

# Culpado ou Inocente?

**Adérito Araújo**

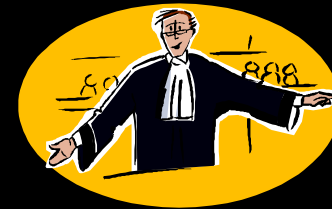


Centro de Matemática da Universidade de Coimbra  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra  
Portugal

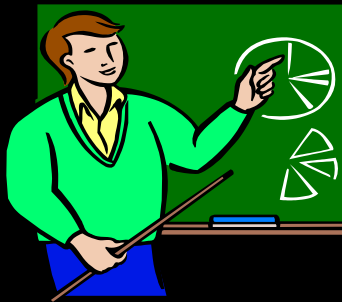
**Ou uma história (verdadeira) de**



**polícias,**



**advogados,**



**matemáticos e**



**condutores distraídos.**

# **SUMÁRIO**

---

- 1. O acidente**
- 2. As provas**
- 3. Culpado ou inocente?**
- 4. O contributo da ciência**
- 5. Decisão do juiz**
- 6. Notas finais**

# 1. O acidente



Finais de Outubro, hora do almoço, dia de sol

# 1. O acidente



Finais de Outubro, hora do almoço, dia de sol

# 1. 0 acidente



## 2. As provas



### Condutor do veículo 1 (mota)

Homem, 75 anos, casado, reformado

### Condutor do veículo 2 (automóvel)

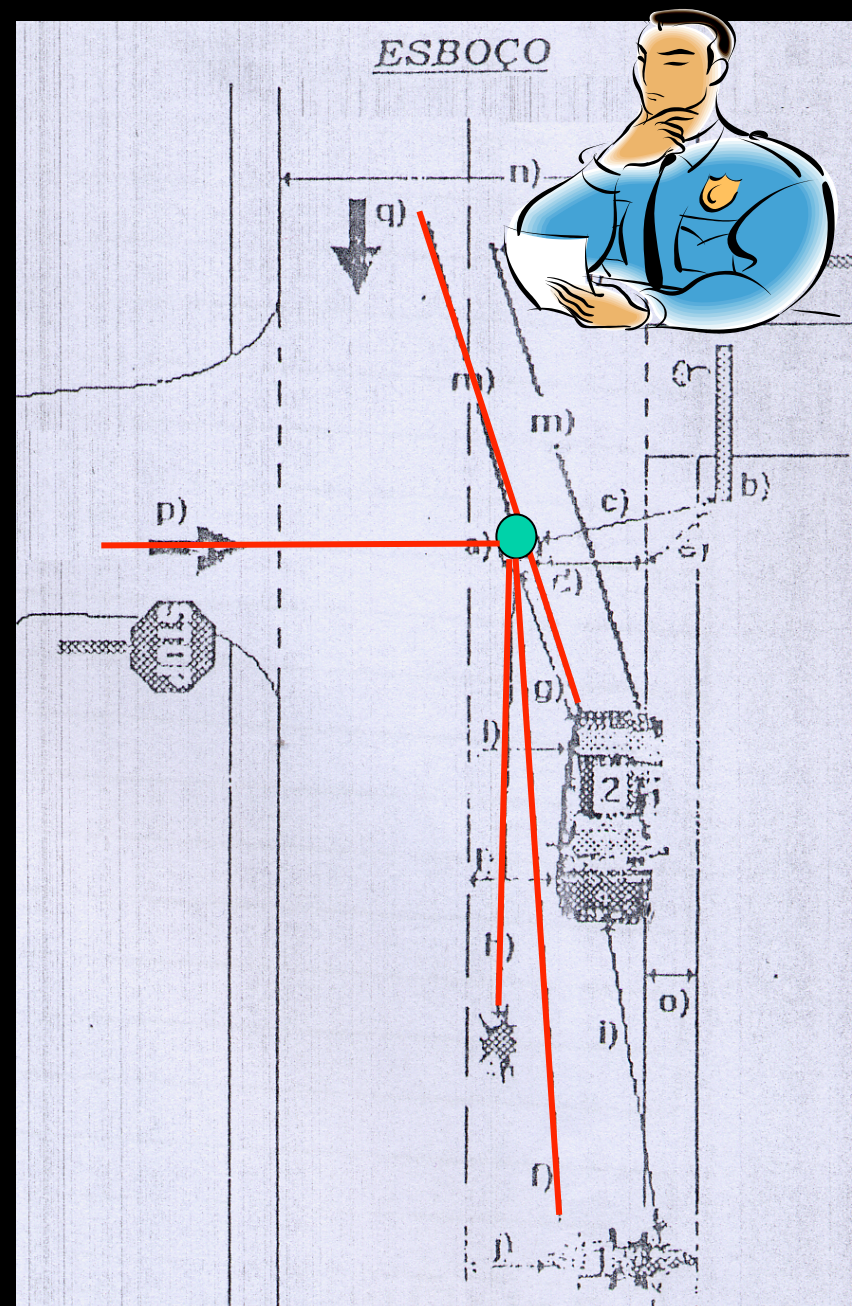
Homem, 22 anos, solteiro, carpinteiro

## 2. As provas

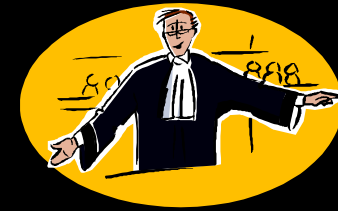
### Distâncias medidas

### Valor (metros)

|                                                                |      |
|----------------------------------------------------------------|------|
| L a P                                                          | 6,5  |
| Faixa de rodagem                                               | 6,2  |
| Largura da berma                                               | 0,8  |
| L à berma                                                      | 2,7  |
| P ao topo da berma                                             | 3,8  |
| L ao veículo 1                                                 | 28,9 |
| L ao veículo 2                                                 | 4,5  |
| L à mancha de sangue                                           | 10,6 |
| Veículo 1 ao veículo 2                                         | 21   |
| Veículo 1 ao eixo da via                                       | 1,6  |
| Rodado de trás (lado direito)<br>do veículo 2 ao eixo da via   | 1,6  |
| Rodado da frente (lado direito)<br>do veículo 2 ao eixo da via | 1,7  |
| Rasto de travagem (veículo 2)                                  | 30,2 |
| Início do rasto de travagem<br>à berma esquerda                | 2,3  |



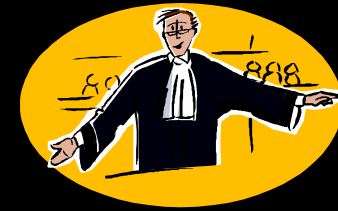
### 3. Culpado ou inocente?



#### Defesa

1. O arguido conduzia o ligeiro, que era seu a velocidade a rondar os 60 km/h
2. A vítima não atendeu ao sinal de paragem obrigatória (STOP) que se lhe apresentava, não parando antes de atravessar a estrada
3. Entrou na estrada sem atender ao trânsito que nesta se processava e, por conseguinte, à aproximação do veículo tripulado pelo arguido
4. Não obstante esta eminente aproximação a vítima “fez-se à estrada”
5. Quando a vítima entrou na estrada o ligeiro estaria a 30/40 metros
6. Quando o arguido avistou o motociclo e a vítima travou o ligeiro, desviando-se instintivamente para a esquerda, não conseguindo evitar a colisão
7. O arguido não tinha que contar com a travessia da vítima
8. Cerca de 50 metros existia um sinal de entroncamento sem prioridade
9. **O arguido não teve culpa na eclosão do acidente**

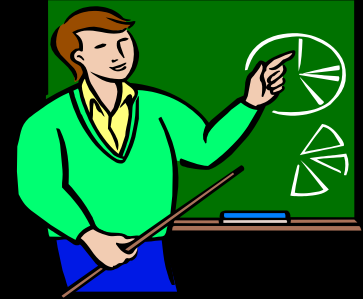
### 3. Culpado ou inocente?



