DCC192

2025/1

UFMG

Desenvolvimento de Jogos Digitais

A6: Movimentação de Objetos Rígidos

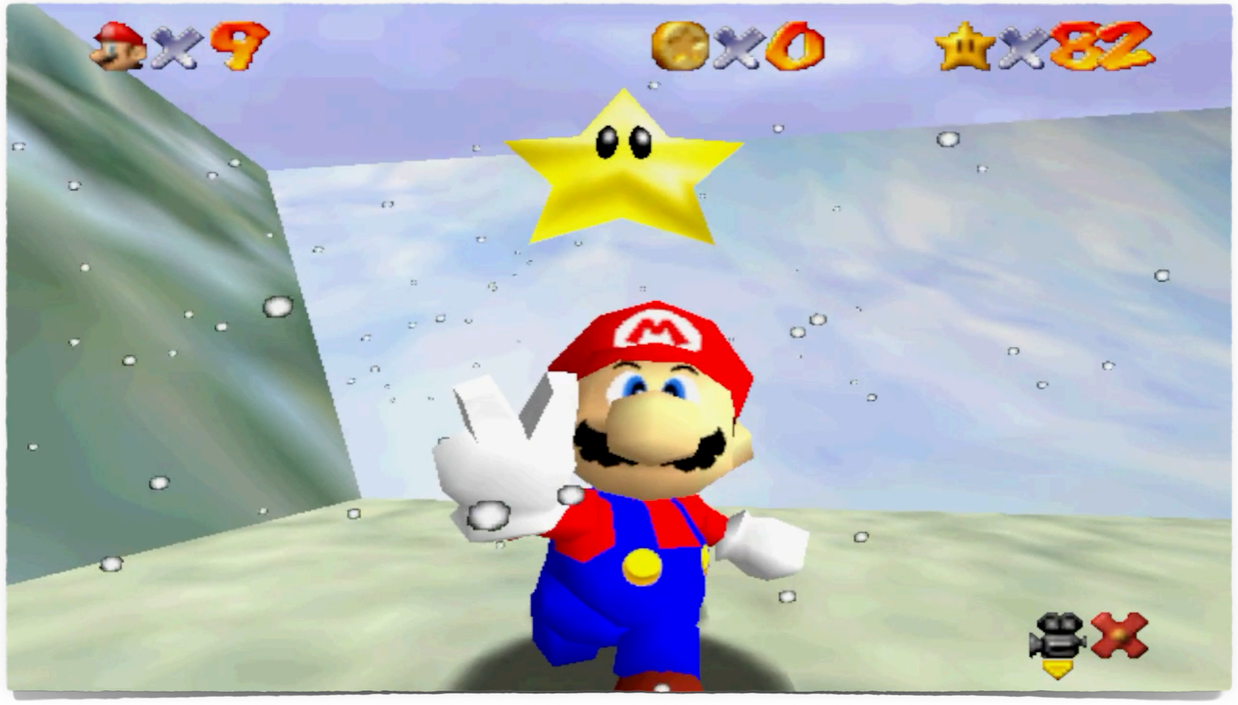
Prof. Lucas N. Ferreira

Plano de aula

- Física em Jogos Digitais
- Objetos Rígidos
  - Movimentação
  - Método de Euler Semi-Implícito
  - Aceleração da gravidade
  - Atrito
  - Resistência do Meio

Física em Jogos Digitais

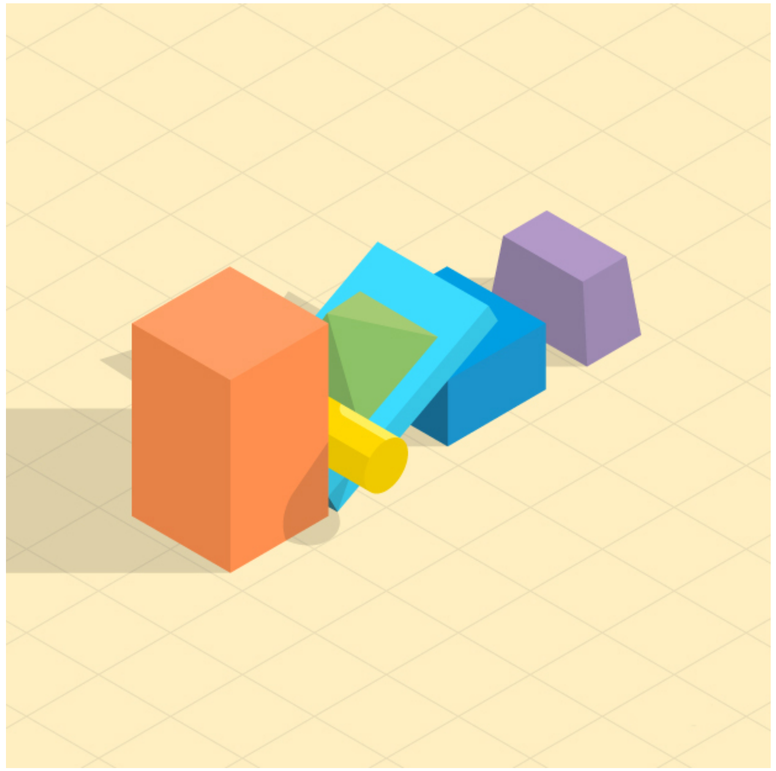
Geralmente, em jogos digitais queremos **mover objetos rígidos** por meio de aplicação de **forças** causadas pelo jogador ou por outros objetos do jogo:



- Andar/Correr
- Pular
- Deslizar
- Planar
- Vento
- ...

