

PROGRAMA
AUTOMILLIKAN

F. Viviani
Instituto de Física da Universidade de São Paulo

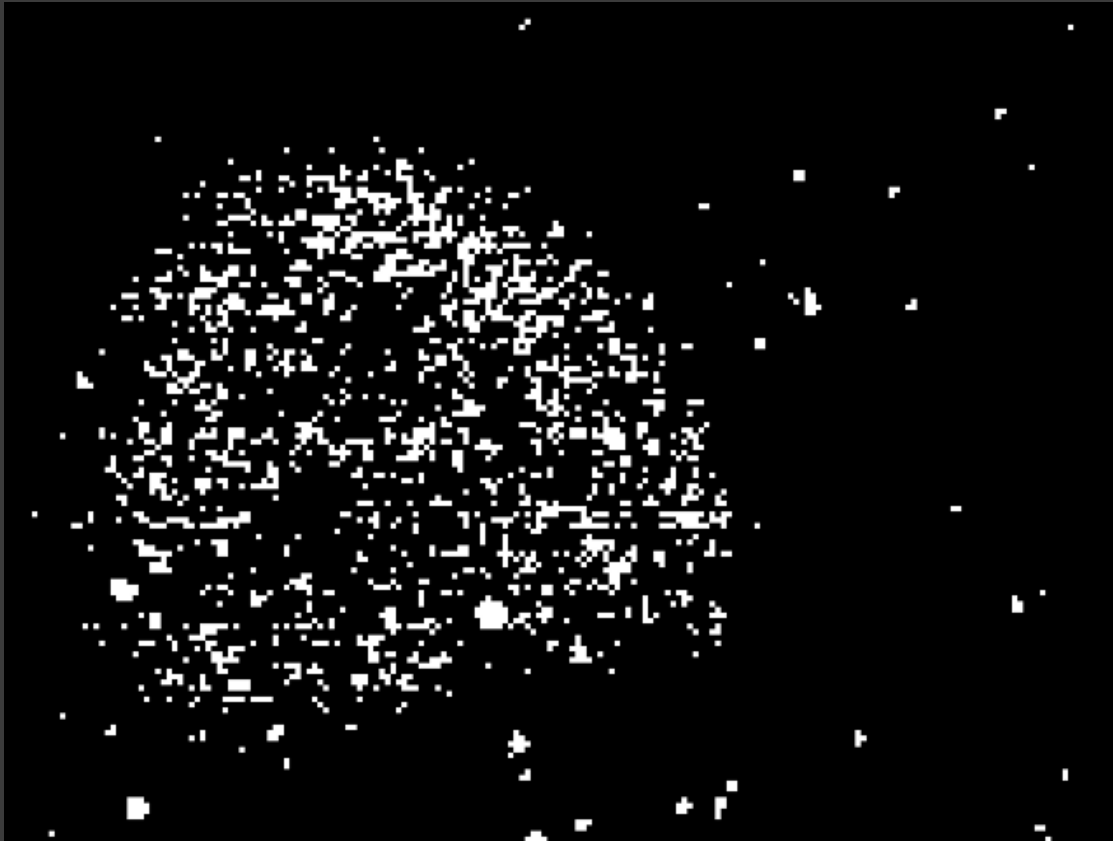
Etapas

- ⦿ Cuidados na tomada de video
- ⦿ Rastramento
- ⦿ Determinação de velocidades
 - Detecção de quebra de movimento
 - Cálculo de velocidade
- ⦿ Cálculo de raios e cargas
- ⦿ Tentativa de encontrar carga elementar

Cuidados na tomada de video

- Campo elétrico deve estar sempre presente
- Não é aconselhada a sobrecarga de gotas
- Filmar gotas que sobem e descem sem sair da tela
- Taxa de captura mínima de 15 frames
- Gravar videos com ambiente escuro e de luminosidade constante
- Resolução 640x480 é suficiente

Video mal filmado



**Não foi mantida a luminosidade
constante**

Rastreamento

- ⦿ Apenas os centros das gotas foram considerados
- ⦿ Quando não há conflito, a gota anterior é aquela com centro mais próximo
- ⦿ Conflitos:
 - Sobreposição: os movimentos quebrados e as gotas são tratadas como novas
 - Divisão: tratamento correto é feito

