

**Calibração de câmeras para  
utilização no cálculo de  
impedimentos de jogadores  
de futebol a partir de imagens**

**Acadêmico: Mayko Starosky**

**Orientador: Paulo César Rodacki Gomes**

# Roteiro apresentação

- **Introdução**
- **Fundamentação teórica**
- **Calibração de câmera**
- **Implementação**
- **Conclusões**

# Introdução

- Em transmissões televisivas, são utilizados recursos de computação gráfica.
- Em partidas de futebol é usado o “tira-teima”.
- Mundo real: três dimensões (3D).
- Tela da televisão: duas dimensões (2D).

# Introdução

- **No trabalho, é gerado um modelo matemático que simula a câmera que capturou a imagem.**

# **Objetivos do trabalho**

**Determinar a posição de  
impedimento de jogadores de  
futebol a partir de imagens  
estáticas de jogos de futebol**

# Fundamentação Teórica

## Posição de impedimento:

**“Consiste em um jogador estar mais perto da linha da meta contrária que a bola e o penúltimo adversário, no momento de um passe para o mesmo” (CBF, 2000)**

# Posição de impedimento

- Sem “tira-teima”:

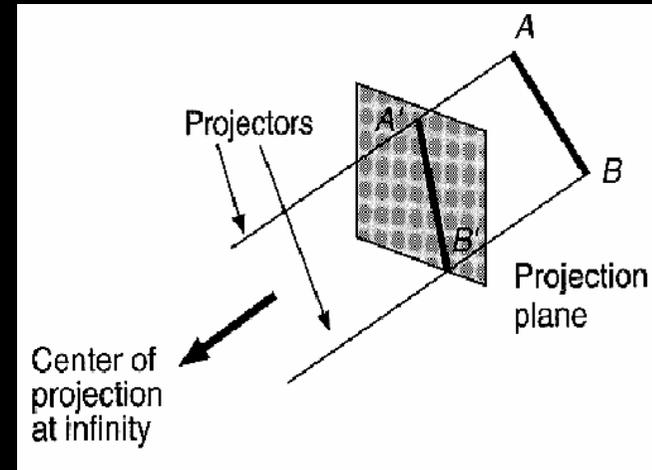


- Com “tira-teima”:

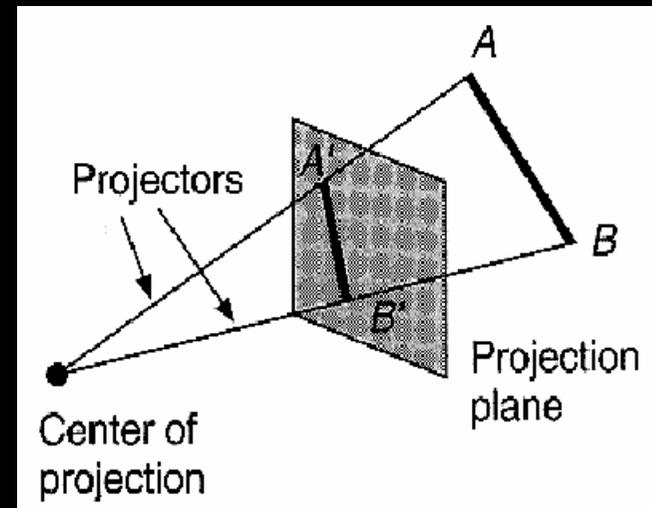


# Tipos de projeção

- Paralela



- Perspectiva



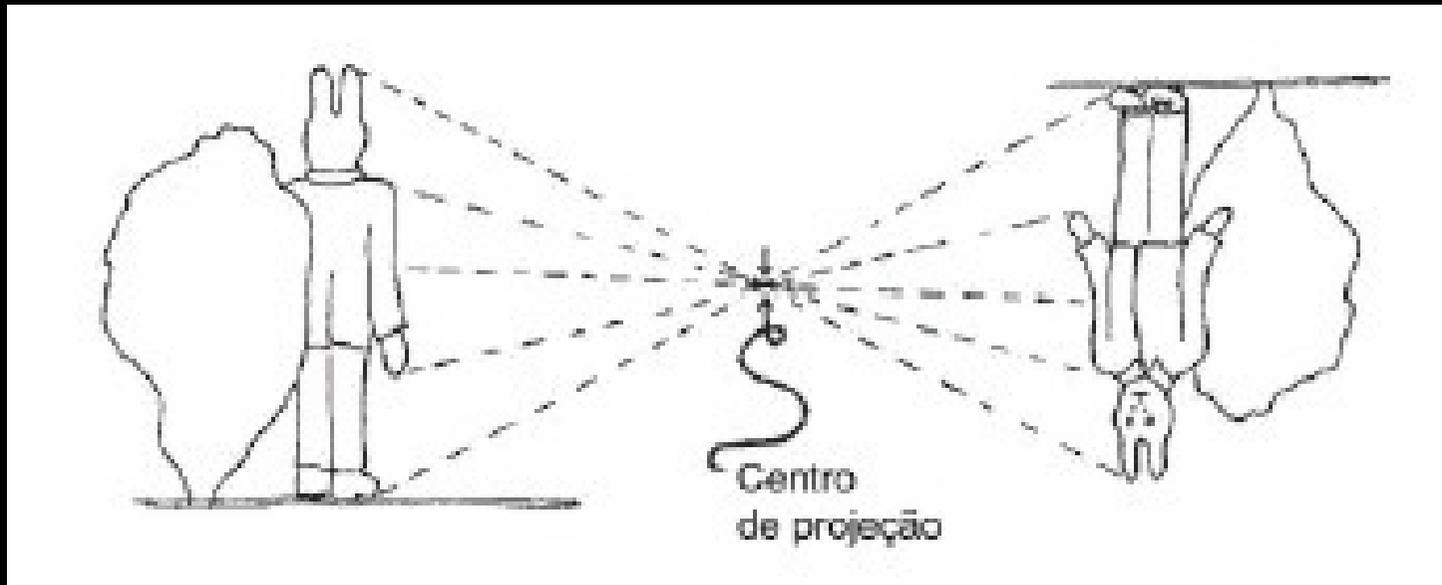
# **Câmeras de vídeo**

**Possuem propriedades que transformam imagens de um sistema de coordenadas cartesiano de 3D (mundo real) para um sistema de coordenadas cartesiano de 2D.**