Objetos Rígidos

Objetos rígidos são solidos que não sofrem deformação.



As propriedades de objetos rígidos são:

- **Massa** (escalar): quantidade de matéria no corpo
- **Posição** (vetor): localização no espaço (2D ou 3D)
- **Velocidade** (vetor): taxa de variação de posição
- **Aceleração** (vetor): taxa de variação de velocidade

Apesar de objetos rígidos não existirem na vida real, são excelentes simplificações para simulações de objetos em jogos.

Movimentação de objetos rígidos

A movimentação de objetos rígidos pode ser descrita pela Física Newtoniana:

Primeira Lei de Newton:

Um objeto em repouso permanece em repouso, ou se estiver em movimento, permanece em movimento com velocidade constante, a menos que uma força externa atue sobre ele.

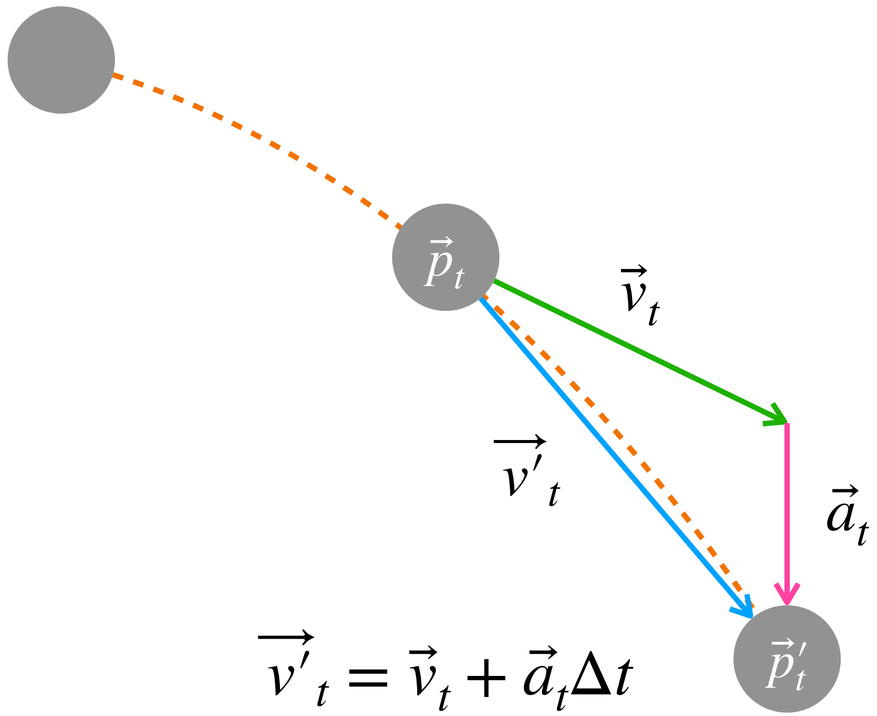
Segunda Lei de Newton:

Força ($\vec{f}$) é igual a massa m vezes a aceleração $\vec{a}$: $\vec{f} = m\vec{a}$

```
RigidBody::Update(float dt) {
  mVelocity += mAccelaration * dt;
  mPosition += mVelocity * dt;
  mAcceleration.Set(.0, .0);
}


RigidBody::ApplyForce(Vector2 f) {
  mAccelaration += f * 1.0/mMass;
}
```

Formalmente, estamos integrando numericamente uma equação diferencial ordinária de movimento usando o **Método de Euler Semi-Implícito**

