cabos e polias**



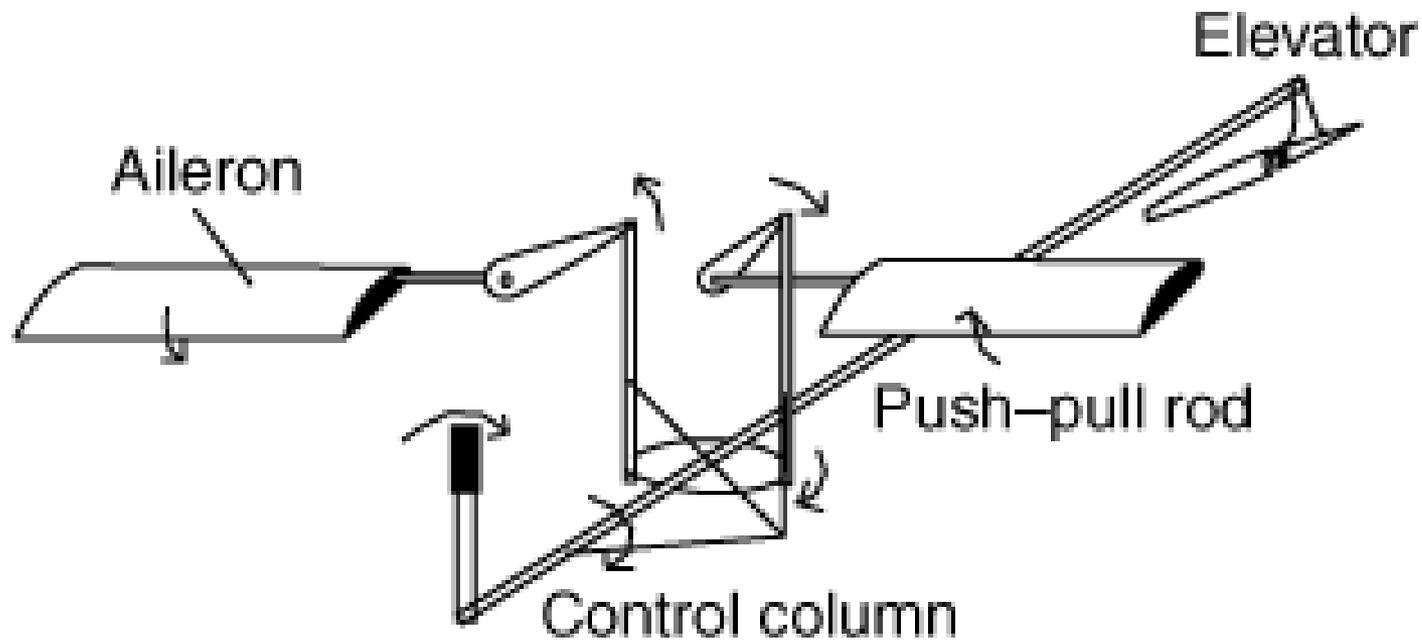
- Acionamento por cabos e polias



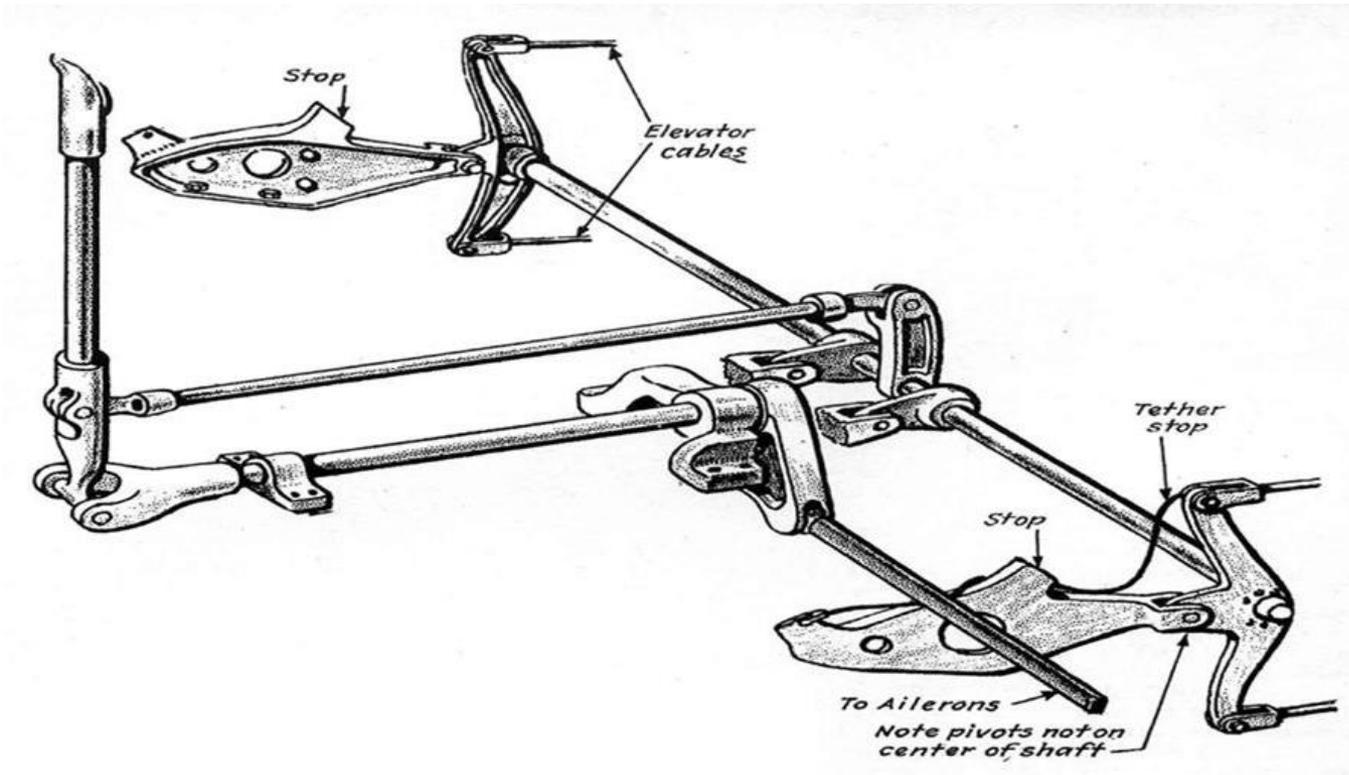
- **Acionamento por eixos e hastes (push-pull control rod)**



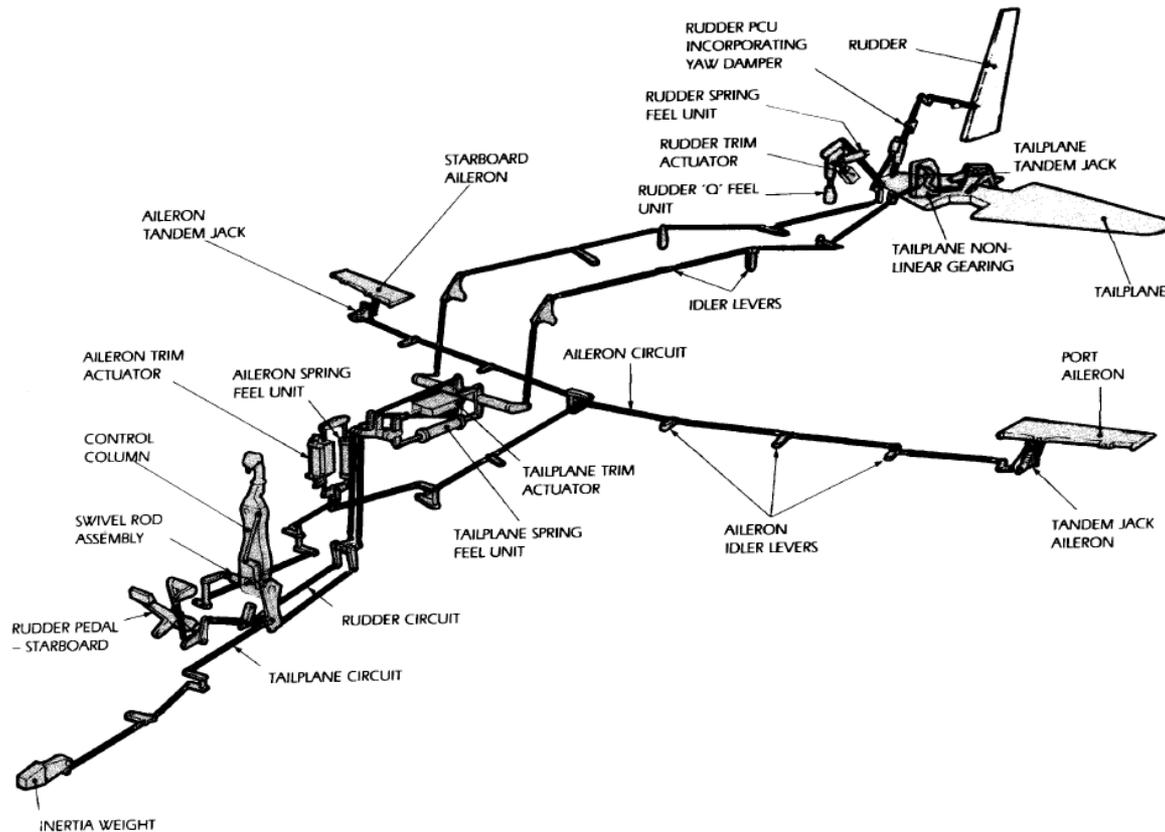
- Acionamento por eixos e hastes (push-pull control rod)



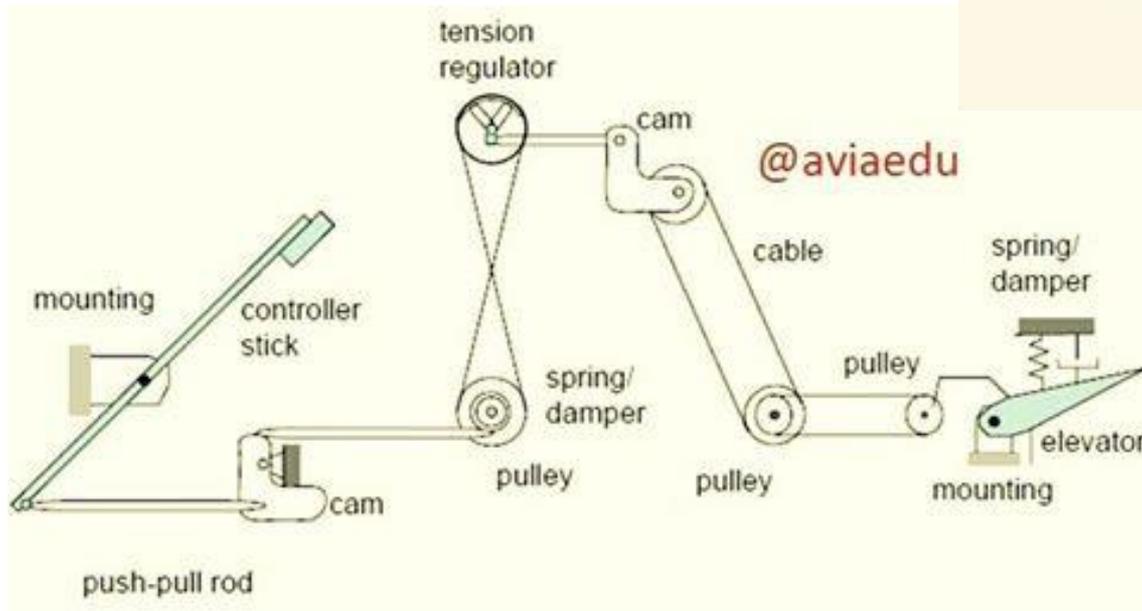
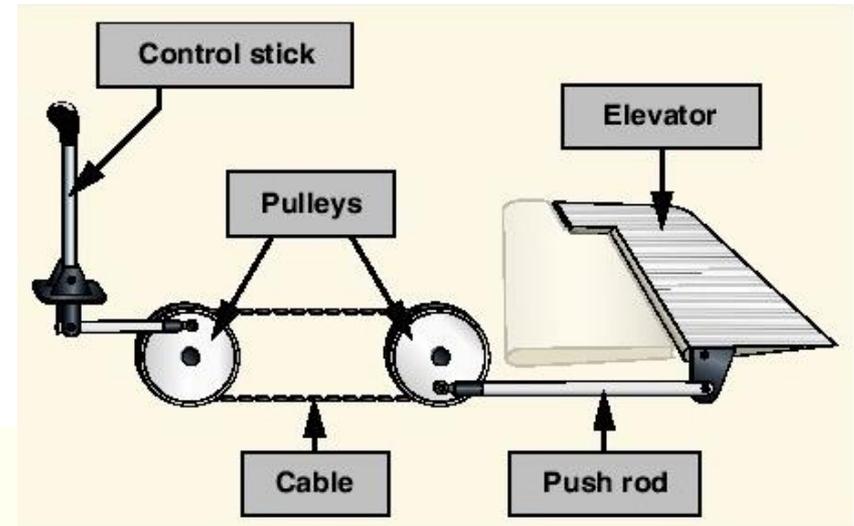
- Acionamento por eixos e hastes (push-pull control rod)