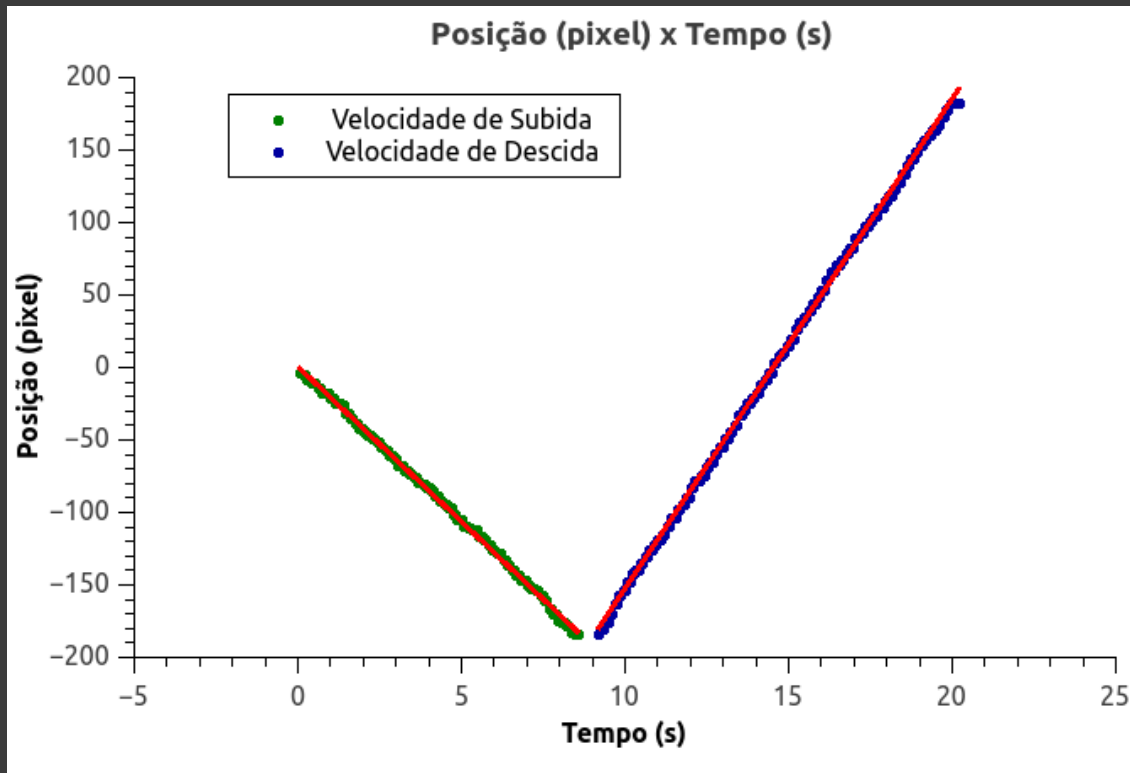
Medição de velocidade

- ◉ No frame i , diferença entre posição y_i de centros de uma gota define movimento subida ou descida:

$$dif_i = y_{i+1} - y_i$$

- ◉ Mudança confirmada do sinal da diferença evidencia quebra de movimento.
- ◉ Uso de método de regressão linear para cálculo da velocidade.
- ◉ Considera-se a velocidade onde houve maior deslocamento vertical.

