

# POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

## CONCEITOS E APLICAÇÕES

---

PTR3111 - Geomática

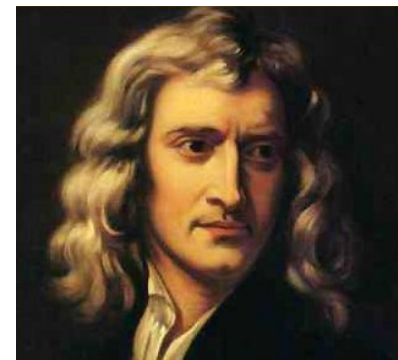
# Objetivos

- Apresentar para os sistemas de posicionamento por satélites artificiais:
  - conceitos introdutórios e fundamentais,
  - métodos de posicionamento e
  - técnicas para otimizá-los.

# Introdução

- Desde que o homem habitava as cavernas ele sente a necessidade de se posicionar;
- Saber **onde se está**, **para onde quer ir** e saber **retornar!**  
Ou seja, tem **necessidade de navegar**;
- Conhecer a forma e a dimensão da Terra;
- No período das grandes navegações (1500) houve a necessidade de se posicionar.
  - Naquela época eles utilizavam as estrelas.

# Formas da Terra

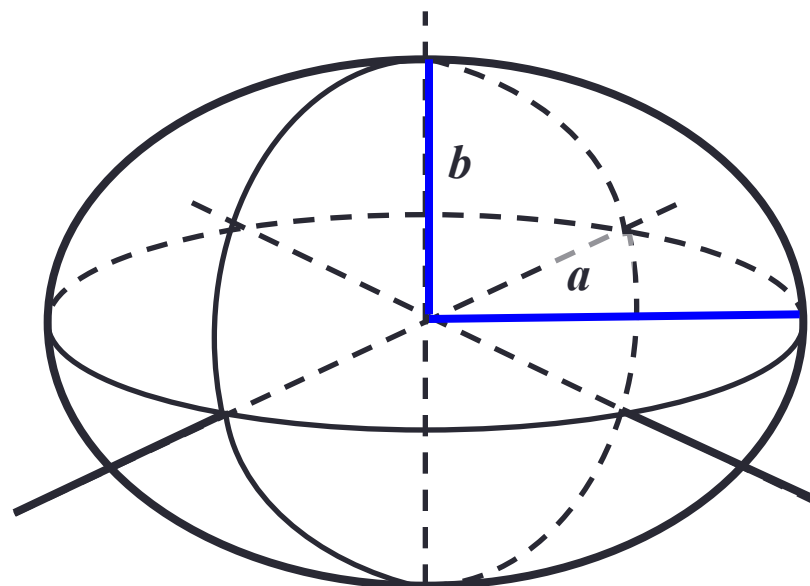


## Elipsóide:

### – Sir Isaac Newton (1642-1727)

- Elipsóide de revolução: figura geométrica gerada pela rotação de uma elipse em torno do eixo menor

- semi-eixo maior:  $a$
- semi-eixo menor:  $b$
- achatamento:  $f = (a-b)/a$
- excentricidade:  $e = \sqrt{1-b^2/a^2}$

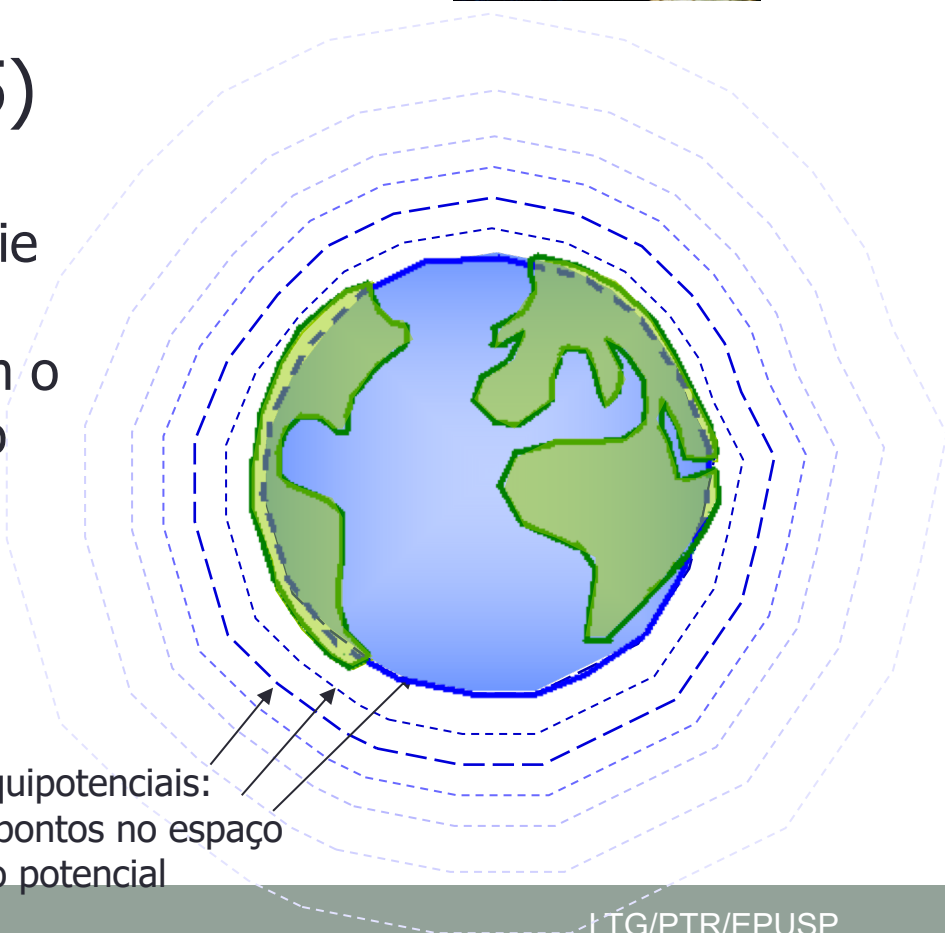


# Formas da Terra



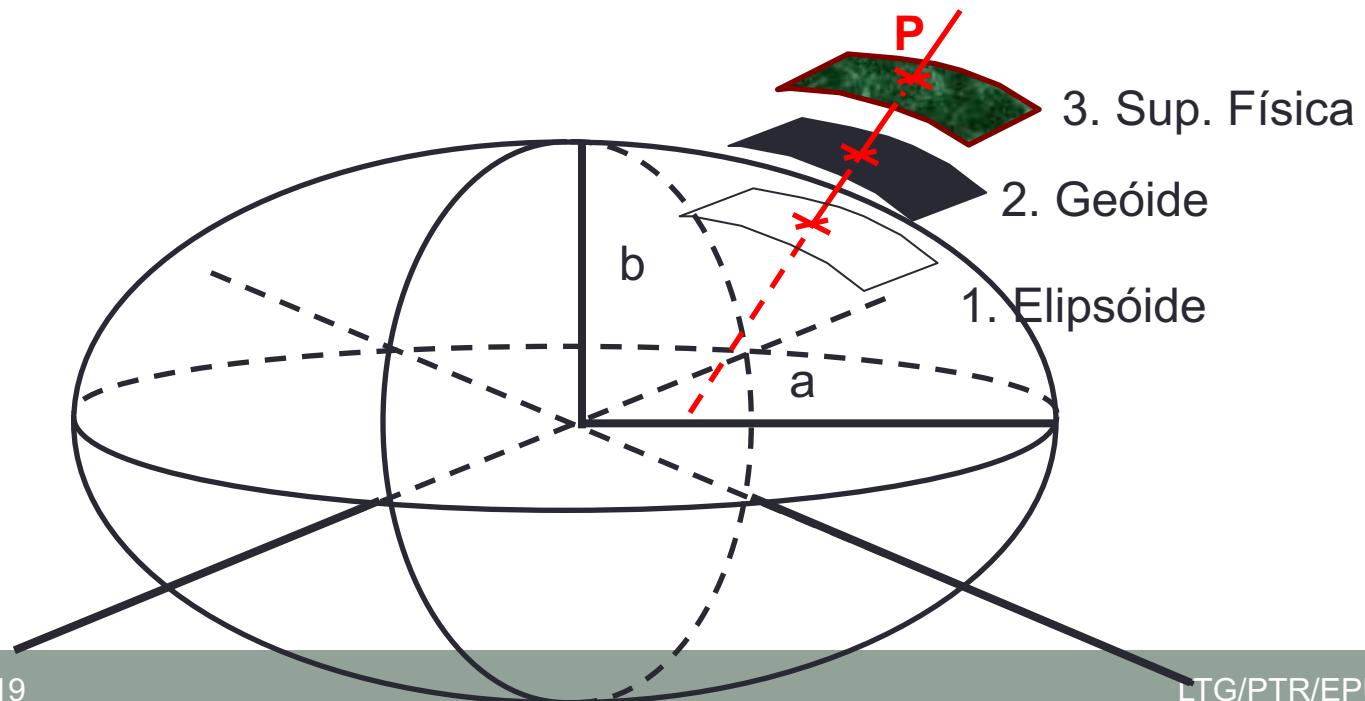
## Geóide:

- Gauss (1777 - 1855)
  - caracterizou a Superfície Geoidal como uma superfície equipotencial do campo de gravidade que coincide com o nível médio não perturbado dos mares.