#### Acusação

1. Existe, de modo visível, sinalização limitativa da velocidade a 50 km/h
2. O ligeiro seguia a velocidade imoderada e inadequada às condições do lugar, via e restante tráfego
3. O motociclo atravessava já a via, tendo já transposto o seu eixo
4. O arguido pretendeu, a todo o custo, tornear o obstáculo, desviando-se para a semi-faixa direita e accionando os travões apenas quando se encontrava muito próximo do entroncamento
5. O automóvel conduzido pelo arguido veio a embater no motociclo projectando violentamente o seu condutor
6. O condutor do motociclo veio a sofrer lesões as quais foram causa suficiente da sua morte
7. O arguido conduziu a viatura com imperícia e de modo negligente
8. Agiu de forma livre e consciente bem sabendo que a sua conduta não lhe era permitida por lei
9. **O arguido incorreu na prática de um homicídio por negligência**

## 4. O contributo da ciência



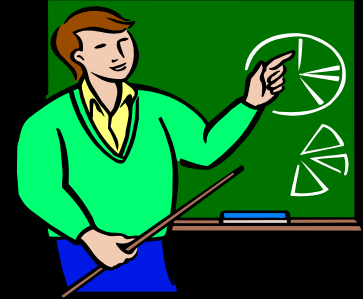
### 4.1 Conceitos básicos

**Velocidade** = distância/tempo

**Aceleração** = velocidade/tempo

**Distância** =  $v_0t + 0,5at^2$

## 4. O contributo da ciência



### 4.2 Leis de Newton

#### 1ª Lei

Um corpo só altera o seu estado de velocidade se for actuado por uma **força**

#### 2ª Lei ( $F = m \times a$ )

A velocidade varia por aplicação de **forças**

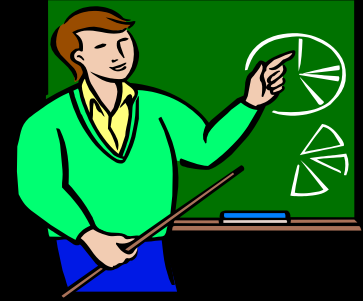
#### 3ª Lei

Por cada **força** aplicada existe uma igual de reacção em sentido oposto

## 4. O contributo da ciência

### 4.2.1 Forças

Empurrar, esticar, puxar, torcer, envolve forças

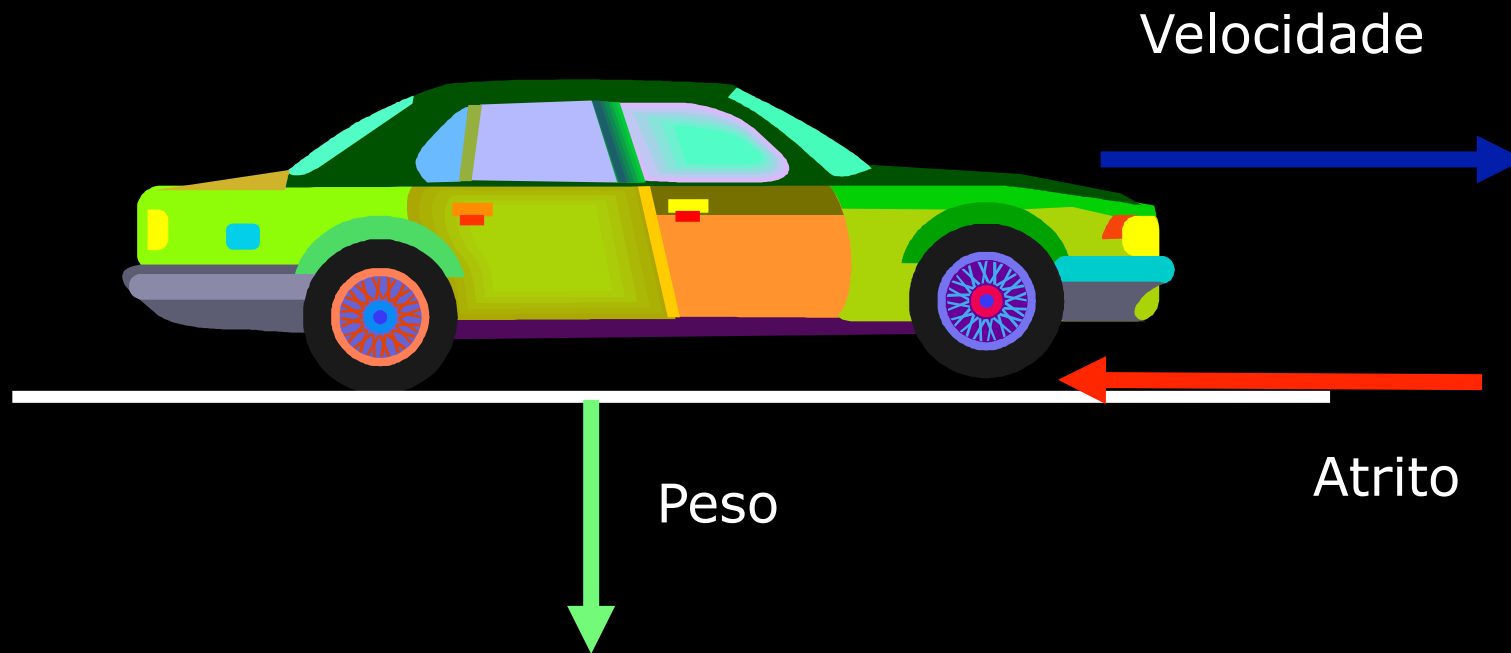
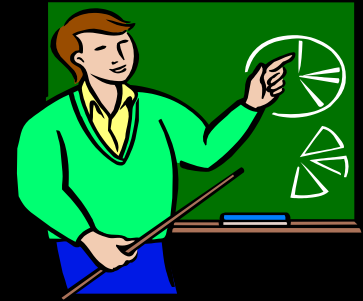


**Peso** (peso = massa  $\times$  g     $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )  
Força particular resultante de uma massa  
que está a ser actuada por um campo gravítico

**Força de atrito**  
Quando dois corpos em contacto se deslocam  
relativamente entre si, com escorregamento  
relativo das suas superfícies de contacto,  
desenvolve-se uma força de atrito que se opõem  
ao movimento

## 4. O contributo da ciência

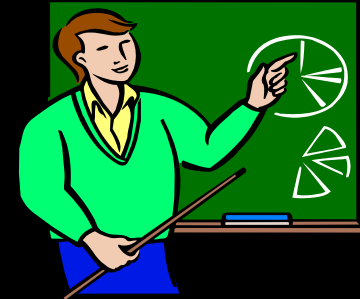
### 4.2.2 Força de atrito



Força de atrito = força de contacto x coeficiente de atrito

## 4. O contributo da ciência

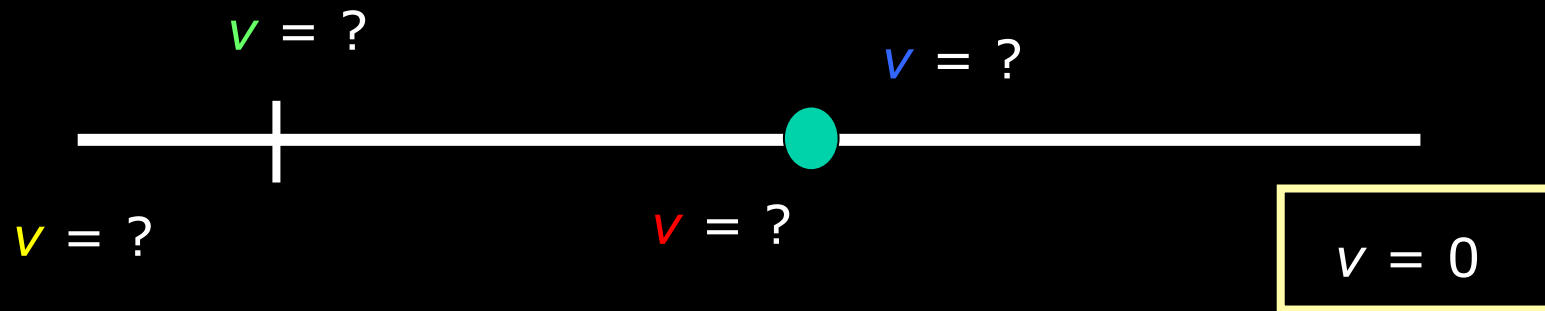
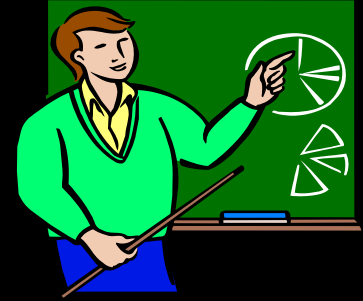
### 4.2.3 Coeficientes de atrito



