

# TRILHOS: EFICIÊNCIA E NOVOS RUMOS



## Sistema Embarcado de Termovisão e Reconstrução de Imagens

### Nomes autores

Leonardo de Mello Honório

Felipe Meneguitti Dias

Vinícius Vidal

Luiz Augusto Zilmman da Silva

Alexandre Lima de Carvalho

# Alexandre Lima de Carvalho

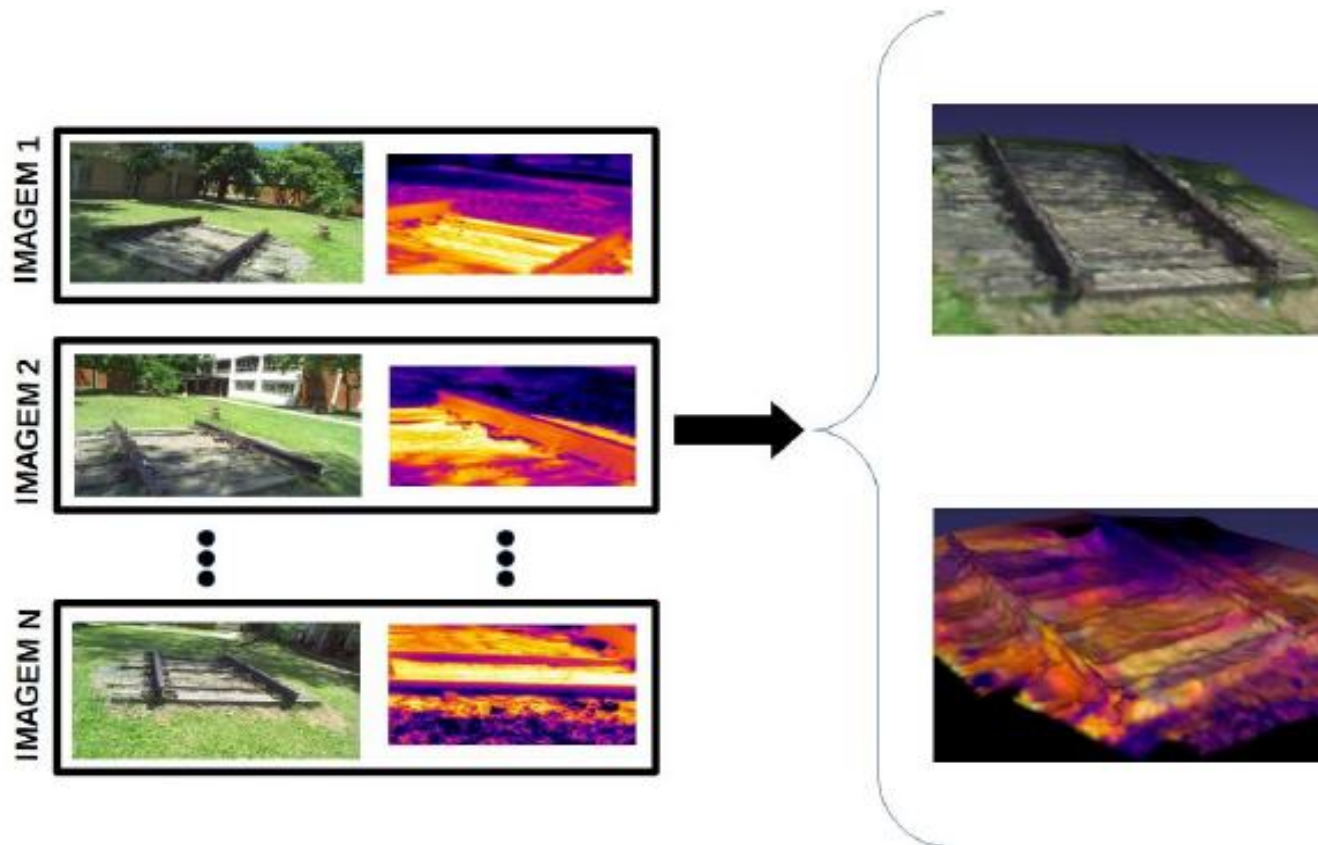
- Engenheiro eletricista pela UFJF(1993);
- Especializado em Gestão da Qualidade e Certificação;
- *Especializado em Engenharia de Segurança;*
- *Mestrado em Eng.Elétrica - Correção de Reativos*
- *Doutorando em Processamento de Imagens – Inspeção em Trilhos*
  
- Atualmente atua do Dpto de Projetos na área de Energia na MRS Logística S.A.

# Sumário

- Objetivo
- Câmeras
- Geometria Epipolar
- Calibração Visual
- Calibração Térmica
- Geometria entre Câmeras
- Fusão de Imagens
- Resultados
- Funcionamento Macro
- Funcionamento Ideia Inicial
- Funcionamento – Tela Inicial
- Funcionamento – Missão
- Funcionamento – Imagens e Nuvens de Pontos
- Funcionamento – Reconstrução de Imagens
- Videos

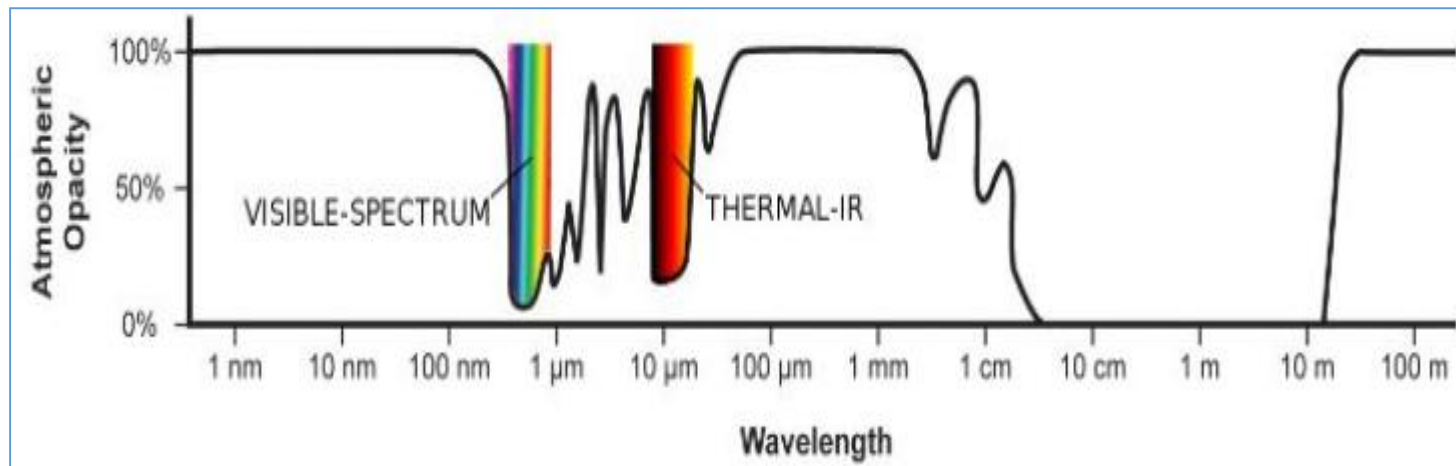
# Objetivo

- Fazer inspeções térmicas automáticas com equipamento embarcado;
- Gerar um modelo tridimensional térmico e visual a partir de um conjunto de imagens;
- Vistoriar equipamentos através da informação térmica.