- Acionamento por eixos e hastes (push-pull control rod)

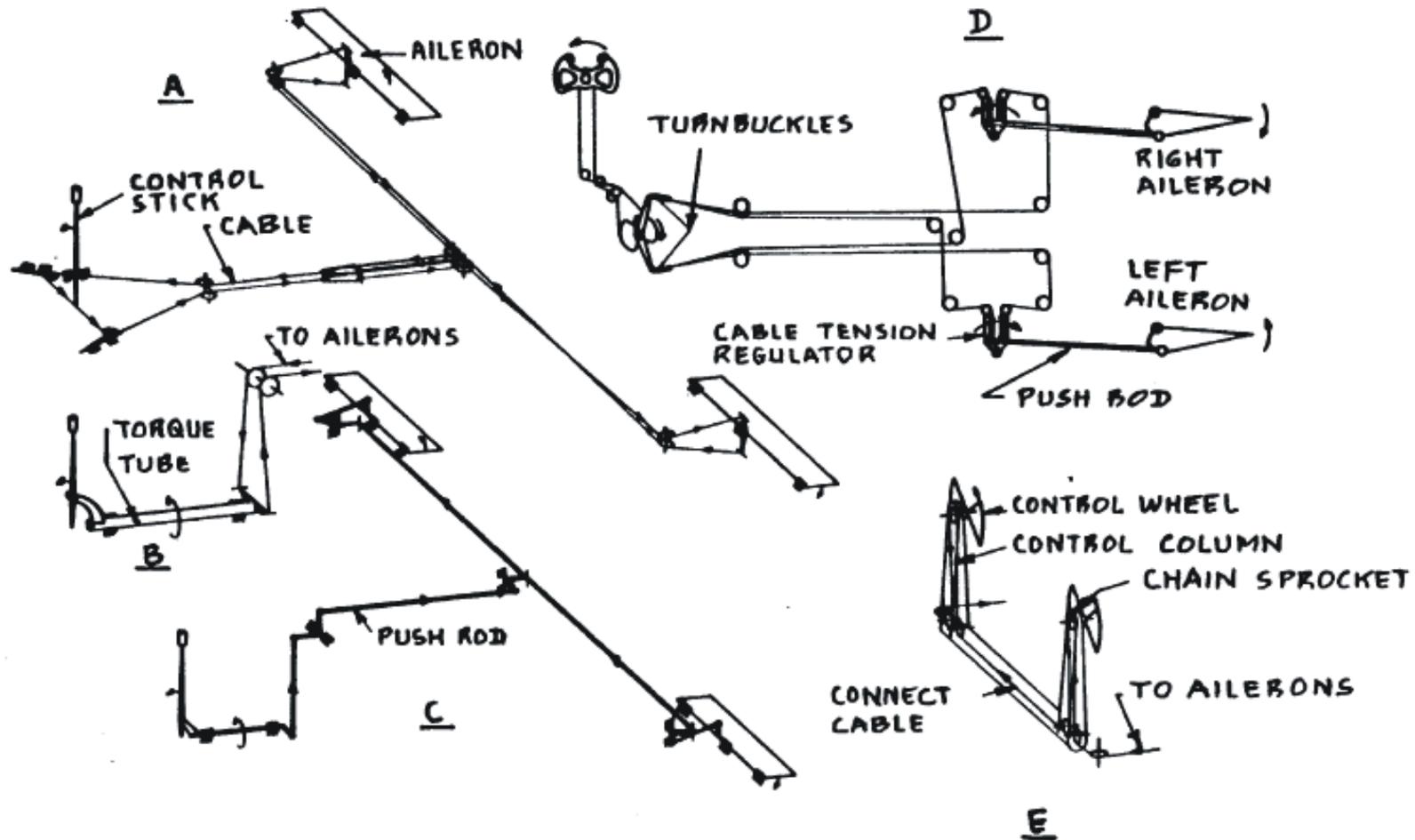


- **Acionamento híbrido**

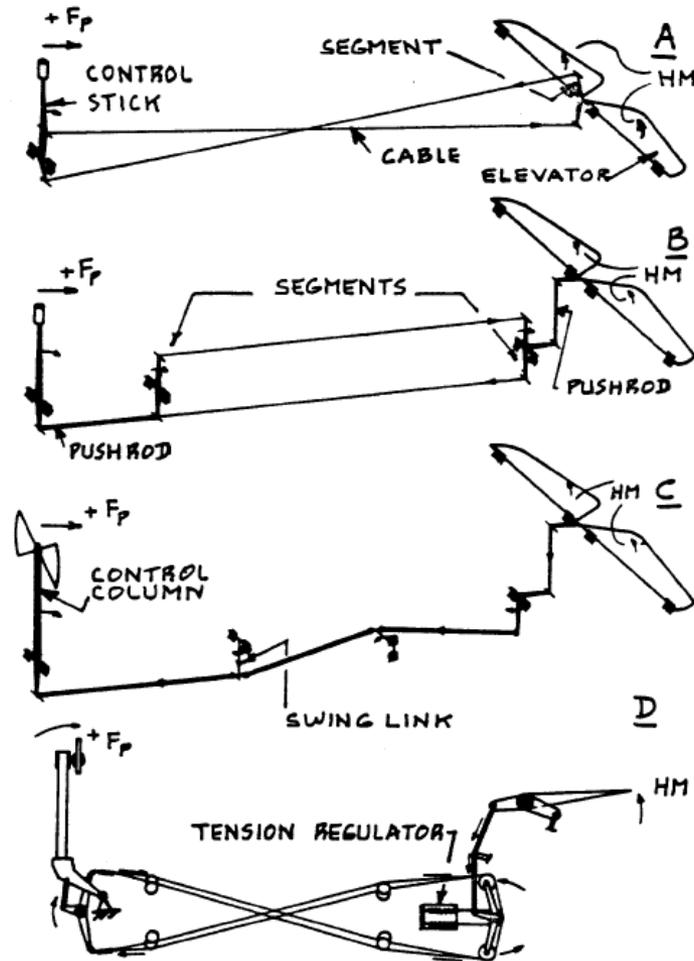


- Classificação dos sistemas de comandos de voo
- Tipos de acionamento
- **Acionamento em comandos de voo**
- Elementos dos sistemas reversíveis
- Cinemática dos sistemas reversíveis
- Exemplos de sistemas reversíveis
- Requisitos de certificação
- Relações de transmissão
- Força de atuação nos comandos

