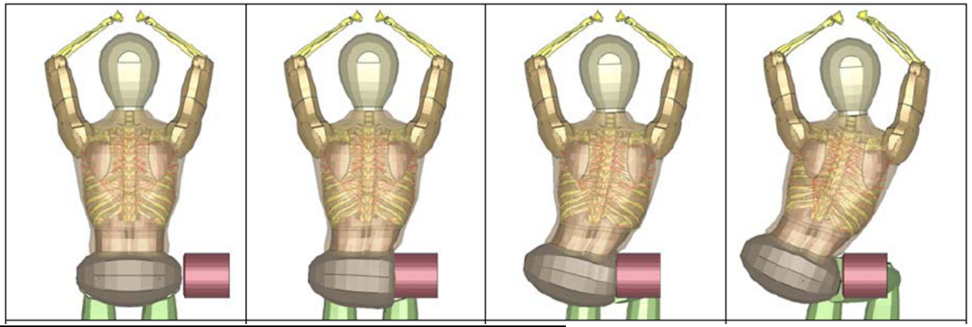
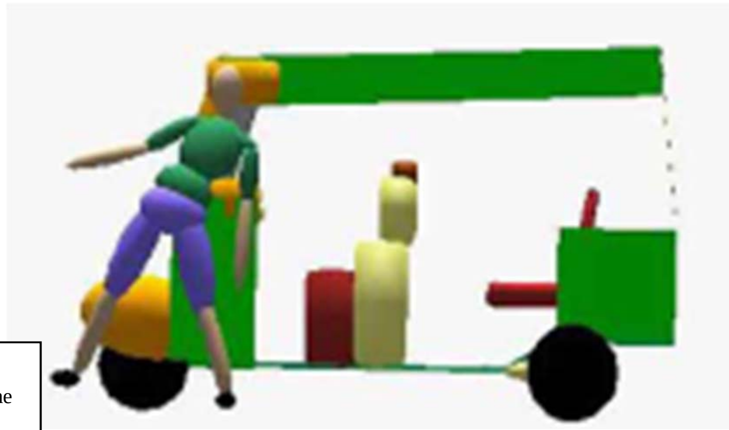
Cap.7 – IMPULSO, TRABALHO E ENERGIA

- **Impulso:**
  - Resulta de uma força que actua num corpo durante um curto período de tempo.
- **Exemplos de impulsos:**
  - Colisão ou impacto de corpos.
  - Quedas acidentais (podem provocar danos em pessoas idosas, acima dos 65 anos. Nos EUA, todos os anos, ocorrem 300 000 fracturas no fémur).
  - Colisões ou impacto entre humanos e viaturas automóveis, continuam a representar as principais causas de morte, para idades até 35 anos.
- **Âmbito de aplicação da mecânica do impacto:**
  - Estudo da influência das forças de impacto e do movimento no corpo humano



Patrick A. Forbes
Development of a Human Body Model for the Analysis of Side Impact Automotive Thoracic Trauma, A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science