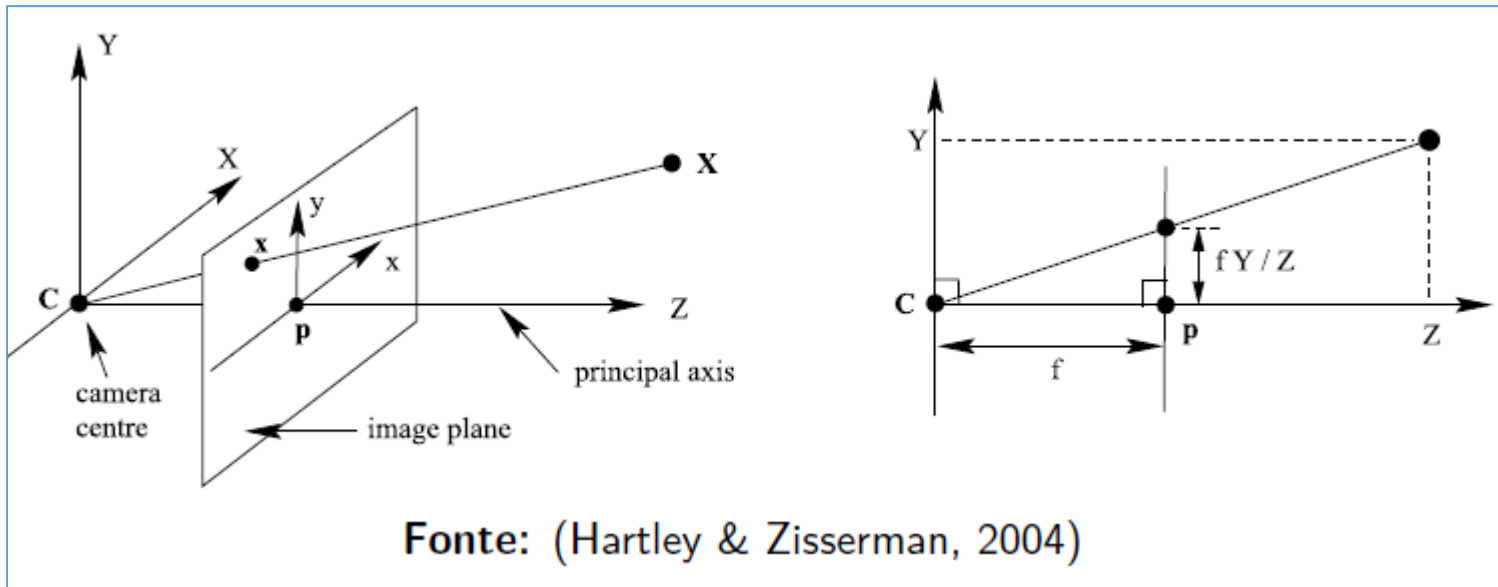
# Câmeras

- Elas mapeiam pontos no espaço para pontos em um plano imagem.
- Câmeras visuais capturam radiação no espectro visível (350 nm a 7410 nm);
- Câmeras térmicas capturam radiação no espectro LWIR ( $8\mu\text{m}$  a  $14\mu\text{m}$ ).



# Câmeras

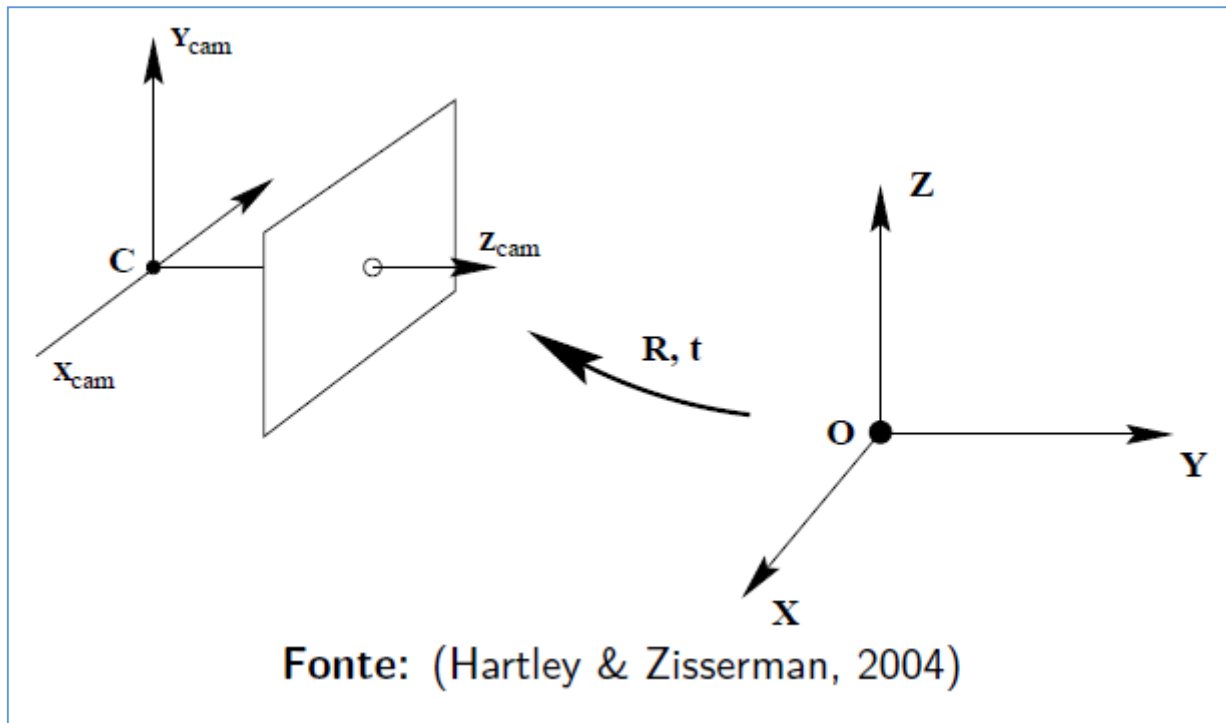
Matematicamente, as câmeras são funções de mapeamento de pontos de três dimensões para pontos de duas dimensões:  $(g : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^2)$