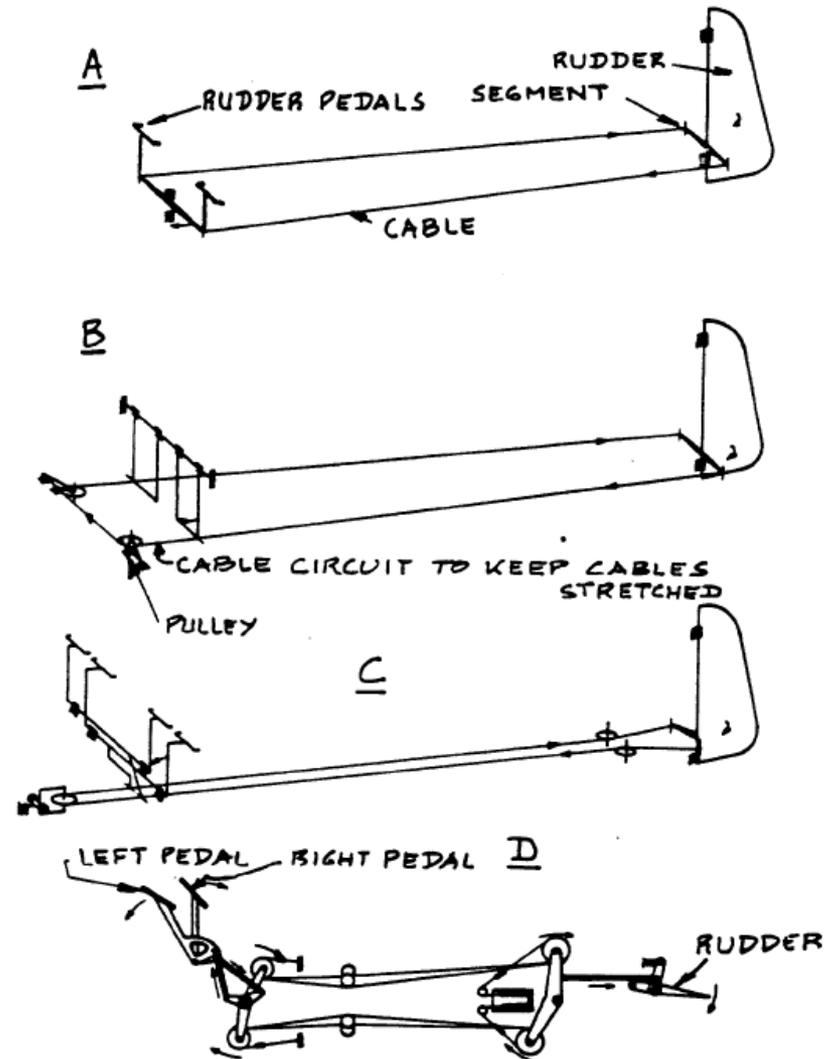
- Acionamento de aileron



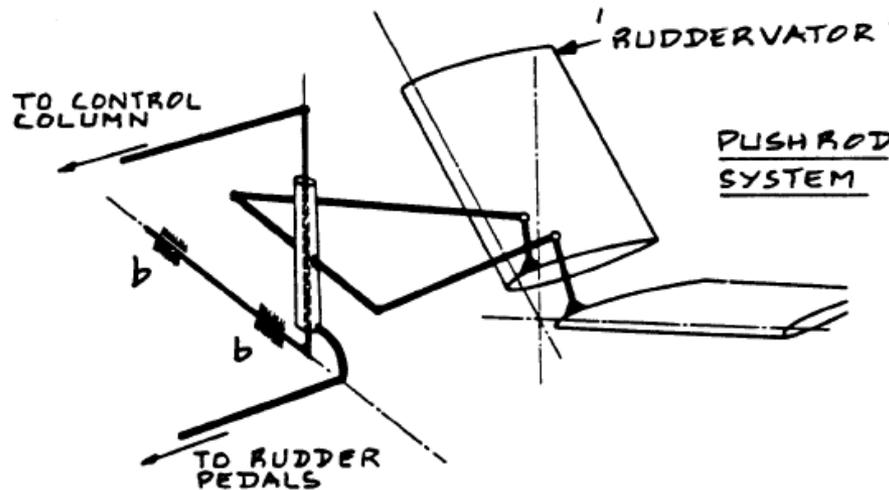
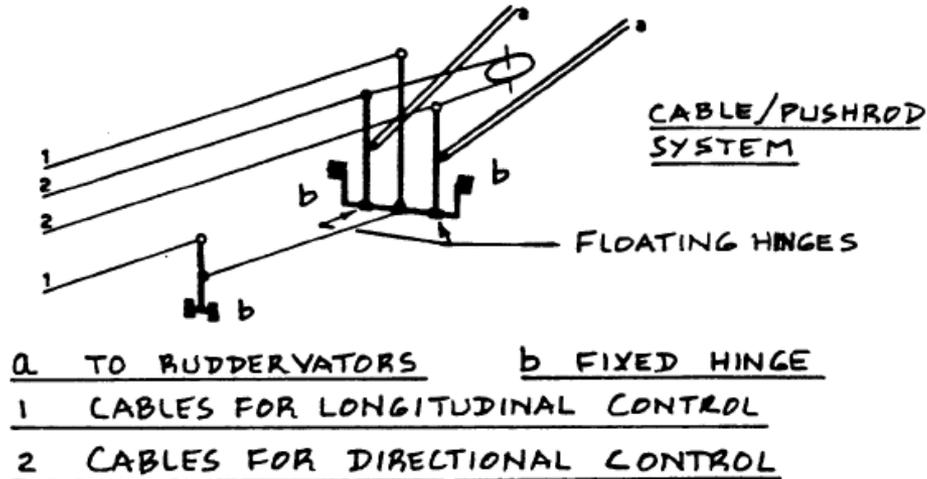
- Acionamento de profundor



- Acionamento de leme

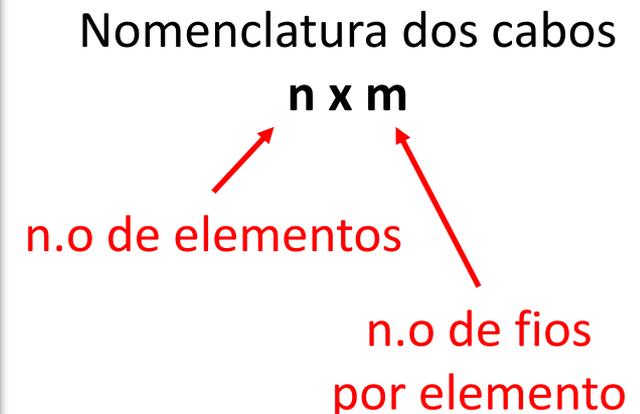
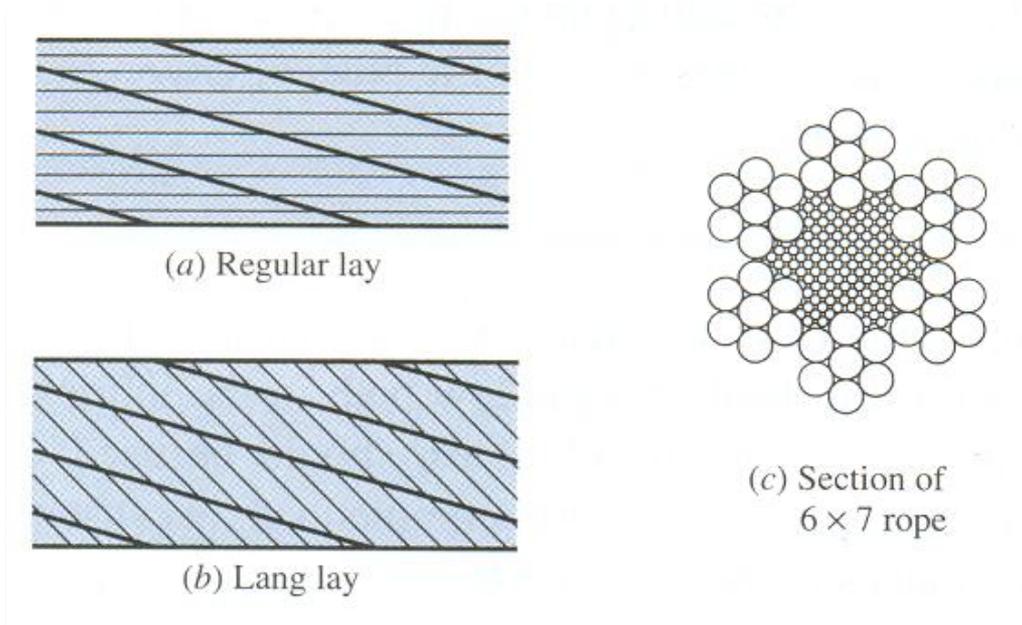


- Acionamento de sistemas não-convencionais (longitudinal e direcional)



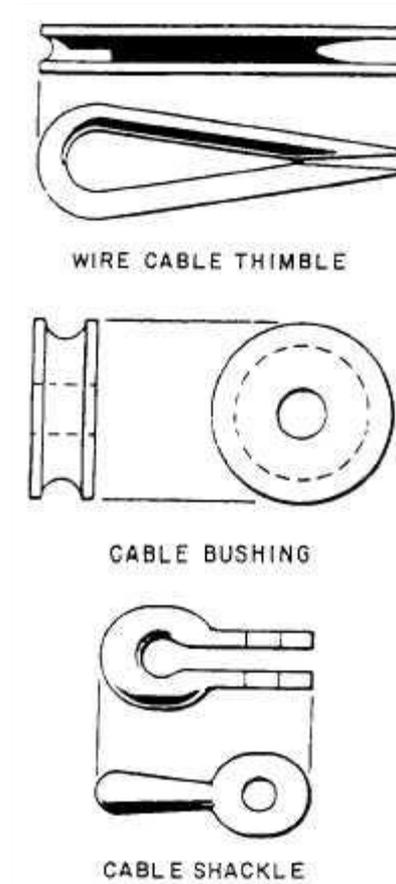
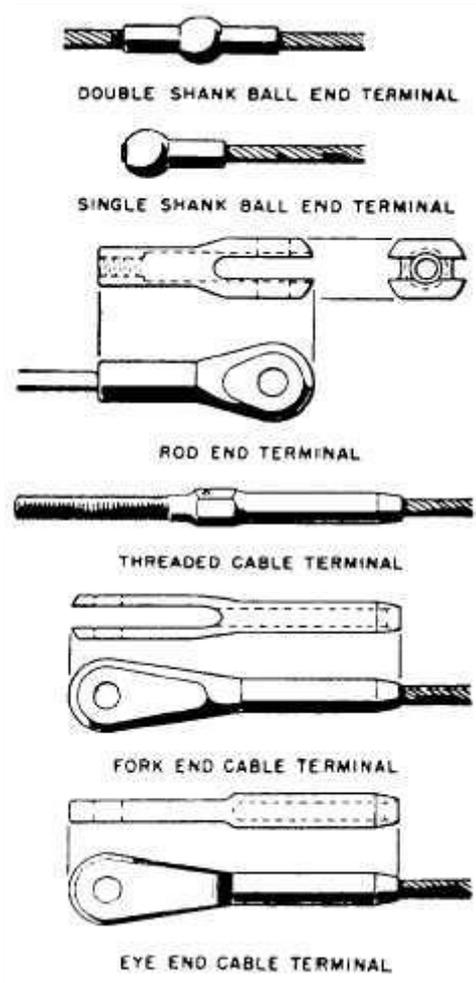
- Classificação dos sistemas de comandos de voo
- Tipos de acionamento
- Acionamento em comandos de voo
- **Elementos dos sistemas reversíveis**
- Cinemática dos sistemas reversíveis
- Exemplos de sistemas reversíveis
- Requisitos de certificação
- Relações de transmissão
- Força de atuação nos comandos

- **Cabos**
- Diferentes tipos de cabos podem ser utilizados, variando o número de elementos e também a forma com que os elementos individuais são fabricados e compostos para a formação do cabo.

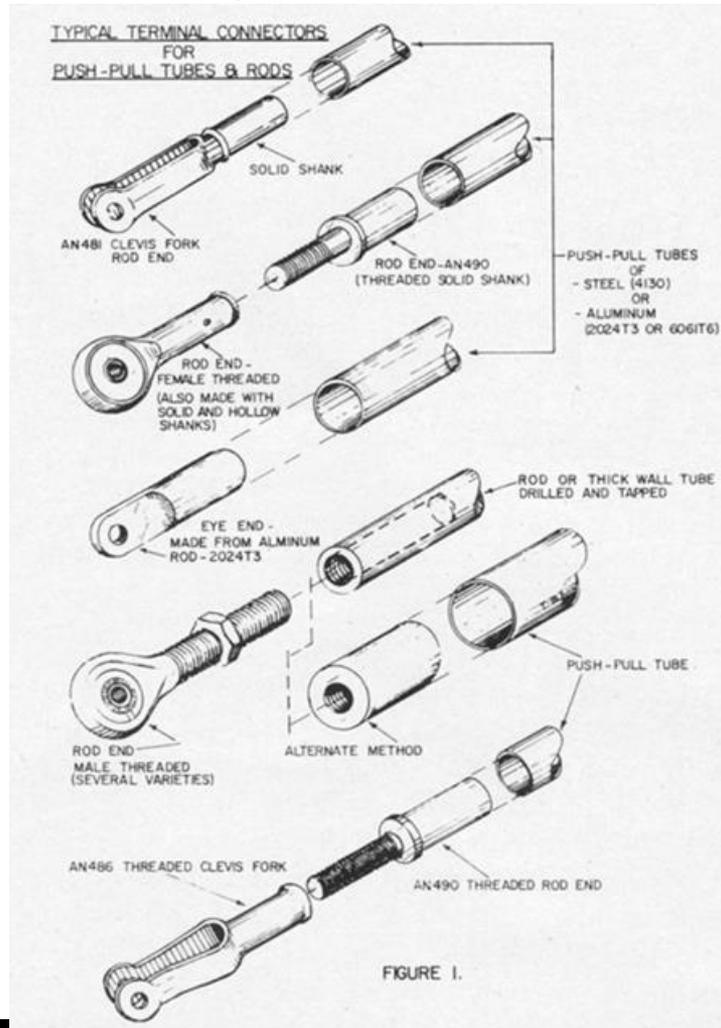


FAR: No cable smaller than 1/8 inch diameter may be used in primary control systems

- Encaixes e terminais para cabos

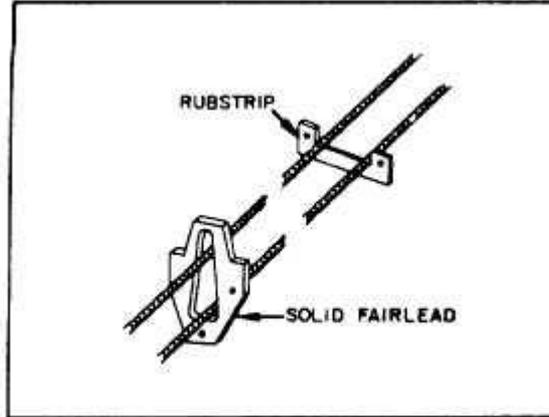
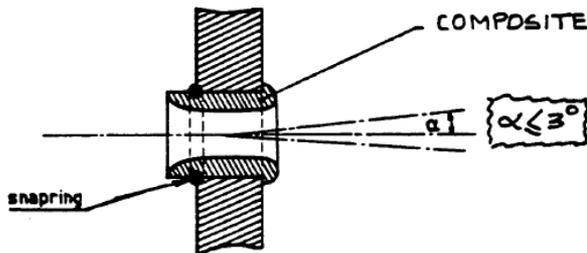