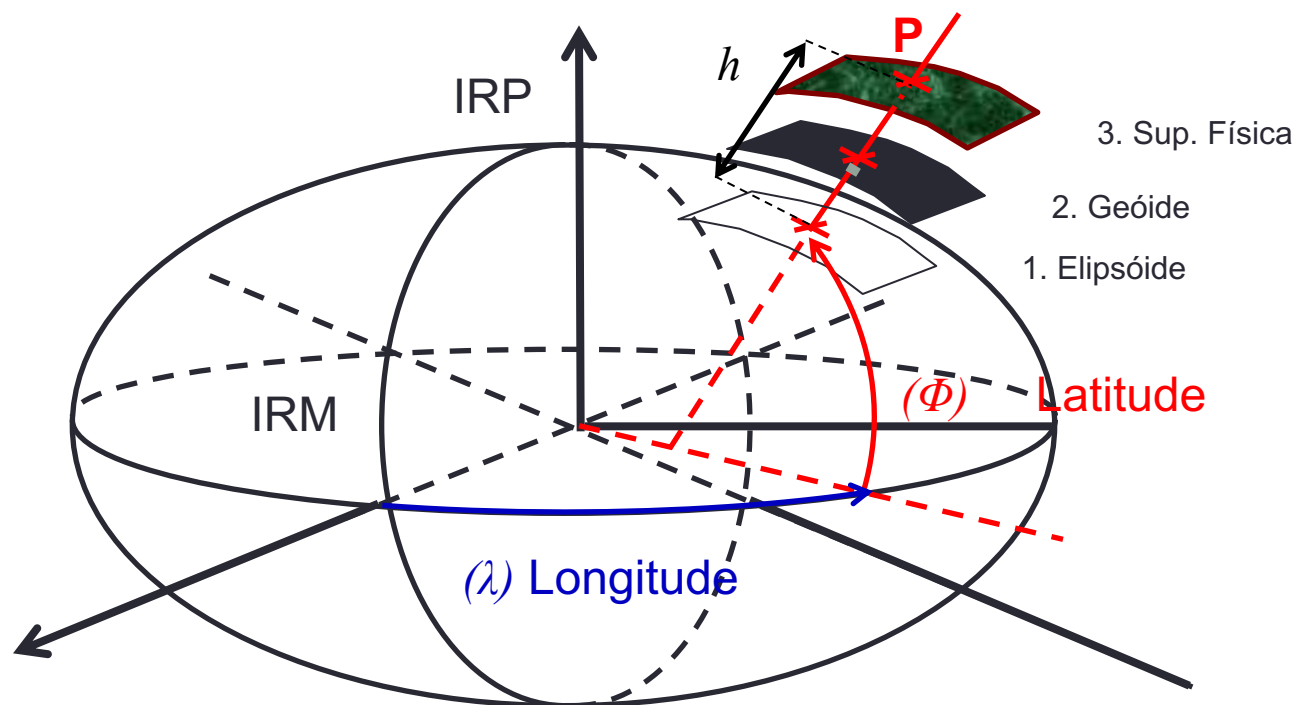
# Superfícies de Referência

1. Superfície elipsoidal: limitante do elipsóide de referência;
2. Superfície geoidal: limitante do geóide;
3. Superfície física: limitante do relevo topográfico.



# Sistema de Coordenadas

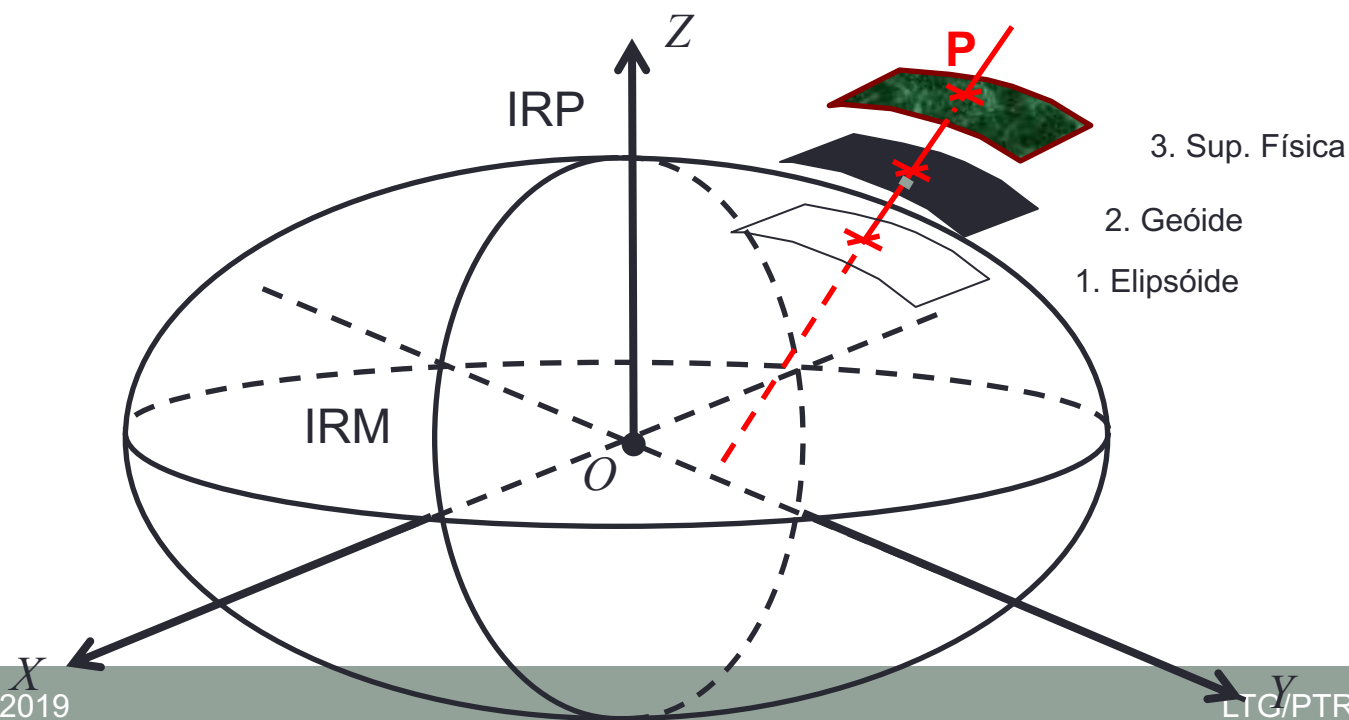
- Coordenadas Geodésicas ou Elipsóidicas
  - **IRM**: International Reference Meridian (antigo Greenwich)
  - **IRP**: International Reference Pole (Norte)



# Sistema de Coordenadas

## • Coordenadas Cartesianas

- Origem: centro de massa da Terra
- O eixo  $X$  é orientado na direção do IRM
- O eixo  $Z$  é orientado na direção do IRP
- O eixo  $Y$  a  $90^\circ$  de  $OX$  completando um sistema dextrógiro



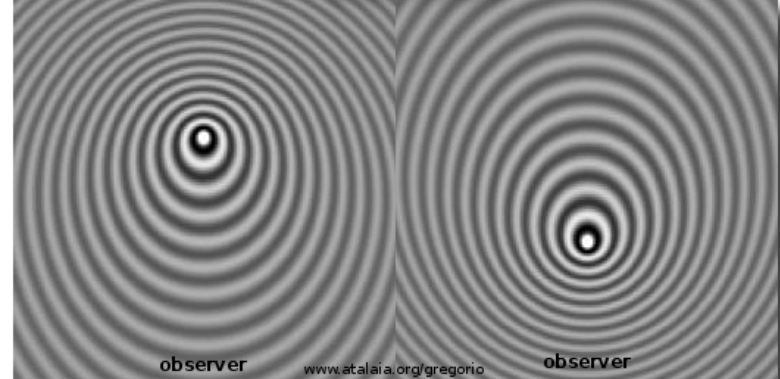


# Transformação de coordenadas

# Histórico do Sistema GPS



<http://novaonline.nvcc.edu>

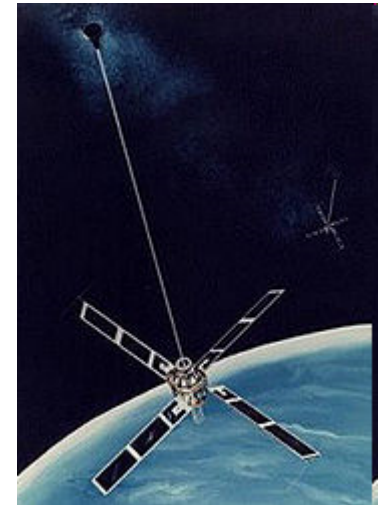


- Início da era espacial: SPUTNIK I (4/10/1957)
- Utilização do efeito Doppler-Fizeau na determinação da órbita dos satélites por Guier e Weiffenbach
- **Determinação da posição a partir de órbitas conhecidas** por McClure.

# Histórico do Sistema GPS

## Sistema TRANSIT 1960

- Princípio Doppler
- Precisão 200m
- Sistema disponível aprox. 1h por dia
- **Sistema bi-dimensional (latitude e longitude).**



<http://www.astronautix.com>

# Histórico do Sistema GPS

- **NAVigation System with Timing and Ranging/Global Positioning System.**
  - NAVSTAR / GPS
  - Sistema de posicionamento desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos.
  - Fornecer a **posição tridimensional e o tempo** de modo instantâneo e contínuo sobre toda a superfície da Terra.
- **Junção de dois programas:**
  - TIMATION - Marinha
  - 621B - Força Aérea.

# GPS



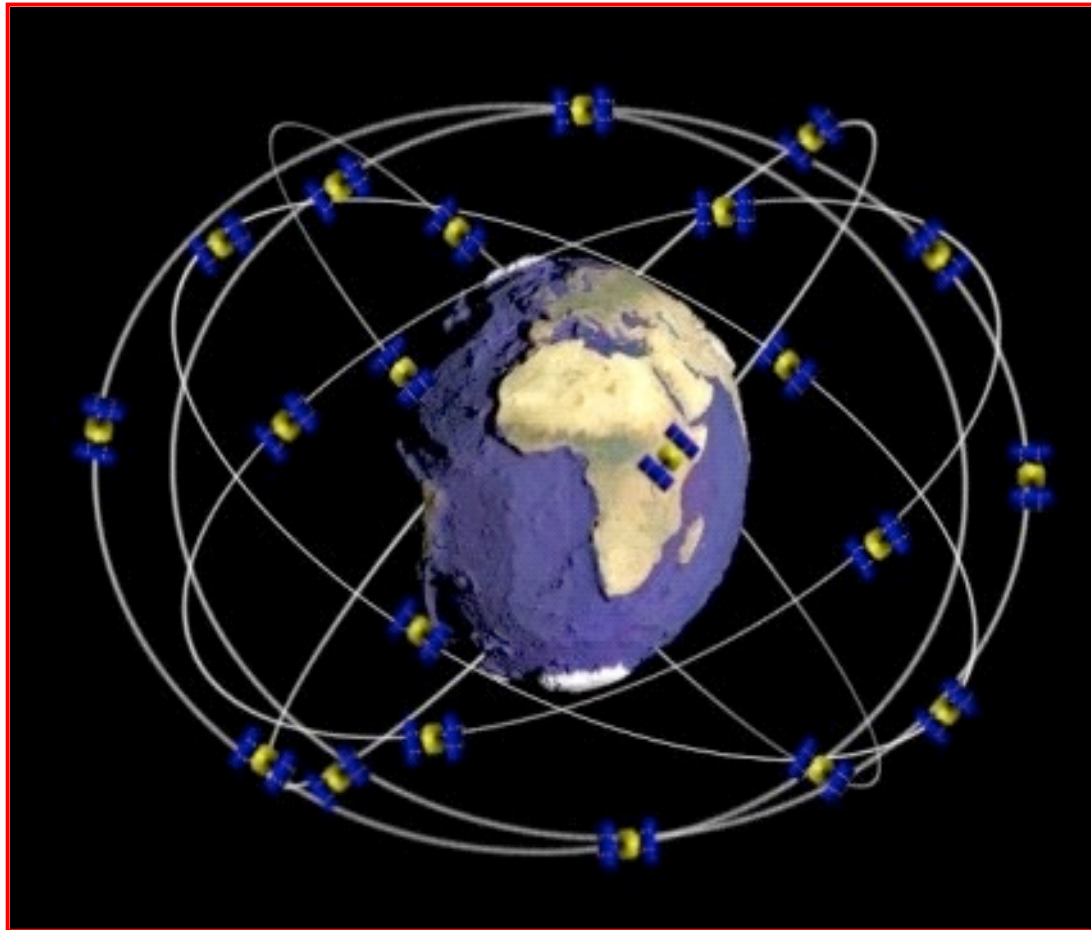
# Satélite GPS



# Estrutura do Sistema GPS

- **Segmento de controle**
  - Responsável pelo monitoramento do sistema de satélites e do **tempo GPS**, pela predição dos elementos orbitais e pela atualização periódica da mensagem de navegação.
- **Segmento de usuários**
  - Posicionamento topográfico e geodésico;
  - navegação aérea, marítima e terrestre
- **Segmento Espacial**
  - Constelação de satélites.