# Modelo de câmera de Vídeo

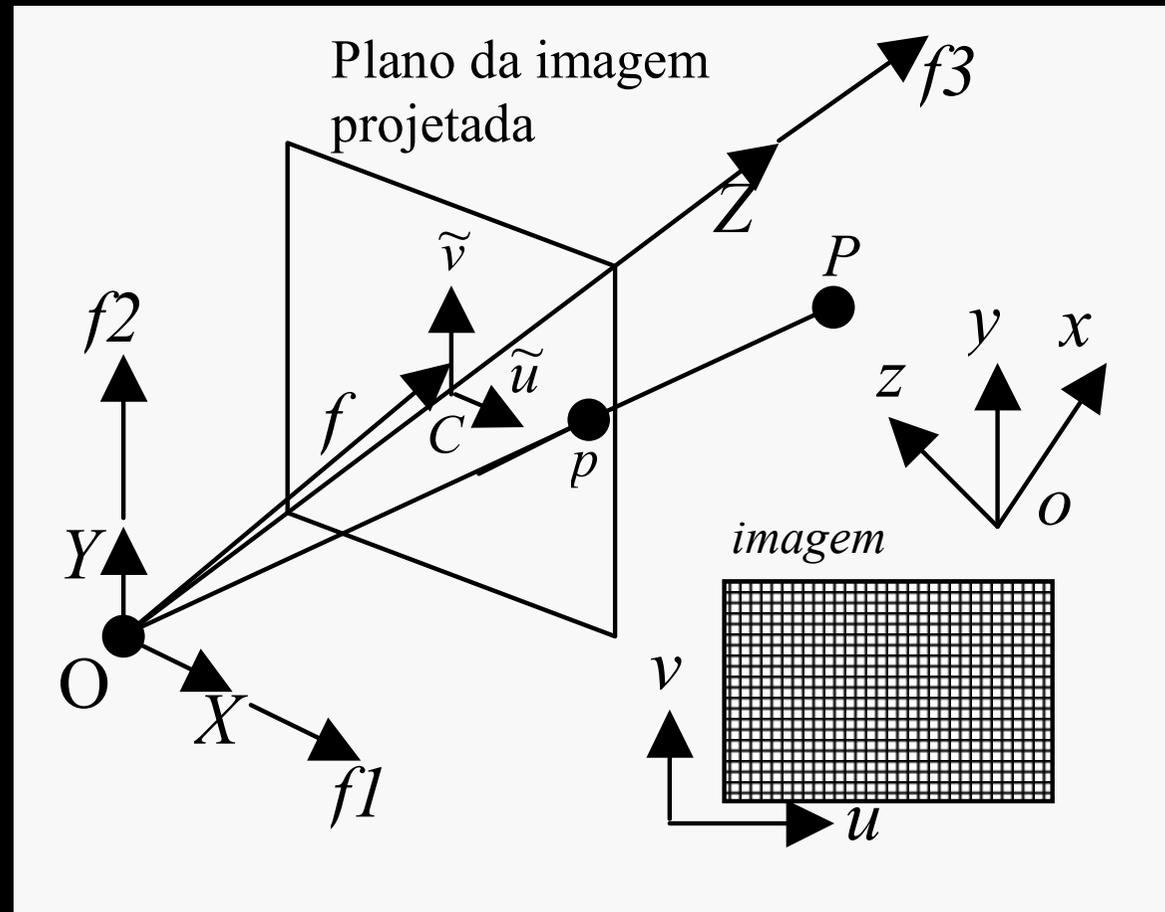
## Câmera *Pinhole*:

Captura imagens do mundo real por um orifício, que são projetadas num plano.



# Modelo de câmera de vídeo

## Modelo de câmera *Pinhole* simplificado



# Modelo de câmera de vídeo

Mapeamento de pontos 3D para 2D (OXYZ para C  $(\tilde{u}, \tilde{v})$ )

$$(\tilde{u}, \tilde{v}) = \left( f\left(\frac{X}{Z}\right), f\left(\frac{Y}{Z}\right) \right)$$

Compatibilização das origens de sistemas de coordenadas OXYZ (câmera) e oxyz (mundo)

$$(R | T) = \begin{bmatrix} r_1 & t_1 \\ r_2 & t_2 \\ r_3 & t_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{1x} & r_{1y} & r_{1z} & t_x \\ r_{2x} & r_{2y} & r_{2z} & t_y \\ r_{3x} & r_{3y} & r_{3z} & t_z \end{bmatrix}$$

# Modelo de câmera de vídeo

Projeção de ponto do mundo 3D ( $P=(x, y, z)$ ) no ponto  $(\tilde{u}, \tilde{v})$  2D

$$\begin{bmatrix} \tilde{u}s \\ \tilde{v}s \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fr_1 & ft_x \\ fr_2 & ft_y \\ r_3 & t_z \end{bmatrix}$$

**Desenvolvimento do sistema de equações acima:**

$$u - u_0 = f \frac{r_{1x}x + r_{1y}y + r_{1z}z + t_x}{r_{3x}x + r_{3y}y + r_{3z}z + t_x}$$

$$v - v_0 = f \frac{r_{2x}x + r_{2y}y + r_{2z}z + t_x}{r_{3x}x + r_{3y}y + r_{3z}z + t_x}$$