Método de Euler Semi-implícito



$$\overrightarrow{v'}_t = \vec{v}_t + \vec{a}_t \Delta t$$

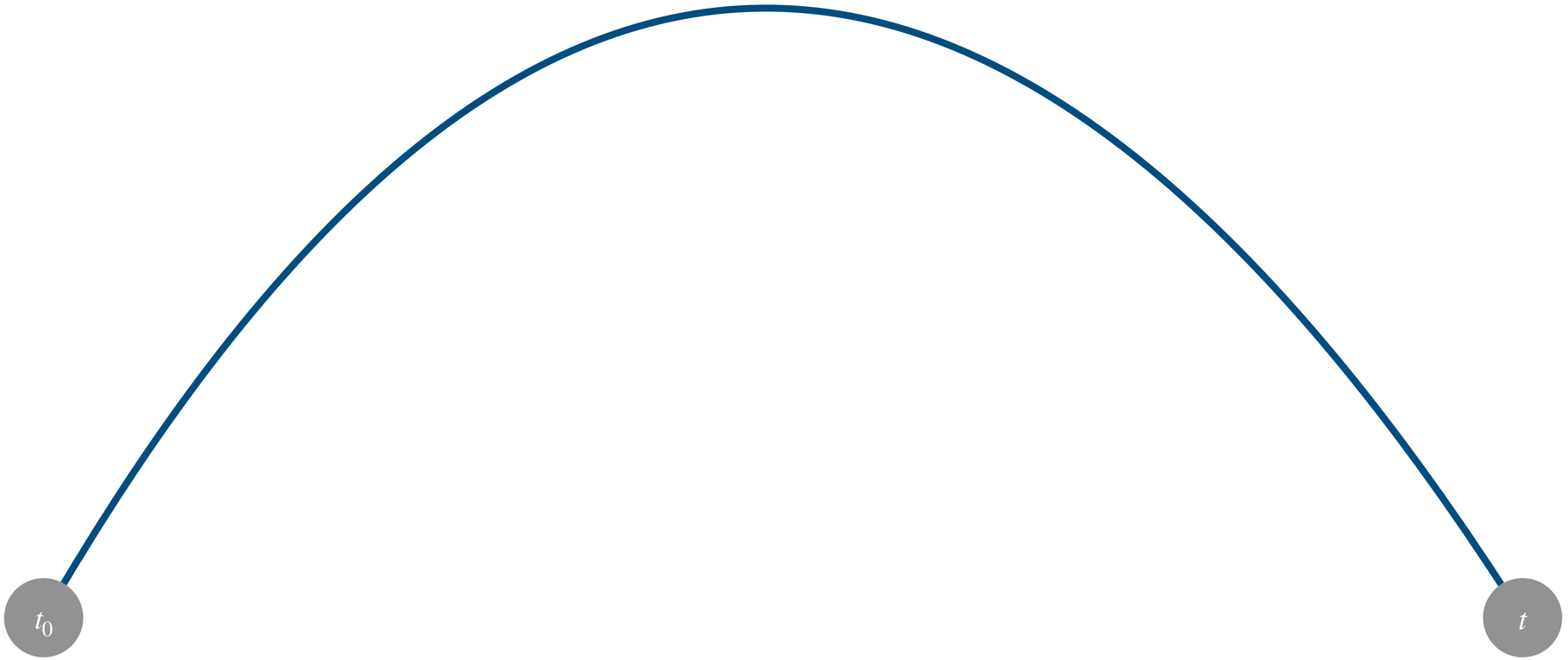
$$\overrightarrow{p'}_t = \vec{p}_t + \overrightarrow{v'}_t \Delta t$$

```
// Euler Semi-implícito
RigidBody::Update(float dt) {
  mVelocity += mAccelaration * dt;
  mPosition += position * dt;
  mAcceleration.Set(0f, 0f);
}
```

- Assumimos que a velocidade e a aceleração são constantes entre os quadros;
- Os movimentos são divididos em uma sequência de retas;
- Quanto menor o Δt, melhor a aproximação do **movimento real**.

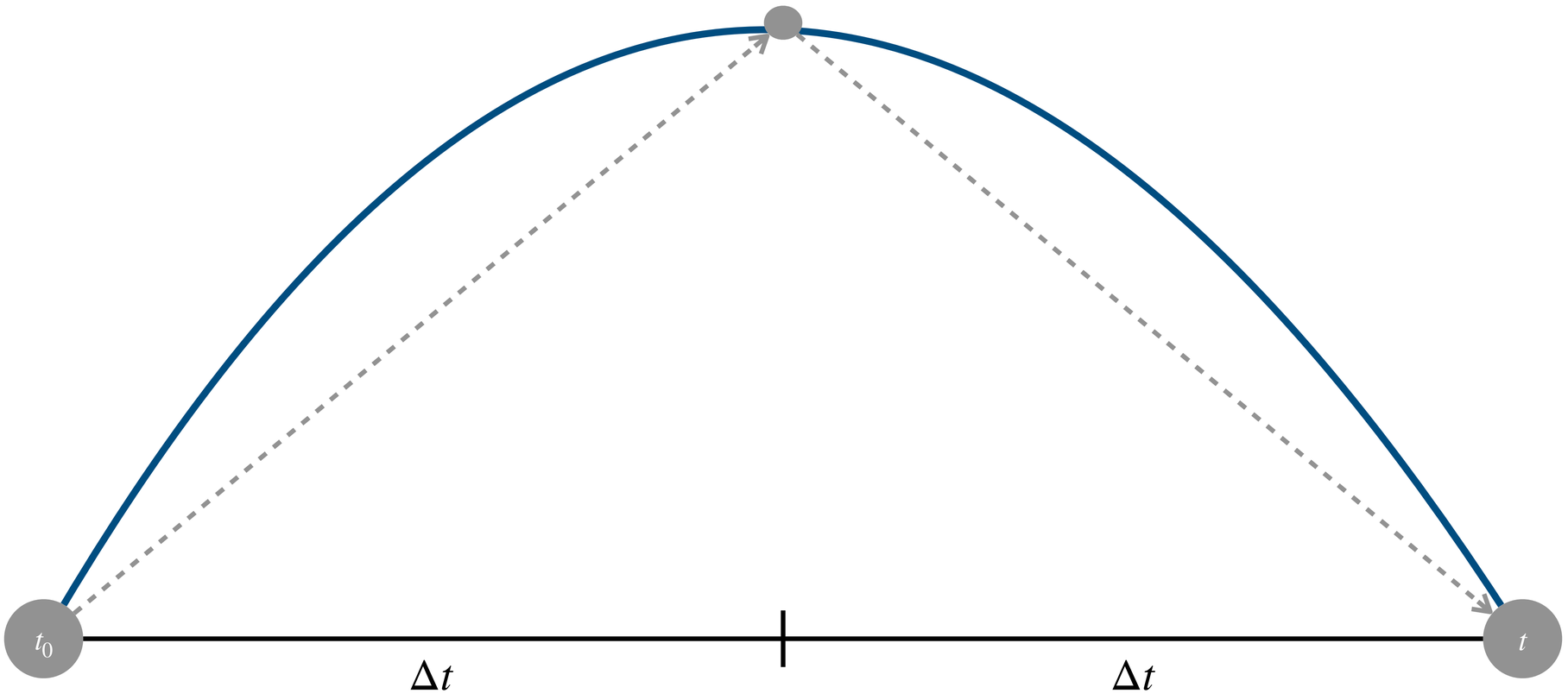
Impacto do tamanho do delta time

Quanto menor o Δt, melhor a aproximação do **movimento real**, ou seja, mais suave será o movimento.