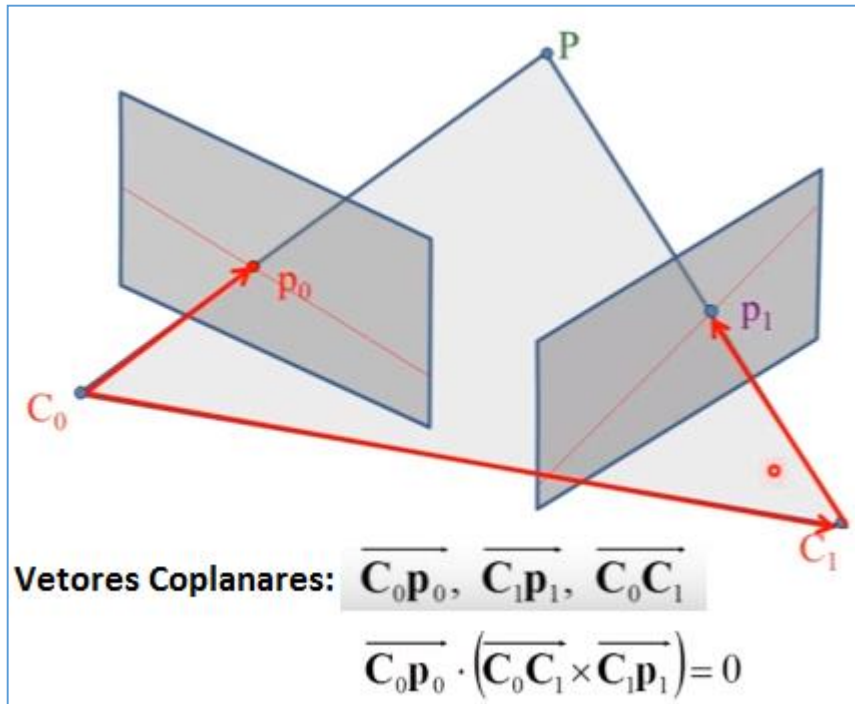
Ponto no espaço:  $p_{3D} = (X, Y, Z)$ ;  
Ponto na imagem:  $p_{2D} = (x, y)$ .

# Câmeras

Caso o ponto no espaço ( $p_{3D}$ ) esteja definido em outro sistema de coordenadas que não seja o sistema de coordenadas da câmera usa-se:



# Geometria Epipolar



$$\mathbf{p}_0 \cdot (\mathbf{t} \times \mathbf{R} \mathbf{p}_1) = 0$$

$$\mathbf{p}_0^T [\mathbf{t}]_{\times} \mathbf{R} \mathbf{p}_1 = 0$$

$$\mathbf{E} = [\mathbf{t}]_{\times} \mathbf{R}$$

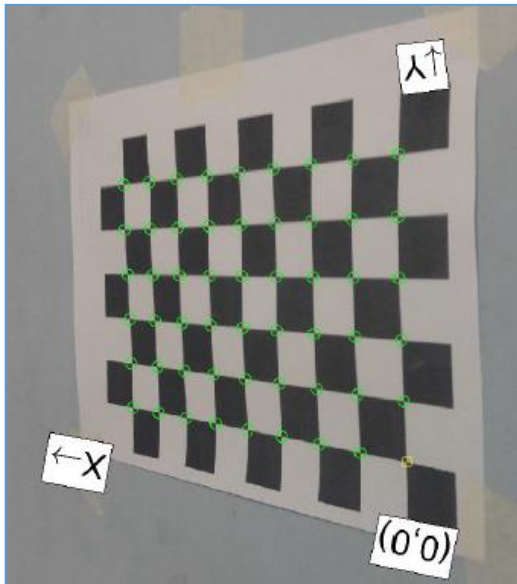
$$\mathbf{p}_0^T \mathbf{E} \mathbf{p}_1 = 0$$

$$(x_0 \quad y_0 \quad 1) \begin{pmatrix} E_{11} & E_{12} & E_{13} \\ E_{21} & E_{22} & E_{23} \\ E_{31} & E_{32} & E_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} = 0$$



# Câmera Visual - Calibração

Para calibrar a câmera é necessário um conjunto de correspondências entre pontos no espaço e na imagem.



- $p_{2D_i} = (x_i, y_i, 1)$
- $p_{3D_i} = (X_i, Y_i, Z_i, 1)$
- $p_{2D_i} = P p_{3D_i}$
- $P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{pmatrix}$

- Para N pontos:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_1 X_1 & -x_1 Y_1 & -x_1 Z_1 & -x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -y_1 X_1 & -y_1 Y_1 & -y_1 Z_1 & -y_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_N & Y_N & Z_N & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_N X_N & -x_N Y_N & -x_N Z_N & -x_N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_N & Y_N & Z_N & 1 & -y_N X_N & -y_N Y_N & -y_N Z_N & -y_N \end{pmatrix}}_A \begin{pmatrix} p_{11} \\ p_{12} \\ p_{13} \\ p_{14} \\ p_{21} \\ p_{22} \\ p_{23} \\ p_{24} \\ p_{31} \\ p_{32} \\ p_{33} \\ p_{34} \end{pmatrix} = 0$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_P$

# Câmera Térmica - Calibração

Ao apontar uma câmera térmica para um tabuleiro de xadrez obtém-se a seguinte resposta:

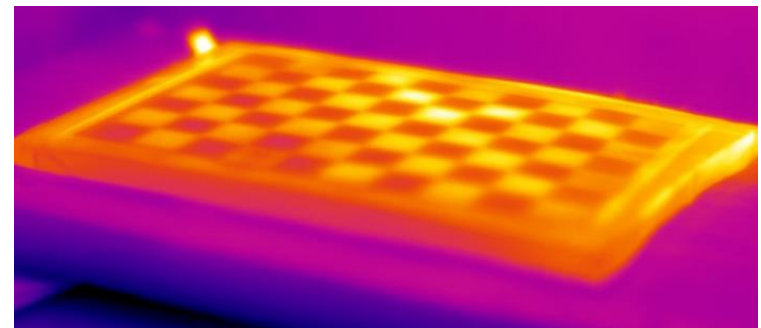


Fonte: (Vidas, 2014)