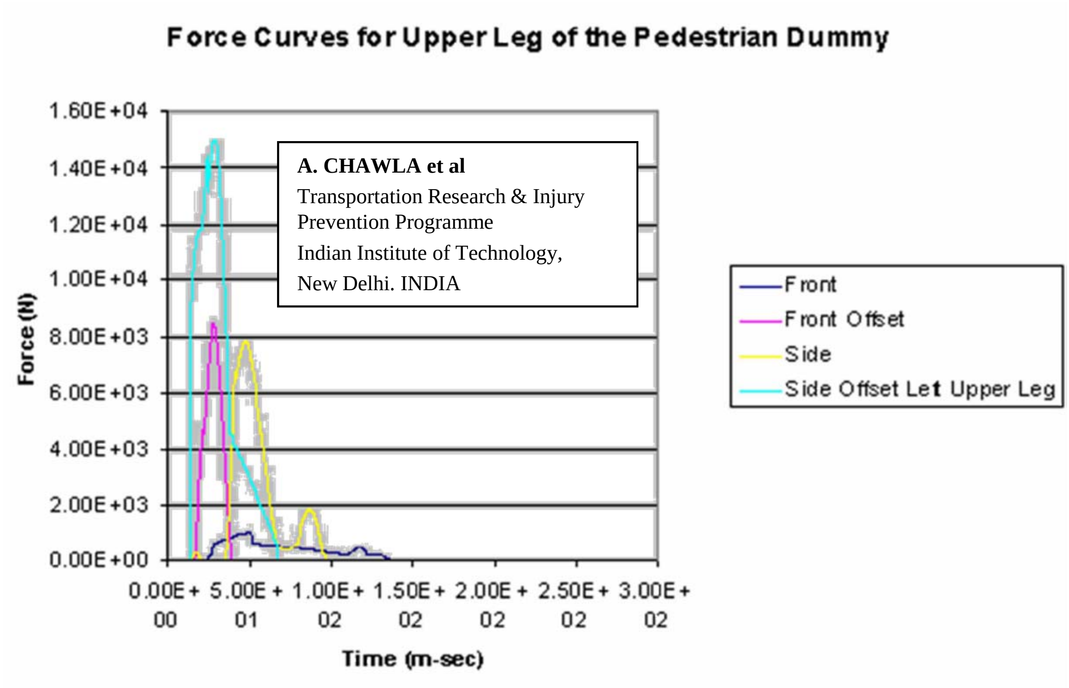


A. CHAWLA et al
Transportation Research & Injury Prevention Programme
Indian Institute of Technology,
New Delhi. INDIA

Cap.7 – IMPULSO, TRABALHO E ENERGIA

- **Impulso:**
  - Vector caracterizado por uma força que actua num corpo durante um curto período de tempo (t2-t1).
  - Sistema de unidades SI = [N.s]
  - No caso da força não alterar direcção durante o período Δt, a amplitude do impulso é numericamente igual à área por baixo do gráfico F versus Δt.

$$\vec{I} = \int_{t1}^{t2} F \, dt$$



Cap.7 – IMPULSO, TRABALHO E ENERGIA

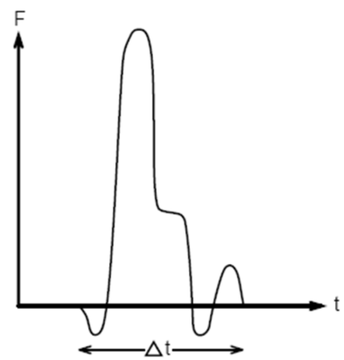
- **Princípio do Impulso e da Quantidade de Movimento Linear e Angular**

Quando uma força elevada actua durante um curto espaço de tempo ou instantaneamente num corpo, provocará a alteração da sua velocidade. Este tipo de forças denominadas de impacto existem sempre que ocorra a colisão entre corpos. Este tipo de situação afectará o movimento no corpo humano, pelo que o seu interesse de estudo.

$$m\mathbf{v}_1 + \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F}\, dt = m\mathbf{v}_2 \qquad r_1 \times m\mathbf{v}_1 + \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{M_0}\, dt = r_2 \times m\mathbf{v}_2$$

O impulso actuante num objecto está directamente relacionado com a alteração do seu momento linear **L**=m**v** ou angular **H**=**r**xm**v,** em que ***m*** é a massa do corpo, **v** a velocidade no centro de massa e **r** o vector posição. Assim v1 diz respeito à velocidade anterior ao impacto e v2 à velocidade depois do impacto, no intervalo de tempo (t1-t2). O integral da equação, representa o impulso linear da força **F** ocorrido num instante de tempo curto em [Ns].

$$\int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F}\, dt = \mathbf{Imp}_{1 \rightarrow 2}$$



As equações anteriores traduzem o **princípio do impulso e quantidade de movimento.**

O momento linear do corpo, na direcção ortogonal ao impulso, manter-se-á inalterado.