- Encaixes e terminais para hastes

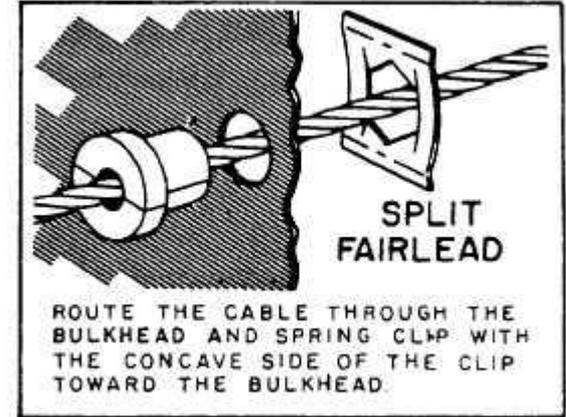


• Guias

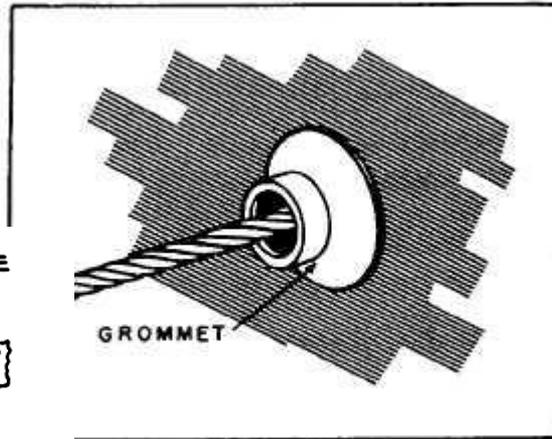
- Posicionam o elemento de transmissão e evita danos quando é passado através da estrutura



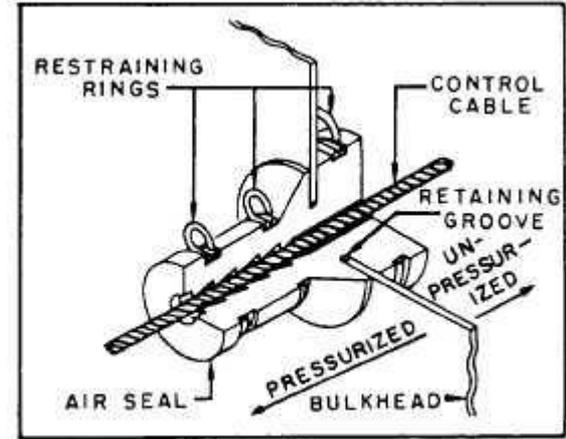
A



B



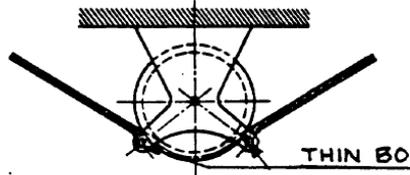
C



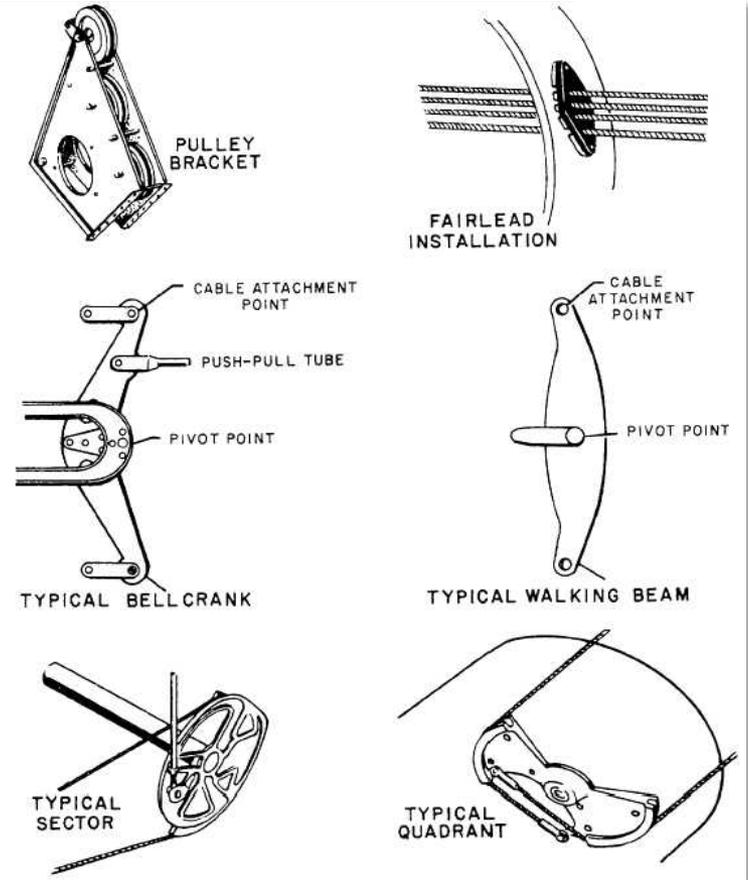
D

FAR: Fairleads must be installed so that they do not cause a change in cable direction of more than three degrees.

- Polias e guinhóis



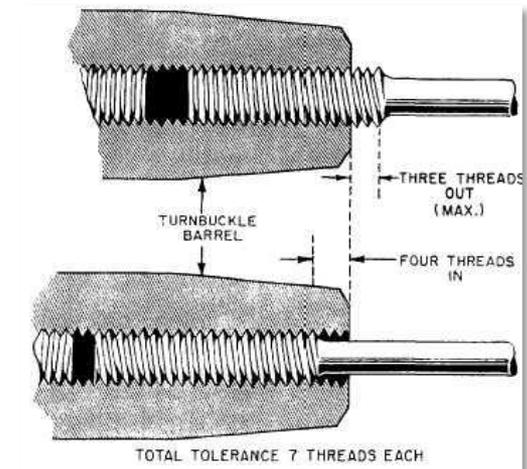
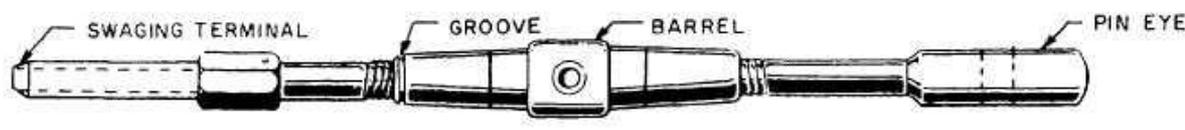
- Polias são utilizadas (no plano do cabo) para modificar a direção do circuito de acionamento e guinhóis utilizados ao longo do circuito ou na região das superfícies de controle



FAR: Each kind and size of pulley must correspond to the cable with which it is used. Each pulley must have closely fitted guards to prevent the cables from being misplaced or fouled, even when slack. Each pulley must lie in the plane passing through the cable so that the cable does not rub against the pulley flange.

- **Esticadores**

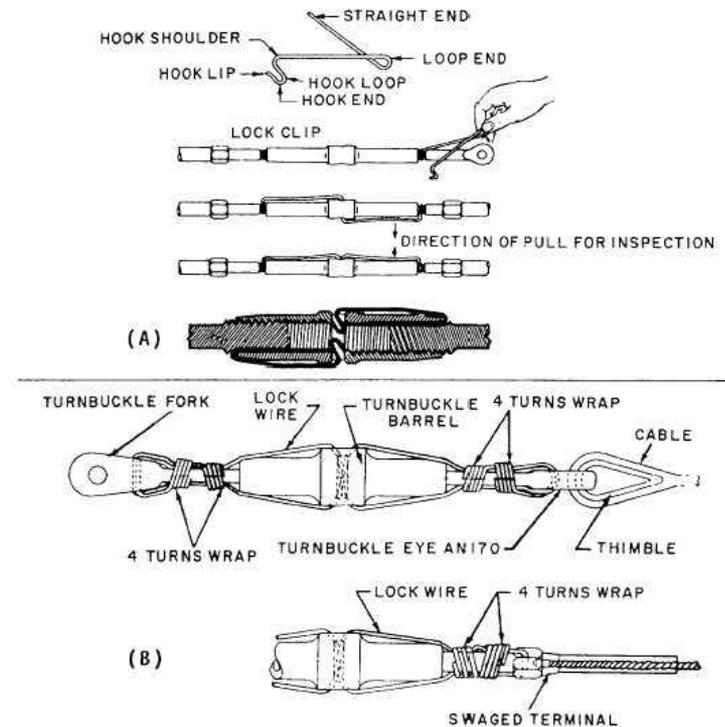
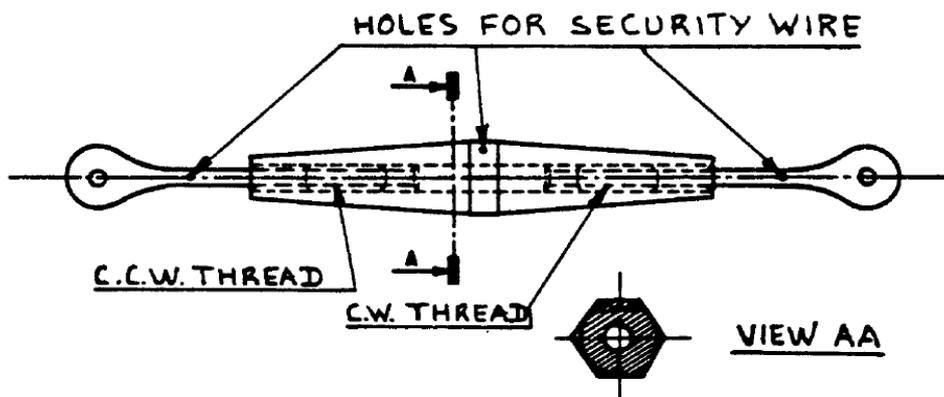
- Esticadores devem ser utilizados ao longo do circuito, mantendo a tensão necessária nos cabos (evitando folgas) no momento da montagem.



FAR: Turnbuckles must be attached to parts having angular motion in a manner that will positively prevent binding throughout the range of travel.

- Esticadores

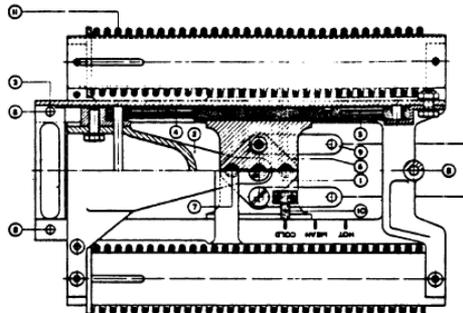
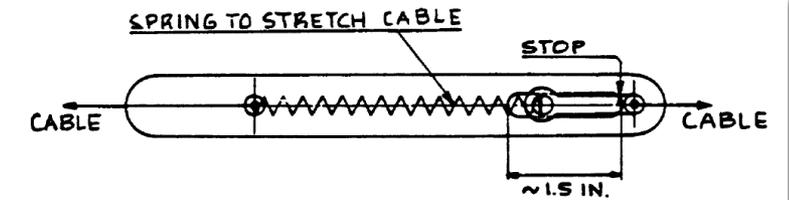
Esticadores devem ser utilizados ao longo do circuito, mantendo a tensão necessária nos cabos (evitando folgas) no momento da montagem.



FAR: Turnbuckles must be attached to parts having angular motion in a manner that will positively prevent binding throughout the range of travel.

