



SEM5951

Fatores Humanos em Aviação

Fisiologia em voo

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto

jhbidi@sc.usp.br

- **Hipóxia**
- **Hiperventilação**
- **Disbarismo**
- **Problemas devido a fator de carga**

- **Hipóxia**
- Hiperventilação
- Disbarismo
- Problemas devido a fator de carga

- Definição: Baixa concentração de O₂ nos tecidos
- Pode ser de quatro tipos:
 - Hipóxia hipoxêmica: deficiência de O₂ no sangue arterial, devido à queda de pressão do O₂ alveolar

Possíveis causas: altitude, asma, pneumonia, obstrução, etc.

- Hipóxia anêmica: deficiência na capacidade do sangue em transportar o O₂ dos tecidos

Possíveis causas: monóxido de carbono, nitritos, outros gases

- Definição: Baixa concentração de O₂ nos tecidos
- Pode ser de quatro tipos:
 - Hipóxia estagnante ou isquêmica: deficiência circulatória

Possíveis causas: insuficiência cardíaca, espasmos arteriais, trombooses, fator de carga (G elevado), respiração sob pressão positiva, etc.

- Hipóxia histotóxica: ação de toxinas sobre as enzimas respiratórias

Possíveis causas: cianeto, álcool, etc.

- **Hipóxia de altitude**
- A hipóxia de altitude se divide ainda em dois tipos:
- Aguda: exposição imediata do organismo, sem tempo para a utilização total dos mecanismos compensadores

Exemplo: Descompressão explosiva de aeronave

- Crônica: exposição progressiva do organismo, com tempo para a utilização total dos mecanismos compensadores

Exemplo: Vazamento gradual de pressurização em aeronave

- Estagiamento clínico
- Estágio indiferente:
 - 0 a 6.000 ft (1.800 m)
 - $P_{atm} = 609 \text{ mmHg}$
 - Saturação de hemoglobina: 93%
 - Efeitos: visão noturna e alteração no ritmo cardíaco

- Estagiamento clínico
- Estágio compensatório:
 - 6.000 a 12.000 ft (3.600 m)
 - $P_{atm} = 438 \text{ mmHg}$
 - Saturação de hemoglobina: 83%
 - Efeitos: aumento do volume respiratório (respiração/min) e aumento da velocidade da circulação

- Estagiamento clínico
- Estágio das perturbações:
 - 12.000 a 18.000 ft (5.400 m)
 - $P_{atm} = 379 \text{ mmHg}$
 - Saturação de hemoglobina: 70%
 - Efeitos: sintomas subjetivos e objetivos
 - Fadiga
 - Lassidão
 - Sonolência
 - Tonteira
 - Cefaléia
 - Euforia
 - Tato
 - Visão
 - Discernimento
 - Raciocínio
 - Julgamento
 - Tempo de reação
 - Incoordenação

- Estagiamento clínico
- Estágio crítico:
 - Acima de 20.000 ft (6.500 m)
 - $P_{atm} = 340 \text{ mmHg}$
 - Saturação de hemoglobina: 60%
 - Efeitos: Alterações no Sistema Nervoso Central, inconsciência, morte

- Gases sanguíneos arteriais e hipóxia

	Altitude (ft)	Tensão de O ₂ (mm Hg)	Tensão de CO ₂ (mm Hg)	Saturação de O ₂ na hemoglobina (%)
Respirando ar ambiente	Nível do mar	95	40	97
	8.000	56	38	93
	12.000	43	35	84
	15.000	37	30	78
	18.000	32	28	72
	20.000	29	26	66
Respirando oxigênio a 100%	33.000	95	40	97
	40.000	45	38	84
	43.000	36	30	76

- Tempo útil de consciência
- Após despressurização rápida da aeronave

Altitude (ft)	Em repouso (segundos)	Em atividade (segundos)
25.000	120	60
28.000	60	30
30.000	45	22
35.000	30	15
40.000	23	13
65.000	20	12

- Fatores de influência
 - Altitude absoluta
 - Razão de ascensão
 - Permanência na altitude
 - Razões individuais

- Profilaxia:
 - Acima de 45.000 ft: traje a cabine pressurizados
 - 28.000 a 45.000 ft: oxigênio 100% sob pressão
 - 6.000 a 28.000 ft: oxigênio diluído, sob demanda