Medição de velocidade



Movimento de gota captada pelo AutoMillikan
Ajustes lineares pelo OriginLab

AutoMillikan

$$v_s = -21,39 \text{ pixel/s}$$

$$v_d = 33,77 \text{ pixel/s}$$

OriginLab

$$v'_s = -21,14 \pm 0,07 \text{ pixel/s}$$

$$v'_d = 33,76 \pm 0,06 \text{ pixel/s}$$

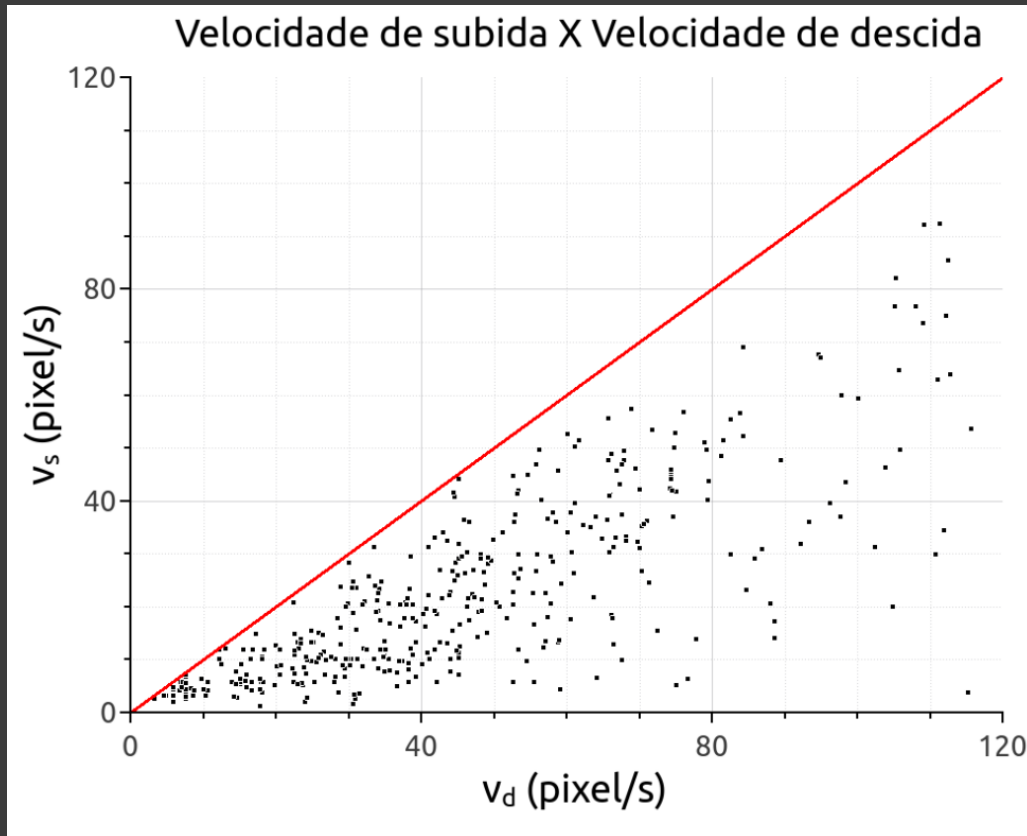
Compatibilidade

$$v'_s \sim v_s = 3,70$$

$$v'_d \sim v_d = 0,31$$

- Testes mostram consistência em regressão linear de AutoMillikan.