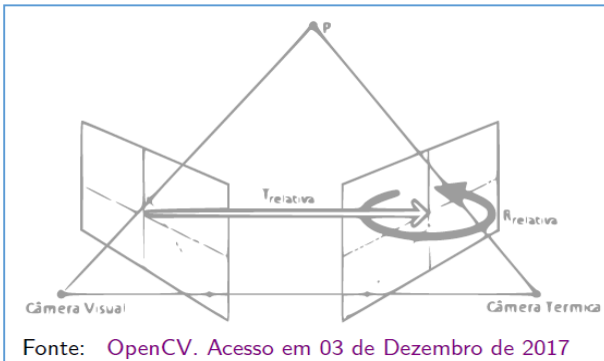
- Alternativa para efetuar a Calibração Térmica :



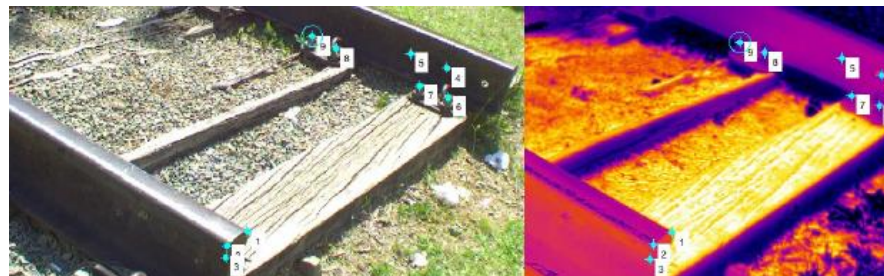
- Nesta abordagem obtém-se a seguinte imagem do tabuleiro.



# Geometria entre as Câmeras Visual e Térmica



- De forma a obter  $R_{termica}$  e  $T_{termica}$  utiliza-se:
  - $R_{termica} = R_{visual} R_{relativa}$
  - $C_{termica} = C_{visual} + C_{relativa}$  ( $T = -RC$ )
- $R_{relativa}$  e  $T_{relativa}$  podem ser encontrados através do procedimento a seguir:
- Escolhe-se, manualmente, pontos correspondentes na imagem visual e térmica



# Fusão das Imagens Térmica e Visual

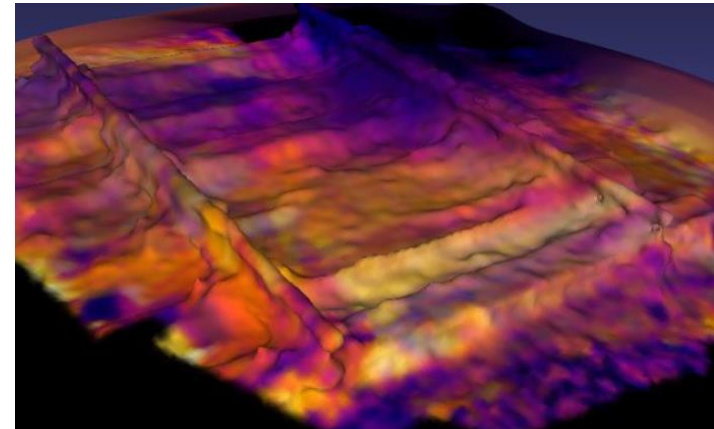
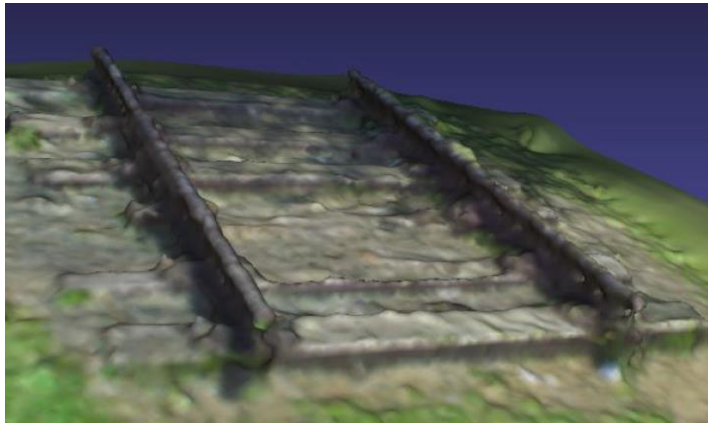
- Procura-se na nuvem de pontos o ponto,  $p_{3D}$ , que tenha projeção na imagem visual mais próxima do ponto escolhido;
- Fazer esse processo para no mínimo 4 pontos diferentes;
- Usar o algoritmo *solvePNP* que calcula as matrizes  $R_{termica}$  e  $T_{termica}$  a partir de  $N$  correspondência entre pontos no espaço e na imagem.
- A partir das matrizes  $R_{termica}$  e  $T_{termica}$  calcula-se:

$$\begin{aligned} R_{relativa} &= R_{visual}^{-1} R_{termica} \\ C_{relativa} &= C_{termico} - C_{visual} \end{aligned}$$

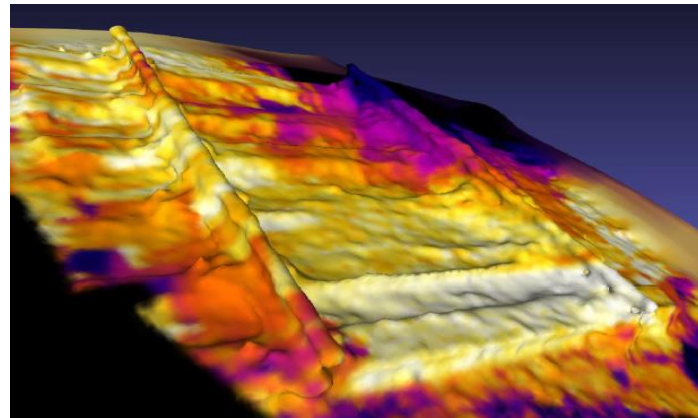
- As matrizes  $R_{termica}$  e  $T_{termica}$  das outras imagens podem ser calculadas a partir das matrizes  $R_{relativa}$  e  $C_{relativa}$ .