Tratamento para hipóxia:
OXIGÊNIO

- O voo Helios 522
 - Em 14 de agosto de 2005, um Boeing 737-300 fazia o voo de Chipre a Atenas
 - Houve a depressurização lenta, não percebida pela tripulação, fazendo a aeronave voar por 3 horas no piloto automático, até que o combustível chegasse ao fim



- <https://economia.uol.com.br/todos-a-bordo/2020/08/15/boeing-737-fantasma-queda.htm>

- Hipóxia
- **Hiperventilação**
- Disbarismo
- Problemas devido a fator de carga

- Possíveis causas:
 - Estado de estresse, ansiedade, medo ou dor
 - O indivíduo começa a respirar com maior frequência e mais profundamente
 - Por esse motivo, o nível de CO₂ pode cair nos tecidos, causando a hiperventilação

- Efeitos orgânicos:
 - Difícil liberação de O₂ para tecidos
 - Vasoconstrição cerebral
 - Vasodilatação periférica
 - Queda da Pressão de O₂ cerebral (paradoxal)

- Sintomas:

- Sensação de “cabeça vazia”
- Sensação de desfalecimento
- Parestesia sudorese
- Vertigem
- Inconsciência



- Os sintomas podem ser confundidos com os da hipóxia!!

- Solução:

- Retornar ao nível normal de respiração ou respirar ar com baixos níveis de O₂ (saco de papel)

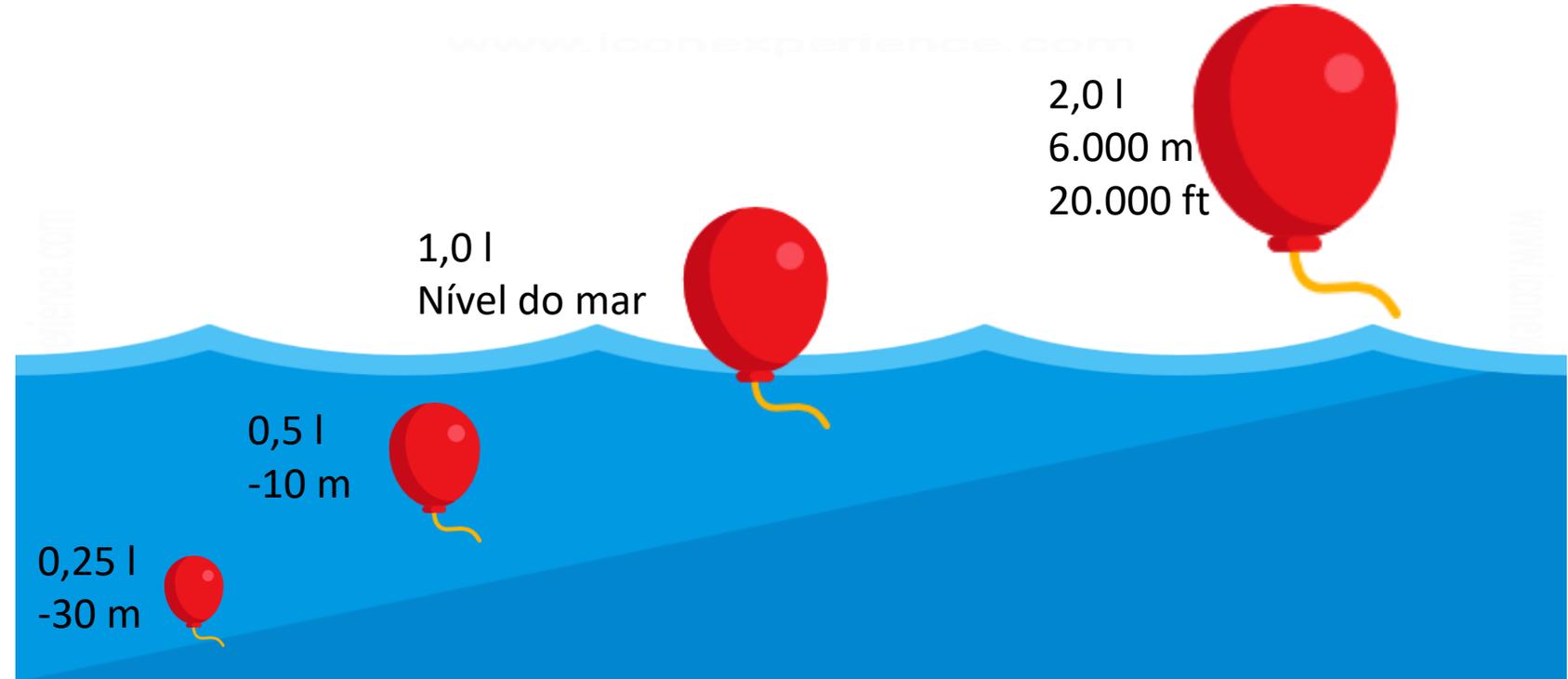
- Hipóxia
- Hiperventilação
- **Disbarismo**
- Problemas devido a fator de carga