# Constelação GPS



Link para vídeo que descreve como funciona o sistema GPS:

[http://www.nasa.gov/audience/foreducators/topnav/materials/listbytype/How\\_Do\\_Global\\_Positioning\\_Systems.html#.Vu\\_RGzYrJR4](http://www.nasa.gov/audience/foreducators/topnav/materials/listbytype/How_Do_Global_Positioning_Systems.html#.Vu_RGzYrJR4)

Copyright LTG2019

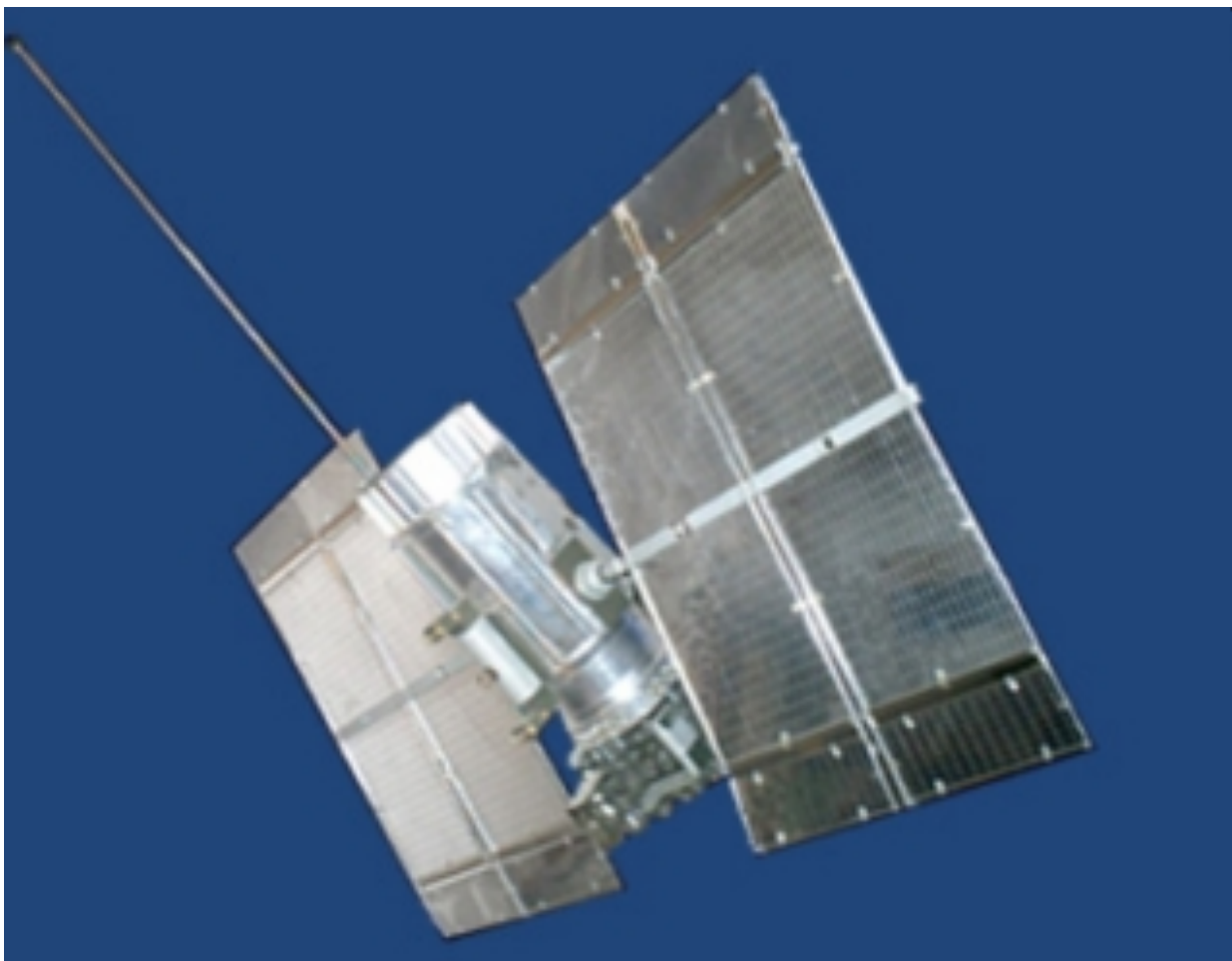
LTG/PTR/EPUSP



# Estrutura do Sistema GPS

- **Segmento Espacial**
  - **27 satélites** (24+3 reservas)
    - Em **13/09/2017: 32 satélites** em órbita sendo que um estava em manutenção
  - **6 planos orbitais**
  - **55°** de inclinação dos planos orbitais em relação ao equador
  - **20.200 km de altura** da superfície da Terra
  - **12 horas siderais** par dar uma volta na Terra
  - até **5 horas** acima do horizonte

# GLONASS



Fonte: <http://www.glonass-center.ru/>

# GLONASS

## GLObal NAvigation Satellite System

- Sistema de posicionamento da antiga União Soviética (atualmente gerido pela Rússia).



# Estrutura do Sistema

## Sistema GLONASS

- 1º bloco lançado em 1982

## Estrutura

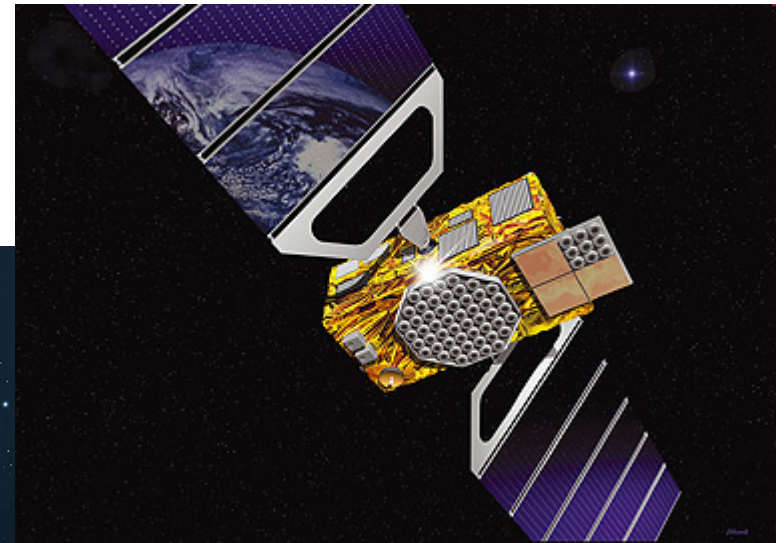
- 24 satélites
- 3 planos orbitais
- 64,8° de inclinação em relação ao equador
- 19.100 km de altura da superfície da Terra

# Estrutura do Sistema

## GLONASS: Sinais transmitidos

- 2 portadoras com frequências diferentes:
  - $L_1 = 1602\text{MHz}$        $\Delta f_1 = 562,5\text{ KHz}$
  - $L_2 = 1246\text{MHz}$        $\Delta f_2 = 437,5\text{ KHz}$
- Cada satélite possui uma frequência diferente
  - $L_1 = 1602 + (n \times 0,5625)\text{ MHz}$
  - $L_2 = 1246 + (n \times 0,4375)\text{ MHz}$
  - onde  $n$  é o número correspondente a cada satélite
- **2 Tipos de sinais**
  - **Precisão padrão (SP) – uso civil – 70m (99,7%)**
  - **Alta precisão (HP) – uso militar.**

# GALILEO



Fonte: <http://www.esa.int/>

# GALILEO

## European Satellite Navigation System

- Sistema de posicionamento por satélites desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA) e a Comunidade Europeia (UE).



# Estrutura do Sistema

## Sistema GALILEO

- Primeiro satélite lançado 2005
- Operacional em 2018 / 2020 ??? ...

## Estrutura

- **30 satélites** (27 + 3 reserva)
- **3 planos orbitais**
- 56° de inclinação em relação ao equador
- **24.000 km de altura** da superfície da Terra



# Estrutura do Sistema

## Freqüências GALILEO

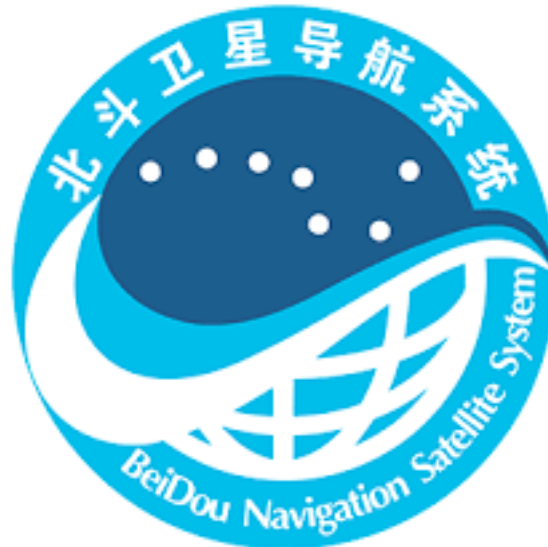
- E5 = 1164 – 1215 MHz
  - E6 = 1260 – 1300 MHz
  - L1 = 1559 – 1593 MHz
- 
- **Tipos de serviços:**
    - Serviço aberto (OS)
    - Serviço de segurança (SoL)
    - Serviço Comercial
    - Serviço regulado ao público
    - Serviço de procura e resgate

# BEIDOU



# BEIDOU (tambem conhecido como COMPASS) Navigation Satellite System

- Sistema de posicionamento por satélites desenvolvido pela China (RPC).