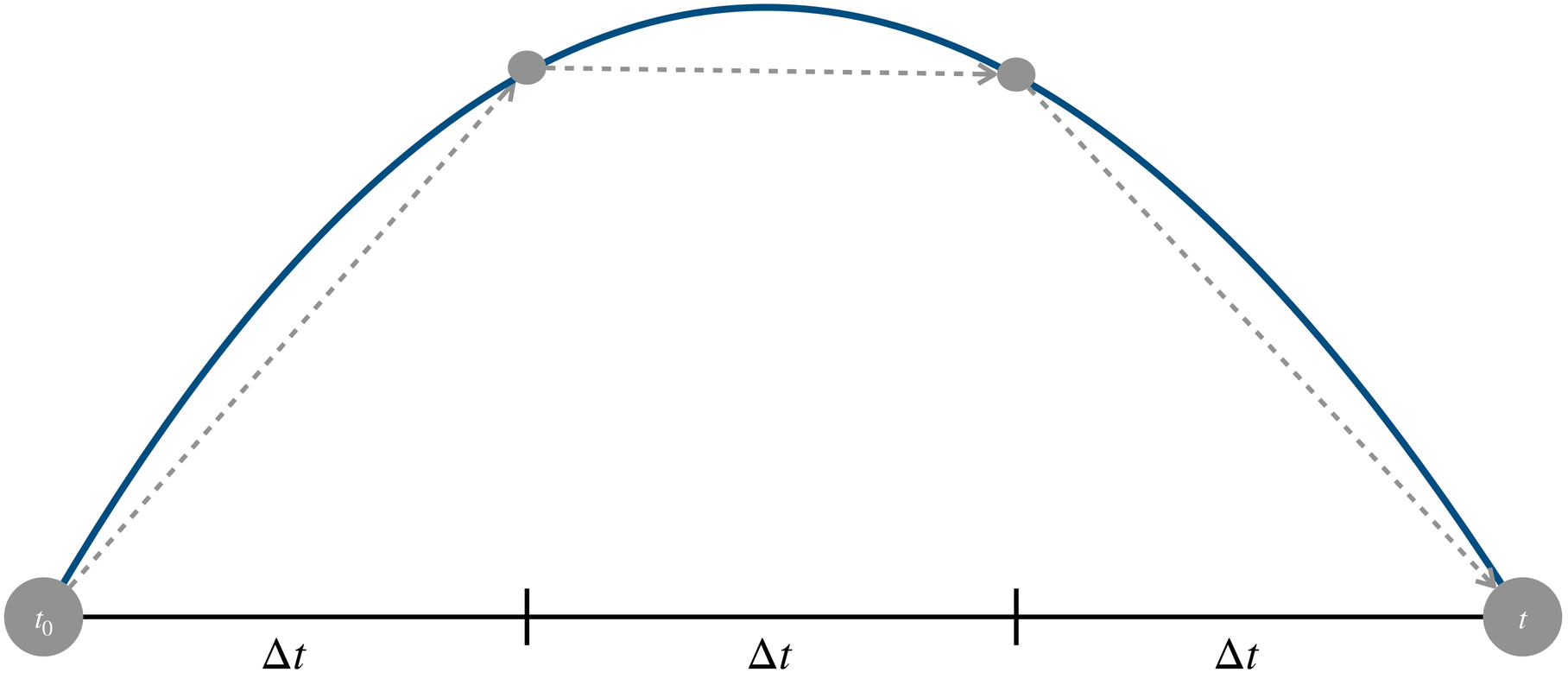
Impacto do tamanho do delta time

Quanto menor o Δt, melhor a aproximação do **movimento real**, ou seja, mais suave será o movimento.