- Definição: Estados patológicos decorrentes de variações da pressão ambiente (excluindo hipóxia)
- Pode ser classificado como:
 - Aerodilatação: Causado por expansões gasosas nas cavidades corporais devido ao efeito mecânico da depressão barométrica

Exemplos: Barosinusite, barotite, aerogastria/aerocolia, aerodontalgia

- Doenças da descompressão: Causados pela formação, sem eliminação, de bolhas gasosas nos tecidos, devido aos efeitos mecânicos da depressão barométrica

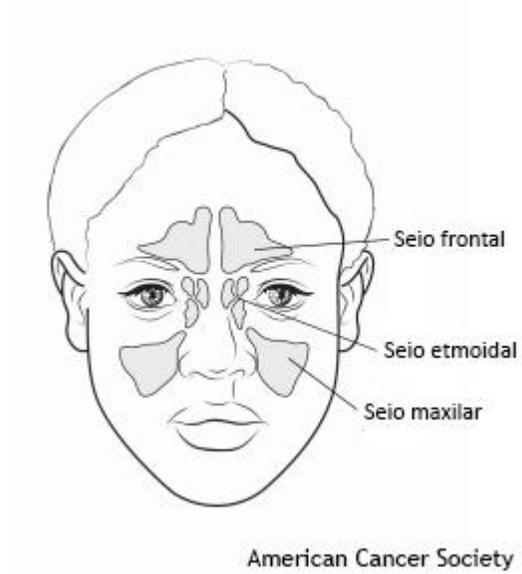
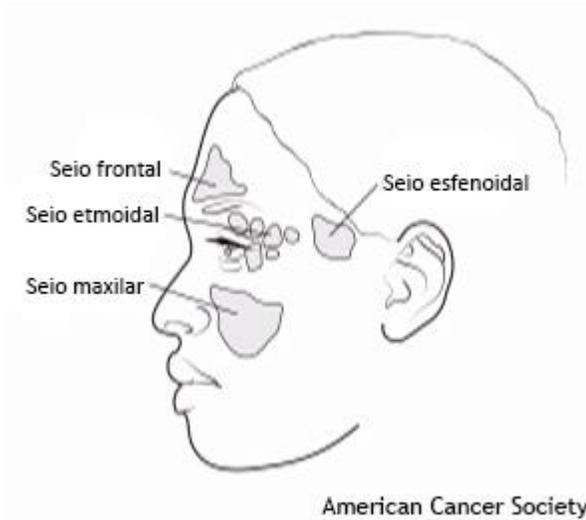
- Aerodilatação



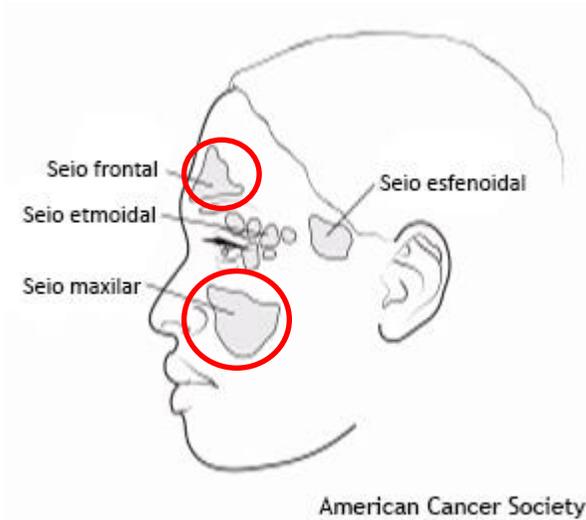
- Lei de Boyle: “À temperatura constante, os volumes ocupados por uma mesma massa gasosa são inversamente proporcionais às pressões que suportam.”