Cap.7 – Exercício 7.1

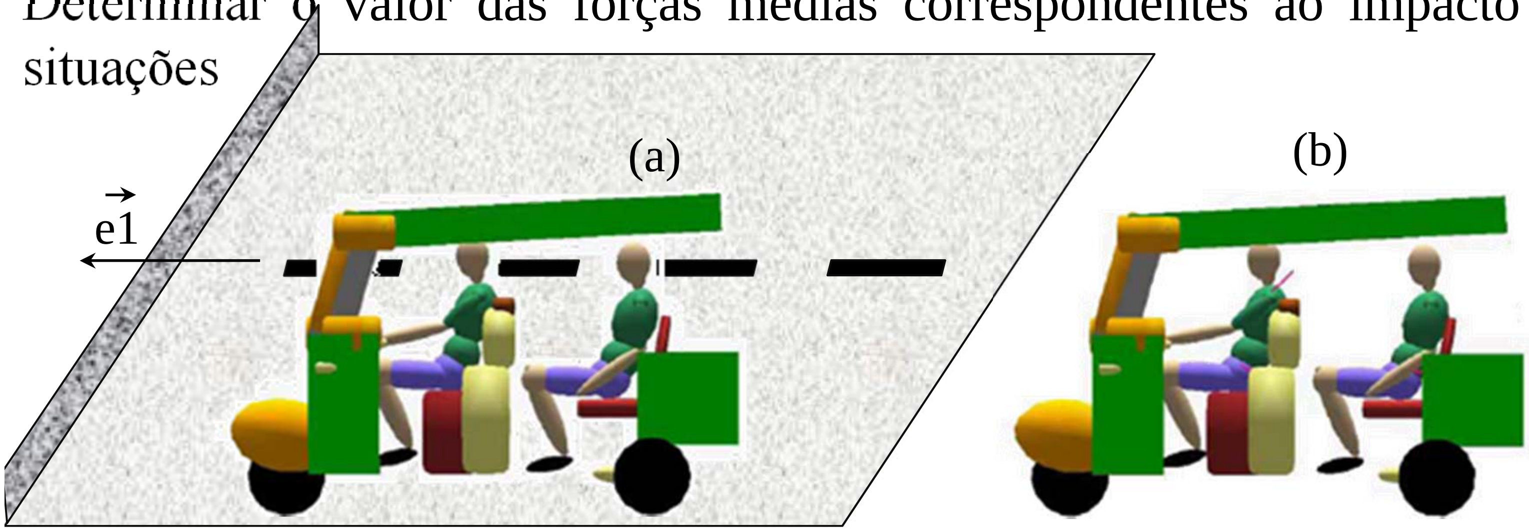
Com o objectivo de comparar os resultados das forças impulsivas exercidas sobre os ocupantes dos veículos representados, efectuou-se um estudo simplificado sobre o impacto em modelos antropométricos de corpo humano, com (b) e sem (a) cinto de segurança.

O veículo motorizado representado atinge uma parede de betão, com uma velocidade de 120 [km/h]. Tendo em consideração o facto dos corpos serem deformáveis e não absolutamente rígidos, assumiu-se que o choque duraria cerca de 500 [ms], representando o tempo de paragem.

A massa dos passageiros posicionados na frente do veículo é igual a 60 [kg].

No caso dos passageiros possuírem cintos de segurança (b), estes deverão atingir protecção frontal do veículo em 0.5 [s].

Determinar o valor das forças médias correspondentes ao impacto frontal nas duas situações



Cap.7 – Exercício 7.1 - resolução

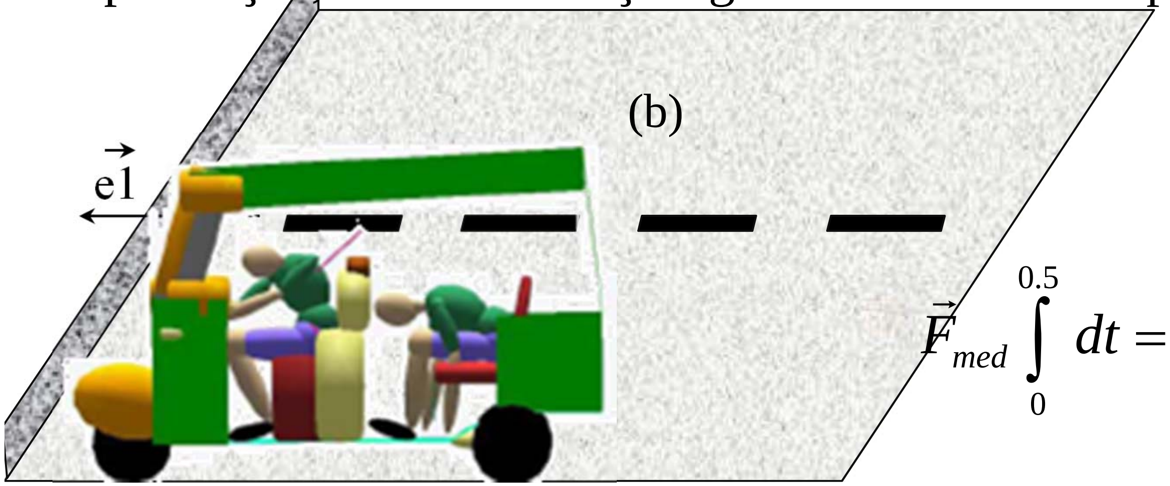
- Aplicando o princípio do impulso e da quantidade de movimento linear, na situação (b) e assumindo que as restantes forças (gravidade e de contacto com o banco) que actuam no passageiro da frente são muito menores do que a de impulso:

$$m\vec{V}_1 + \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt = m\vec{V}_2 \quad \Leftrightarrow \quad \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt = m\left(\vec{V}_2 - \vec{V}_1\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt = 60\left(0 - 33.3\,\vec{e}_1\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt = -2000\,\vec{e}_1\,[Ns]$$

- Assumindo uma força constante durante o período de impacto, para condutor com protecção, a "única" força significativa é a do impacto do cinto de segurança:



$$\vec{F}_{med} \int_0^{0.5} dt = -2000\,\vec{e}_1 \Leftrightarrow \vec{F}_{med} = -4000\,[N]\,\vec{e}_1$$

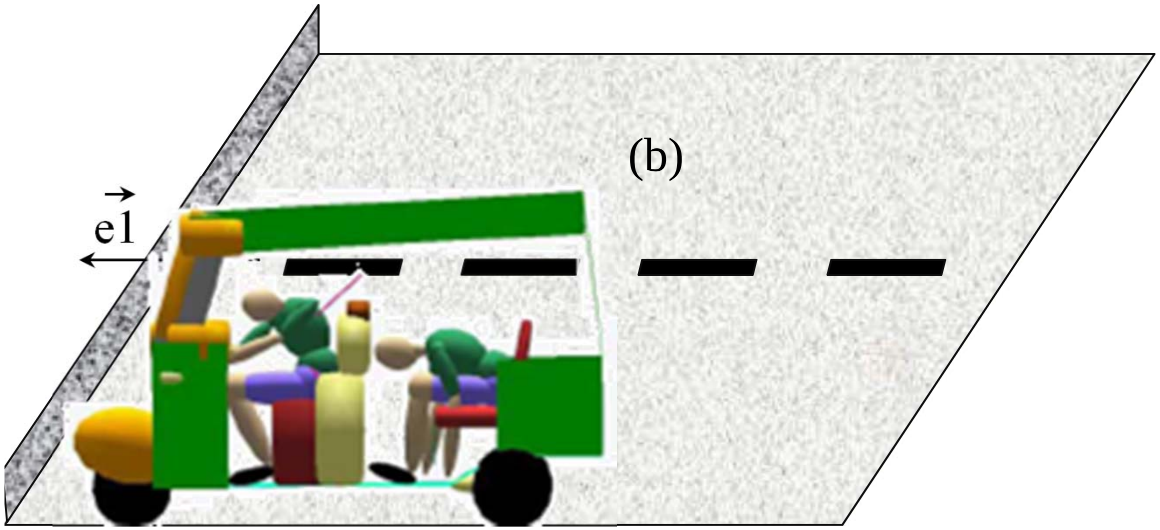
Cap.7 – Exercício 7.1 - resolução

- Por aplicação da segunda lei de Newton:

Valor médio

$$\sum \vec{F} = m\,\vec{a}_{cm} \quad \Leftrightarrow \quad -4000\,\vec{e}_1 = m\,\vec{a}_{cm} \quad \Leftrightarrow \quad \vec{a}_{cm} = -66.7\,\left[m/s^2\right]$$

- Resulta uma aceleração média de, aproximadamente, 7 vezes a aceleração da gravidade.
- Note: Quanto maior for a duração do impacto menor será o valor da aceleração média, minimizando potenciais riscos para os ocupantes.