| Pavimento | Seco<br>< 45 km/h | Seco<br>> 45 km/h | Molhado<br>< 45 km/h | Molhado<br>> 45 km/h |
|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| ASFALTO   |                   |                   |                      |                      |
| Novo      | 0,80 - 1,20       | 0,65 - 1,00       | 0,50 - 0,80          | 0,45 - 0,75          |
| Usado     | 0,60 - 0,80       | 0,55 - 0,70       | 0,45 - 0,70          | 0,40 - 0,65          |
| Polido    | 0,55 - 0,75       | 0,45 - 0,65       | 0,45 - 0,65          | 0,40 - 0,60          |
| BRITA     |                   |                   |                      |                      |
| Compacta  | 0,55 - 0,85       | 0,50 - 0,80       | 0,40 - 0,80          | 0,40 - 0,60          |
| Solta     | 0,40 - 0,70       | 0,40 - 0,70       | 0,45 - 0,75          | 0,45 - 0,75          |
| GELO      |                   |                   |                      |                      |
| Liso      | 0,10 - 0,25       | 0,07 - 0,20       | 0,05 - 0,10          | 0,05 - 0,1           |

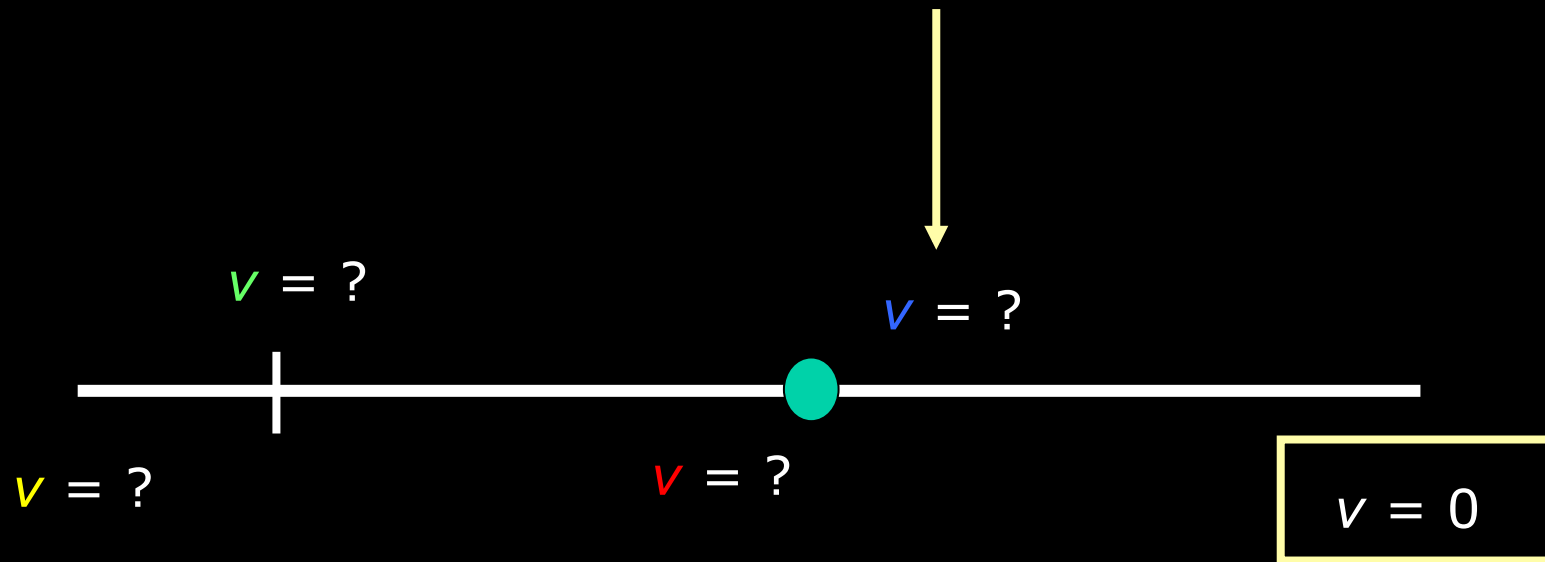
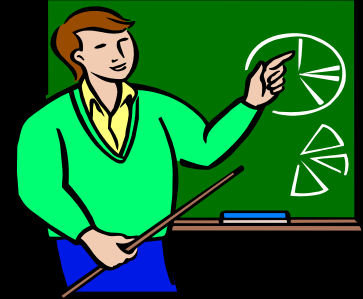
## 4. O contributo da ciência

### 4.3 Cálculo da velocidade após a colisão



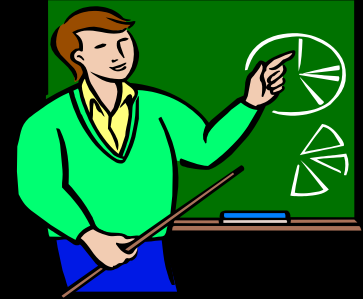
## 4. O contributo da ciência

### 4.3 Cálculo da velocidade após a colisão



## 4. O contributo da ciência

### 4.3.1 Conservação da energia



#### Energia cinética

Um corpo de massa  $m$  e animado de uma velocidade  $v$  dispõe de uma energia cinética

$$E_c = 0,5 \times m \times v^2$$

#### Energia dissipada por atrito

$E_a$  = coeficiente de atrito x peso x distância

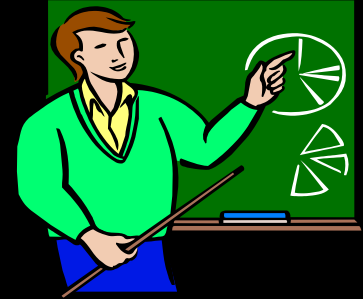
#### Conservação da energia

$$E_c = E'_c + E_a + E_i$$

( $E_i$  = energia absorvida no impacto)

## 4. O contributo da ciência

### 4.3.1 Conservação da energia



#### Princípio da conservação da energia

Energia dissipada por atrito = Energia cinética

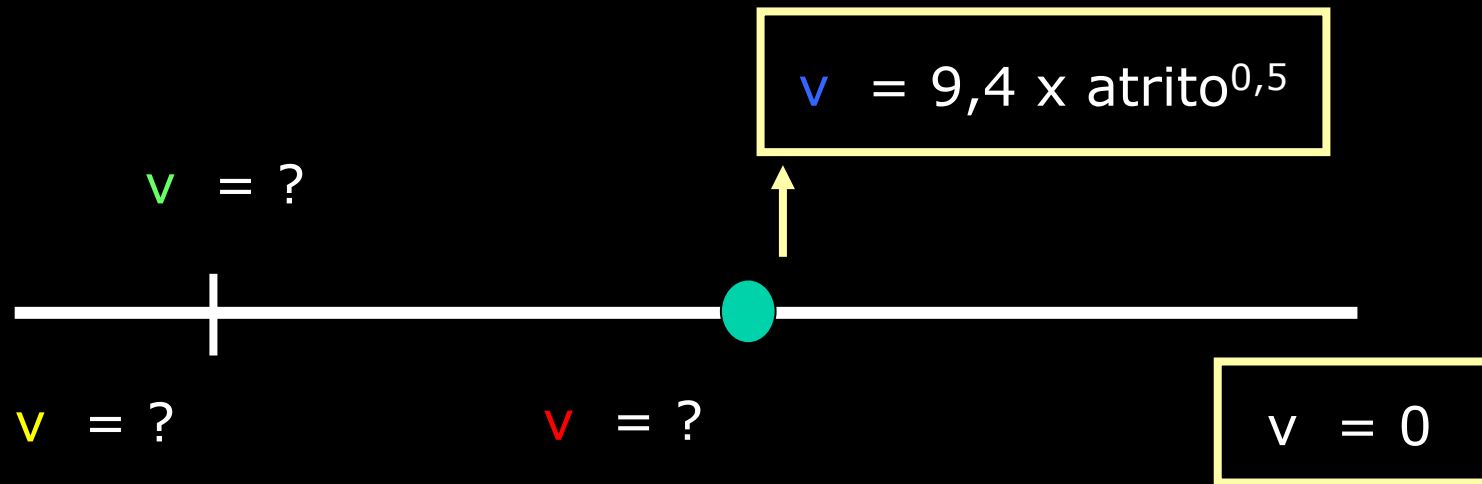
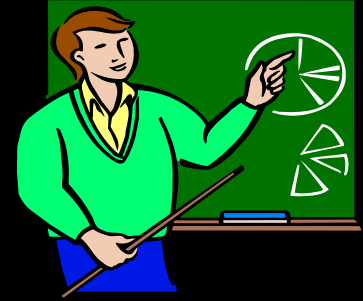
$$E_a = \text{atrito} \times m \times 9,8 \times d$$