# Estrutura do Sistema

## BEIDOU: Frequências de transmissão

- E2 = 1561,098 MHz
- E6 = 1268,520 MHz
- E5b = 1207,140 MHz

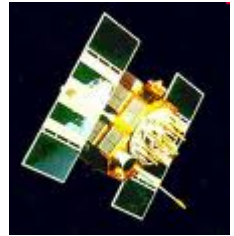
## Tipos de serviços

- Serviço aberto (OS)
- Serviço autorizado (AS)

# GPS (de volta)



# GPS - Sinais Transmitidos



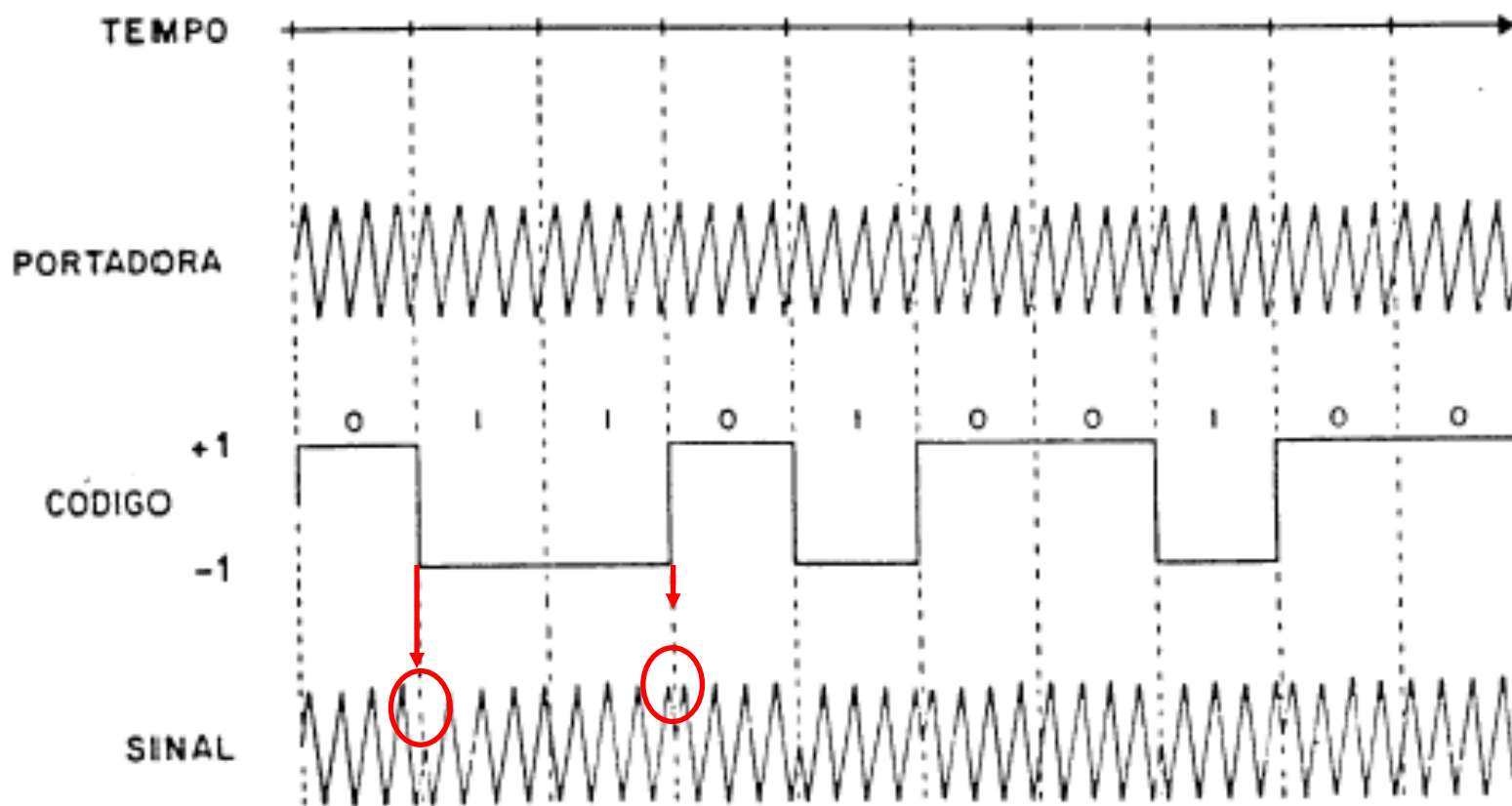
- 3 portadoras com frequências distintas:
  - $L1 = 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz}$
  - $L2 = 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz}$
  - $L5 = 115 \times 10,23 \text{ MHz} = 1176,45 \text{ MHz}$ 
    - comprimentos de onda de 19.05 cm, 24.45 cm e 25 cm respectivamente.
  - Banda L1: 1563,42 - 1587,42
  - Banda L2: 1215,6 - 1239,6
  - Banda L5: 1164,45 – 1188,45 MHz
- 2 códigos:
  - C/A (Clear Access): usado em navegação geral
  - P (Precision): restrito ao uso militar.

# Sinais Transmitidos

- Todas as informações sobrepostas às portadoras são **moduladas em fase**.
  - Em L1 os códigos C/A e P estão defasados:
    - o código P é modulado na fase cosseno
    - e o código C/A na fase seno
  - A vantagem é que a portadora pode ser obtida através de um dos códigos, independente do outro
  - Em L2 é transmitido somente o código P.

# Sinais Transmitidos

- Modulação em fase





# Sinais Transmitidos

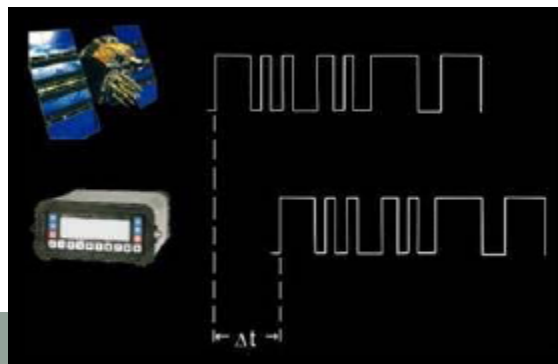
- **Efemérides:**
  - Parâmetros para a predição da posição do satélite na órbita;
  - Recebidas a cada 30s;
- **Satélite transmite:**
  - **Tempo GPS;**
  - Parâmetros orbitais;
  - Saúde dos satélites;
  - Modelo da Ionosfera.

# Equação dos sinais

- $L_1(t) = A_p \mathbf{P}_i \cos(\omega_1 t + f(t)) + A_g \mathbf{G}_i(t) D_i(t) \text{sen}(\omega_1 t + f(t))$
- $L_2(t) = B_p \mathbf{P}_i(t) D_i(t) \cos(\omega_1 + f(t))$
- Onde:
  - $A, B$  - amplitudes dos sinais
  - $\mathbf{P}, \mathbf{G}$  - códigos  $\mathbf{P}$  e  $\mathbf{C/A}$  respectivamente
  - $D$  - dados transmitidos.

# Tempo GPS

- O tempo GPS é controlado por 2 osciladores de césio ou rubídio existentes no satélite, **precisão de  $10^{-9}$  s/dia**, ou seja, **1 bilhão de dias para errar 1s**
- Os **receptores convencionais** possuem um oscilador de quartzo, **precisão de  $10^{-3}$  s/dia**, ou seja, **1.000 dias para errar 1s**
- O não sincronismo gera erro na medida da **distância do receptor ao satélite**.



# Tempo GPS

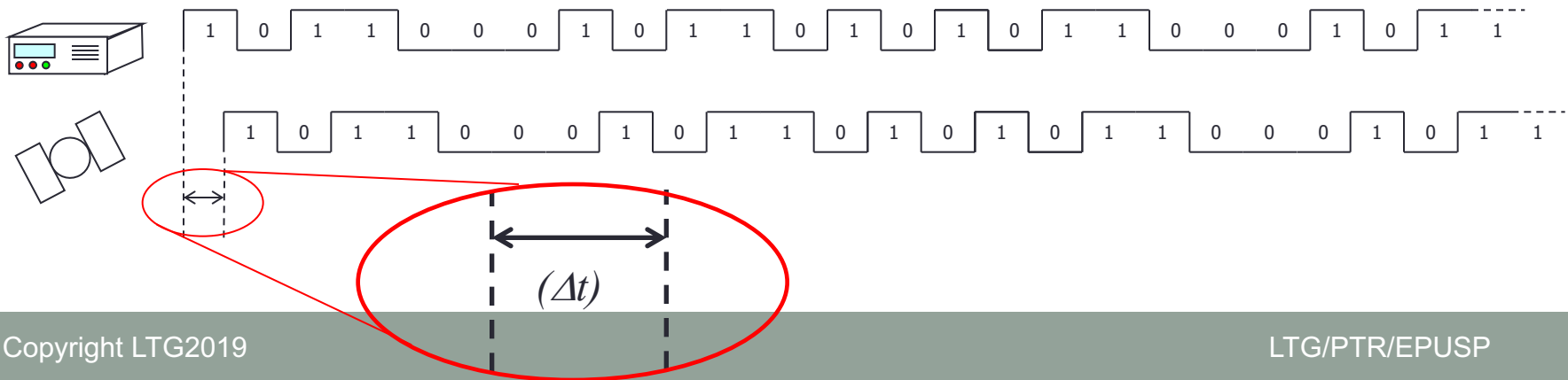
- O **tempo GPS** nada mais é do que um **sistema de tempo atômico**
- Origem inicial: 0 horas **UTC** (*Universal Time Coordinated*) do dia 6 de janeiro de 1980
- O **modo de contagem** é dado por duas variáveis:
  - **a semana GPS**
  - **contador Z**

# Tempo GPS

- **Semana GPS:**
  - Teve início em 1980 e perdurou por 1023 semanas até 1999
  - Às 0h UTC de 21 de agosto de 1999 reiniciou em 0.
  - Os receptores precisaram reconhecer esta nova origem de contagem da semana
- **Contador Z:**
  - representa o **número inteiro de 1,5 segundos de tempo** decorridos desde o início da semana (0h de domingo)
  - Varia de 0 a 403.199

# Tempo GPS

- Obtenção do tempo de viagem do sinal
  - Uso do código C/A:
    - Princípio da correlação entre os sinais
    - O **código C/A é gerado no interior do receptor** e comparado com o **código C/A do sinal recebido**
    - obtém-se o atraso entre os sinais ( $\Delta t$ ).



# Posicionamento pelo uso do código

- **Pseudodistância** entre o receptor e o satélite:
  - $d_i = c \cdot \Delta t_i$ 
    - $c$  - velocidade da luz
    - $\Delta t_i$  - tempo de propagação do sinal entre o satélite  $i$  e a estação - derivado através de um dos códigos C/A ou P
- Incógnitas Envolvidas:
  - $X_r, Y_r, Z_r$  – Coordenadas da estação
  - $\varepsilon$  – Erro de sincronização do relógio do receptor em relação à constelação de satélites.