# Resultados

Modelo tridimensional Visual • Modelo tridimensional Térmico - média

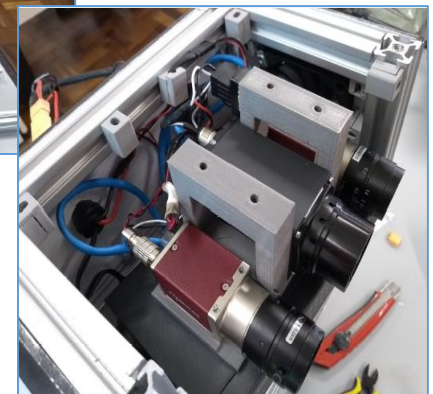
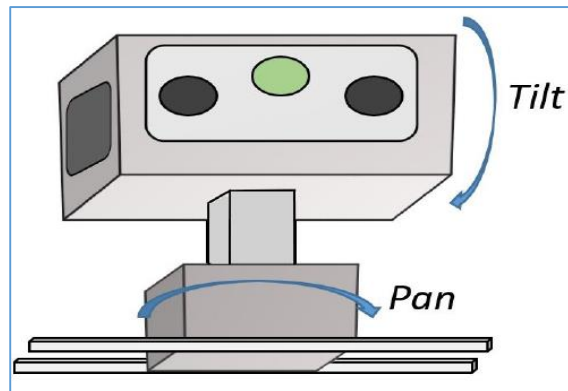


• Modelo tridimensional Térmico - máximo

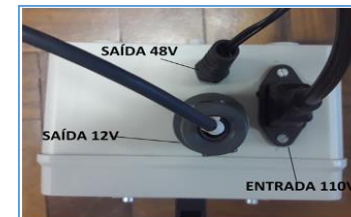
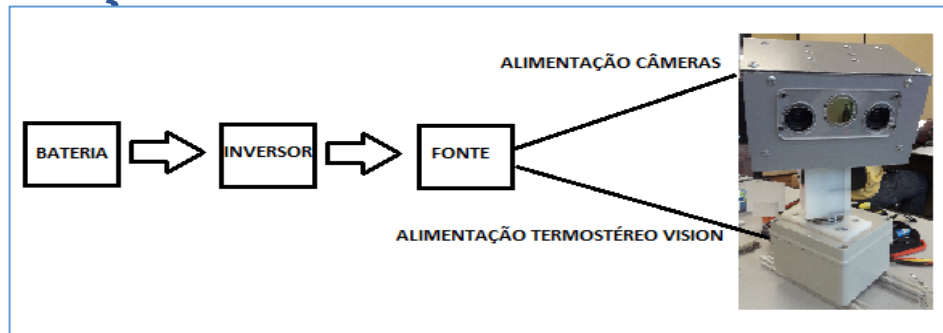


# Descrição do Sistema

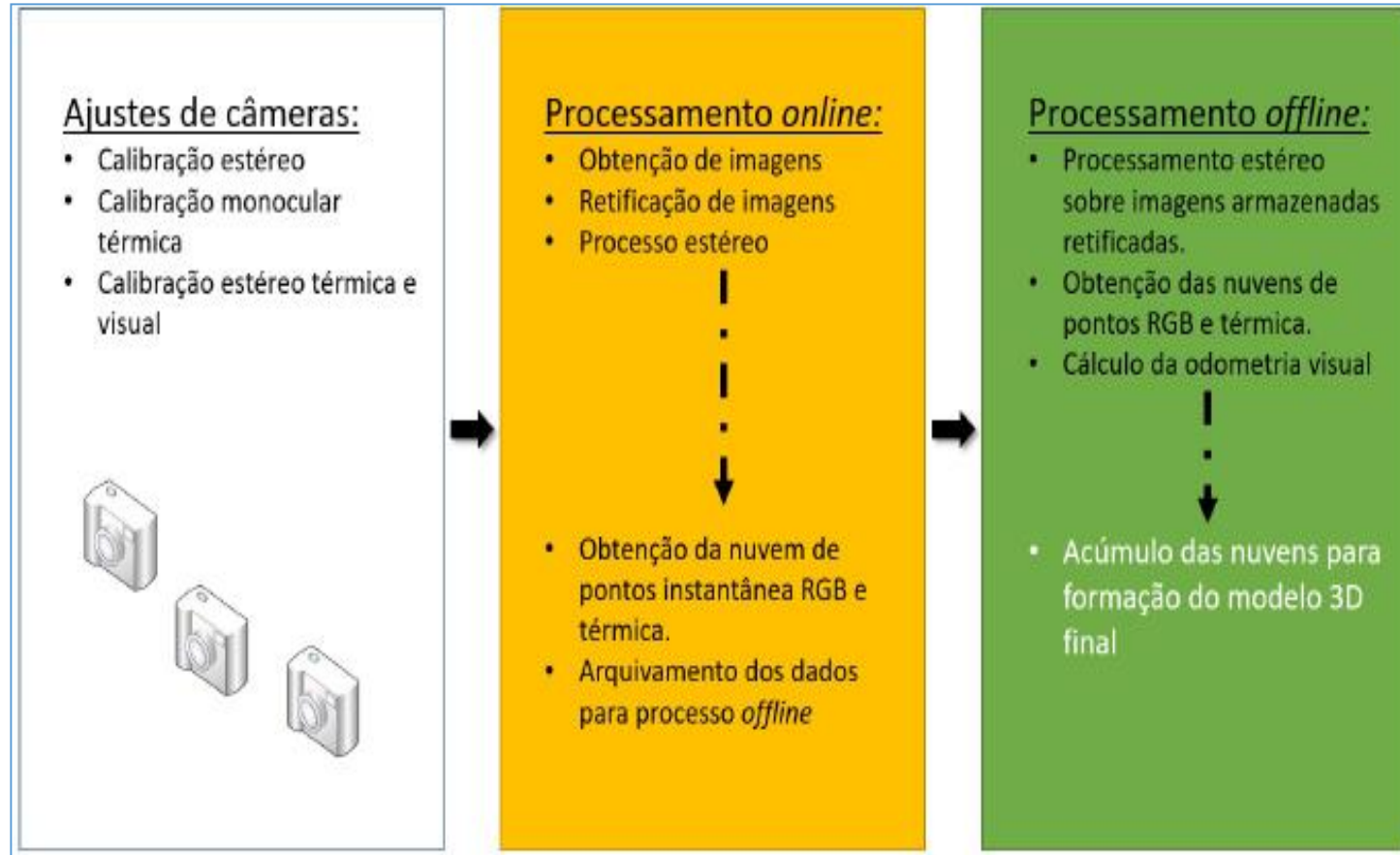
- Motores AX-18A e MX-64T com adaptador TTL-USB.
- Controladora Pixhawk e módulo GPS.
- Câmeras RGB da fabricante Allied Vision, modelo MAKKO.
- Câmera térmica FLIR da série AX5.
- HUBs USB para comunicação de controle, motores e Ethernet TP-Link para as câmeras.
- Placa de distribuição de potência em 12 Volts para motores e circuito de sincronismo das câmeras.
- Coolers de 12V para refrigeração.