$$E_c = 0,5 \times m \times v^2$$

$$v = (19,6 * \text{atrito} * 4,5)^{0,5}$$

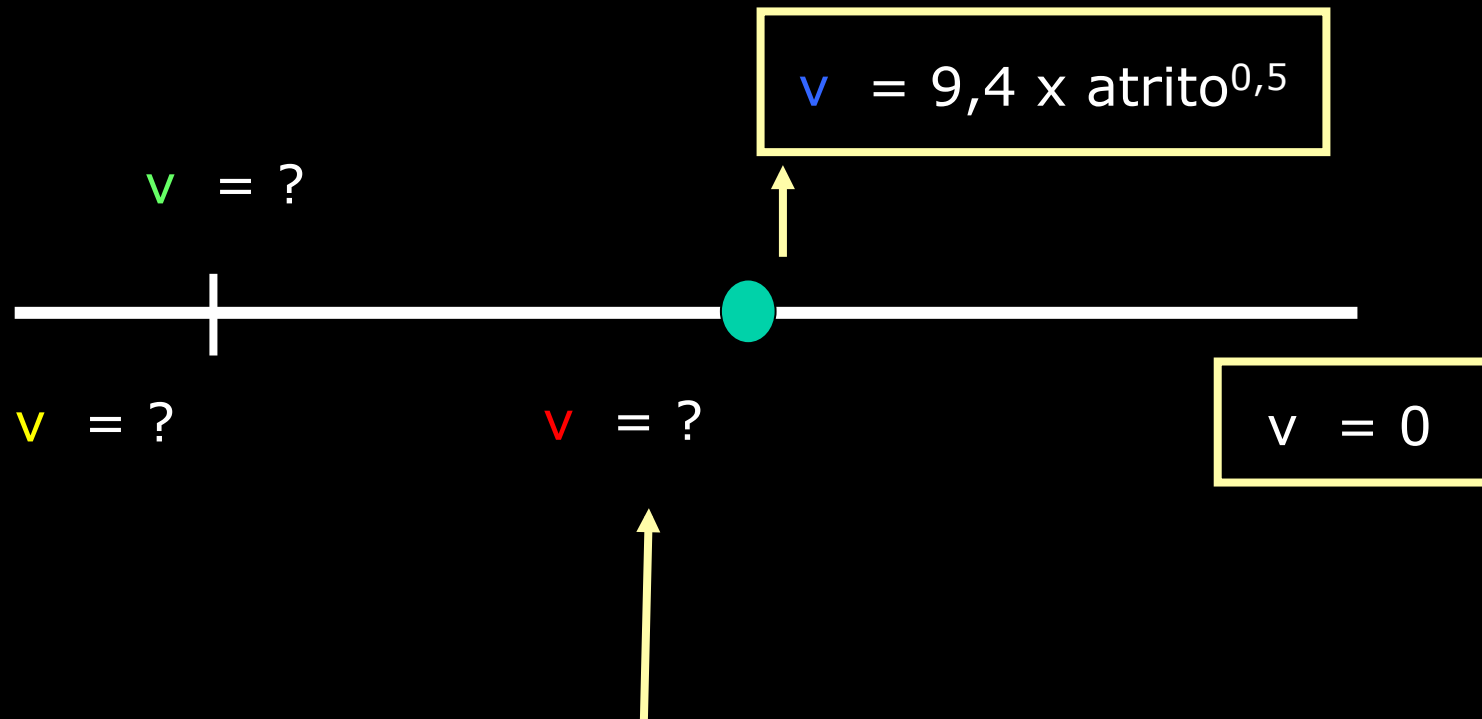
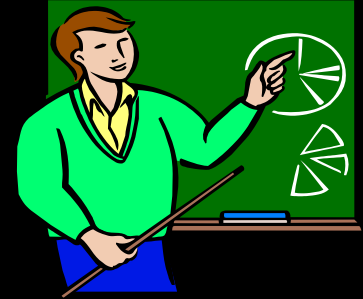
## 4. O contributo da ciência

### 4.3.2 Velocidade após a colisão



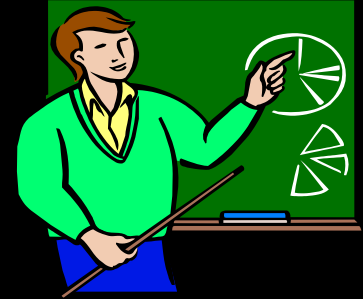
## 4. O contributo da ciência

### 4.4 Cálculo da velocidade imediatamente antes da colisão



## 4. O contributo da ciência

### 4.4.1 Conservação da quantidade de movimento



#### Quantidade de movimento

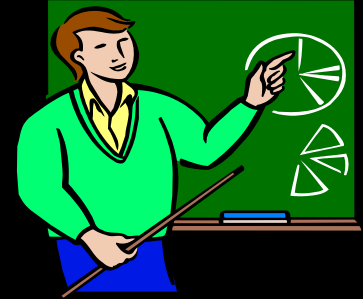
É o produto da massa pela velocidade ( $p = m \times v$ )

#### Princípio da conservação

Na ausência de forças externas, a quantidade de movimento não varia

## 4. O contributo da ciência

### 4.4.1 Conservação da quantidade de movimento



Se duas massas, antes da colisão tiverem velocidades  $v$  e  $v_m$  e depois da colisão  $v$  e  $v_m$  então (não havendo forças externas ao sistema durante o processo)