Medição de velocidades



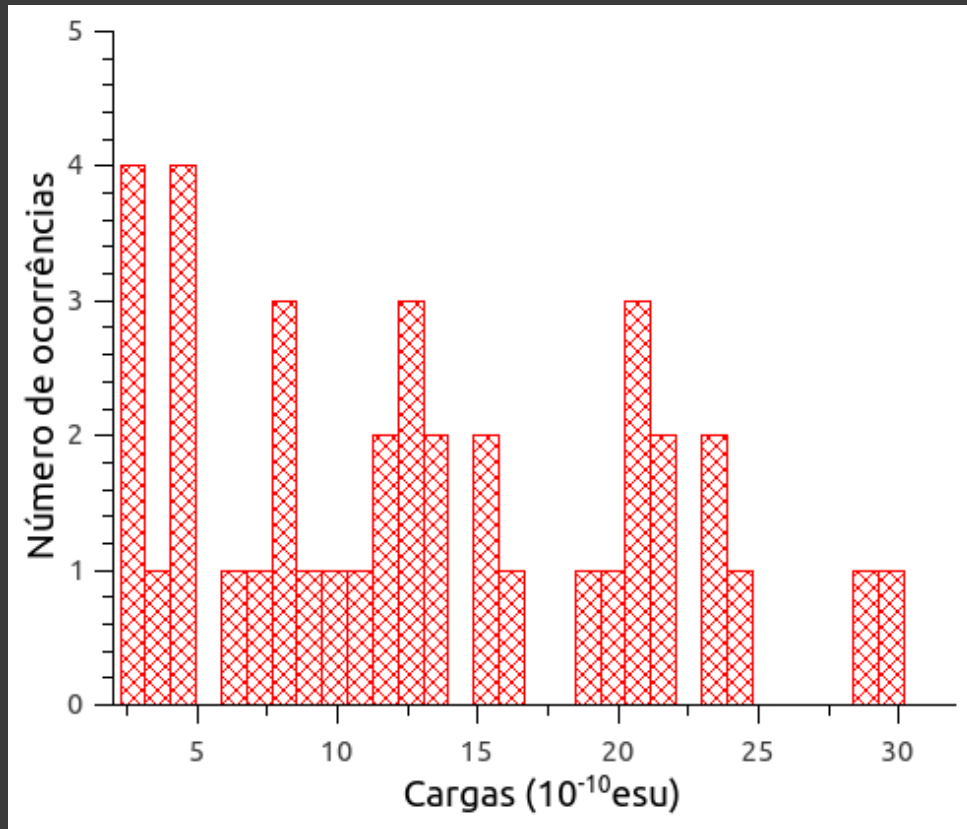
- Todas as velocidades de subida são menores que a de descida, resultado esperado fisicamente.
- 10% de áreas identificadas nos videos geram velocidades de subida e descida.

441 velocidades de subida e descida de gotas medidas

Cálculo de raios e cargas

- Raios calculados têm ordem de grandeza esperada $\sim 10^{-5} \text{ cm}$
- Gotas também $\sim 10^{-10} \text{ esu}$
 $1 \text{ esu} \approx 3,33 \times 10^{-10} \text{ C}$
- Porém, das 441 gotas medidas, a grande maioria continha grande quantidade de cargas
- Cálculo foi feito manualmente em planilha.