• Esticadores

- Alguns esticadores possuem molas para manter a tensão necessária nos cabos (evitando folgas) durante a operação.

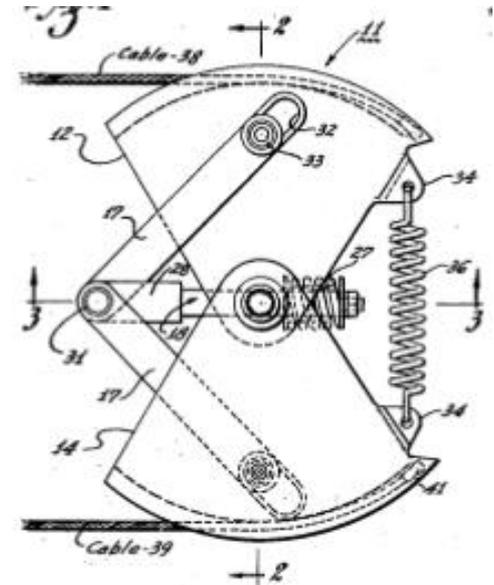
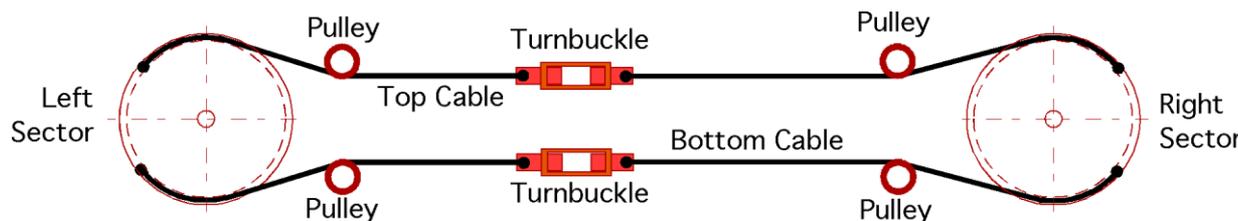


- Outros reguladores de tensão ajustam a tensão dos cabos de acordo com a variação de temperatura

FAR: Each cable system must be designed so that there will be no hazardous change in cable tension throughout the range of travel under operating conditions and temperature variations;

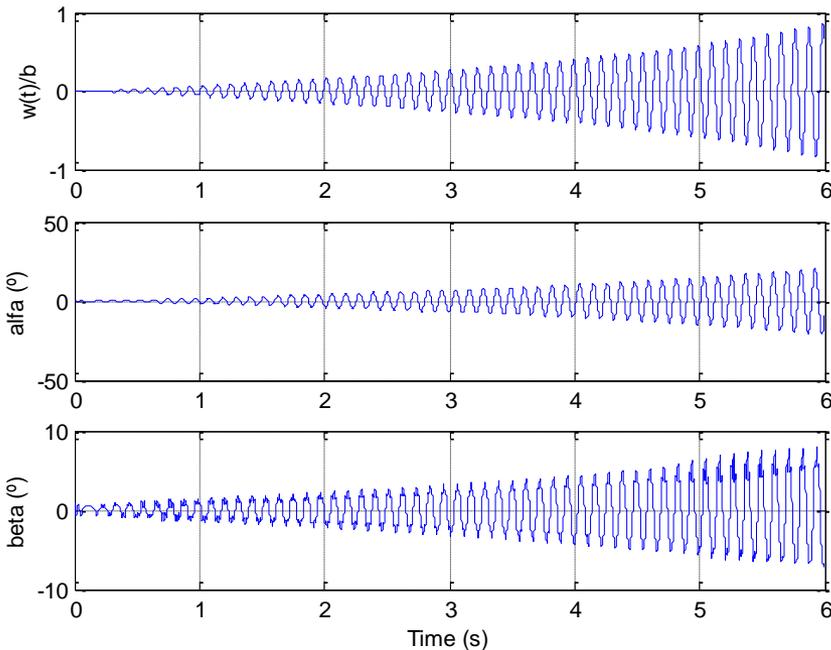
	Airplane Temperature		Distance from HOT to pointer	
	deg. C.	deg. F.	mm.	in.
1 Rotating plate	52	125	0	0
2 Beam, attached to tension reg.	38	100	4.6	0.18
3 Beam, attached to airplane	24	75	9.1	0.36
4 Brake plate attached to 2	10	50	13.7	0.54
5 Brake plate attached to 3	-4	25	18.2	0.72
6 Brake lining	-18	0	22.5	0.89
7 Pins	-32	-25	27.2	1.07
8 Attachment points to airplane structure	-46	-50	31.8	1.25
9 Clevis for control cable attachment				
10 Pointer				
11 Springs				

- **Acionamento por cabos e polias**
- Alguns dispositivos são usados para que os cabos estejam sempre esticados, mesmo com grandes diferenças de temperatura
- Os componentes devem suportar:
 - Grandes diferenças de temperatura
 - Umidade
 - Vibrações
 - Dependendo o caso, ambientes ácidos

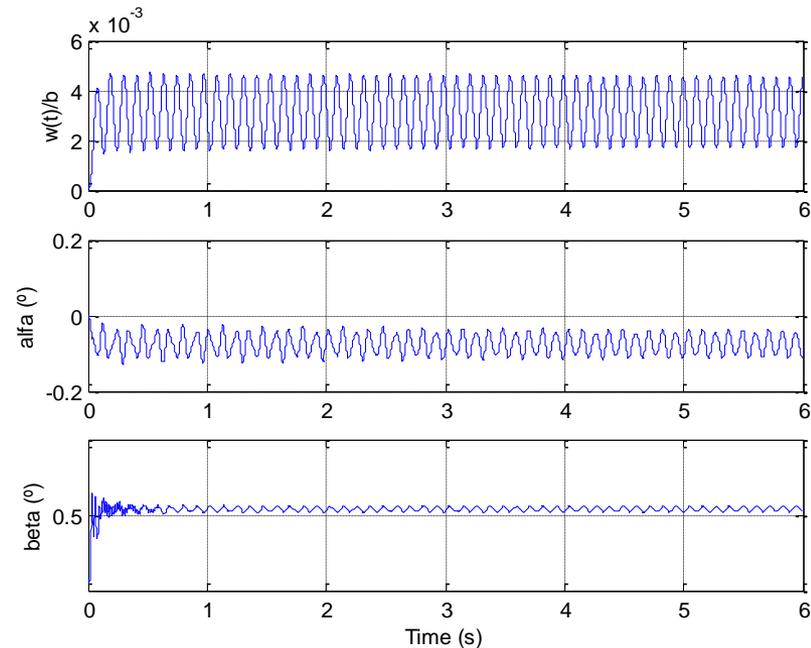


- Classificação dos sistemas de comandos de voo
- Tipos de acionamento
- Acionamento em comandos de voo
- Elementos dos sistemas reversíveis
- **Cinemática dos sistemas reversíveis**
- Exemplos de sistemas reversíveis
- Requisitos de certificação
- Relações de transmissão
- Força de atuação nos comandos

- Folgas ao longo do circuito podem alterar a sensibilidade do piloto e também, por exemplo, modificar o comportamento aeroelástico da aeronave.

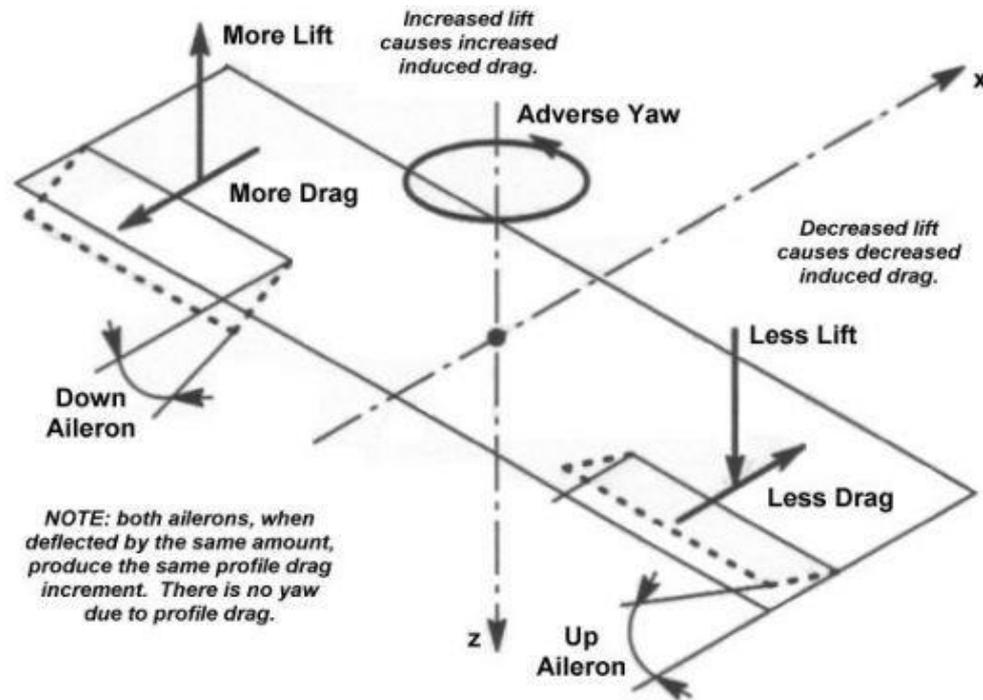


Sem folga

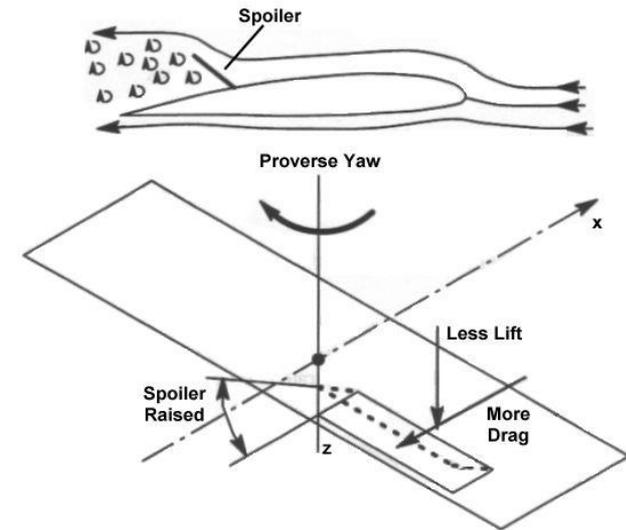
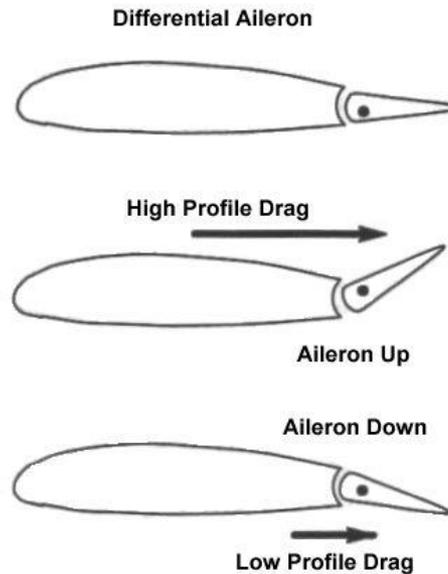
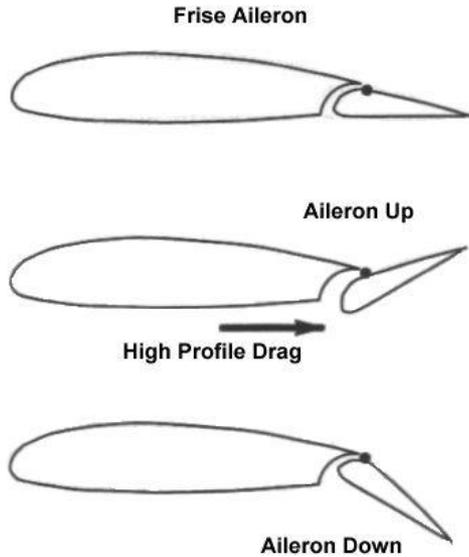