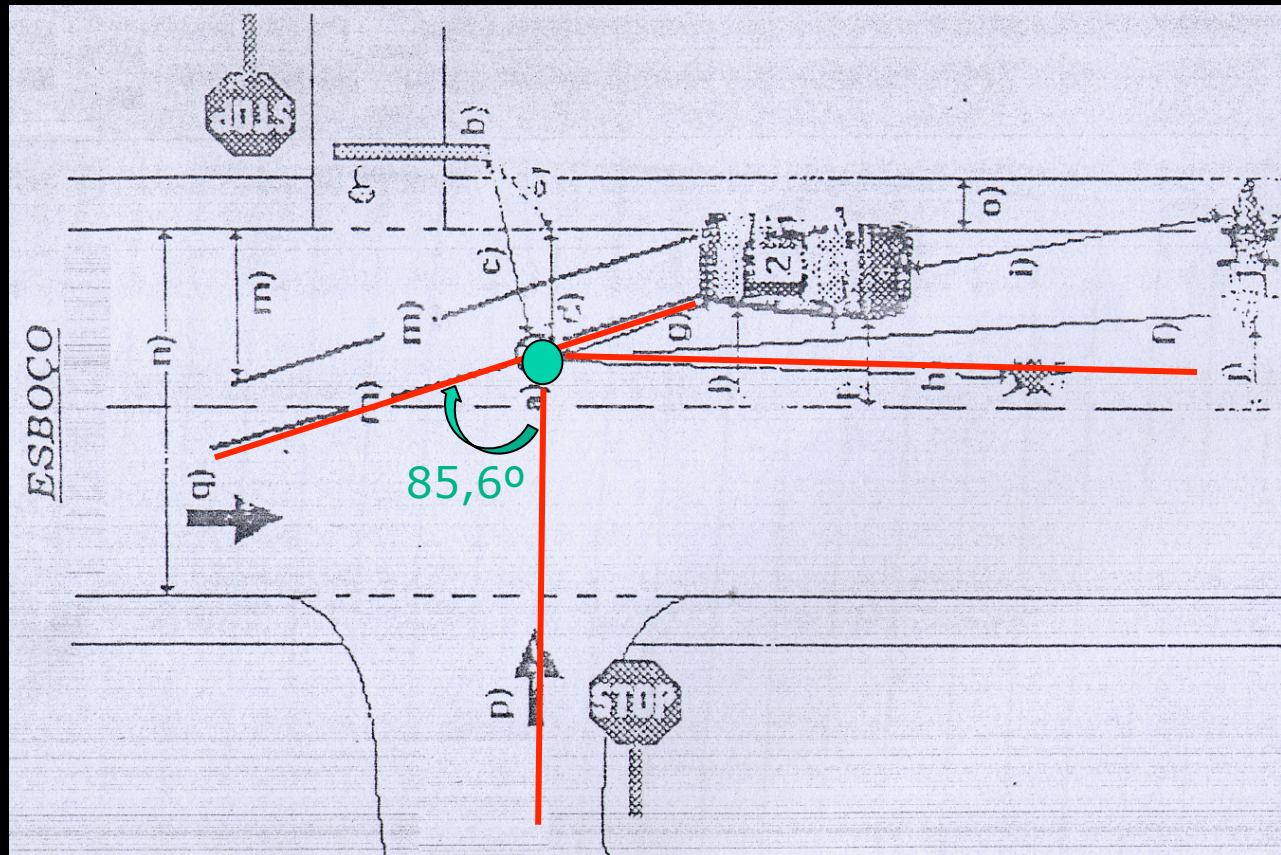
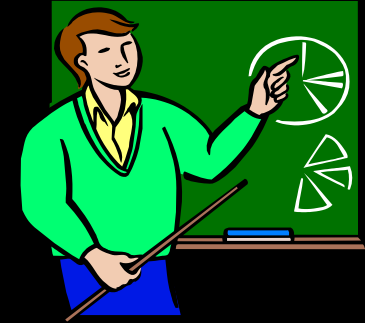
$$m v + m_m v_m = m v + m_m v_m$$

Se  $v_m = 0$  e  $v$  e  $v_m$  forem conhecidas, então

$$v = v + m_m/m v_m$$

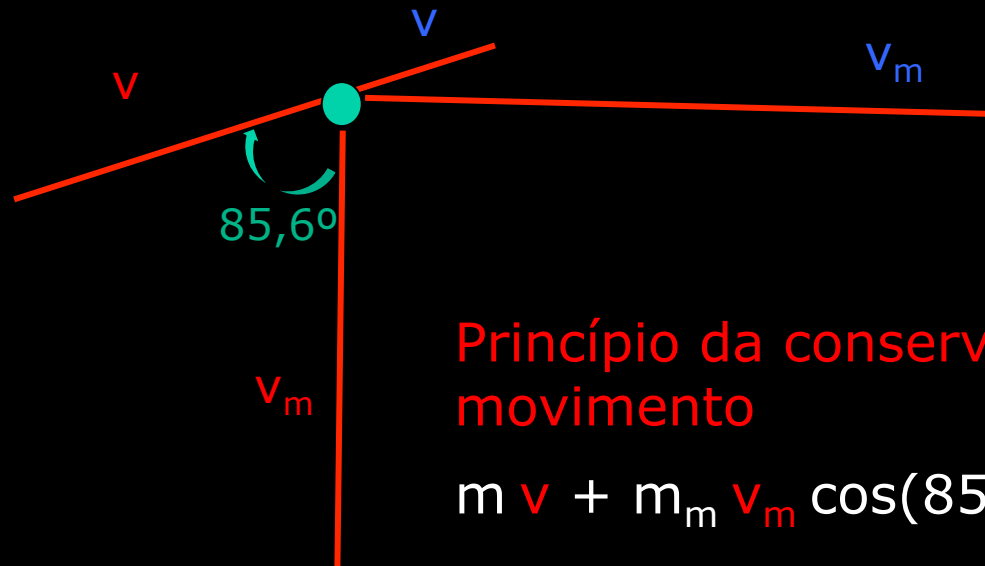
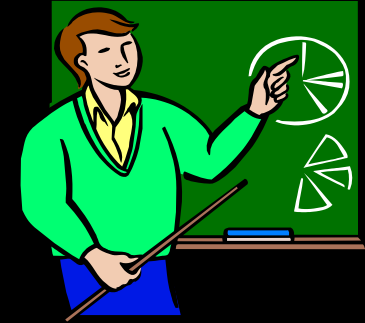
## 4. O contributo da ciência

### 4.5.1 Conservação da quantidade de movimento



## 4. O contributo da ciência

### 4.5.1 Conservação da quantidade de movimento



Princípio da conservação da quantidade de movimento

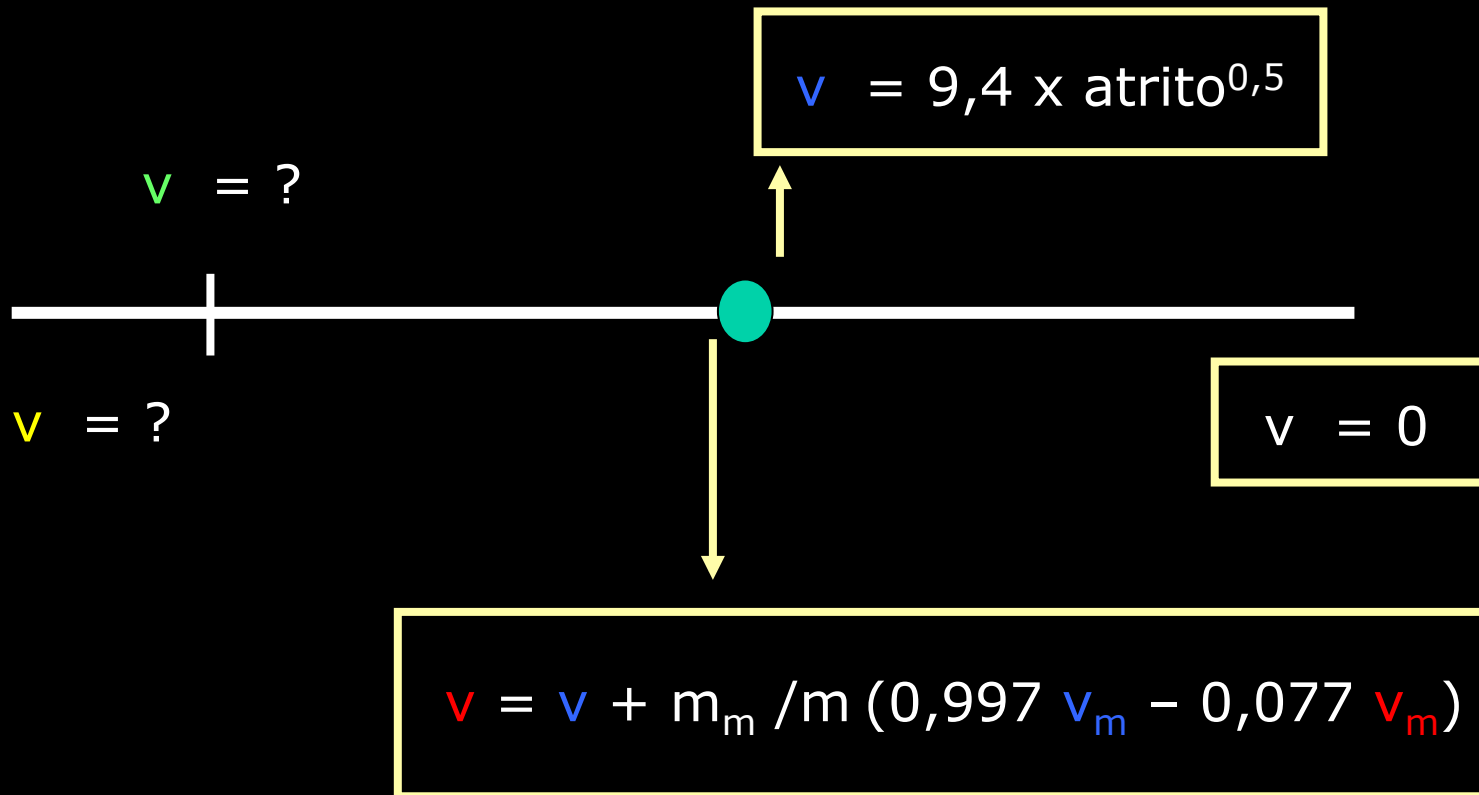
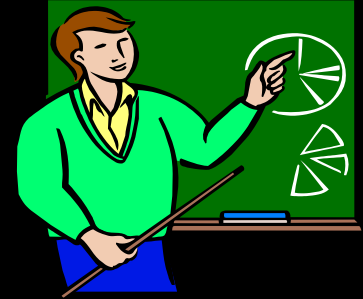
$$m v + m_m v_m \cos(85,6^\circ) = m v + m_m v_m \cos(4,4^\circ)$$