Carga elementar



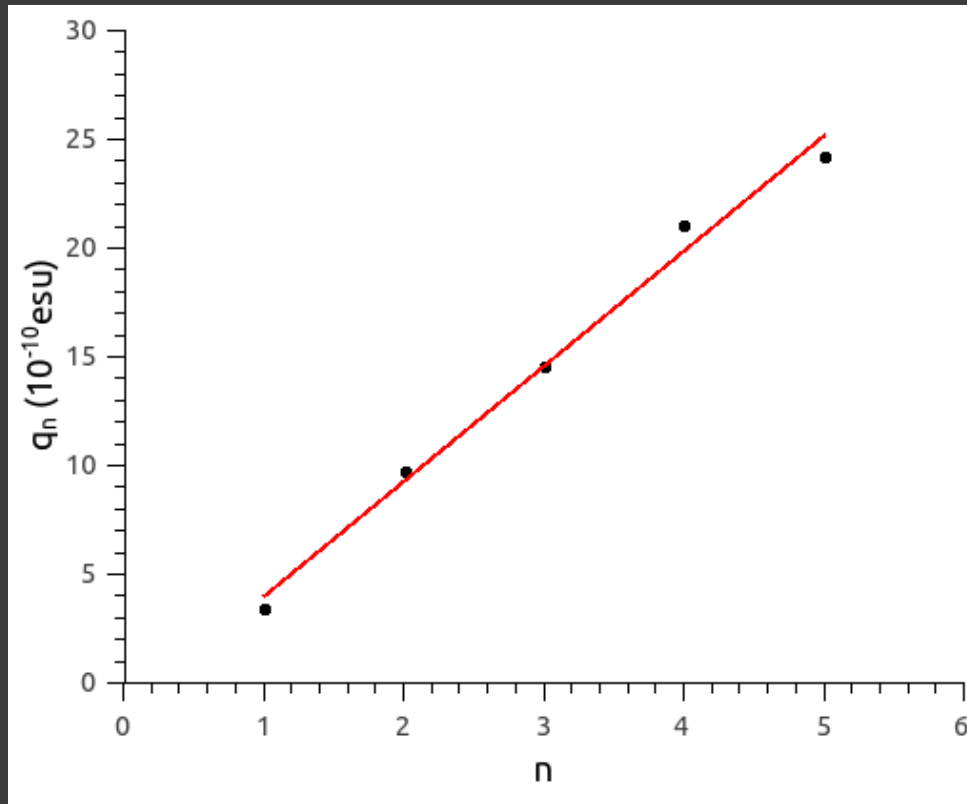
Histograma de 39 cargas

- Não foi possível visualizar claramente o aglomeramento

$$q_n = nq_e$$

- Aglomeração para $n = 3,4,5,6$

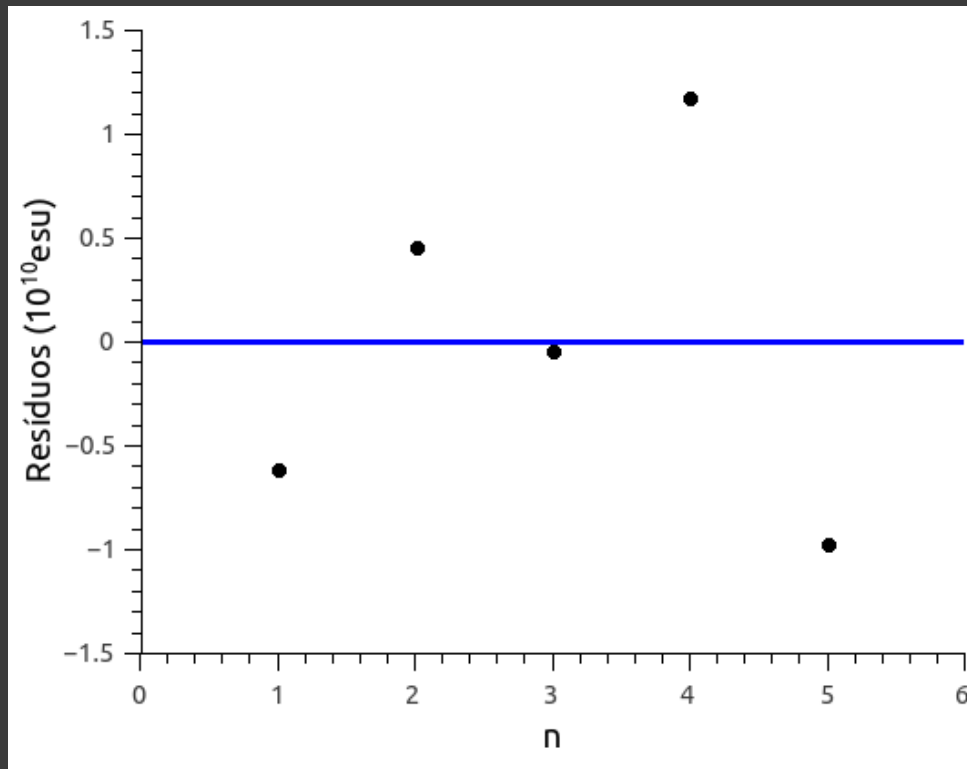
Carga elementar - Ajuste



- Considerou-se a primeira aglomeração com centro em $5 \times 10^{-10} esu$
- $q_e^A = 5,29 \pm 0,31 \times 10^{-10} esu$
- Coef linear compatível com zero a menos de três incertezas
- Compatibilidade de q_e^A com $4,79 \times 10^{-10} esu$ igual a 16,8

Ajuste linear para a previsão de carga elementar ($q_n = nq_e$)

Carga elemental - Resíduos



- A escolha de uma reta para ajuste de dados foi boa.

Resíduo para o ajuste linear do gráfico $n \times q_n$

Conclusão e considerações

◎ Resultados bons:

- Velocidades de subida e descida
- Evidência de aglomeração de cargas
- Ajuste linear $q_n = nq_e$ bom e valor q_e , apesar de incompatível, próximo do aceito

◎ Melhorias:

- Incluir incertezas experimentais e estatísticas
- Calcular automaticamente a carga
- Testar e melhorar rastreamento
- Filmar videos mais adequados