# Descrição do Sistema

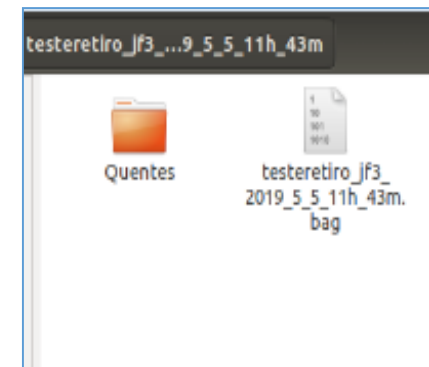
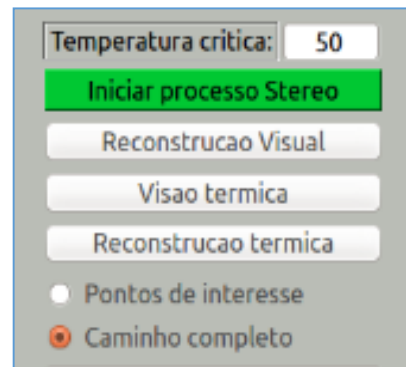
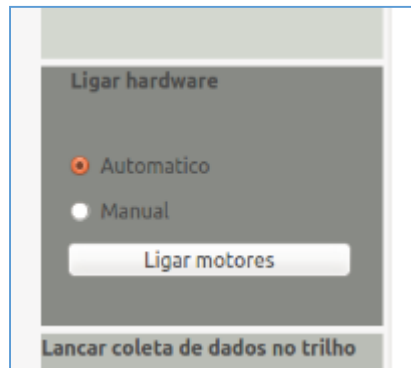
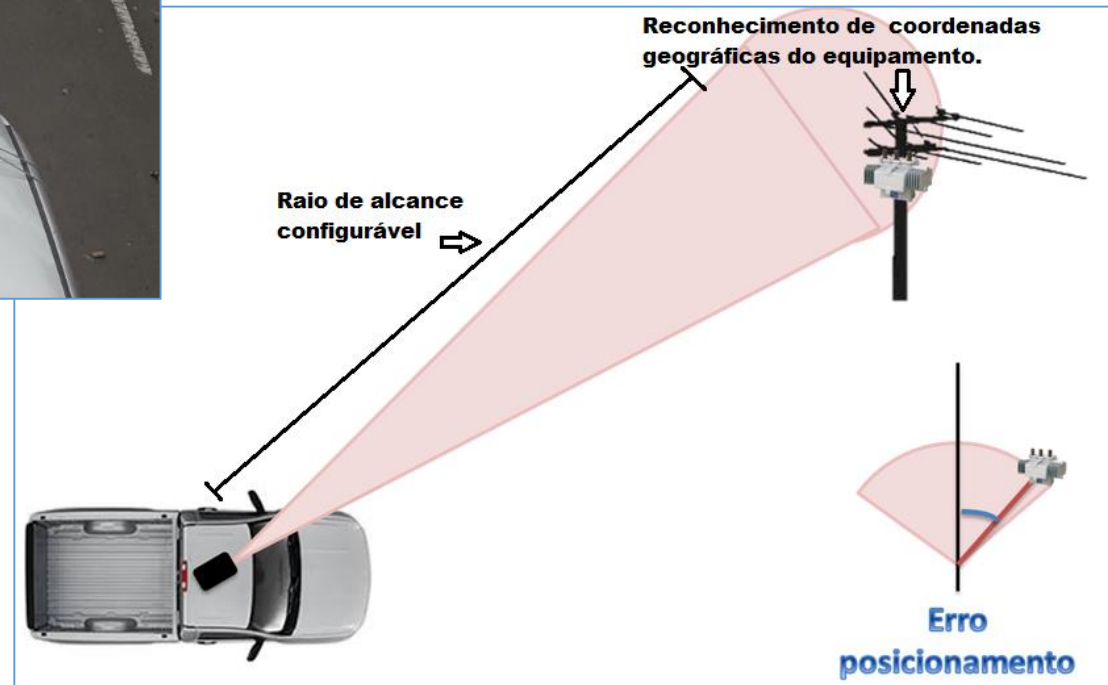


# Funcionamento - Macro





# Funcionamento – Idéia Inicial



# Funcionamento – Tela Inicial

Processo online Pós processamento

Distancia de controle aos pontos de Interesse - APOS CONECTADO

Distancia controlada ao ponto de interesse

Enviar distancia ao ponto

**Imagem termica**

**MRS**  
LACINHO S.A.

**Pontos de interesse**

Ajustar pontos por GPS

Reiniciar driver de comunicacao

**Ligar hardware**

Automatico  
 Manual

Ligar motores

**Lancar coleta de dados no trilho**

Temperatura critica: 50

Iniciar processo Stereo

Reconstrucao Visual

Visao termica

Reconstrucao termica

Pontos de interesse  
 Caminho completo


Nome do arquivo

Gravar dados

Reiniciar Sistema

Limpa caixa de mensagens

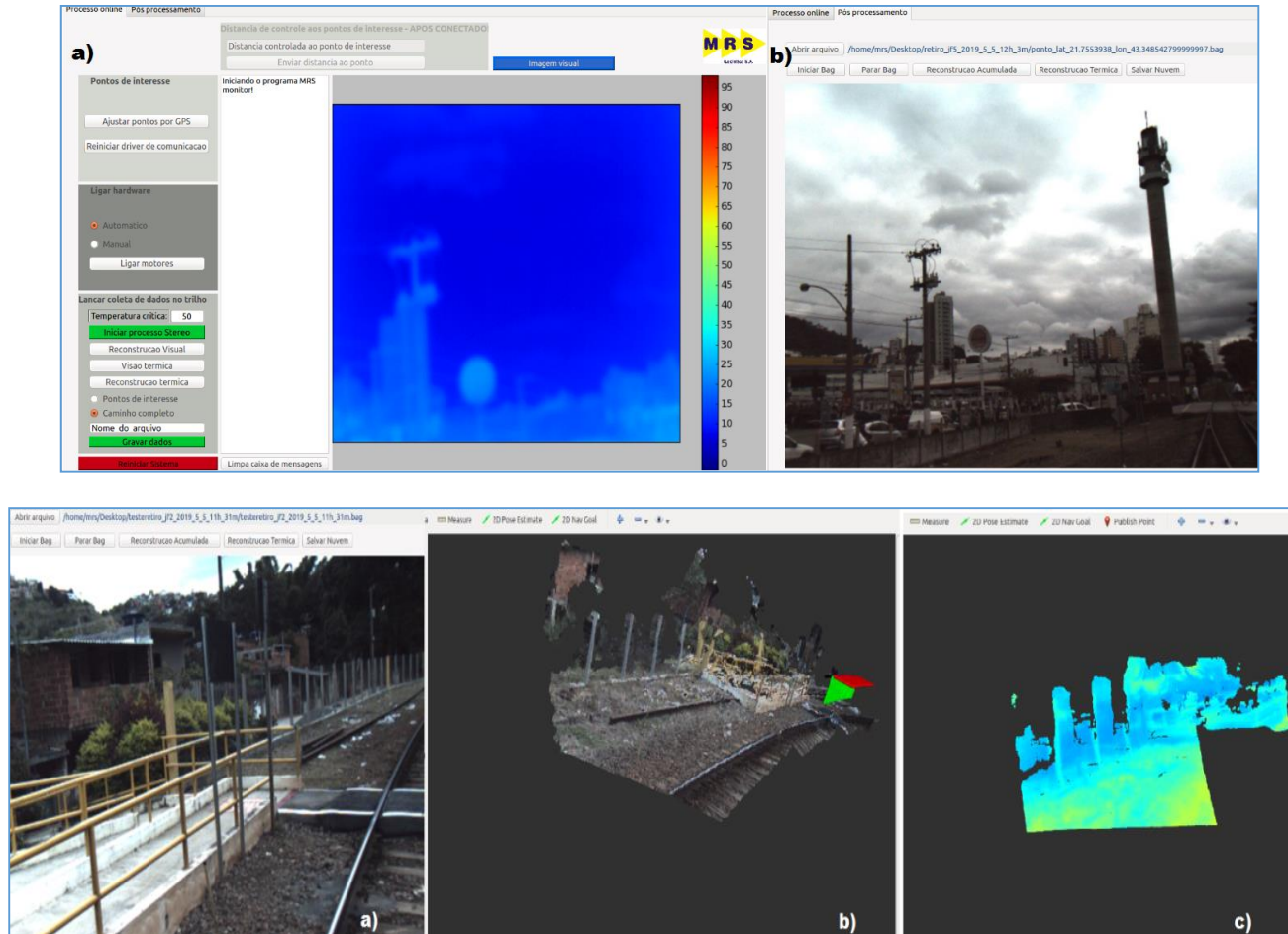
Iniciando o programa MRS monitor!  
Abrindo QGroundControl, aguarde... Se nao houver resposta, clique novamente.