# Modelo de câmera de vídeo

## Forma matricial das equações de projeção

$$\begin{bmatrix} us \\ vs \\ s \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & q_{14} \\ q_2 & q_{24} \\ q_3 & q_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fr_1 + u_0 r_3 & ft_1 + u_0 t_z \\ fr_2 + v_0 r_3 & ft_y + v_0 t_z \\ r_3 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

## Matriz de projeção genérica

$$\begin{bmatrix} us \\ vs \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Homografia

Quando todos os pontos são co-planares  
(todos os pontos no campo têm  
coordenada  $z = 0$ ), a matriz genérica é  
simplificada.

$$\begin{bmatrix} uS \\ vS \\ S \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Parâmetros da homografia

- Processo de determinar as propriedades de câmeras de vídeo.
- É fundamental calcular os parâmetros da homografia (ou calibração de câmera).

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$$

# Parâmetros da homografia

- Calculados a partir de 4 (quatro) pares de pontos de referência, que tenham as posições determinadas tanto no sistema

**C**  $(\tilde{u}, \tilde{v})$ , quanto no Sistema do Universo

**U**  $(x, y, z)$



# Método de Gauss-Jordan

## Ou Eliminação Gaussiana

- **Consiste em simplificar um conjunto de equações por eliminação de uma variável de cada vez de equações sucessivas.**
- **Deve-se encontrar a solução do sistema, determinando os valores para os elementos do vetor de incógnitas  $C$**

# Método de Gauss-Jordan

a) ao lado da matriz dos coeficientes das variáveis ( $A$ ), coloca-se a matriz-coluna dos termos independentes ( $B$ ).

Matriz ampliada do sistema de equações

$$A.B = \left[ \begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} & b_2 \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & b_m \end{array} \right]$$

# Método de Gauss-Jordan

b) Transformar a matriz ampliada em uma matriz em forma escalonada (matriz triangular superior).

Matriz triangular superior

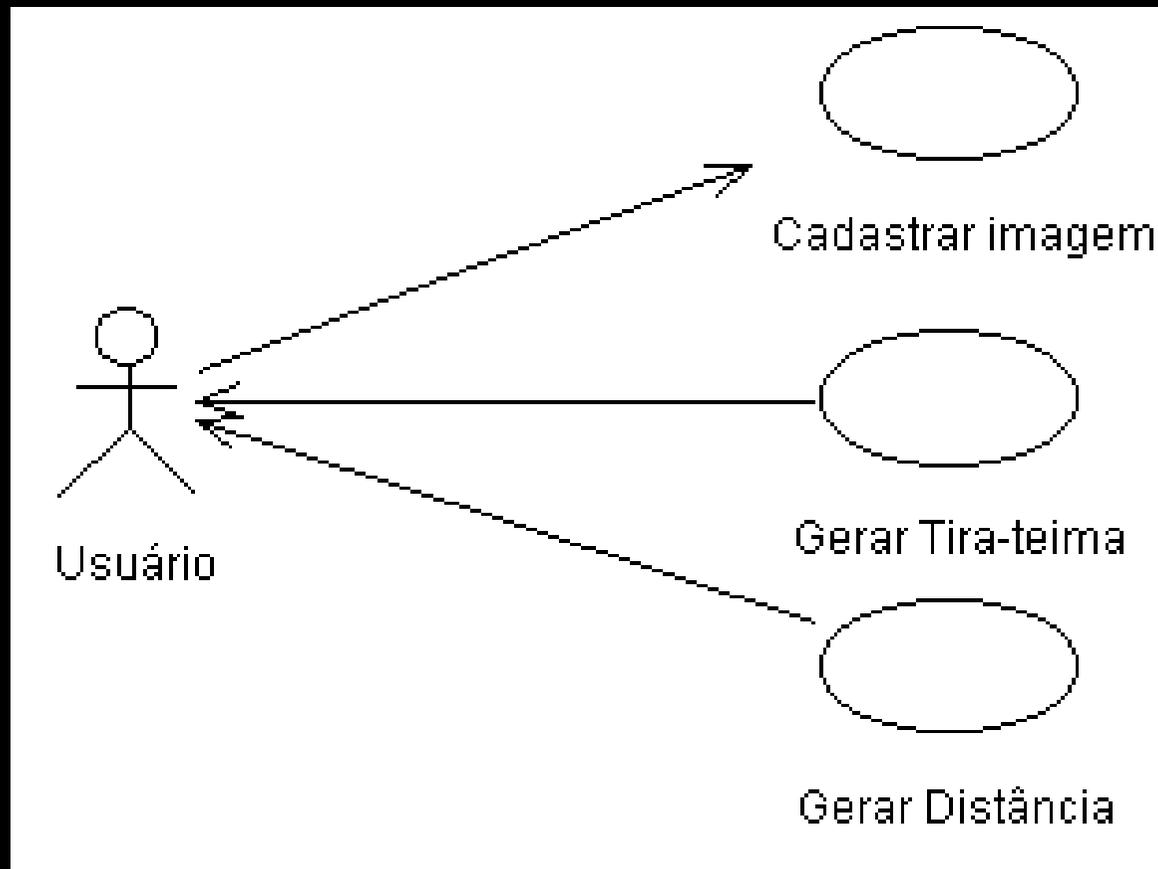
$$\left[ \begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} & b_1 \\ 0 & a_{22} & \dots & a_{2m} & b_2 \\ \hline 0 & 0 & \dots & a_{mn} & b_m \end{array} \right]$$