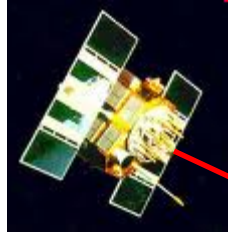
*Sat.2* ( $X_2, Y_2, Z_2$ )



*Sat.3* ( $X_3, Y_3, Z_3$ )



*Sat.4* ( $X_4, Y_4, Z_4$ )



*Sat.1* ( $X_1, Y_1, Z_1$ )

$$d_2 = c.(\Delta t_2 + \epsilon)$$

$$d_3 = c.(\Delta t_3 + \epsilon)$$

$$d_4 = c.(\Delta t_4 + \epsilon)$$

$$d_1 = c.(\Delta t_1 + \epsilon)$$



*Receptor* ( $X_r, Y_r, Z_r$ )



# Cálculo da Pseudodistância

$$- d_i = c.(\Delta t_i + \varepsilon) \quad (1)$$

- $d_i$  - Pseudodistância do satélite  $i$  ao receptor
- $c$  - velocidade da luz
- $\Delta t_i$  - tempo de viagem do sinal.
- $\varepsilon$  - Erro de sincronização do relógio do receptor em relação aos satélites

$$- d_i = [(X_i - X_r)^2 + (Y_i - Y_r)^2 + (Z_i - Z_r)^2]^{1/2} \quad (2)$$

- **Distância cartesiana.**

# Cálculo da Posição

## ■ Igualando as equações (1) e (2)

$$- c.(\Delta t_i + \varepsilon_i) = [(X_i - X_r)^2 + (Y_i - Y_r)^2 + (Z_i - Z_r)^2]^{1/2}$$

## ■ Sistema para 4 satélites e o receptor:

$$\left\{ \begin{array}{l} c.(\Delta t_1 + \varepsilon) = [(X_1 - X_r)^2 + (Y_1 - Y_r)^2 + (Z_1 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 1} \\ c.(\Delta t_2 + \varepsilon) = [(X_2 - X_r)^2 + (Y_2 - Y_r)^2 + (Z_2 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 2} \\ c.(\Delta t_3 + \varepsilon) = [(X_3 - X_r)^2 + (Y_3 - Y_r)^2 + (Z_3 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 3} \\ c.(\Delta t_4 + \varepsilon) = [(X_4 - X_r)^2 + (Y_4 - Y_r)^2 + (Z_4 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 4} \end{array} \right.$$

Incógnitas ( ~~$\varepsilon$~~ ,  $X_r, Y_r, Z_r$ )

Coordenadas da estação

$(\phi, \lambda, h)$

# Transformação de coordenadas

Geodésicas  $(\phi, \lambda, h)$  para cartesianas  $(X, Y, Z)$ :

- $X = (N+h) \cos \phi \cos \lambda$
- $Y = (N+h) \cos \phi \sin \lambda$
- $Z = [(1-e^2) N+h] \sin \phi$

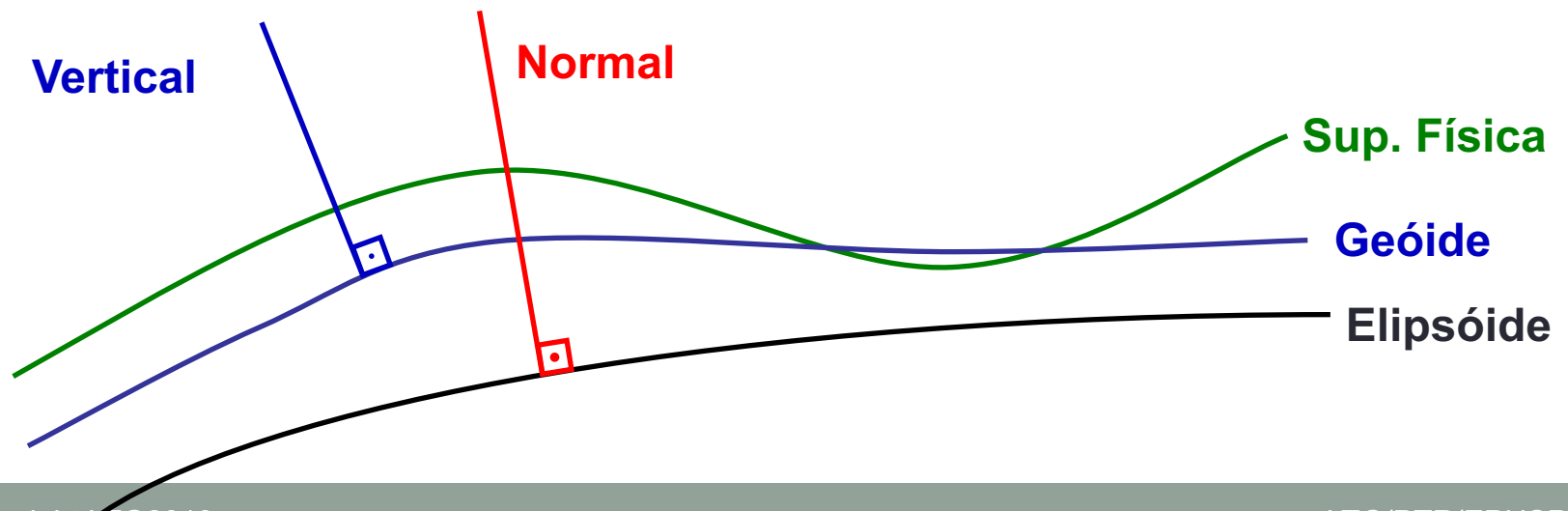
Onde:

- $N = a / (1-e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$  – Grande Normal ( $1^\circ$ )
- $e^2 = (a^2 - b^2) / a^2$  - Achatamento

# Superfícies de Referência

**Normal:** reta que passa por um ponto do espaço perpendicular à superfície elipsoidal.

**Vertical:** reta que passa por um ponto do espaço perpendicular à superfície geoidal.

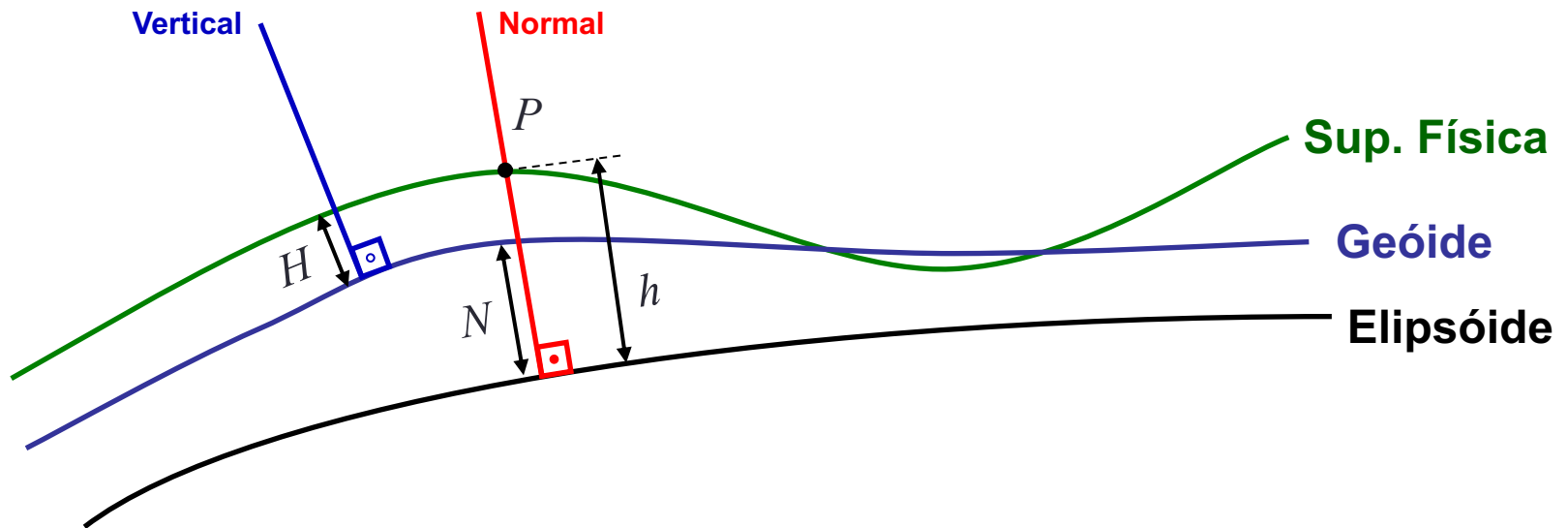


# Superfícies de Referência

ALTITUDE ORTOMÉTRICA ( $H$ ): distância entre a superfície geoidal e a superfície física medida ao longo da vertical;

ALTURA GEOIDAL ( $N$ ): distância entre a superfície elipsoidal e a geoidal medida ao longo da normal;

ALTITUDE GEODÉSICA OU GEOMÉTRICA ( $h$ ): distância entre a superfície elipsoidal e o ponto espacial  $P$ , medida ao longo da normal.

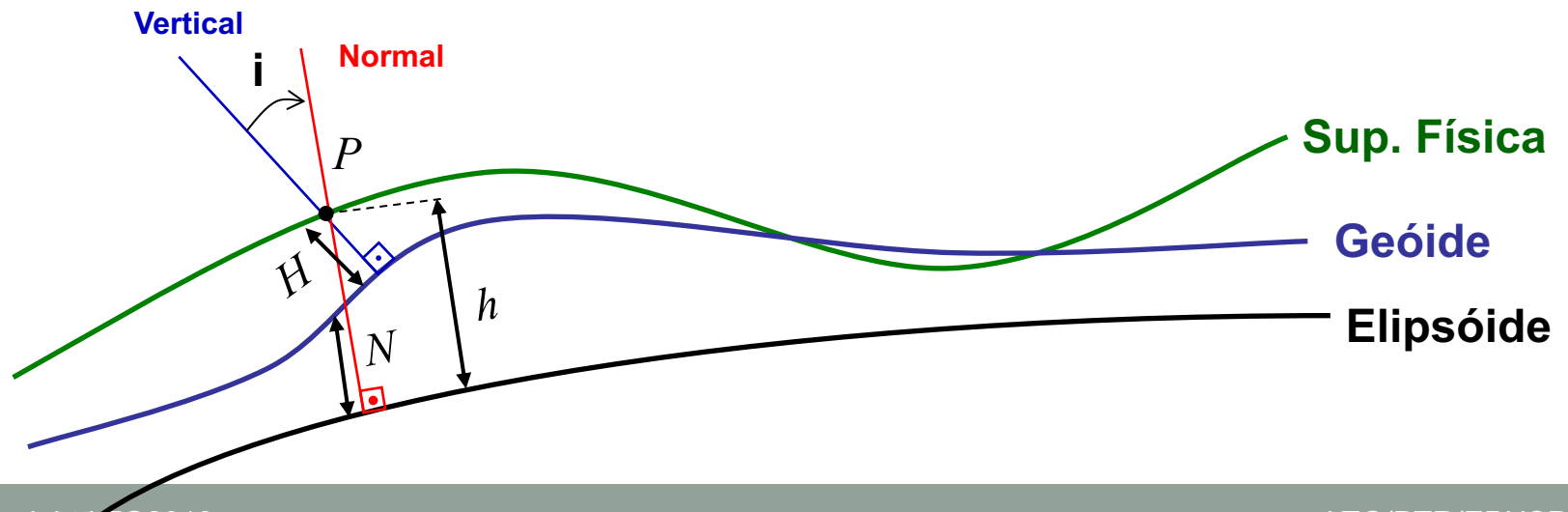


# Superfícies de Referência

Relação aritmética:  $h \cong H + N$ .