# Funcionamento - Missão

The screenshot displays a mission planning interface for a drone. At the top, it shows mission statistics: "Selected Waypoint: Alt diff: 0.0 m Azimuth: 164 Distance: 1512.5 m Gradient: 0 % Heading: 337" and "Total Mission: Distance: 279079 m Max telem dist: 23879 m Time: 05:57:30". The main view is a 3D terrain map with several waypoints marked with orange circles and numbered 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, and 38. Yellow lines radiate from these waypoints, representing the camera's field of view. Text labels in yellow point to these features: "PONTOS A SEREM INSPECIONADOS" (Points to be inspected) points to the waypoints, "RAIO" (Radius) points to the yellow lines, and "ALTURA RELATIVA DAS CÂMERAS EM RELAÇÃO AO SOLO" (Relative camera height relative to the ground) points to the vertical distance from the ground to the waypoints. On the right side, a control panel for the selected waypoint (Waypoint 4) is visible, showing parameters: "Hold: 30 secs", "PassThru: 0.00 m", "Altitude: 8.00 m", and a checked box for "Altitude is relative to home". Below this, a list of waypoints from 1 to 12 is shown. The bottom left corner of the map area includes a scale bar for 150 m.

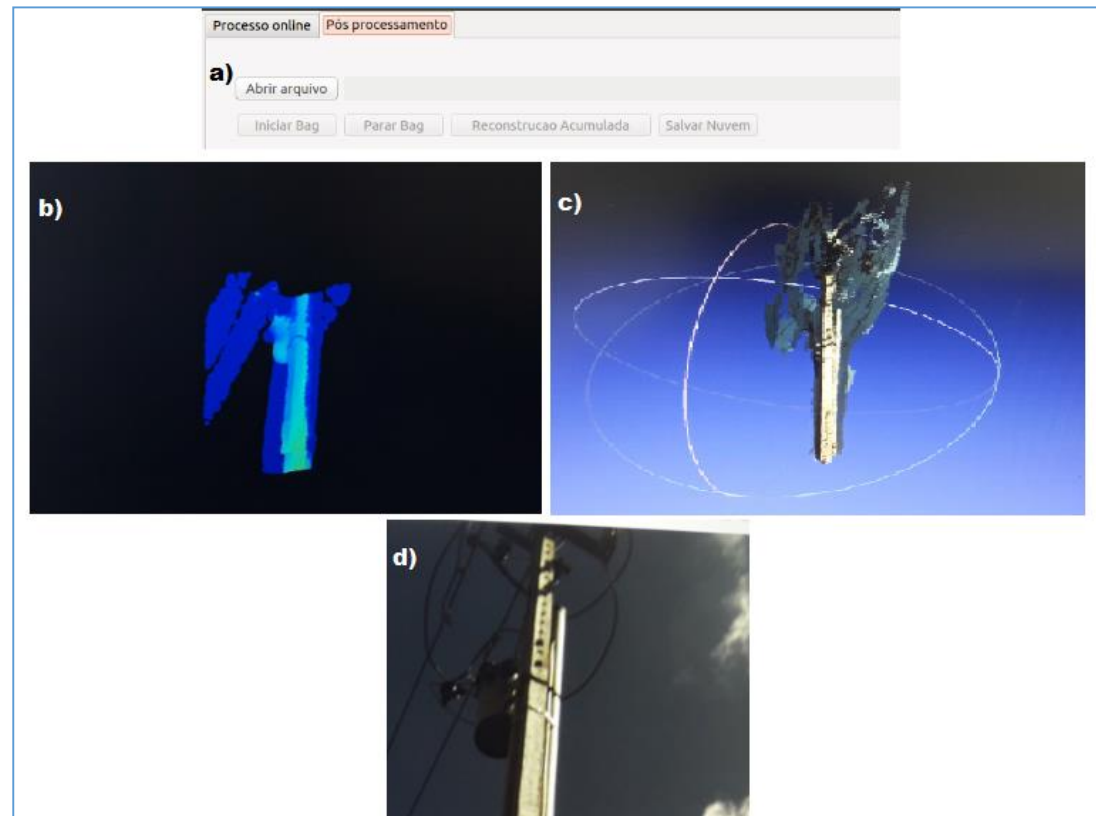
# Funcionamento – Imagens e Nuvem de Pontos