# Requisitos principais do problema

- Carrega-se um arquivo de imagem estática de uma cena de um jogo de futebol.
- Informa-se 4 pontos de referência do campo.
- Calcula-se a matriz de transformação da imagem.
- Informa-se a posição do jogador de ataque e defesa.
- Calcula-se a posição de impedimento.

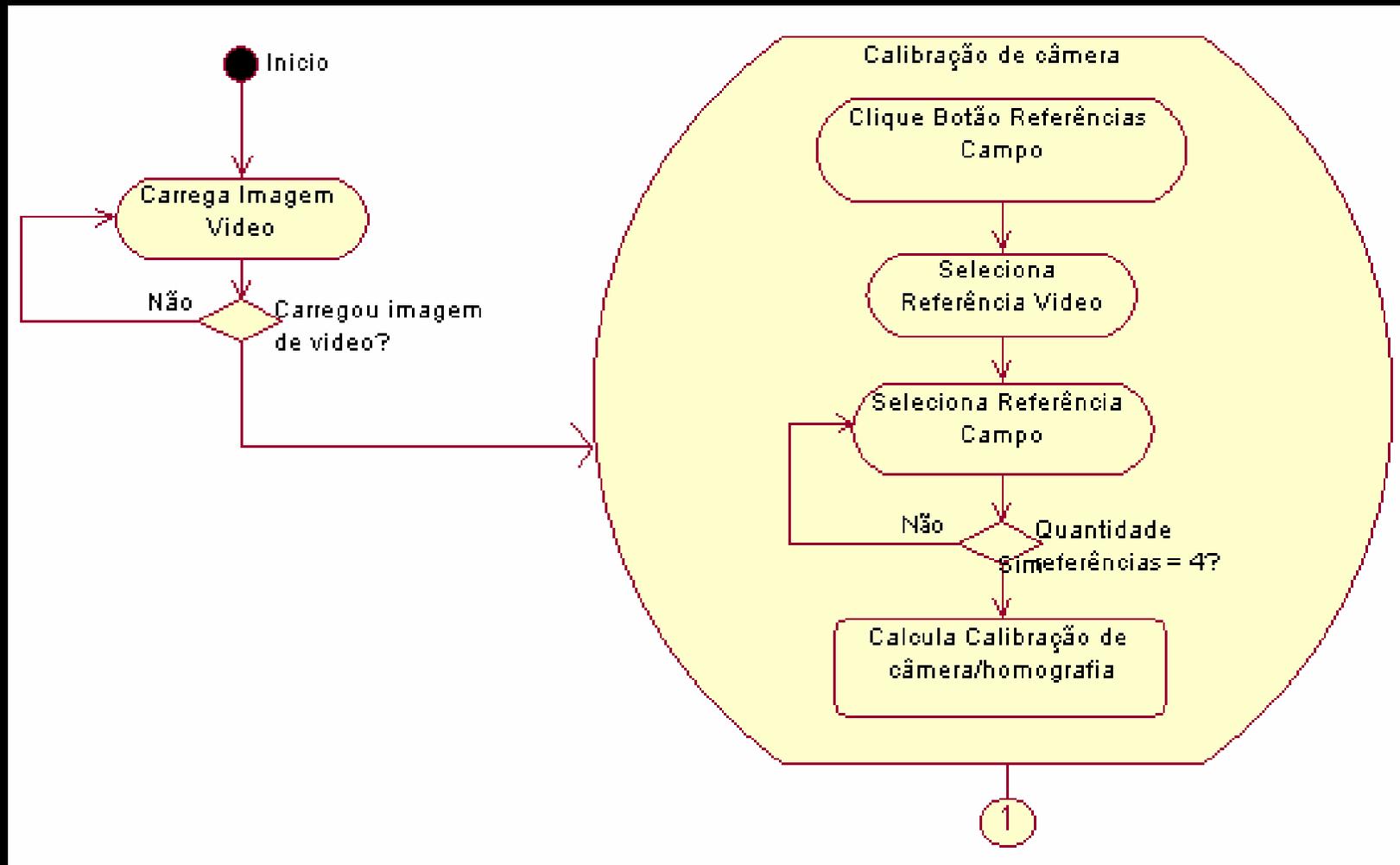
# Especificação

## Diagrama de casos de uso:



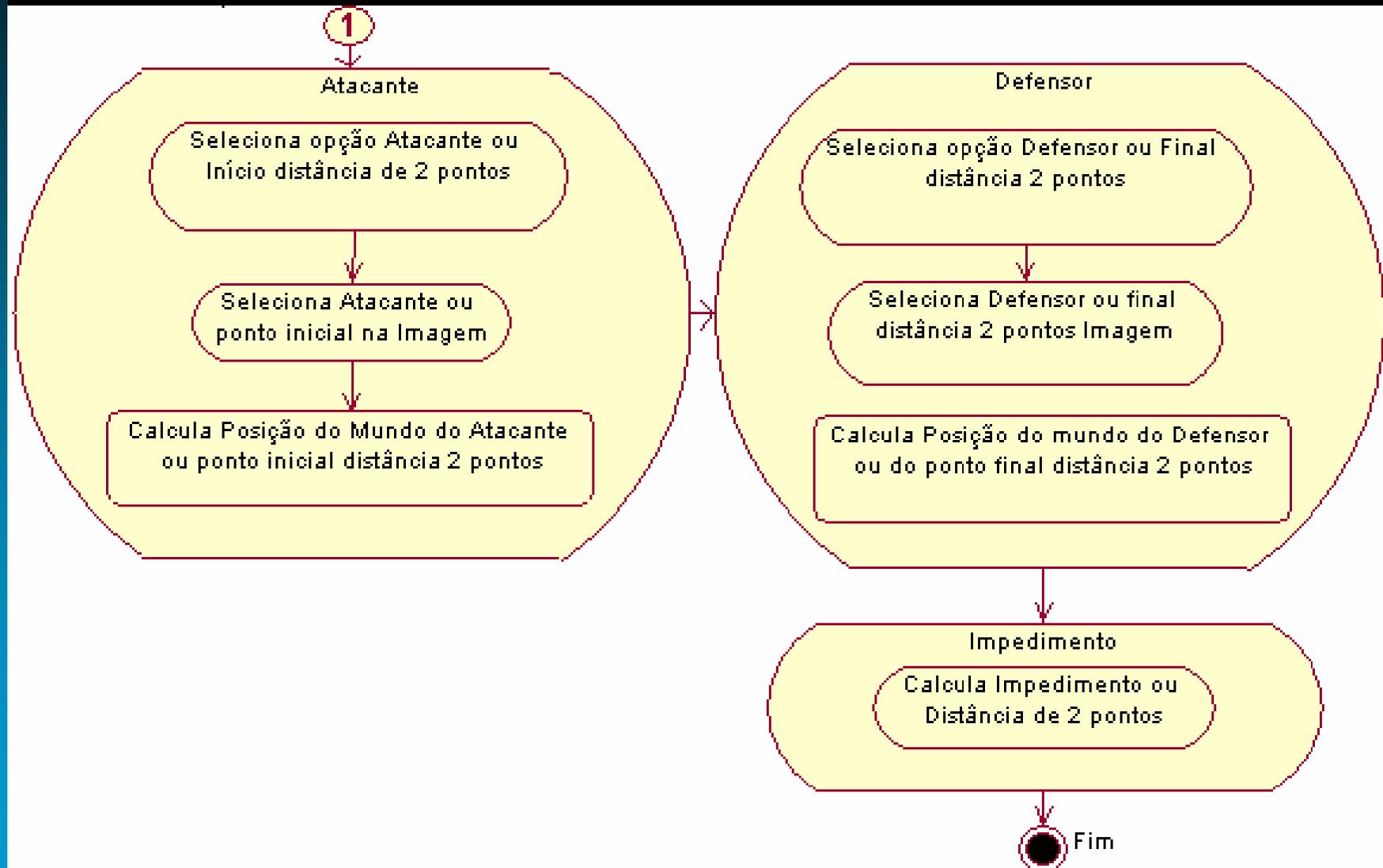
# Especificação

## Diagrama de atividades



# Especificação

## Diagrama de atividades



# Implementação

- **Visual C++ 6.0 da Microsoft**
- **Bibliotecas IUP, CD, IM da TecGraf (PUC-Rio)**