- $h$  = Altitude geométrica (GPS)
- $N$  = Altura Geoidal
- $H$  = Altitude Ortométrica

Desvio da vertical: desvio angular entre a normal e a vertical.



# Transformação de coordenadas

Cartesianas  $(X, Y, Z)$  para Geodésicas  $(\phi, \lambda, h)$ :

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \Phi} - \bar{N}$$

$$\Phi = \arctan\left(\frac{Ze^2 b \sin^3 u}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos^3 u}\right)$$

$$\sin u = \frac{\tan u}{\sqrt{1 + \tan^2 u}}$$

$$\cos u = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 u}}$$

$$\tan u = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \frac{a}{b}$$

$$\bar{N} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \Phi}}$$

# Erros do Sistema (1)

- Erros sistemáticos envolvidos:
  - **Observáveis GPS: pseudodistância e fase;**
  - **Satélite:** erro da **órbita**, erro do **relógio** e **atraso** entre as duas portadoras;
  - **Propagação do sinal:** troposfera, ionosfera, perda de ciclos, multicaminhamento e rotação da Terra.



# Erros do Sistema (2)

- Erros sistemáticos envolvidos:
  - **Receptor/antena**: erro do relógio, canais e centro de fase;
  - **Estação**: erro nas coordenadas, multicaminhamento, marés terrestres, movimento do pólo, carga dos oceanos e pressão atmosférica;
  - **Usuários e casualidades**.

# Receptores de Navegação



# Receptores SIG



# Receptores Topográficos



# Receptores para Telemetria

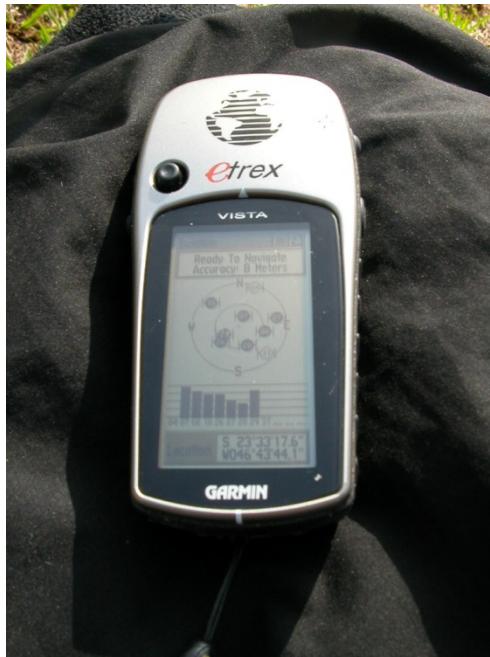


# Técnicas de Posicionamento

- O Posicionamento pode ser realizado de modo:
  - **Estático**
    - **Absoluto**
      - GPS Navegação – até 6m
    - **Relativo** – milímetro
      - DGPS (diferencial) – 1m
      - RTK - *Real Time Kinematic* (diferencial) – 1 a 2cm
  - **Cinemático**
    - **Absoluto**
      - GPS navegação 10 a 15m
    - **Relativo** – Décimos de centímetro
      - DGPS (diferencial) – 1m
      - RTK - *Real Time Kinematic* (diferencial) – 1 a 2cm

# Técnicas de Posicionamento

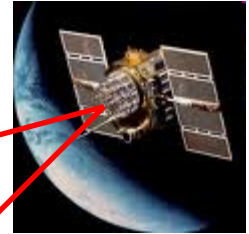
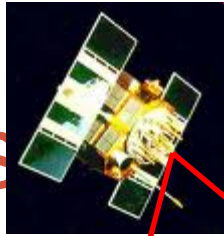
- Estático absoluto:
  - Técnica de observação (rastreo) realizada **com um receptor estático**



# Técnicas Posicionamento

- Estático relativo:

Receptor estático e uma base



DGPS

RTK

Estação referência

Estação móvel



# Técnicas de Posicionamento

- Cinemático absoluto:
  - Técnica de observação (rastreo) realizada com **um receptor em movimento**

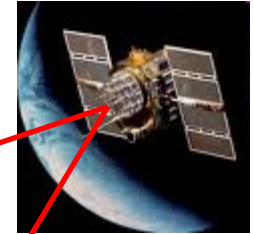
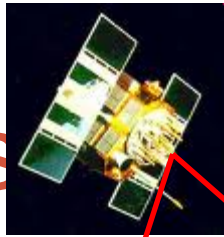


GPS Navegação



GPS Topográfico

# Técnicas Posicionamento



- Cinemático relativo:

Receptor em movimento e uma base



Estação referência



DGPS



RTK



GPS Topográfico

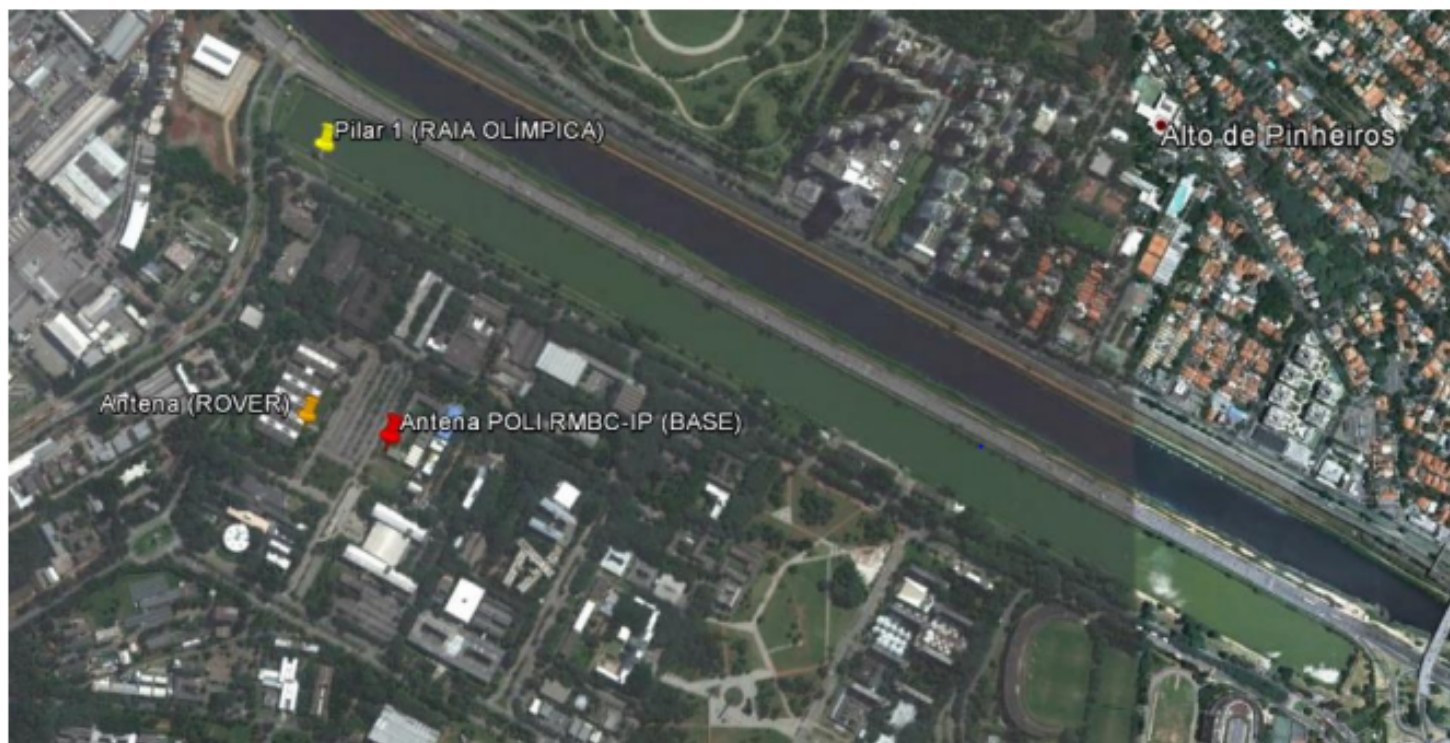
# Exemplos (dissertações)