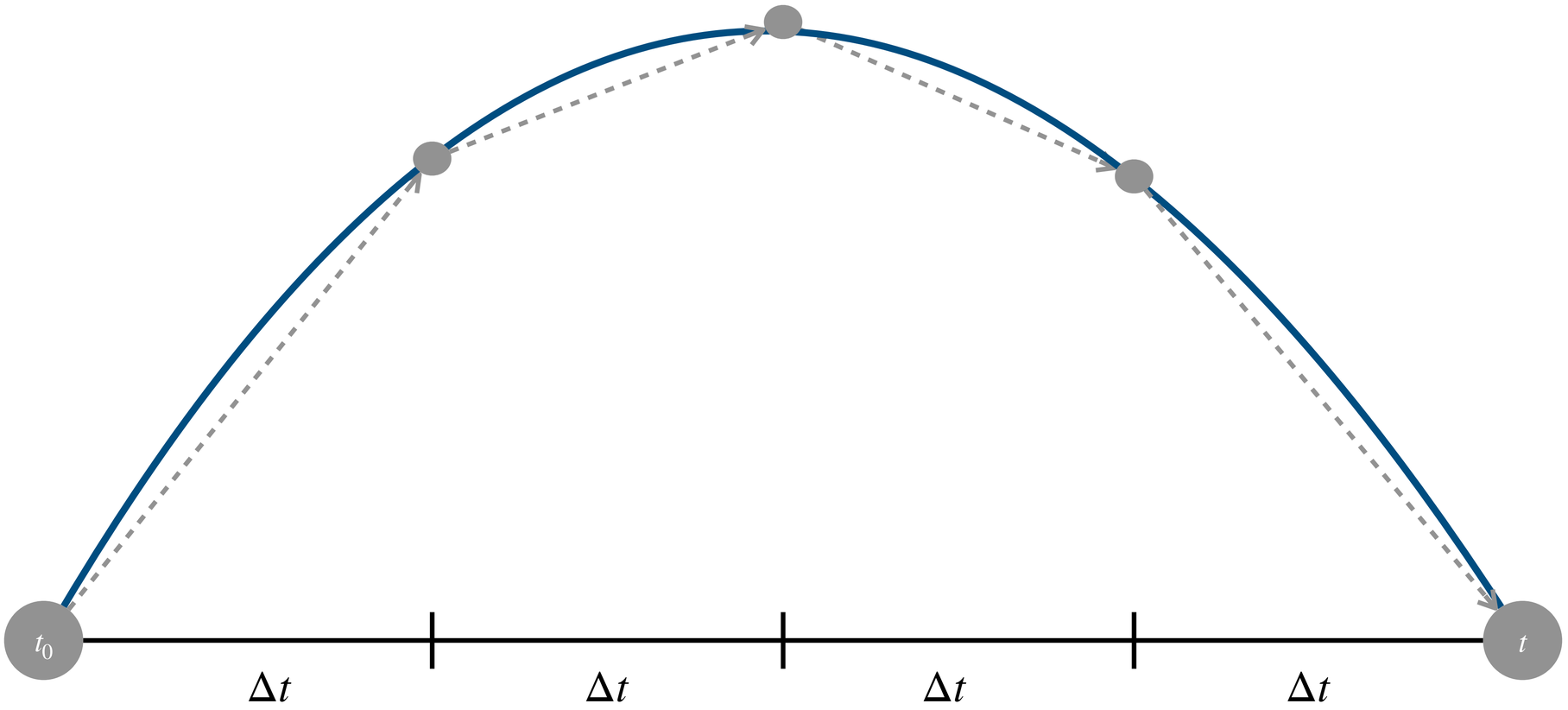
Impacto do tamanho do delta time

Quanto menor o Δt, melhor a aproximação do **movimento real**, ou seja, mais suave será o movimento.