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

- Aerodilatação
- Barosinusite
- Seios paranasais

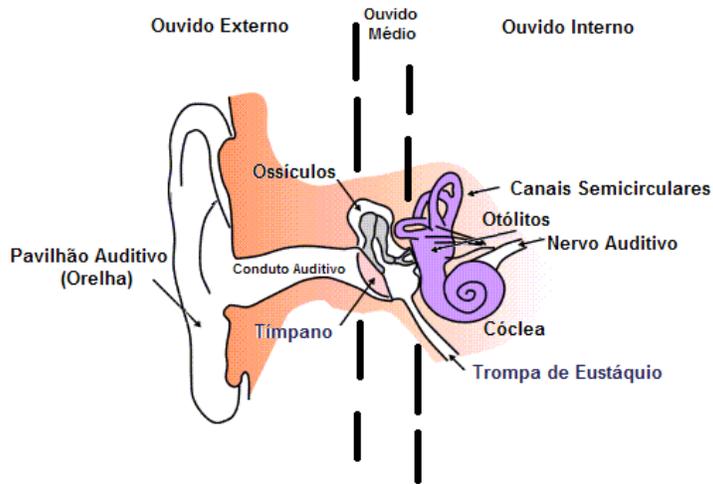


- **Aerodilatação**
- Barosinusite
- Seios maxilares e seios frontais



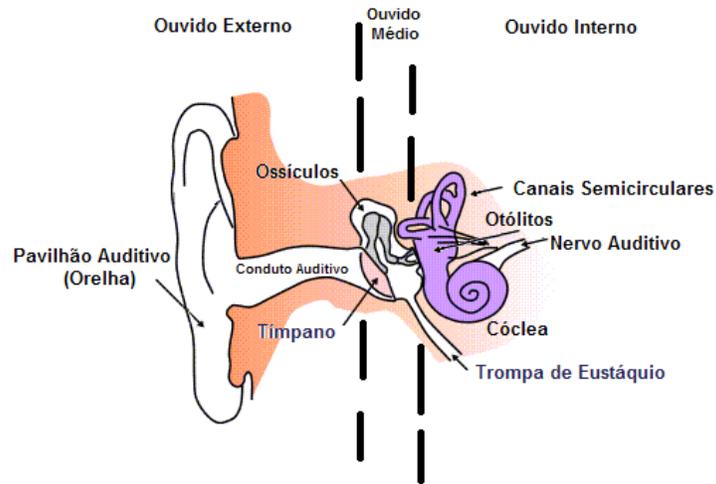
- Problema →
 - Congestão e inflamação da mucosa de revestimento interno
 - Hemorragias nas mucosas e submucosas
- Não obstrutivas →
 - Óstios (orifícios) e canais livres:
 - Durante uma subida, saída de secreções
 - Durante uma descida, refluxo
- Obstrutivas →
 - Obliteração (entupimento) de óstio e canal
- Causas →
 - Hiperplasia da mucosa
 - Pólipos
 - Edema inflamatório

- Aerodilatação
- Barotite média
- Ouvido interno



- Pressão sobre o tímpano
 - Quando a Trompa de Eustáquio agindo como uma válvula está em boas condições, na descida a válvula abre (“O OUVIDO ABRE”) e permite o equilíbrio de pressões.
- Grande pressão sobre o tímpano
 - Se ocorre um resfriado e a Trompa e a válvula estão congestionadas, a pressão sobre o tímpano não pode ser equilibrada

- Aerodilatação
- Barotite média
- Ouvido interno



- Etapa →
 - Problema →
 - Membrana timpânica →
- Descida
 - Ventosa em tecido mole
ingurgitamento vascular,
derrame na cavidade timpânica
de transudato sero-
sanguinolento e exudato
 - Retração
 - Acentuação curta apófise do
martelo
 - Prega tímpano-maleolar posterior
predominante
 - Hemorragias por diapedese
 - Petéquias
 - Ruptura