# **Análise da acurácia e da precisão do posicionamento RTK**

---

**utilizando o receptor u-blox  
LEA-6T e o software RTKLib**

## Área de Estudo (Testes Estáticos):

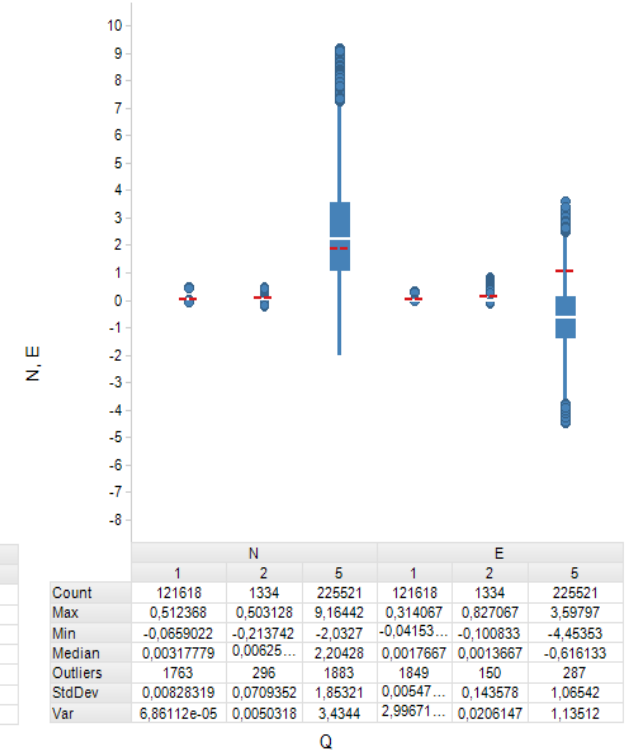
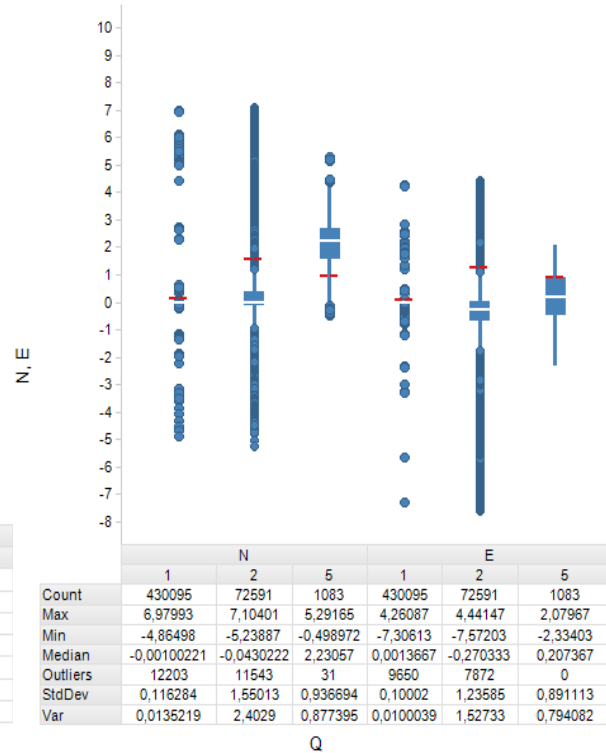
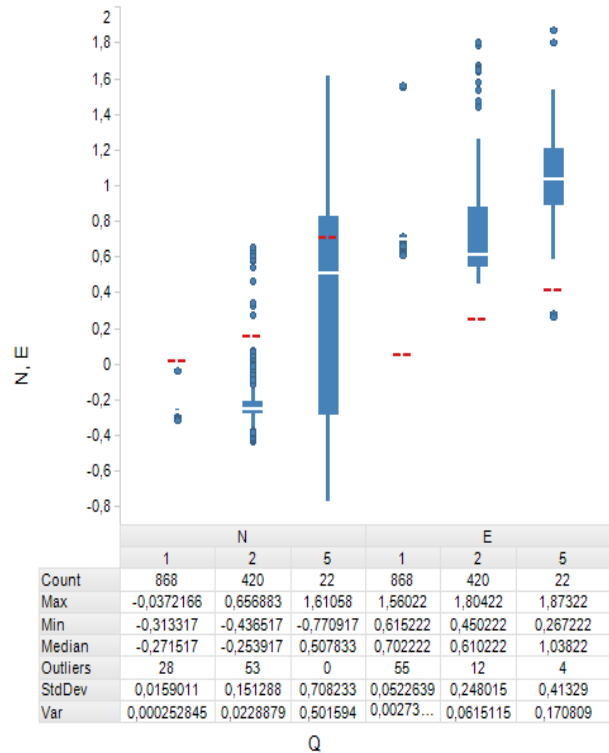


# Testes Estáticos

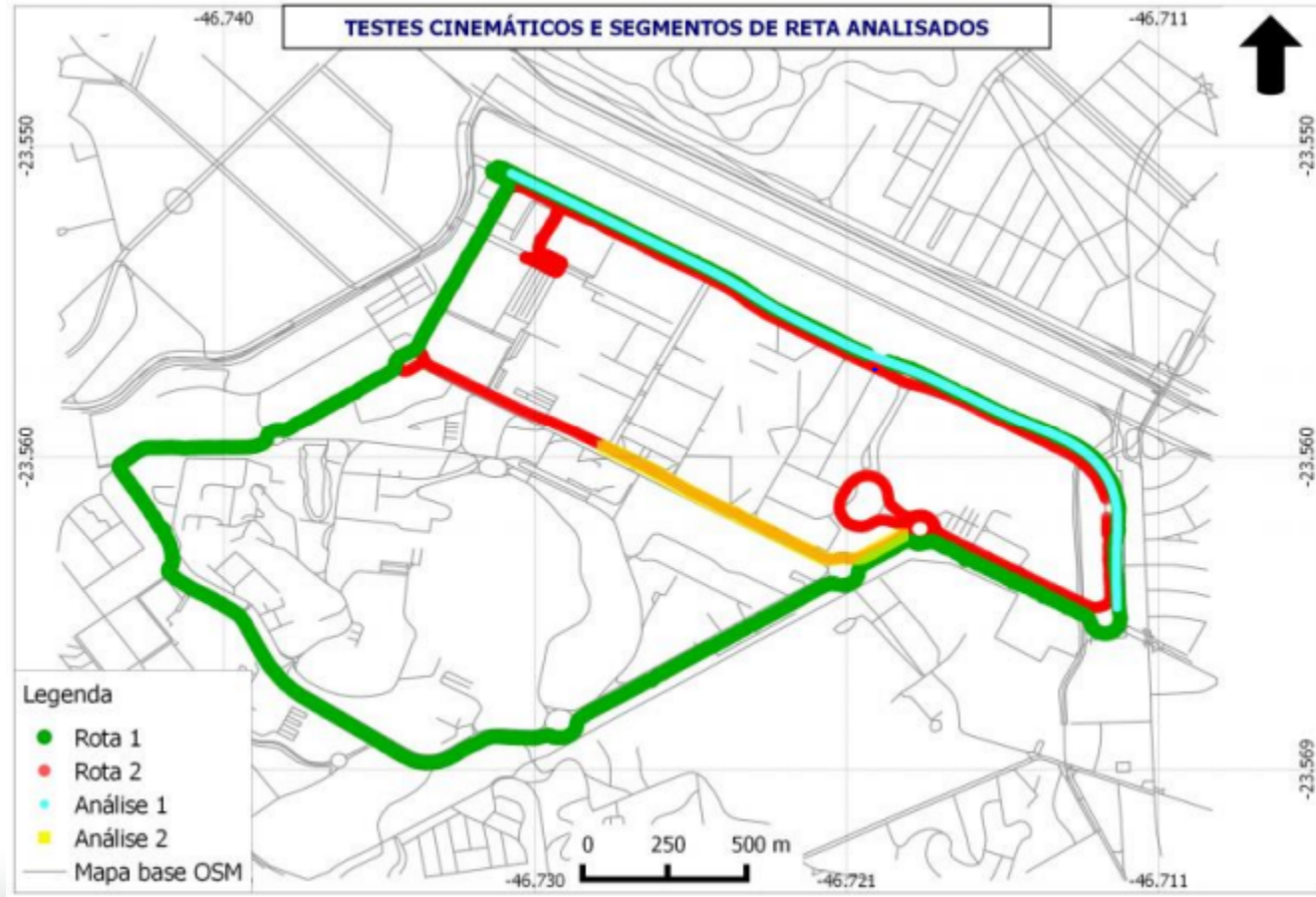
## T01 (POLI)

## T05 (POLI)

## T07 (POLI)



## Área de Estudo (Testes Cinemáticos):



## Testes Cinemáticos

### Análise 01

| Teste | Modo       | Data inicial | Data final | # Observações | Observações fixas (%) | Observações flutuantes (%) | Observações autônomas (%) | Estação Base |
|-------|------------|--------------|------------|---------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|
| T11   | Cinemático | 01/02/2014   | 01/02/2014 | 232           | 0,9                   | 99,1                       | 0                         | POLI0        |
| T12   | Cinemático | 01/02/2014   | 01/02/2014 | 212           | 0                     | 100                        | 0                         | POLI0        |
| T13   | Cinemático | 06/02/2014   | 06/02/2014 | 225           | 1,7                   | 98,3                       | 0                         | POLI0        |
| T14   | Cinemático | 06/02/2014   | 06/02/2014 | 250           | 2,4                   | 97,6                       | 0                         | POLI0        |
| T15   | Cinemático | 06/02/2014   | 06/02/2014 | 233           | 0,7                   | 99,3                       | 0                         | POLI0        |
| T16   | Cinemático | 11/02/2014   | 11/02/2014 | 256           | 1,9                   | 98,1                       | 0                         | POLI0        |
| T17   | Cinemático | 15/02/2014   | 15/02/2014 | 266           | 0                     | 100                        | 0                         | POLI0        |
| T18   | Cinemático | 16/02/2014   | 16/02/2014 | 249           | 0                     | 100                        | 0                         | POLI0        |
| T19   | Cinemático | 11/02/2014   | 11/02/2014 | 259           | 0                     | 0                          | 100                       | -            |
| T20   | Cinemático | 15/02/2014   | 15/02/2014 | 255           | 0                     | 0                          | 100                       | -            |
| T21   | Cinemático | 16/02/2014   | 16/02/2014 | 262           | 0                     | 0                          | 100                       | -            |