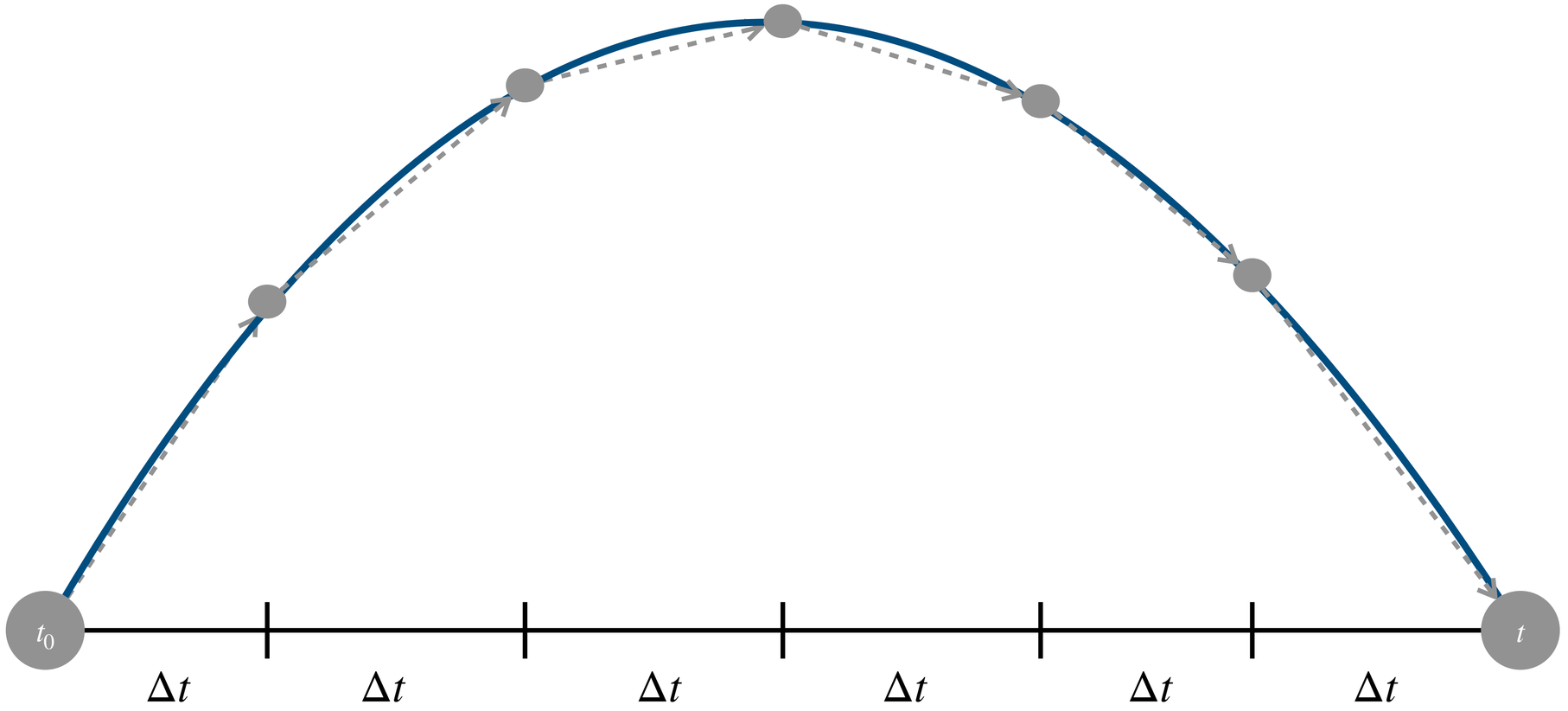
Impacto do tamanho do delta time

Quanto menor o Δt, melhor a aproximação do **movimento real**, ou seja, mais suave será o movimento.



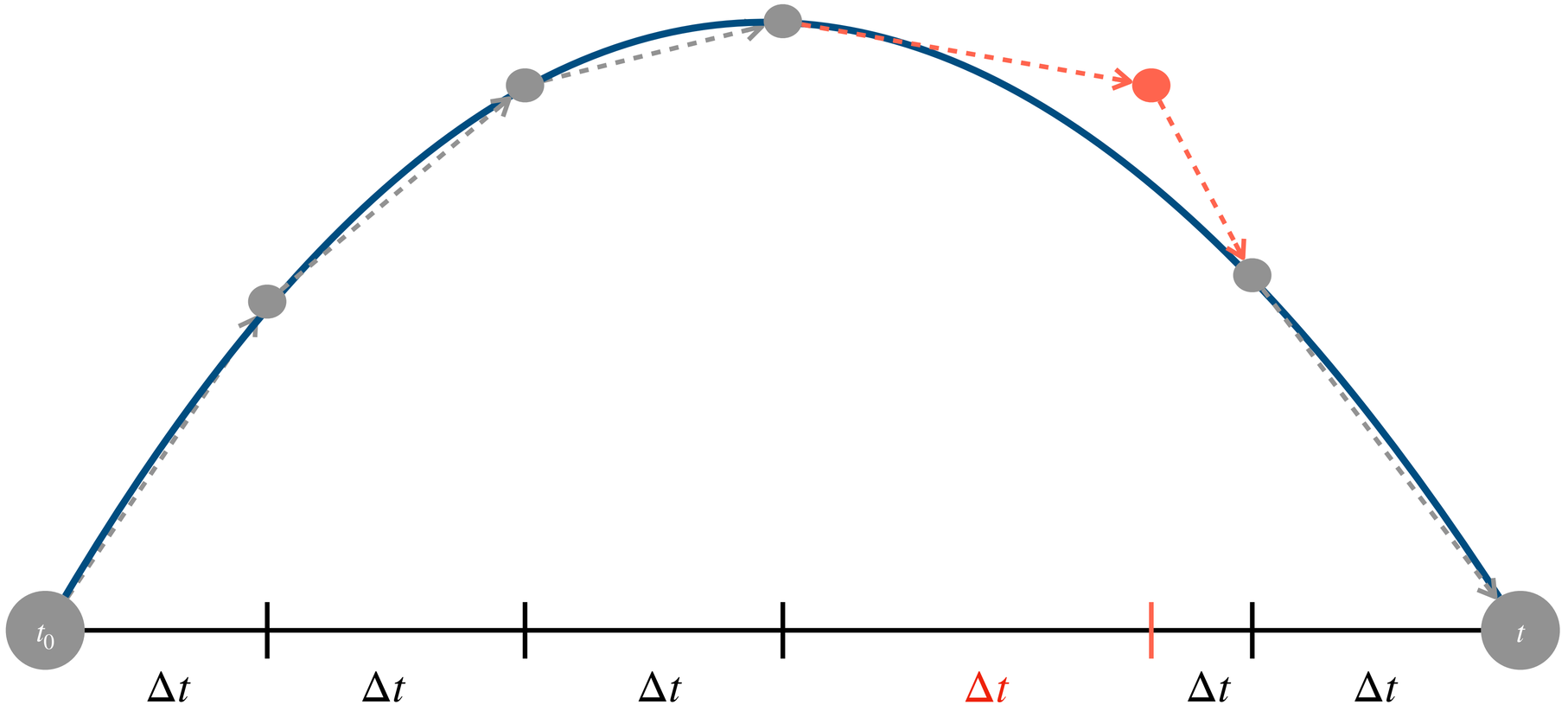
Impacto do tamanho do delta time

Quanto menor o Δt, melhor a aproximação do **movimento real**, ou seja, mais suave será o movimento.