- **Aerodilatação**
- Aerogastria e aerocolia
- Manifestações clínicas:
 - Hipermotilidade intestinal
 - Borborismo (borborismo)
 - Meteorismo (fisiose)
 - Eructações
 - Cólicas (dor intensa)
 - Hipotensão arterial
 - Síncope

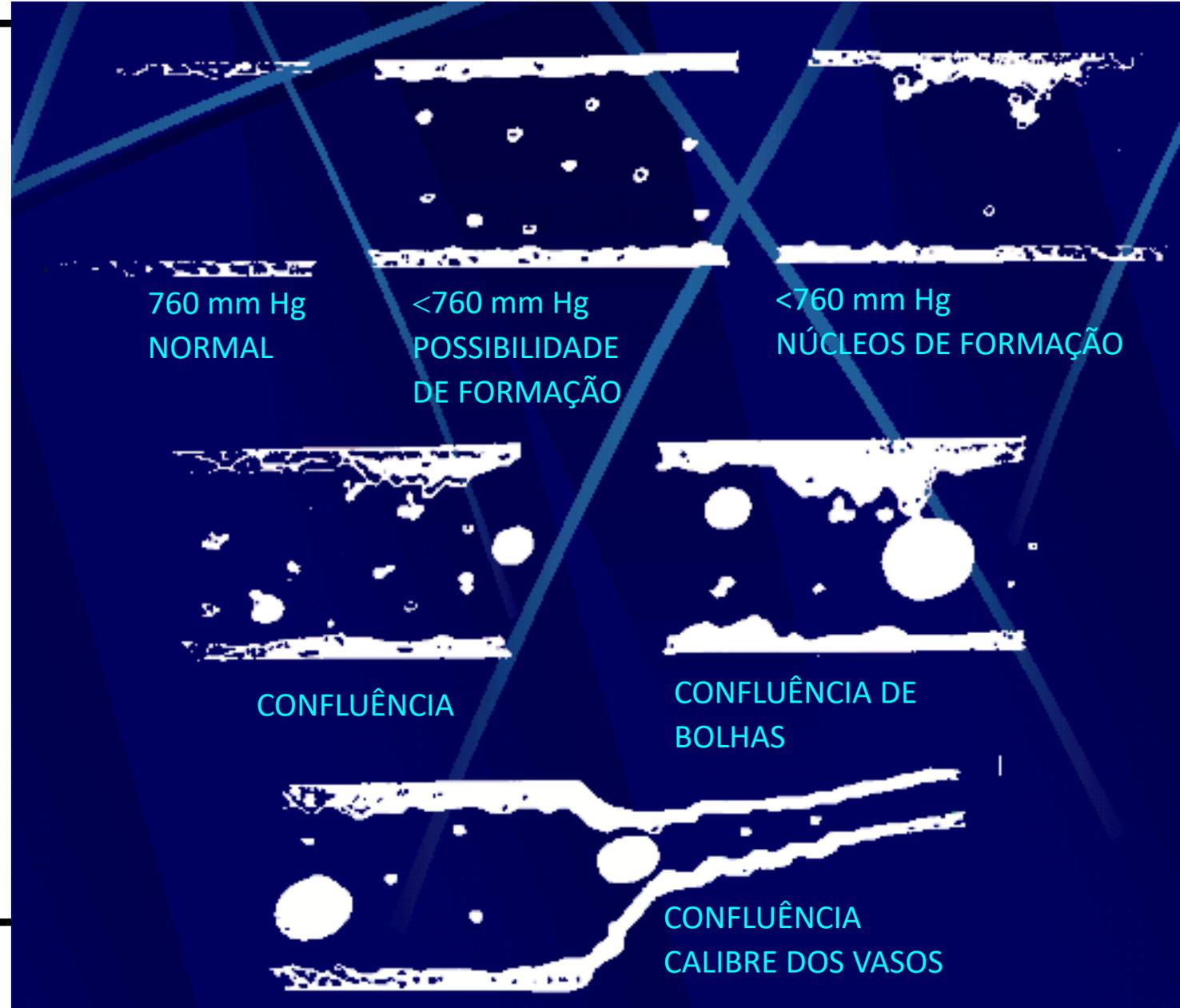
- Aerodilatação
- Aerodontalgia
- Expansão de gases existentes na região dental
 - Ar, vapor d'água, exalação, mobilização, zonas de depressão, modificações hemodinâmicas, expansão, gases de necrose
- Causando dor intensa para liberação dos gases