Folga de 1°

- Guinada adversa



- Guinada adversa

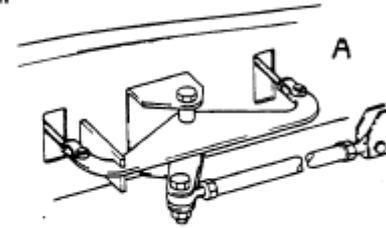


- Classificação dos sistemas de comandos de voo
- Tipos de acionamento
- Acionamento em comandos de voo
- Elementos dos sistemas reversíveis
- Cinemática dos sistemas reversíveis
- Exemplos de sistemas reversíveis
- Requisitos de certificação
- Relações de transmissão
- Força de atuação nos comandos

- Piper 38-112



1. CONTROL WHEELS
2. CONTROL WHEEL TORQUE TUBE
3. FLEXIBLE JOINT
4. ROLLER CHAIN
5. CONTROL WHEEL SPROCKET
6. TENSIONER SPROCKET
7. WASHER
8. TEE BAR ASSY.
9. CHAIN TENSIONER ASSY.
10. LOWER SPROCKET
11. AILERON TORQUE TUBE
12. BALANCE CABLE - LEFT
13. TURNBUCKLE PRIMARY CABLE - LEFT
14. INTERCONNECT BALANCE CABLE PULLEY
15. TURNBUCKLE - BALANCE CABLE
16. TURNBUCKLE PRIMARY CABLE - RIGHT
17. PULLEY - PRIMARY CABLE - RIGHT
18. PRIMARY CABLE - RIGHT
19. BELLCRANK-AILERON - RIGHT
20. ROD-AILERON CONTROL - RIGHT
21. AILERON CENTERING SPRING



COURTESY: PIPER

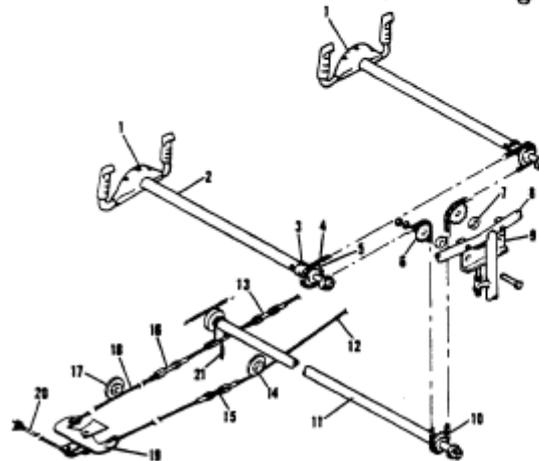


Figure 4.30 Lateral Controls Piper PA-38-112

- Piper 38-112

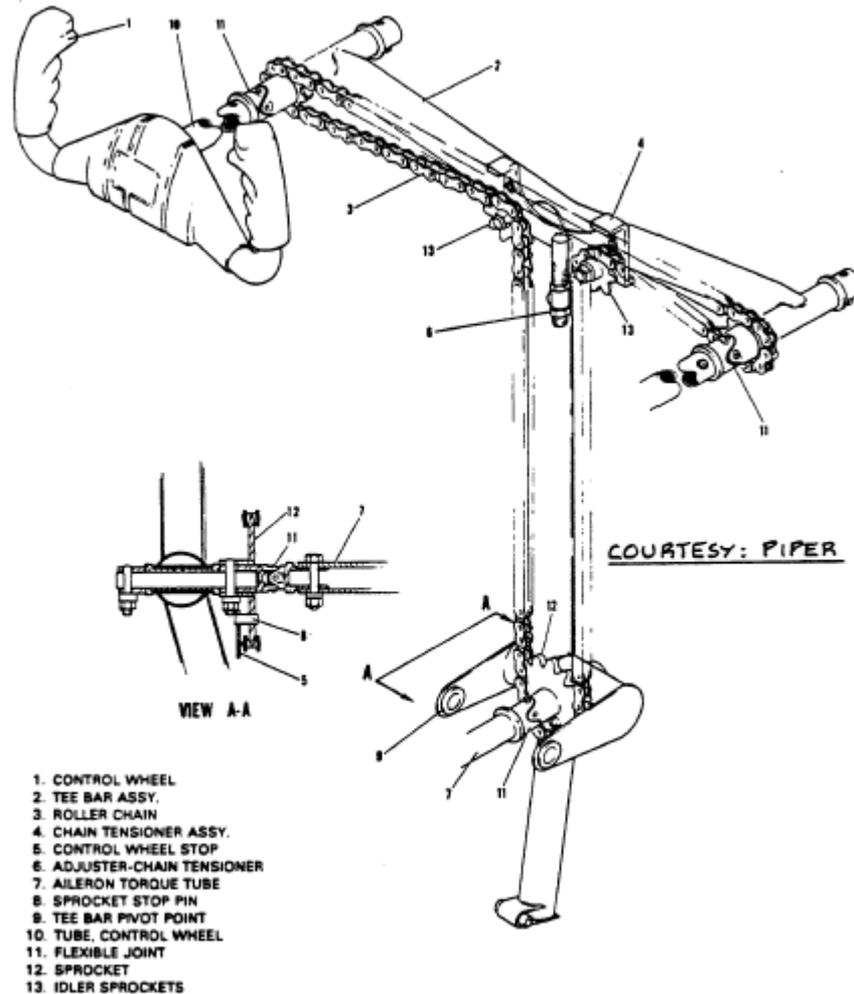
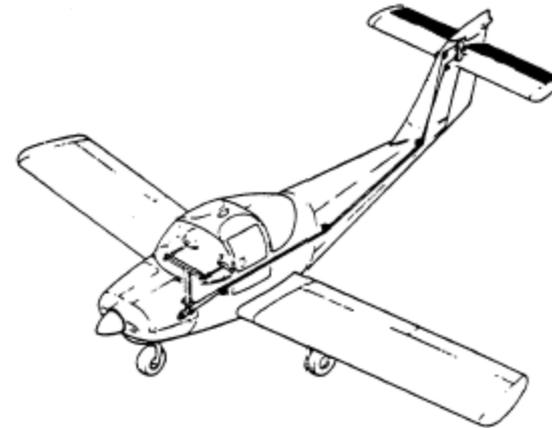


Figure 4.31 Control Column Assembly Piper PA-38-112

- Piper 38-112



1. ELEVATOR BELLCRANK
2. ELEVATOR PULLEY - UPPER
3. ELEVATOR PULLEY - LOWER
4. ELEVATOR CABLE - UPPER - AFT
5. ELEVATOR CABLE - LOWER - AFT
6. PULLEY CLUSTER - BASE OF FIN
7. ELEVATOR TURNBUCKLE
8. ELEVATOR TURNBUCKLE
9. PULLEY CLUSTER - AFT - BAGGAGE AREA
10. PULLEY CLUSTER - MAIN SPAR
11. CABLE ATTACHMENT - TEE BAR
12. PULLEY CLUSTER - FORWARD
13. ELEVATOR CABLE - FORWARD
14. TEE BAR ASSEMBLY



COURTESY : PIPER

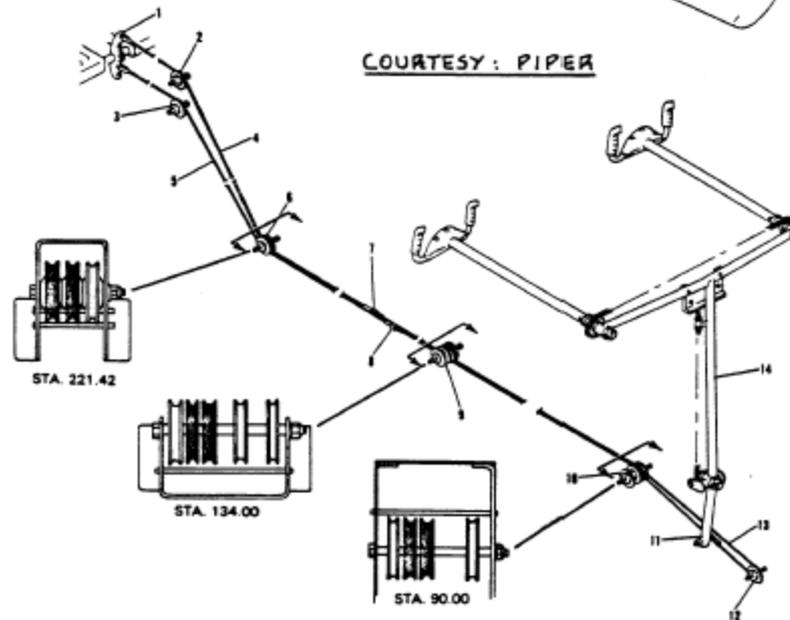
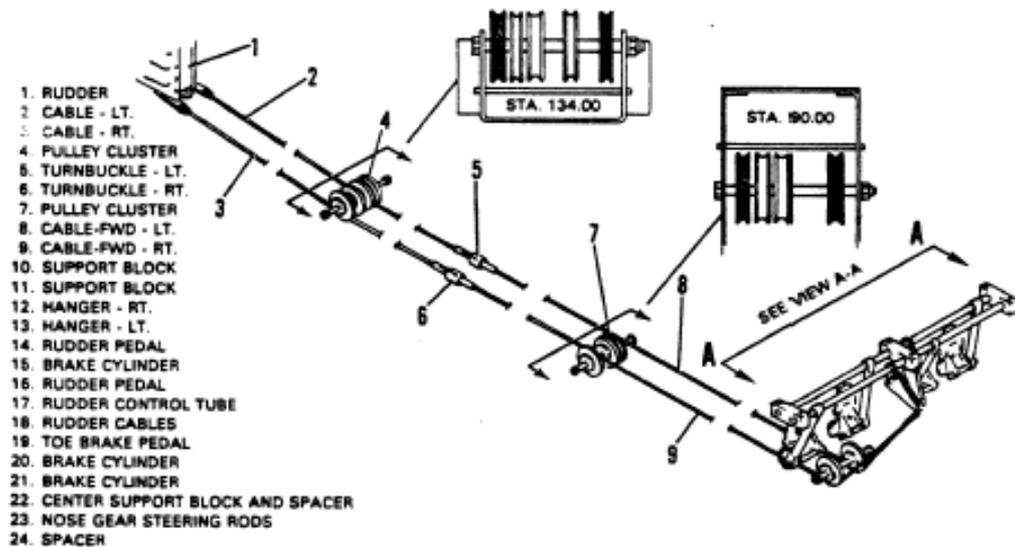
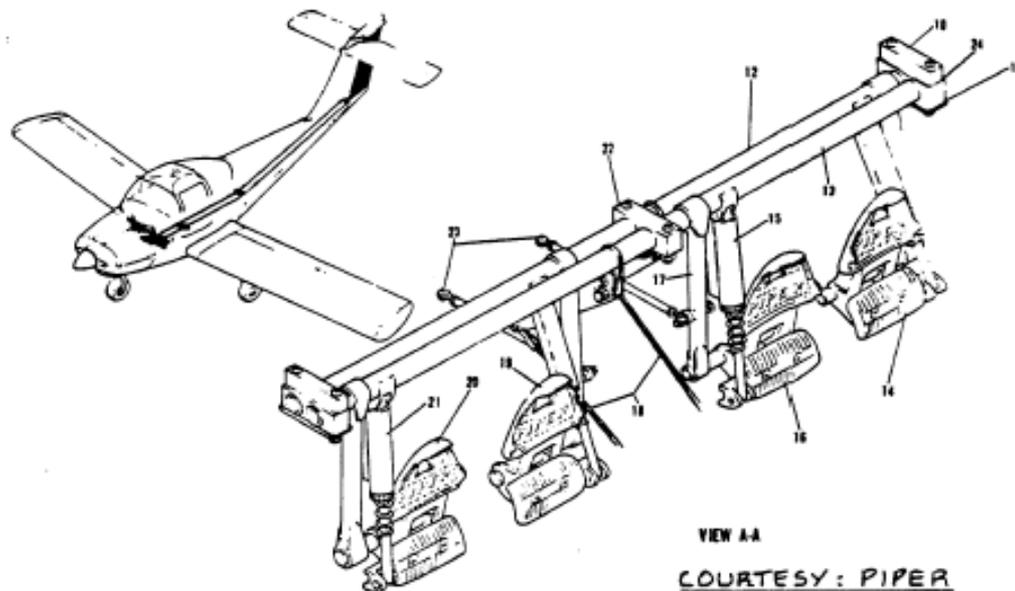