Hipótese:  $v_m$  conhecida

$$v = v + m_m / m (v_m \cos(4,4^\circ) - v_m \cos(85,6^\circ))$$

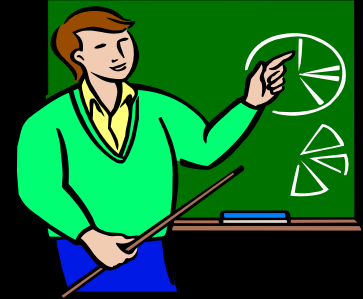
## 4. O contributo da ciência

### 4.4.2 Velocidade imediatamente antes da colisão



## 4. O contributo da ciência

### 4.5. Velocidade antes da travagem



$$v = (v^2 + 591,92 \times \text{atrito})^{0,5}$$

$$v = 9,4 \times \text{atrito}^{0,5}$$

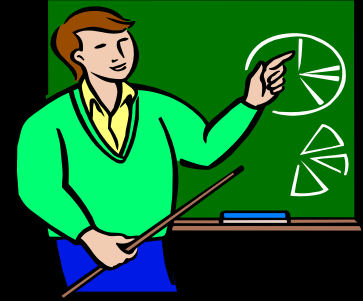
$$v = ?$$

$$v = 0$$

$$v = v + m_m / m (0,997 v_m - 0,077 v_m)$$

## 4. O contributo da ciência

### 4.6. Velocidade no início da travagem



Aceleração em travagem

$$a = - 9,8 \times \text{atrito}$$

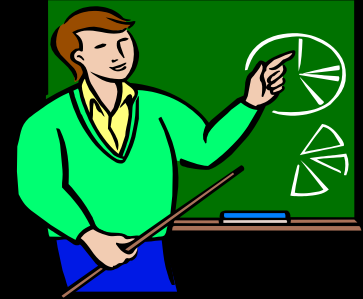
Então

$$v = v - a \underbrace{t_{rt}}$$

tempo de reacção dos travões

## 4. O contributo da ciência

### 4.6. Velocidade no início da travagem



$$v = (v^2 + 591,92 \times \text{atrito})^{0,5}$$

$$v = 9,4 \times \text{atrito}^{0,5}$$

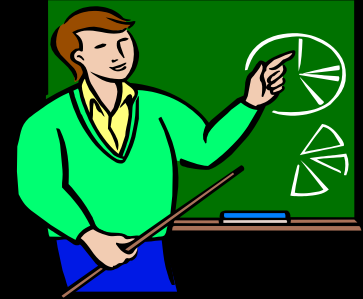
$$v = 0$$

$$v = v - a t_{rt}$$

$$v = v + m_m / m (0,997 v_m - 0,077 v_m)$$

## 4. O contributo da ciência

### 4.7 Tempo gasto no acidente



Início da travagem até ao embate

$$t_t = (v - v)/a$$

Reacção do condutor

$$t_r = 1 \text{ segundo}$$

Reacção dos travões

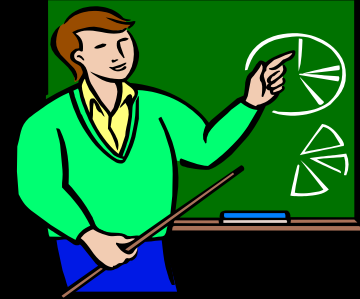
$$t_{rt} = 0,25 \text{ segundos}$$

Tempo total do acidente

$$t = t_r + t_t + t_{rt}$$

## 4. O contributo da ciência

### 4.8 Distâncias percorridas no acidente



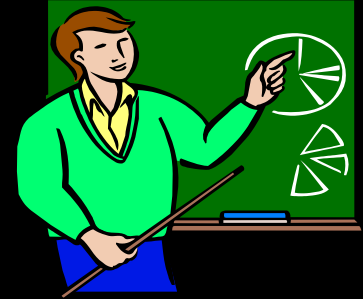
$$d = \text{rasto} + d_{tr} + d_r$$

#### Distâncias de reacção

| Velocidade (km/h) | Distância percorrida (m) |
|-------------------|--------------------------|
| 40                | 11,11 - 16,67            |
| 50                | 13,89 - 20,84            |
| 60                | 16,67 - 25,00            |
| 70                | 19,44 - 29,17            |
| 80                | 22,22 - 33,33            |
| 90                | 25,00 - 37,50            |
| 100               | 27,78 - 41,68            |
| 110               | 30,56 - 45,84            |
| 120               | 33,33 - 50,00            |

## 4. O contributo da ciência

### 4.9. Cálculos numéricos



$$v = (v^2 + 591,92 \times \text{atrito})^{0,5}$$

$$v = 9,4 \times \text{atrito}^{0,5}$$

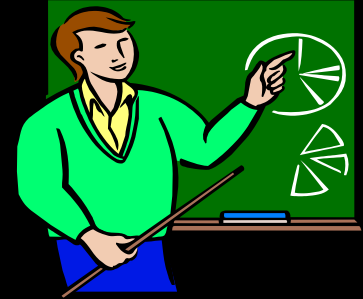
$$v = 0$$

$$v = v - a t_{rt}$$

$$v = v + m_m / m (0,997 v_m - 0,077 v_m)$$

## 4. O contributo da ciência

### 4.10. Cálculos numéricos

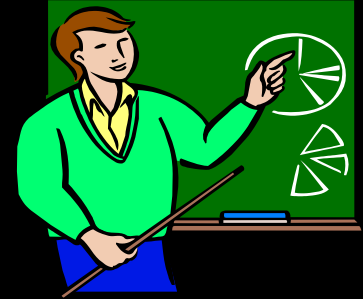


#### Coeficientes de atrito

| Pavimento      | Seco<br>< 45 km/h | Seco<br>> 45 km/h | Molhado<br>< 45 km/h | Molhado<br>> 45 km/h |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| <b>ASFALTO</b> |                   |                   |                      |                      |
| Novo           | 0,80 - 1,20       | 0,65 - 1,00       | 0,50 - 0,80          | 0,45 - 0,75          |
| Usado          | 0,60 - 0,80       | 0,55 - 0,70       | 0,45 - 0,70          | 0,40 - 0,65          |
| Polido         | 0,55 - 0,75       | 0,45 - 0,65       | 0,45 - 0,65          | 0,40 - 0,60          |

## 4. O contributo da ciência

### 4.9. Cálculos numéricos



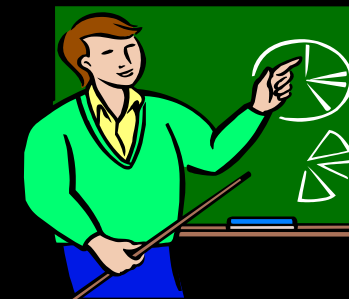
#### Situações diversas

#### Coeficiente

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| Ligeiro deslizando em asfalto apoiado sobre o tecto            | 0,4 |
| Ligeiro deslizando na relva apoiado sobre o tecto              | 0,5 |
| Motociclo deslizando em asfalto, tombado sobre a lateral       | 0,6 |
| Superfícies metálicas, largas e planas, deslizando<br>entre si | 0,6 |
| Corpo humano deslizando em asfalto                             | 1,1 |
| Corpo humano rolando                                           | 0,8 |