# Resultados

## Posição de impedimento:

<b>Prot. Tirateima</b>	<b>Comparativo com:</b>	<b>Imprecisão (cm)</b>
<b>1,86 m</b>	Rede Globo: 1,44 m	22 cm
<b>1,30 m</b>	Juiz Virtual: 1,00 m	30 cm

## Distâncias calculadas em relação às medidas reais:

<b>Local</b>	<b>Prot. Tirateima</b>	<b>Medida Real</b>	<b>Imprecisão (cm)</b>
Semicírculo área	<b>9,56 m</b>	9,15 m	41 cm
Bola até barreira	<b>9,95 m</b>	9,15 m	80 cm
Marca do pênalti	<b>12,41 m</b>	11 m	141 cm

# Conclusão

- Não foi possível implementar entrada de dados em vídeo;
- Os resultados obtidos foram bastante adequados, apesar de haver imprecisão numérica;
- Quanto maior a quantidade referências utilizadas, melhores resultados serão obtidos.

# **Sugestões para trabalhos futuros**

- **Implementação completa do tira-teima sobre vídeos de jogos de futebol;**
- **Implementação para outros esportes;**
- **Implementação da ampliação do número de referências utilizadas para a calibração de câmeras;**

# Sugestões para trabalhos futuros

- Implementar o método dos mínimos quadrados para minimizar o erro;
- Implementação de um método de reconhecimento automático das linhas do campo e dos objetos de uma partida de futebol sobre vídeos de futebol (com calibração automática de câmera)