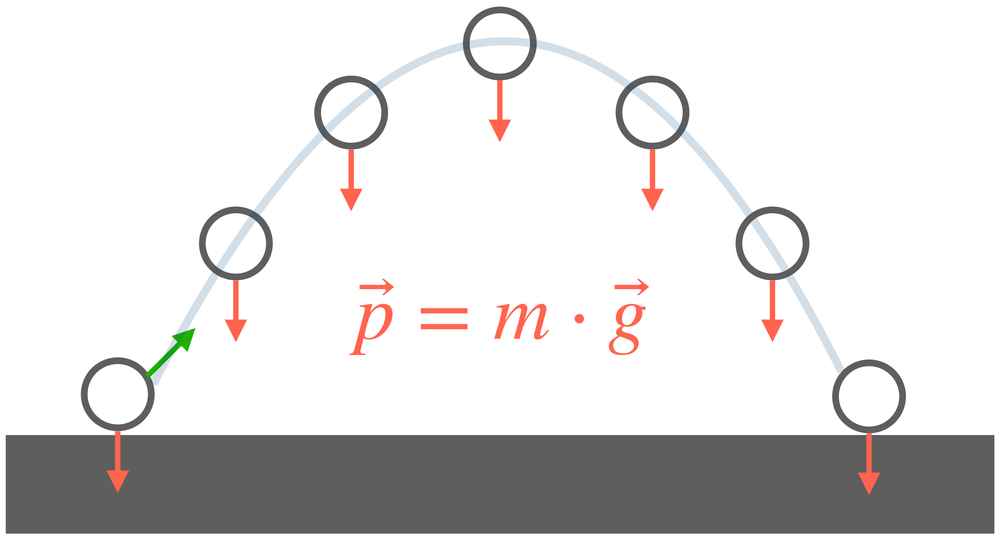
Impacto na variação do delta time

Como mencionados em aulas anteriores, se o delta time Δt for variável entre quadros, a simulação física pode ficar instável!



Aceleração da Gravidade

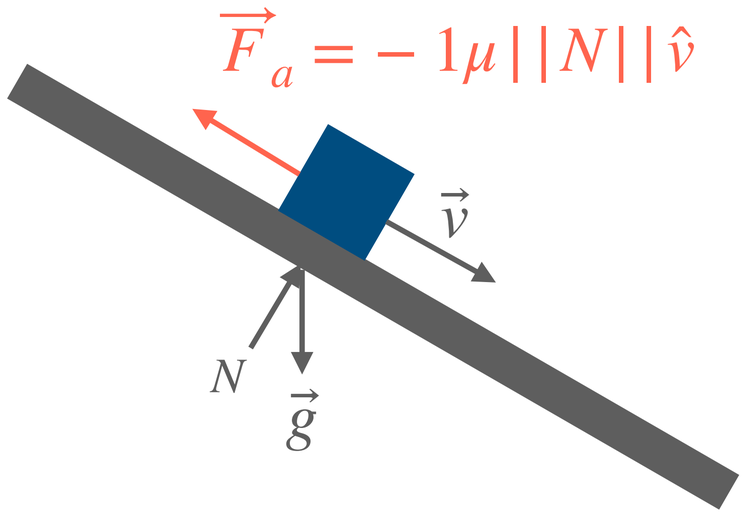
É muito comum jogos aplicarem uma **força peso** ao seus objetos, que é causada pela aceleração da gravidade.




```
Vector2 g = Vector2(0.f, 9.8f);

RigidBody::Update(float dt) {
  ApplyForce(mMass * g);
  mVelocity += mAccelaration * dt;
  mPosition += position * dt;
  mAcceleration.Set(0f, 0f);
}

RigidBody::ApplyForce(Vector2 f) {
  mAccelaration += f * 1f/mMass;
}
```

Atrito

Também é muito comum implementar uma **força de atrito**, para parar um objeto quando outras forças não estão mais atuando.

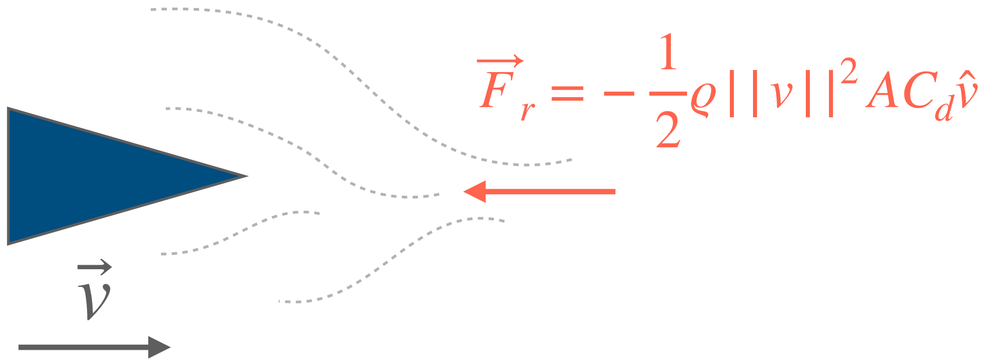


- μ: coeficiente de atrito
- N: é a força normal

```
RigidBody::ApplyFriction(float u, Vector2 N){
  if(mVelocity.Length() <= a)
    return;

  float frictionMag = u * N.Length();
  Vector2 friction = (-1) * mVelocity;
  friction.Normalize();
  friction *= frictionMag;

  ApplyForce(friction);
}
```

Resistência do meio

A mesma ideia se aplica para parar um objeto que não está em contato com uma superfície, mas sobre **resistência do meio**, como do ar ou de um fluído.