- **Doença da descompressão**
- Formação, sem eliminação, de bolhas gasosas nos tecidos, devido aos efeitos mecânicos da depressão barométrica
- Lei de Henry: “A quantidade de um gás em solução varia diretamente com a pressão parcial deste gás sobre a solução”
- Problema surge devido a redução brusca de pressão. Voos ou após mergulhos

- **Doença da descompressão**
- Nitrogênio dissolvido no sangue de um adulto:
1.000 ml, sendo 900 ml nos tecidos e 100 ml no sangue
- Desencadeamento acima de 18.000 pés
- Formação de bolhas nos tecidos e no sangue
- Confluência de bolhas
- Embolia vascular
- Irritação da inervação sensitiva

Disbarismo

- Doença da descompressão



- **Doença da descompressão**
- Fatores desencadeadores:
 - Velocidade da subida
 - Altitude alcançada
- Fatores predisponentes:
 - Panículo adiposo desenvolvido
 - Idade acima de 30 anos
 - Condições circulatórias e respiratórias
 - Enfermidades
 - Fatores psíquicos
 - Atividade
- Fatores ambientais:
 - Frio
 - Ruído
 - Vibrações

- **Doença da descompressão**
- Formas de manifestação:
 - Artrálgica (dor nas articulações) – 65% dos casos
 - Ombro
 - Cotovelo
 - Joelhos
 - Pruriginosa (coceira) – 17% dos casos
 - Tronco
 - Coxas
 - Enfisema subcutâneo

- **Doença da descompressão**
- Formas de manifestação:
 - Nervosa – 13% dos casos
 - Cefaleia
 - Nevralgia (formigamento devido a lesão nos nervos)
 - Parestesia (formigamento devido a restrição em fluxo sanguíneo)
 - Irritabilidade
 - Confusão mental
 - Claudicação (dor devido a restrição em fluxo sanguíneo)
 - Diplopia (visão dupla)

- **Doença da descompressão**
- Formas de manifestação:
 - Pulmonar – 13% dos casos
 - Opressão torácica
 - Dor anginosa (dor no peito)
 - Tosse
 - Dispneia (falta de ar)
 - Colapso respiratório

- Doença da descompressão
- Profilaxia:
 - Cabine pressurizada
 - Desnitrogenação (respirar oxigênio 100% durante um período)
- Tratamento:
 - Hiperbaroterapia (câmara hiperbárica)



- Hipóxia
- Hiperventilação
- Disbarismo
- **Problemas devido a fator de carga**

- Fator de carga (ou força G) alcançado em determinadas manobras
- Problemas envolvidos (permanentes):
- Problemas na coluna
- Problemas envolvidos (provisórios):
- Problemas na visão (visão sem cores e “fechamento” do campo de visão)
- Desmaio devido a falta de irrigação do cérebro



- Vídeos sobre Fator de Carga elevados:

http://www.youtube.com/watch?v=b_fL-JsnnoU

<http://www.youtube.com/watch?v=XM4rS38pd0U>

<http://www.youtube.com/watch?v=sG6PPWxjgu0>

<http://www.youtube.com/watch?v=GhGucWnyORU>

http://www.youtube.com/watch?v=o9YtD1jw_Qw

Problemas devido a fator de carga

- Altos fatores de carga podem ser obtidos com simuladores próprios (centrífugos)
- O treinamento pode aumentar a tolerância a fatores de carga elevados



- Flight Physiological Center - Suécia
- <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=eYR-vgoLI9Q>

- Dados:

- Velocidade máxima: 39 rpm @ 15 G
- Aceleração: 10 G/s
- Motor: 1900 kW
- Peso: 93 ton
- Extensão do braço: 30 ft



- Profilaxia:
 - Treinamento prévio
 - Uso de anti-G

- Tratamento:
 - A recuperação de um desmaio é instantânea, logo que o cérebro volta a ser irrigado com sangue arterial

Handling G-forces the Blue Angels way

There's equipment available to keep the heavy centrifugal forces of aerobatic flying from causing a pilot to black out. The U.S. Navy's Blue Angels pilots prefer not to use it.