Cap.7 – Exercício 7.1 - resolução

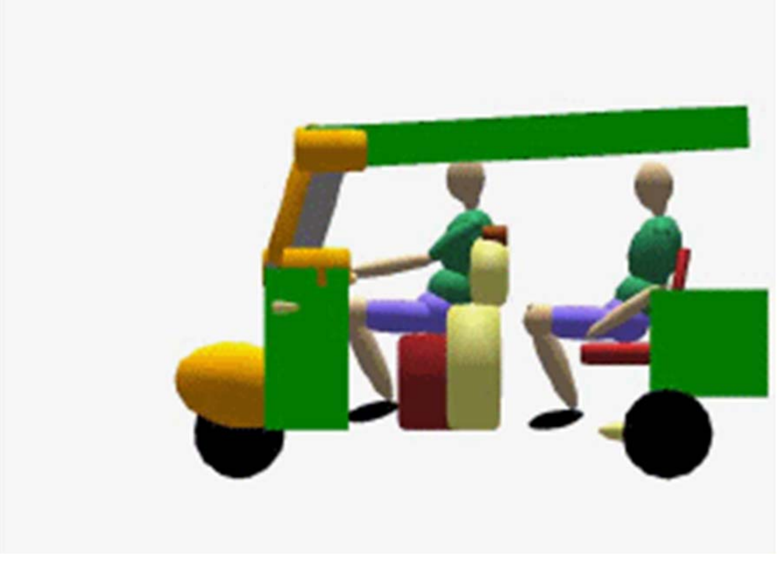
- Aplicando o princípio do impulso e da quantidade de movimento linear, na situação (a), assumindo que os passageiros atingem a protecção frontal em 1 [ms], a força média correspondente ao impulso vale:

$$m\vec{V}_1 + \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt = m\vec{V}_2 \quad \Leftrightarrow \quad \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt = m\left(\vec{V}_2 - \vec{V}_1\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \vec{F}_{med} \int_{0}^{0.001} dt = -2000\, \vec{e}_1 \Leftrightarrow \vec{F}_{med} = -2\,000\,000\, [N]\, \vec{e}_1$$

- Por aplicação da segunda lei de Newton:

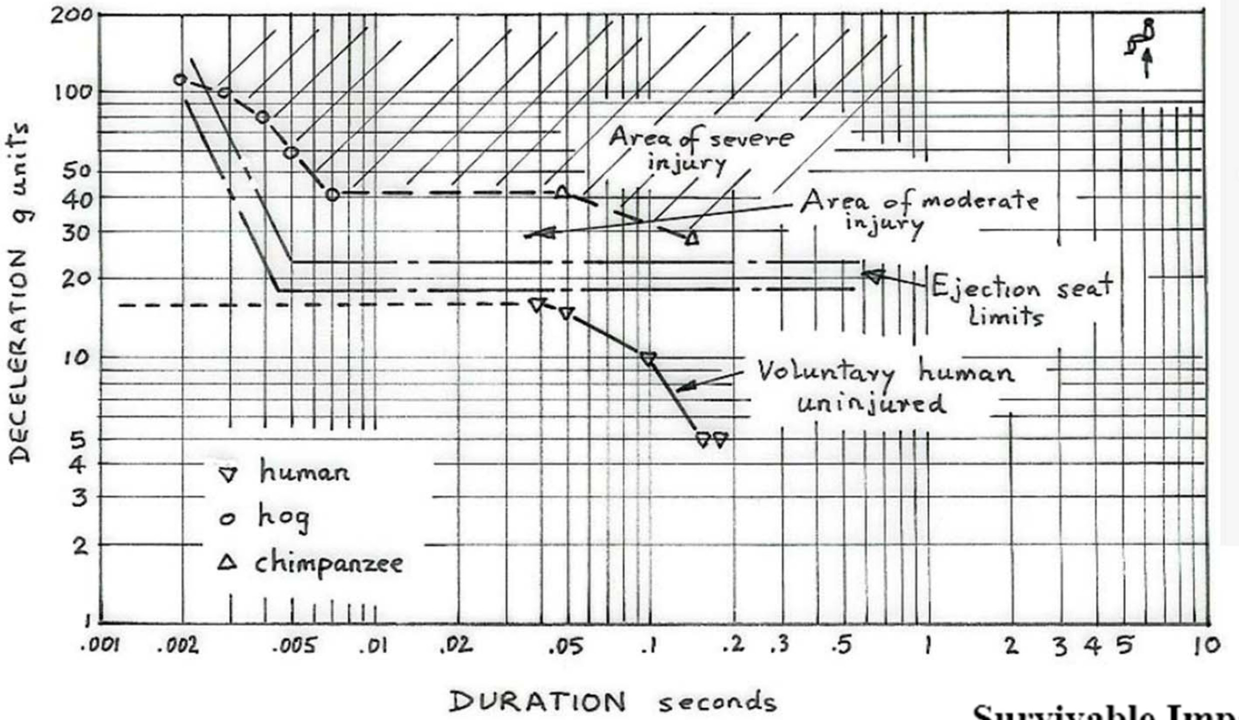
$$\sum \vec{F} = m\, \vec{a}_{cm} \quad \Leftrightarrow -2000000\, \vec{e}_1 = m\, \vec{a}_{cm} \Leftrightarrow \vec{a}_{cm} = -33350 \left[m/s^2\right]$$