## 4. O contributo da ciência

### 4.9. Cálculos numéricos



Exame pericial de acidente de viação

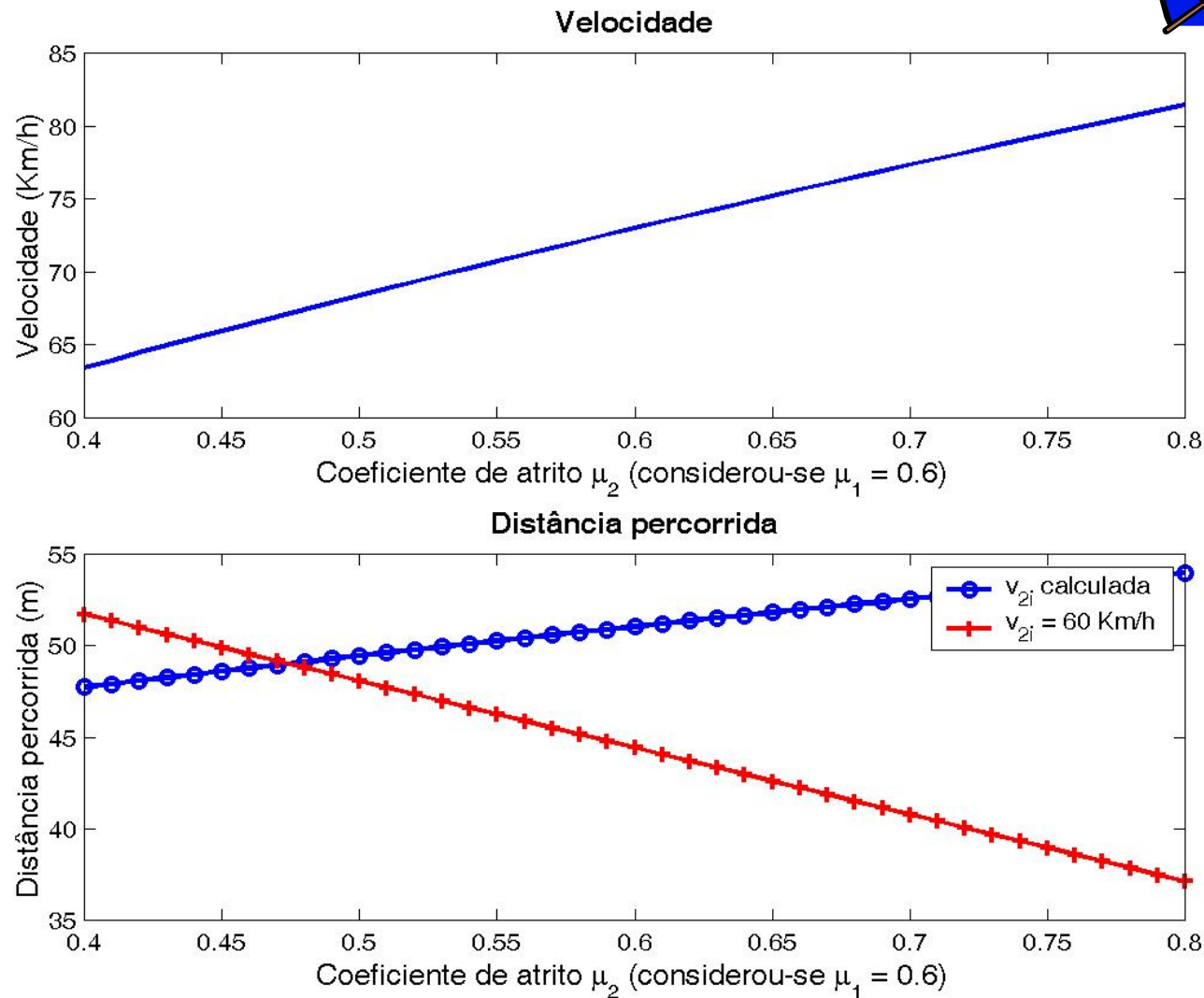
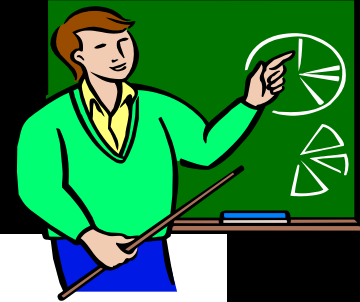
Adérito Araújo

Universidade de Coimbra

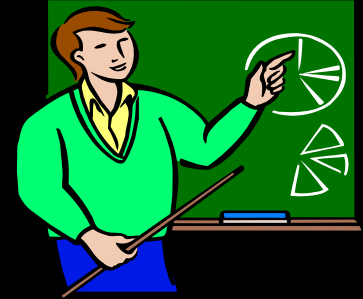
| Dados       | Polícia              | Constantes       | Massas                              | Outros     |
|-------------|----------------------|------------------|-------------------------------------|------------|
|             | Distância veículo 1  | 28,9             | Atrito veículo 1                    | 0,6        |
|             | Distância condutor 1 | 10,6             | Atrito condutor 1                   | 0,7        |
|             | Distância veículo 2  | 4,5              | Atrito veículo 2                    | 0,6        |
|             | rasto                | 25,7             | Gravidade                           | 9,8        |
|             | ângulo (c1,v2)       | 4,368            | Pi                                  | 3,1416     |
|             | Dsitância perc. V1   | 3,5              | Aceleração ( $a=-\mu v^2 \cdot g$ ) | -5,88      |
|             | ângulo (v1,v2)       | 4,368            |                                     |            |
|             |                      |                  | Veículo 1                           | 142        |
|             |                      |                  | Condutor 1                          | 75         |
|             |                      |                  | Total 1                             | 217        |
|             |                      |                  | Veículo 2                           | 1025       |
|             |                      |                  | Condutor 2                          | 80         |
|             |                      |                  | Total 2                             | 1105       |
|             |                      |                  | Tempo reacção                       | 1          |
|             |                      |                  | Tempo travões                       | 0,25       |
|             |                      |                  | Velocidade V1                       | 10         |
| Velocidades | Após colisão         | Antes da colisão | Antes da travagem                   | Quando viu |
|             | Velocidade V1+C1     | 59,45            | Velocidade V1 (dado)                | 10         |
|             | Velocidade V1        | 66,37            | Velocidade V2                       | 37,679     |
|             | Velocidade C1        | 43,41            | Velocidade V2 (nova)                | 37,481     |
|             | Velocidade V2        | 26,19            |                                     |            |
| Distâncias  | Distâncias           | Nova velocidade  |                                     |            |
|             | Reacção              | 21,76            | Reacção                             | 16,667     |
|             | Travões              | 19,4             | Travões                             | 3,9829     |
|             | Travagem (dado)      | 25,7             | Travagem                            | 19,638     |
|             | Total                | 66,86            | Total                               | 40,287     |
|             | Distância total      | 71,36            |                                     |            |
| Tempos      | Tempo gasto          |                  |                                     |            |
|             | Travagem             | 1,671            |                                     |            |
|             | Travões (dado)       | 0,25             |                                     |            |
|             | Reacção (dado)       | 1                |                                     |            |
|             | Total                | 2,921            |                                     |            |

## 4. O contributo da ciência

### 4.9 Cálculos numéricos



## 4. O contributo da ciência



### 4.10 Conclusões

1. O condutor do automóvel circulava em **excesso de velocidade**
2. A velocidade provável de **80 km/h**
3. A duração total do acidente foi de aproximadamente **3 segundos**

## 5. Decisão do juiz



A decisão do tribunal foi:

### CULPA

Condutor do automóvel: 40%

Condutor do motociclo: 60%

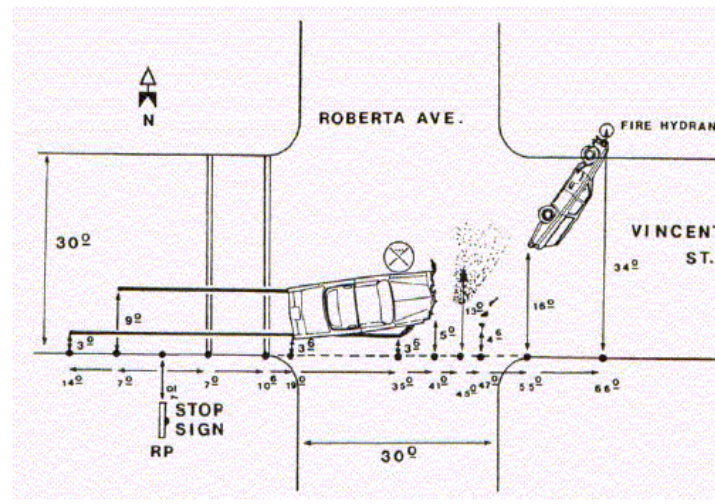
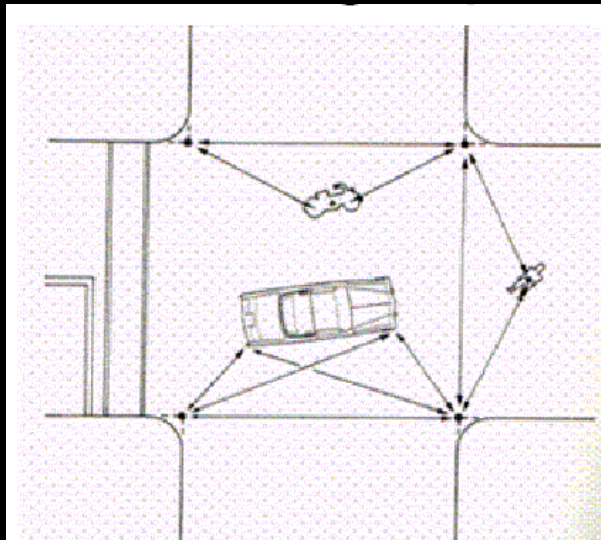
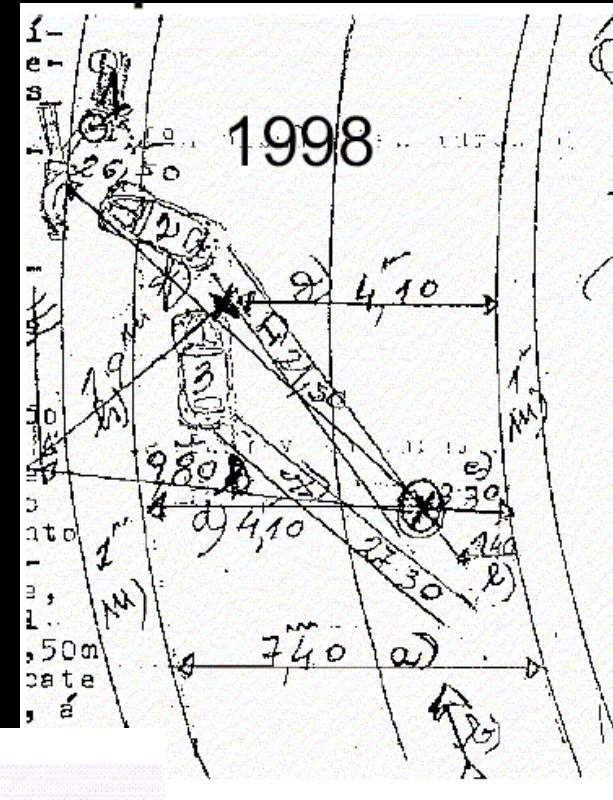
### INDEMNIZAÇÃO

O condutor do automóvel fica condenado a pagar uma indemnização à viúva da vítima

## 6. Notas finais

## 1. Recolha de dados com mais qualidade

## 1.1 Croquis bem elaborados

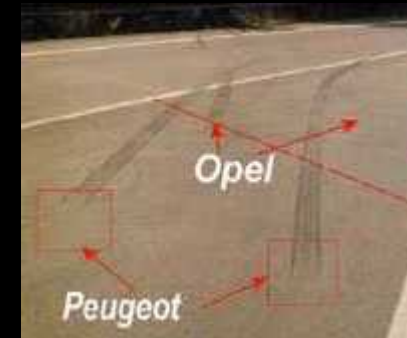


## 6. Notas finais

1. **Recolha de dados** com mais qualidade

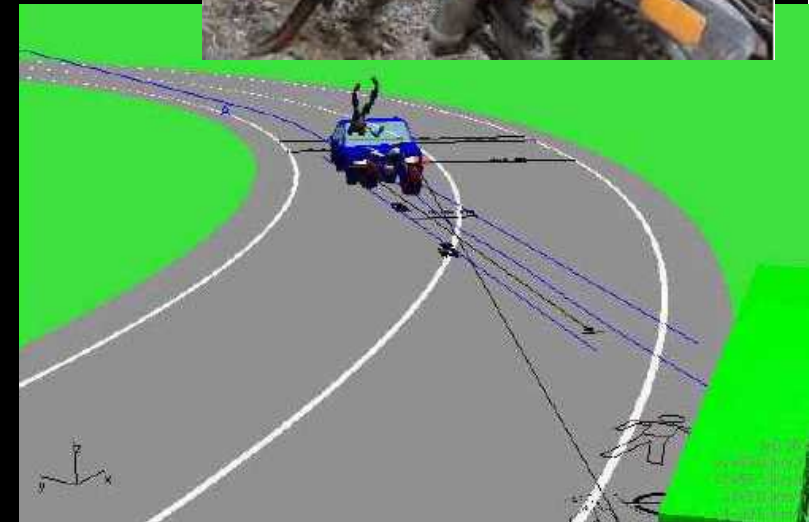
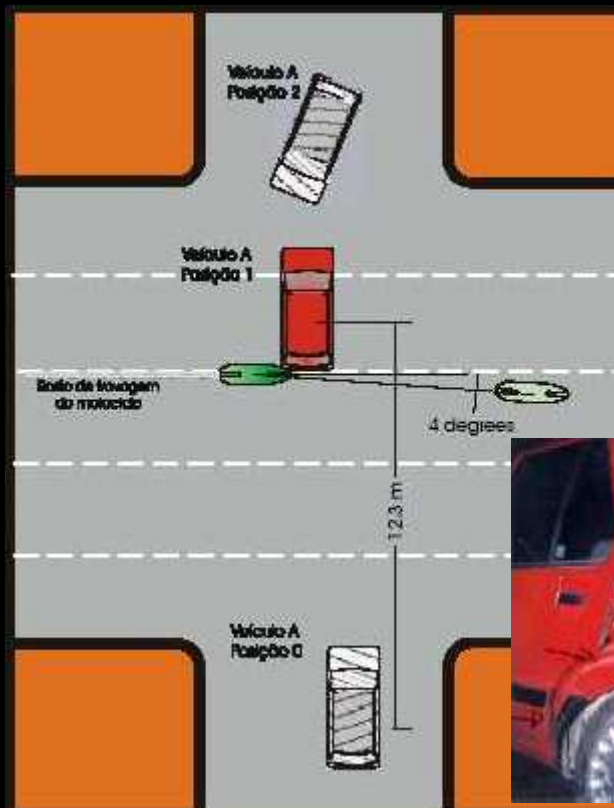
1.2 **Sistemas de travagem** (ABS)

1.2 **Fotografias** (zonas de impacto, deformações, estado do pavimento, etc)



## 6. Notas finais

2. **Formação** adequada de técnicos
3. Melhores **modelos matemáticos** (deformações, rotação dos veículos, etc)
4. **Software** 2D e 3D



## 6. Notas finais

### 5. Inverter as estatísticas

Acidentes envolvendo motociclos e ciclomotores em Portugal no ano de 2001 (fonte DGV)

| Acidentes | Mortos | Feridos graves | Feridos ligeiros |
|-----------|--------|----------------|------------------|
| 12508     | 362    | 1522           | 10733            |

Os condutores dos veículos de duas rodas representaram **44,2%** do total de vítimas, no período de 1997 a 2001



**É melhor parar por aqui...**