# Funcionamento – Reconstrução de Imagens

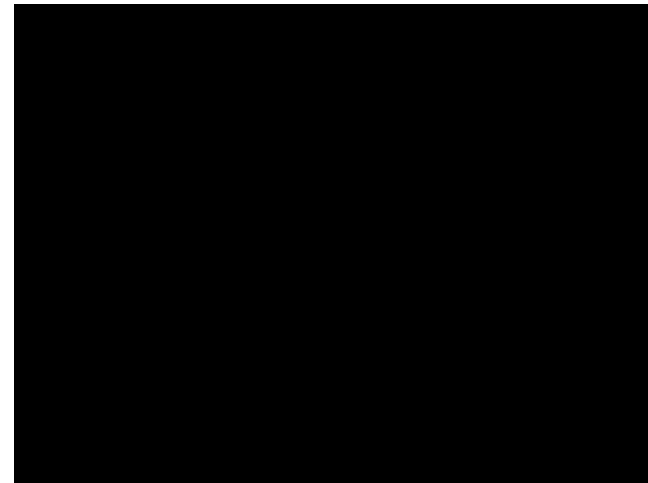
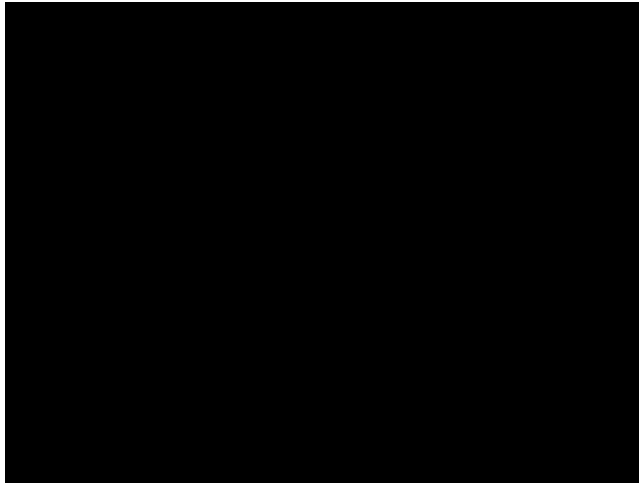


MeshLab

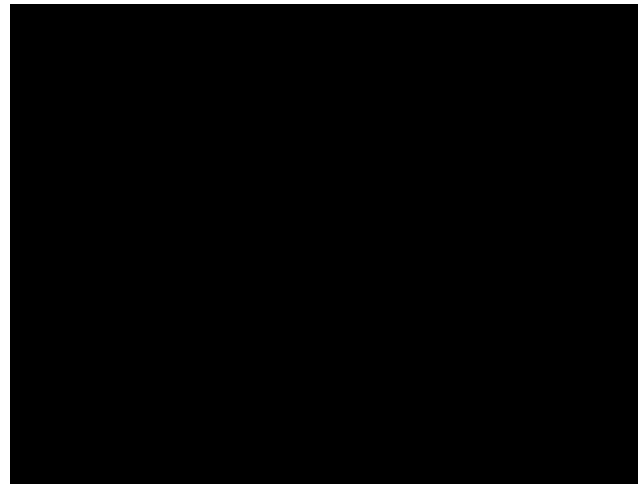


# Videos

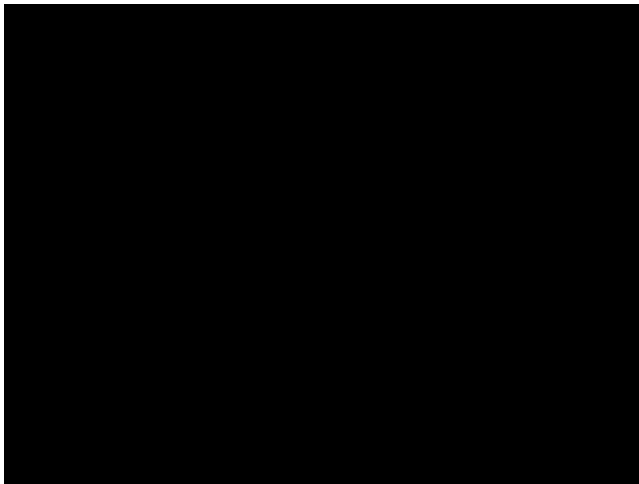
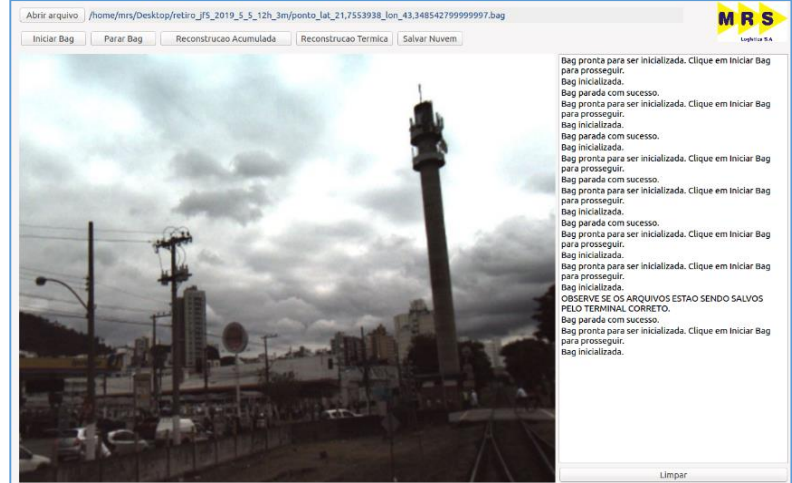
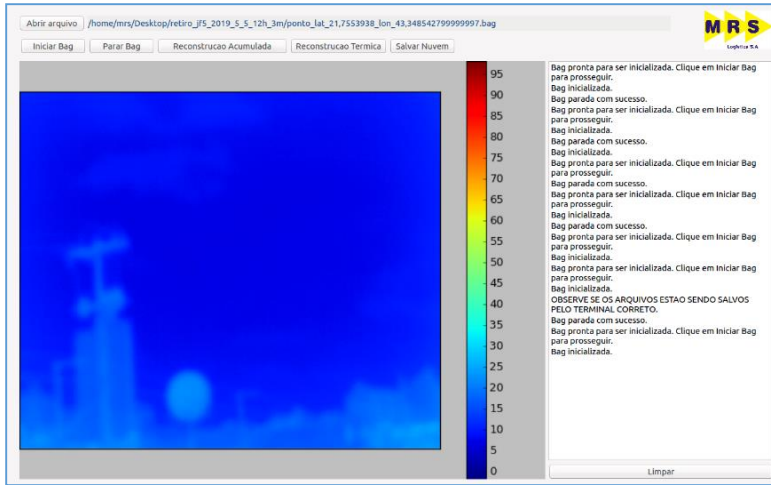
Testes Iniciais



Nuvem de Pontos



# Videos



# FIM

Obrigado !

Email: [alexandre.carvalho@mrs.com.br](mailto:alexandre.carvalho@mrs.com.br)