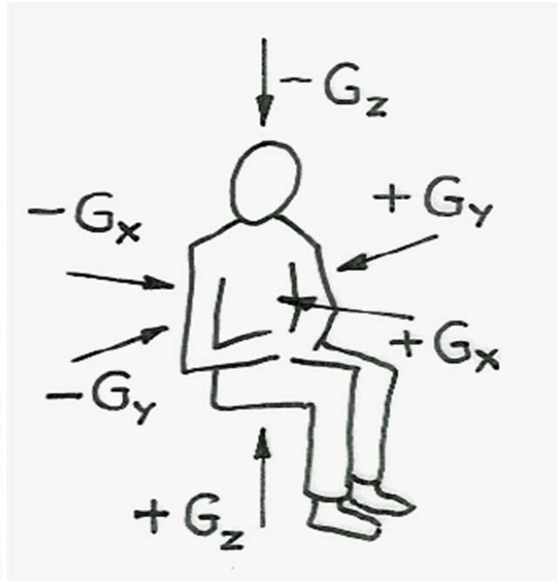


- Resulta uma aceleração média de, aproximadamente, 3400 vezes a aceleração da gravidade.
- Note: Segundo o autor Tözeren, acelerações superiores a 200 g devem provocar danos irreversíveis na parte superior do corpo humano.

Cap.7 – IMPULSO, TRABALHO E ENERGIA

- Consequência da exposição de pessoas e animais em situações de aceleração vertical positiva, em função do valor da aceleração e da duração da mesma.





Survivable Impact Forces on Human Body Constrained by Full Body Harness

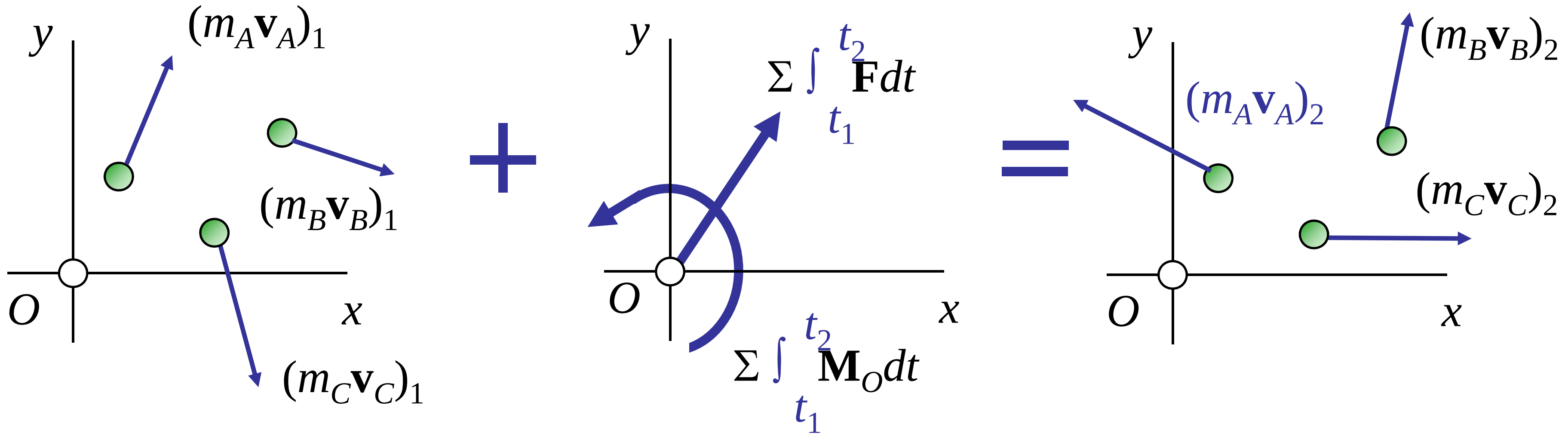
HSL/2003/09

Prepared by **Harry Crawford** for the Health and Safety Executive

Cap.7 – IMPULSO, TRABALHO E ENERGIA

- **Principio do Impulso e da Quantidade de Movimento Linear e Angular**

No caso do impulso em várias partículas resulta em:



Caso particular em que não existam forças externas, existe **conservação de movimento**

$$\Sigma m\mathbf{v}_1 = \Sigma m\mathbf{v}_2 \qquad \Sigma\, \mathrm{r}_1\, m\mathbf{v}_1 = \Sigma\, \mathrm{r}_2\, m\mathbf{v}_2$$

Principio do impulso e momento ou principio da conservação da energia através das equações relativas ao momento linear e angular do sistema:

$$\mathbf{L}_1 = \mathbf{L}_2 \qquad (\mathbf{H}_O)_1 = (\mathbf{H}_O)_2$$

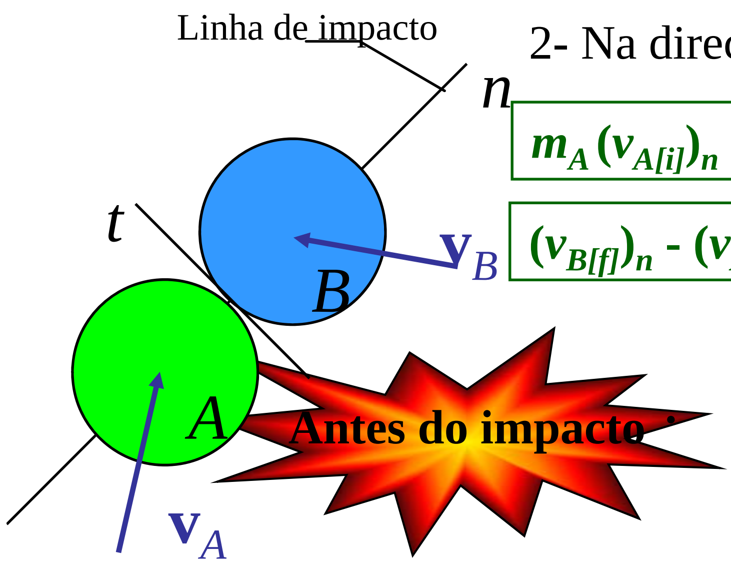
Cap.7 – IMPULSO, TRABALHO E ENERGIA

- Aplicando o princípio do impulso e da quantidade de movimento linear ao choque obliquo entre dois corpos, entre os dois instantes (antes [i] e depois do impacto [f]):

$$m\vec{V}_i + \underbrace{\cancel{\int_{t_i}^{t_f} \vec{F}\, dt}}_{=0} = m\vec{V}_f \quad \Leftrightarrow \quad \left[\sum_{j=1}^{2} m_j \vec{V}_j\right]_{ti} + 0 = \left[\sum_{j=1}^{2} m_j \vec{V}_j\right]_{tf}$$

1- Na direcção t:

$$\boxed{(\boldsymbol{v}_{A[i]})_t = (\boldsymbol{v}_{A[f]})_t \qquad (\boldsymbol{v}_{B[i]})_t = (\boldsymbol{v}_{B[f]})_t}$$

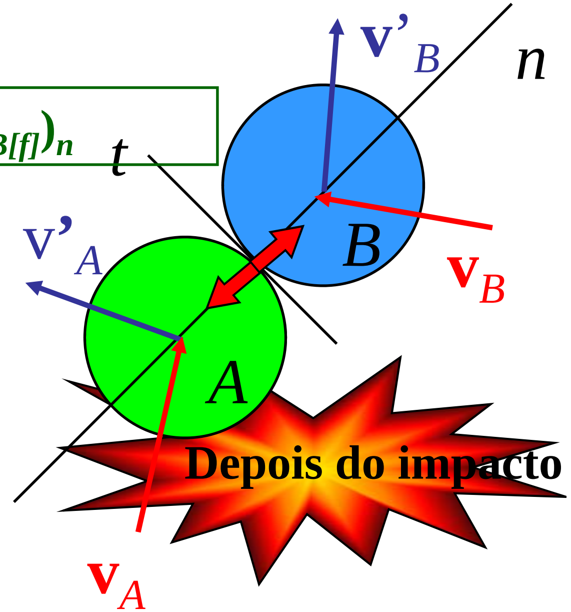


2- Na direcção n:

$$\boxed{m_A\,(v_{A[i]})_n + m_B\,(v_{B[i]})_n = m_A\,(v_{A[f]})_n + m_B(v_{B[f]})_n}$$

$$\boxed{(v_{B[f]})_n - (v_{A[f]})_n = e\,[(v_{A[i]})_n - (v_{B[i]})_n]}$$

e= Coeficiente de restituição – depende dos materiais envolvidos na situação de choque. O valor deverá variar entre "e"=0 (choque perfeitamente plástico) e "e"=1 (choque perfeitamente elástico).

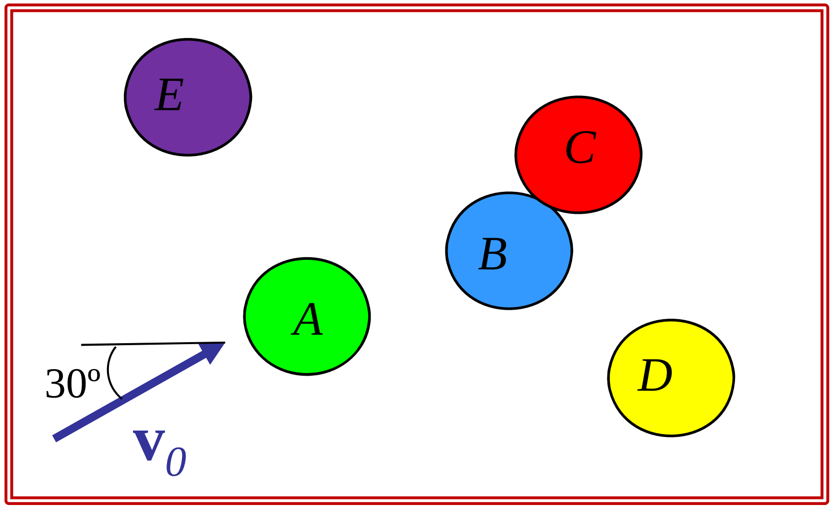


Cap.7 – IMPULSO, TRABALHO E ENERGIA

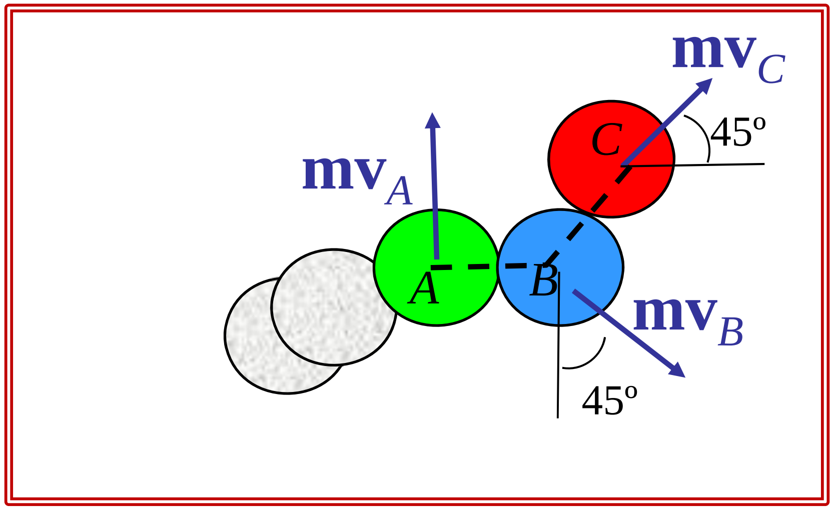
- Exercício 7.2

  Num jogo de bilhar, a bola A, desloca-se com uma velocidade v0 cuja intensidade é igual a 4,572m/s quando atinge as bolas B e C, que estavam em repouso e alinhadas como se representa na figura (a). Sabendo que depois da colisão as três bolas se movem nas direcções indicadas (b), admitindo que as superfícies são lisas e que o choque é perfeitamente elástico (há conservação de energia), determine a intensidade das velocidades vB e vC.

Nota: Considere que após o choque a bola A adquire uma velocidade de 2,3m/s.



(a) Na mesa de bilhar: Antes do Impacto



(b) Na mesa de bilhar: Depois do Impacto