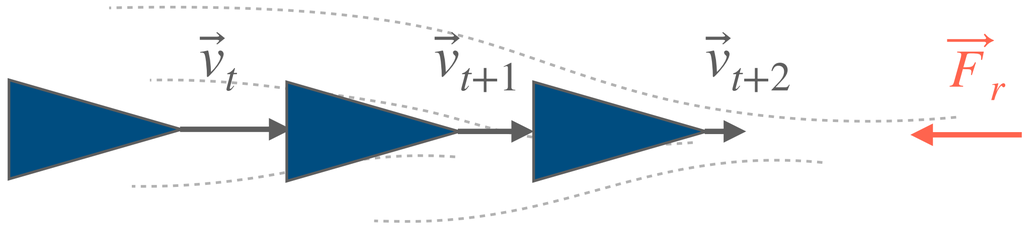
- ϱ: densidade do meio
- $||v||^2$: comprimento do vetor velocidade
- ~~A: área frontal do objeto~~
- ~~C_d: coeficiente de resistência~~
- $\hat{v}$: direção do vetor velocidade

```
RigidBody::ApplyDrag(float rho){
  if(mVelocity.Length() <= MIN_VEL)
    return;

  float vLen = mVelocity.Length();
  float dragLen = rho * vLen * vLen;

  Vector2 drag = (-1) * mVelocity;
  drag.Normalize();
  drag *= dragLen;

  ApplyForce(drag);
}
```

Parando por Completo

Note que a aceleração é zerada a cada quadro, mas e a **velocidade não**, ou seja, o objeto só irá parar por completo quando a aceleração cancelar perfeitamente a velocidade atual:

```
RigidBody::Update(float dt) {
  ApplyDrag(0.1f);
  mVelocity += mAccelaration * dt;
  mPosition += position * dt;
  mAcceleration.Set(0f, 0f);
}
```



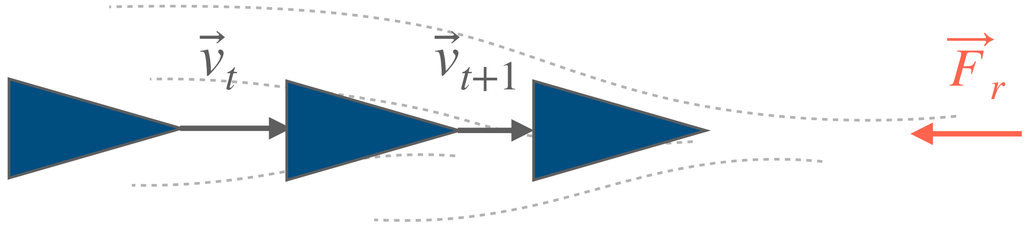
Problemas:

- $\vec{v} = (0,0)$ é extremamente improvável devido às multiplicações por `dt` e pela natureza de ponto flutuante das forças
- O objeto vai chegar a uma velocidade escalar muito baixa (ex. 0.001), mas nunca irá parar por completo

Parando por Completo

Note que a aceleração é zerada a cada quadro, mas e a **velocidade não**, ou seja, o objeto só irá parar por completo quando a aceleração cancelar perfeitamente a velocidade atual:

```
RigidBody::Update(float dt) {
   ApplyDrag(0.1f);
   mVelocity += mAccelaration * dt;

   // Verificar velocidade mínima
   if(mVelocity.Length() < MIN_VEL) {
      mVelocity.Set(.0f, .0f);
   }

   mPosition += position * dt;
   mAcceleration.Set(0f, 0f);
}
```



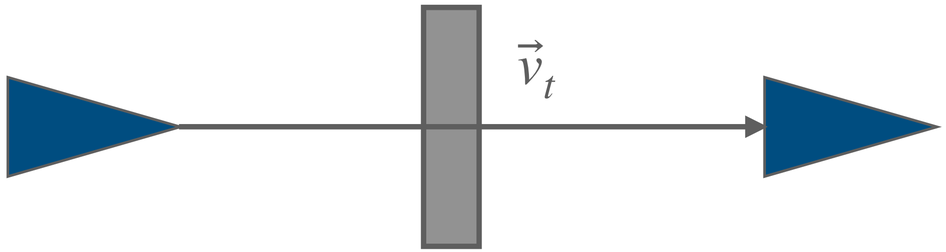
Solução:

- Definir um limiar de velocidade escalar mínima `MIN_VEL`
- Se a velocidade escalar for menor que esse limiar, force ela a ser exatamente zero

Velocidade Máxima

Também é importante definir um limiar de **velocidade máxima**, para tormar a simulação mais controlada e evitar comportamentos inesperados (ex. atravesar paredes)

```
RigidBody::Update(float dt) {
  mVelocity += mAccelaration * dt;
  // Verificar velocidade mínima
  ...
  // Verificar velocidade máxima
  if(mVelocity.Length() > MAX_VEL) {
    mVelocity.Normalize();
    mVelocity *= MAX_VEL;
  }

  mPosition += position * dt;
  mAcceleration.Set(0f, 0f);
}
```



Solução:

- Definir um limiar de velocidade escalar máxima MAX_VEL
- Se a velocidade escalar for maior que esse limiar, force ela a ser exatamente MAX_VEL

Próxima aula

A7: Resolução de Colisão

- Geometrias de colisão
- Detecção de colisão
  - Circunferência vs. Circunferência
  - AABB vs. AABB
- Resolução de Colisaão
- Otimização de Colisão