Figure 4.32 Longitudinal Controls Piper PA-38-112

Exemplos de sistemas reversíveis

- Piper 38-112



- Skyvan

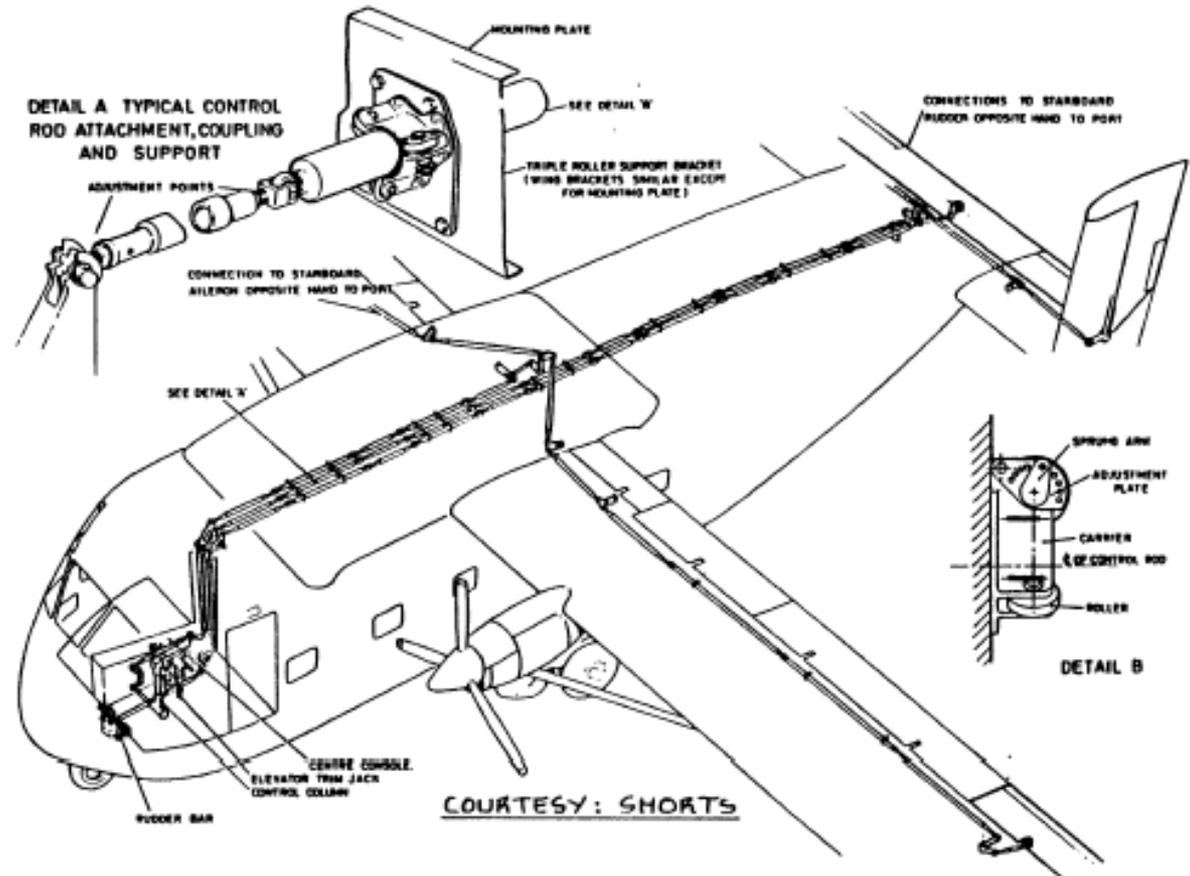
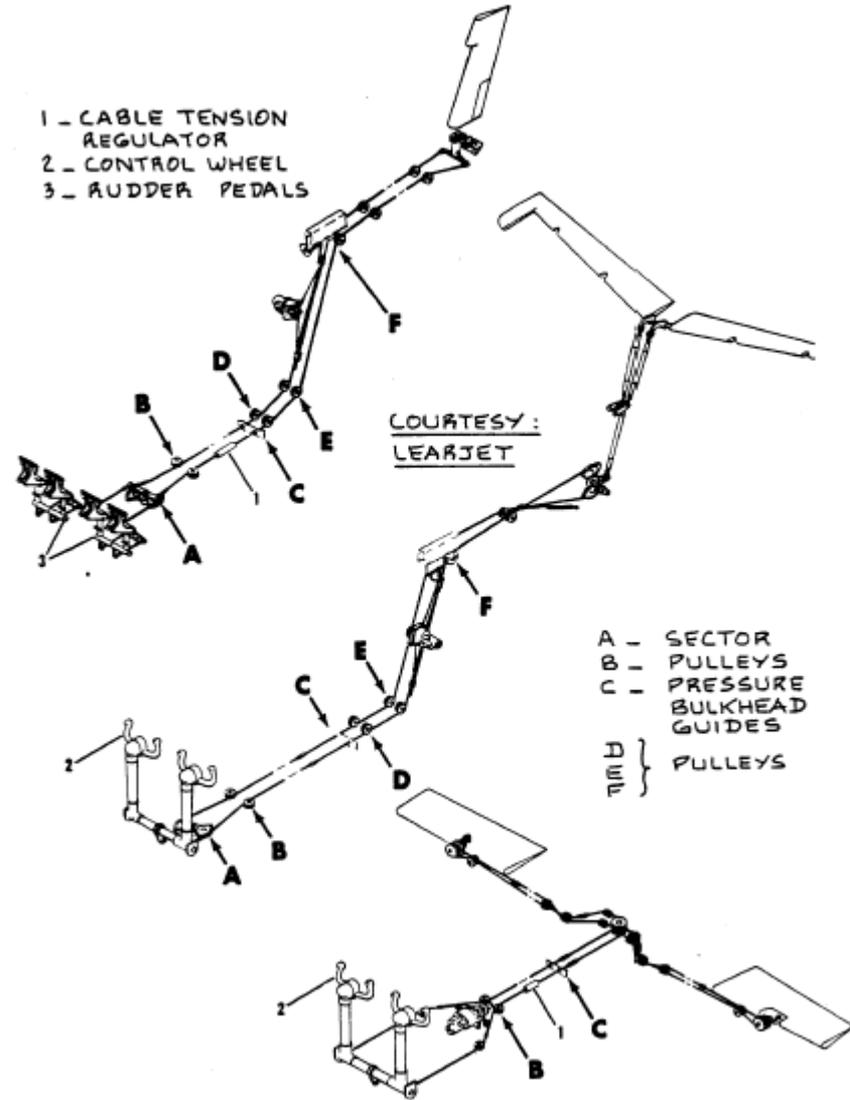


Figure 4.41 Flight Controls Short Skyvan

- Learjet M23



- Classificação dos sistemas de comandos de voo
- Tipos de acionamento
- Acionamento em comandos de voo
- Elementos dos sistemas reversíveis
- Cinemática dos sistemas reversíveis
- Exemplos de sistemas reversíveis
- **Requisitos de certificação**
- Relações de transmissão
- Força de atuação nos comandos

§ 23.689 Cable systems

(a) Each cable, cable fitting, turnbuckle, splice, and pulley used must meet approved specifications. In addition—

(1) No cable smaller than 1/8 inch diameter may be used in primary control systems;

(2) Each cable system must be designed so that there will be no hazardous change in cable tension throughout the range of travel under operating conditions and temperature variations; and

(3) There must be means for visual inspection at each fairlead, pulley, terminal, and turnbuckle.

(b) Each kind and size of pulley must correspond to the cable with which it is used. Each pulley must have closely fitted guards to prevent the cables from being misplaced or fouled, even when slack. Each pulley must lie in the plane passing through the cable so that the cable does not rub against the pulley flange.

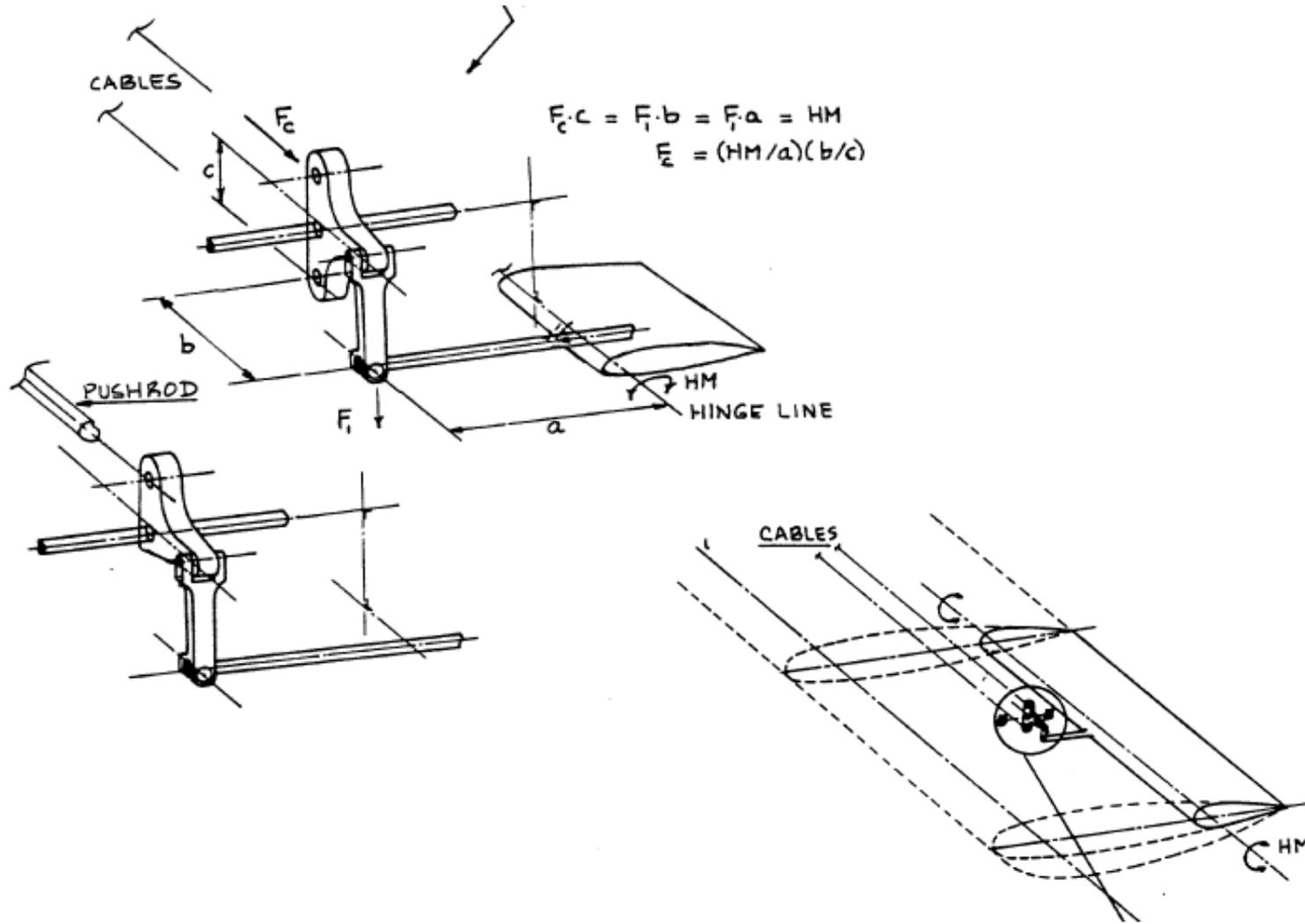
(c) Fairleads must be installed so that they do not cause a change in cable direction of more than three degrees.

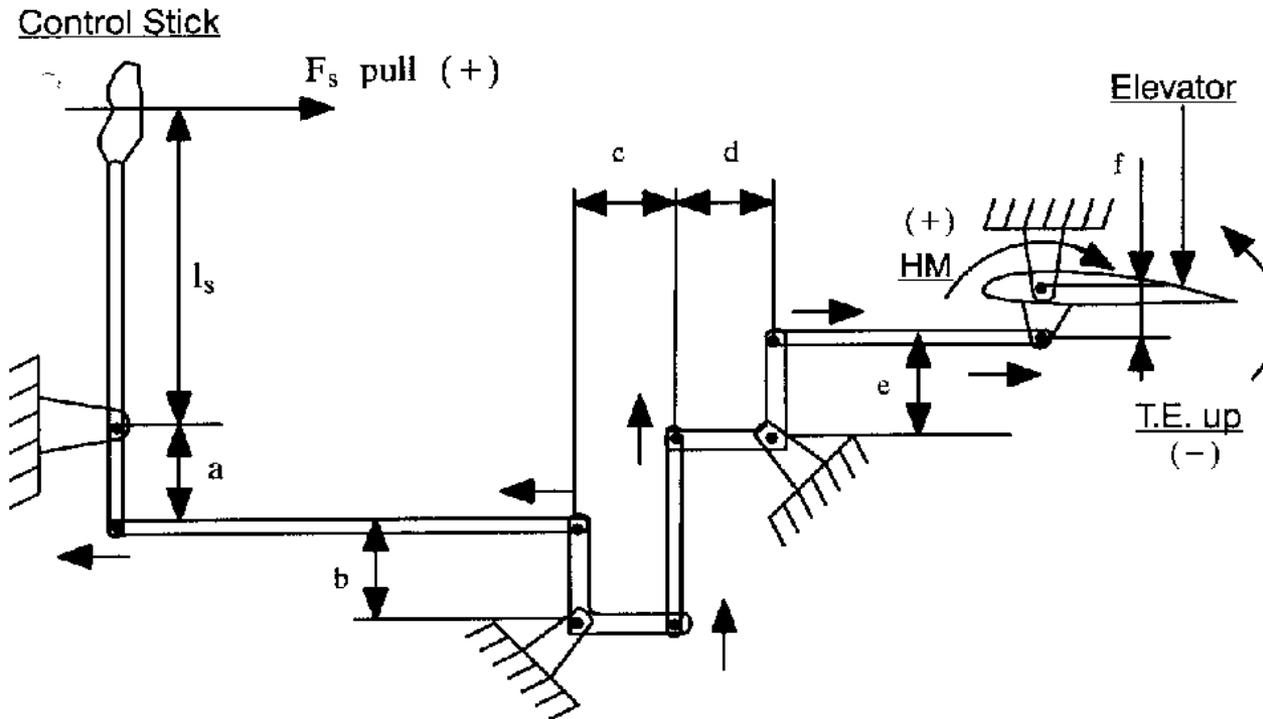
(d) Clevis pins subject to load or motion and retained only by cotter pins may not be used in the control system.

(e) Turnbuckles must be attached to parts having angular motion in a manner that will positively prevent binding throughout the range of travel.

(f) Tab control cables are not part of the primary control system and may be less than 1/8 inch diameter in airplanes that are safely controllable with the tabs in the most adverse positions.

- Classificação dos sistemas de comandos de voo
- Tipos de acionamento
- Acionamento em comandos de voo
- Elementos dos sistemas reversíveis
- Cinemática dos sistemas reversíveis
- Exemplos de sistemas reversíveis
- Requisitos de certificação
- **Relações de transmissão**
- Força de atuação nos comandos





$$P = \frac{ace}{l_s bdf} H$$

$$P = GH$$

- A relação de transmissão G pode ser alterada modificando-se a geometria do circuito.
- Porém, normalmente não há possibilidade de grandes mudanças.

- Exemplos de aeronaves e suas relações de transmissão

Airplane Type	Elevator			Aileron			Rudder		
	Surface Travel degrees	Wheel Travel	Gearing Ratio rad/ft	Surface Travel degrees	Wheel Travel	Gearing Ratio rad/ft	Surface Travel degrees	Pedal Travel	Gearing Ratio rad/ft
Cessna 172	28 up 23 dwn	6.6 in. total	1.62	20 up 15 dwn	+/-90 deg	0.50	+/-16 deg	4.0 in. total	1.68
Cessna 210	23 up 17 dwn	7.5 in. total	1.12	25 up 15 dwn	+/-90 deg	0.50	+/-24 deg	2.8 in. total	3.59
Cessna 303	28 up 15 dwn	6.0 in. total	1.50	20 up 15 dwn	+/-85 deg	0.50	+/-30 deg	4 in. total	3.14
SIAI-M S211		stick	0.70		stick	0.67			1.42
GL M36			0.86			0.39			2.29
Transp. Jets			0.72			0.35			1.30

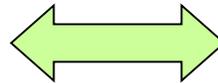
Note: The gearing ratios are all defined so that:

$$F_p = (G) \cdot (HM)$$

- **Classificação dos sistemas de comandos de voo**
- **Tipos de acionamento**
- **Acionamento em comandos de voo**
- **Elementos dos sistemas reversíveis**
- **Cinemática dos sistemas reversíveis**
- **Exemplos de sistemas reversíveis**
- **Requisitos de certificação**
- **Relações de transmissão**
- **Força de atuação nos comandos**

É preciso garantir que as forças necessárias para atuar os comandos de vôo (produzindo as deflexões de controle requeridas) sejam aceitáveis para um piloto (Maneabilidade).

Manobrabilidade



Maneabilidade

Risco de exceder frequentemente os limites de operação do avião (ângulo de ataque, fator de carga, ...)



o piloto não “sentiria” a resposta da aeronave e a pilotagem seria bastante difícil e imprecisa

Aeronave pouco manobrável ...



o piloto não seria capaz de aplicar a força necessária para movimentar a superfície

• FAR 23 - § 23.143

subpart B (Flight)

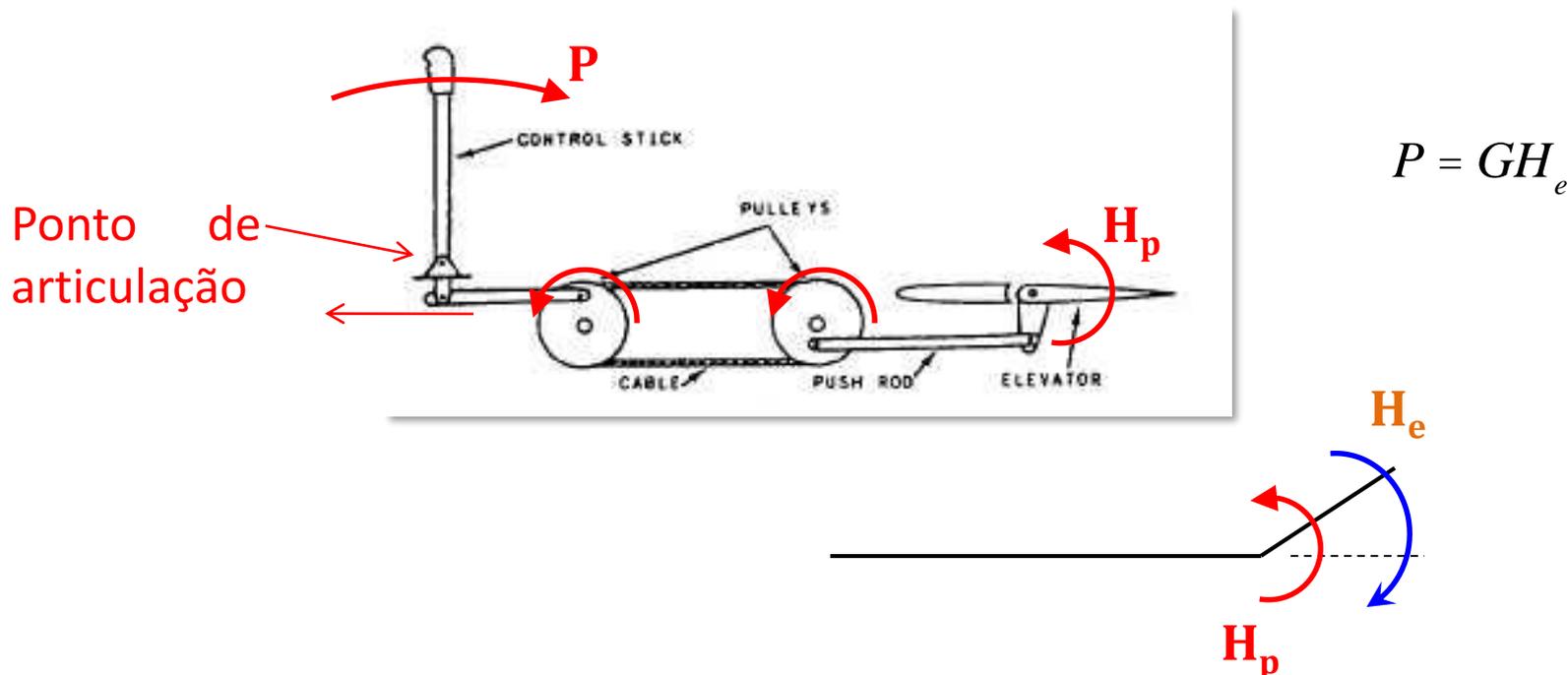
Values in pounds force applied to the relevant control	Pitch	Roll	Yaw
a) For temporary application			
Stick	60	30	-----
Wheel (Two hands on rim)	75	50	-----
Wheel (One hand on rim)	50	25	-----
Rudder Pedal	-----	-----	150
b) For prolonged application	10	5	20

subpart C

(b) The limit pilot forces and torques are as follows:

Control	Maximum forces or torques for design weight, weight equal to or less than 5,000 pounds ¹	Minimum forces or torques ²
Aileron:		
Stick	67 lbs	40 lbs.
Wheel ³	50 D in.-lbs ⁴	40 D in.-lbs. ⁴
Elevator:		
Stick	167 lbs	100 lbs.
Wheel (symmetrical)	200 lbs	100 lbs.
Wheel (unsymmetrical) ⁵	100 lbs.
Rudder	200 lbs	150 lbs.

- Uma condição importante é a verificação da força de comando para a trimagem
- Para manter uma determinada superfície de controle em uma determinada posição (ângulo) em uma condição de vôo qualquer é necessário equilibrar o momento aerodinâmico na articulação, aplicando-se um torque mecânico (H_p) ou mesmo aerodinâmico de mesma intensidade e sentido oposto.



FIM