# Testes Cinemáticos

## Curva Principal da Análise 01

Iter # 3 % d^2 explained = 100



## Zoom da Curva Principal da Análise 01

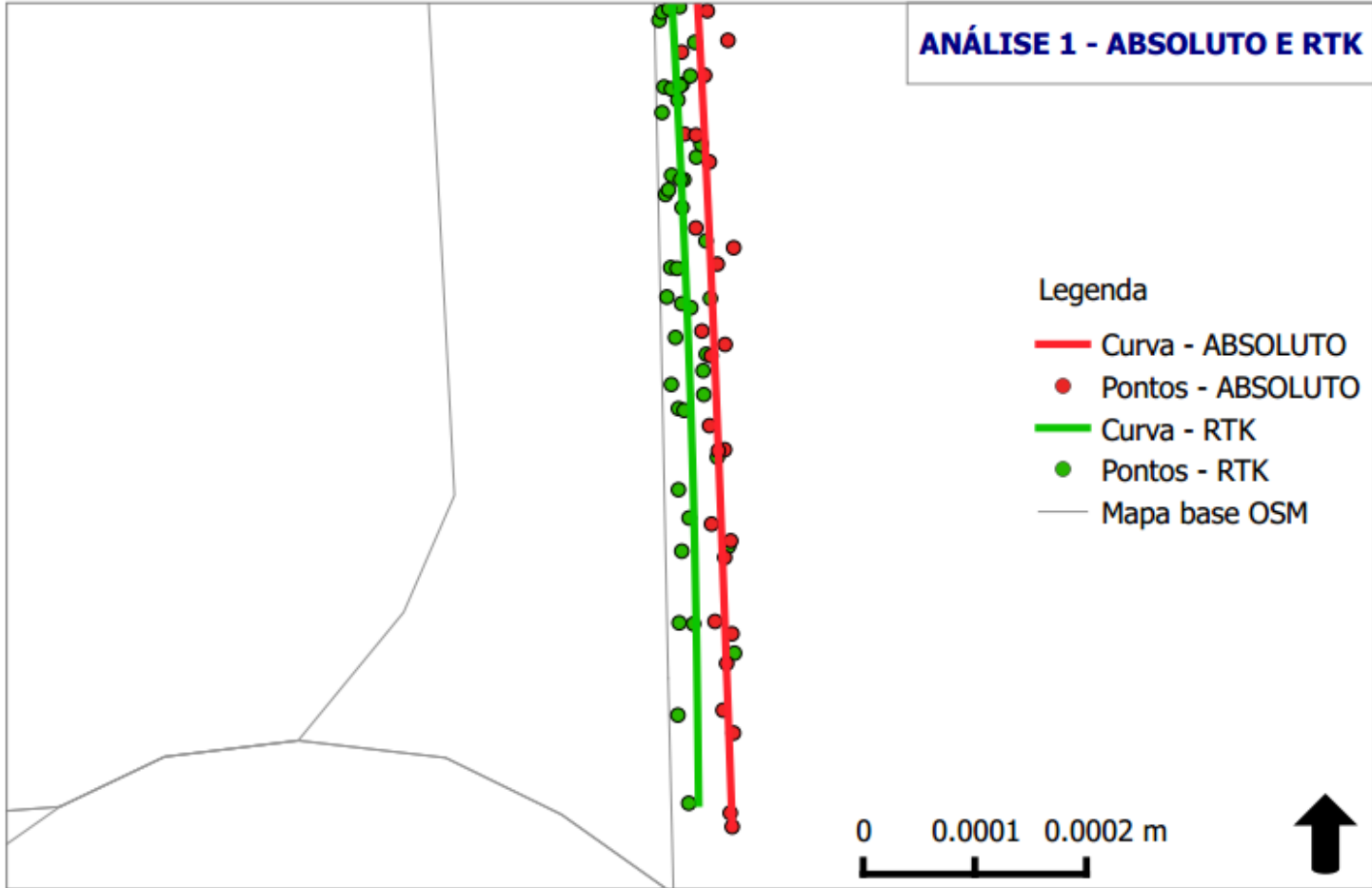



## ANÁLISE 1 - ABSOLUTO E RTK

### Legenda

- Curva - ABSOLUTO
- Pontos - ABSOLUTO
- Curva - RTK
- Pontos - RTK
- Mapa base OSM

0 0.0001 0.0002 m



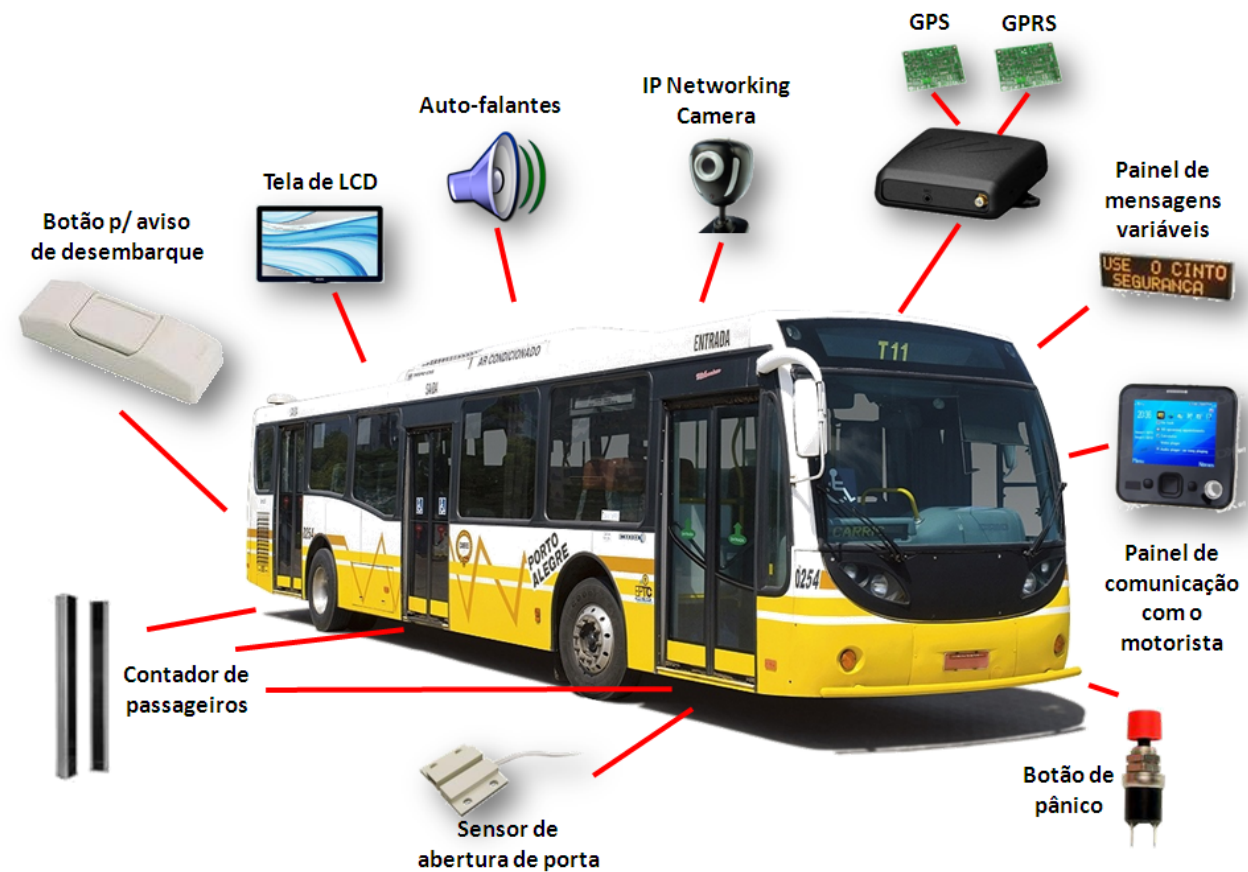
- ✓ Sistemas de terceira geração: introdução do uso de tecnologia



# Planejamento, Programação e **Gestão**

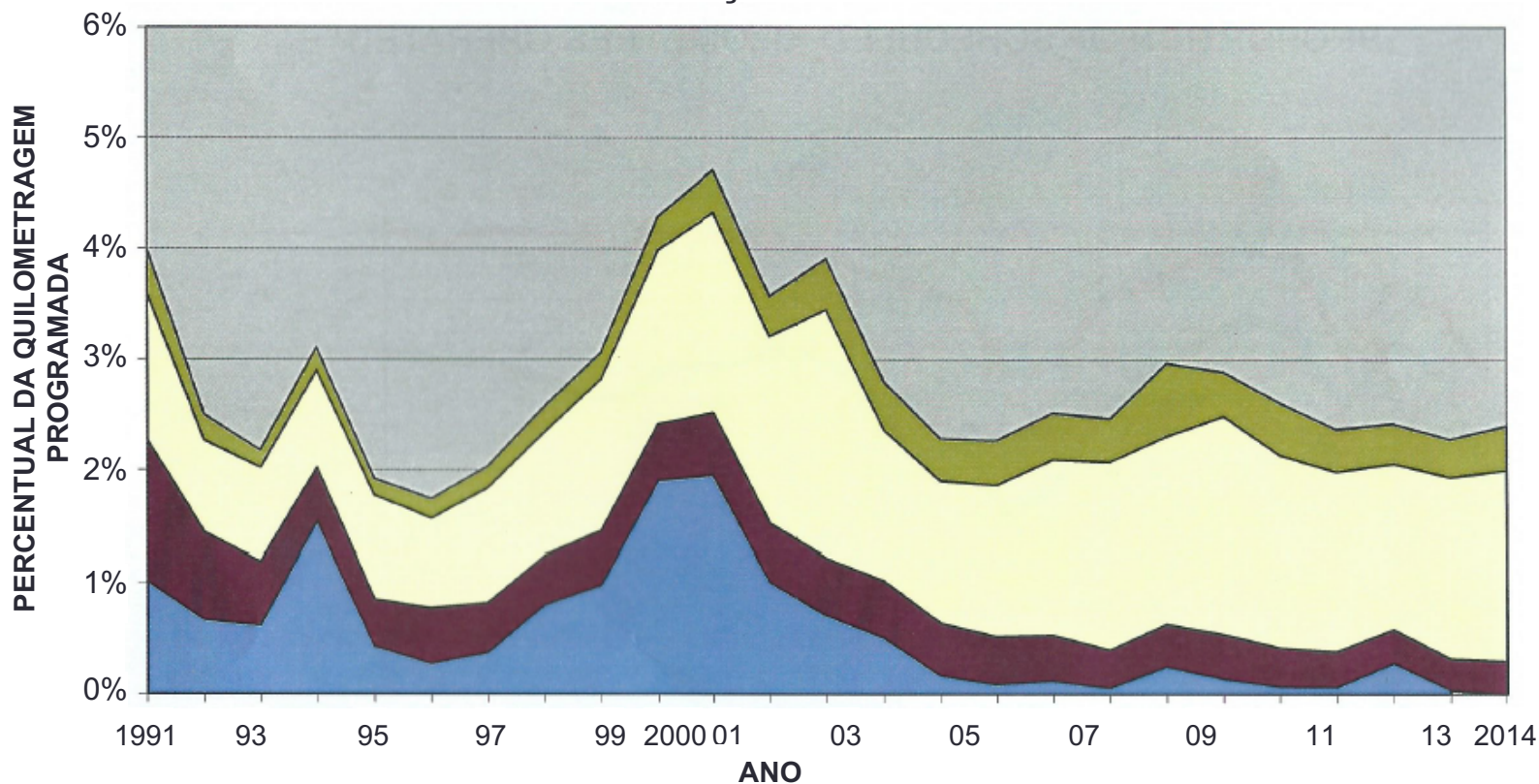
- **Gestão (Supervisão, Fiscalização e Controle Operacional)**

- **Monitoramento e Gestão da Frota e dos Serviços Prestados (Viagens, Rotas e Ofertas)**
  - Aspectos da Tecnologia envolvida (padrões, interfaces) - exemplos de equipamentos embarcados em um **ônibus**:



# Londres (TfL): Medição da Quilometragem “Perdida”

**EVOLUÇÃO DA QUILOMETRAGEM “PERDIDA”**  
**PERCENTUAL POR MOTIVO EM RELAÇÃO À QUILOMETRAGEM PROGRAMADA**  
Evolução 1991 – 2014



EQUIPES

ENGENHARIA

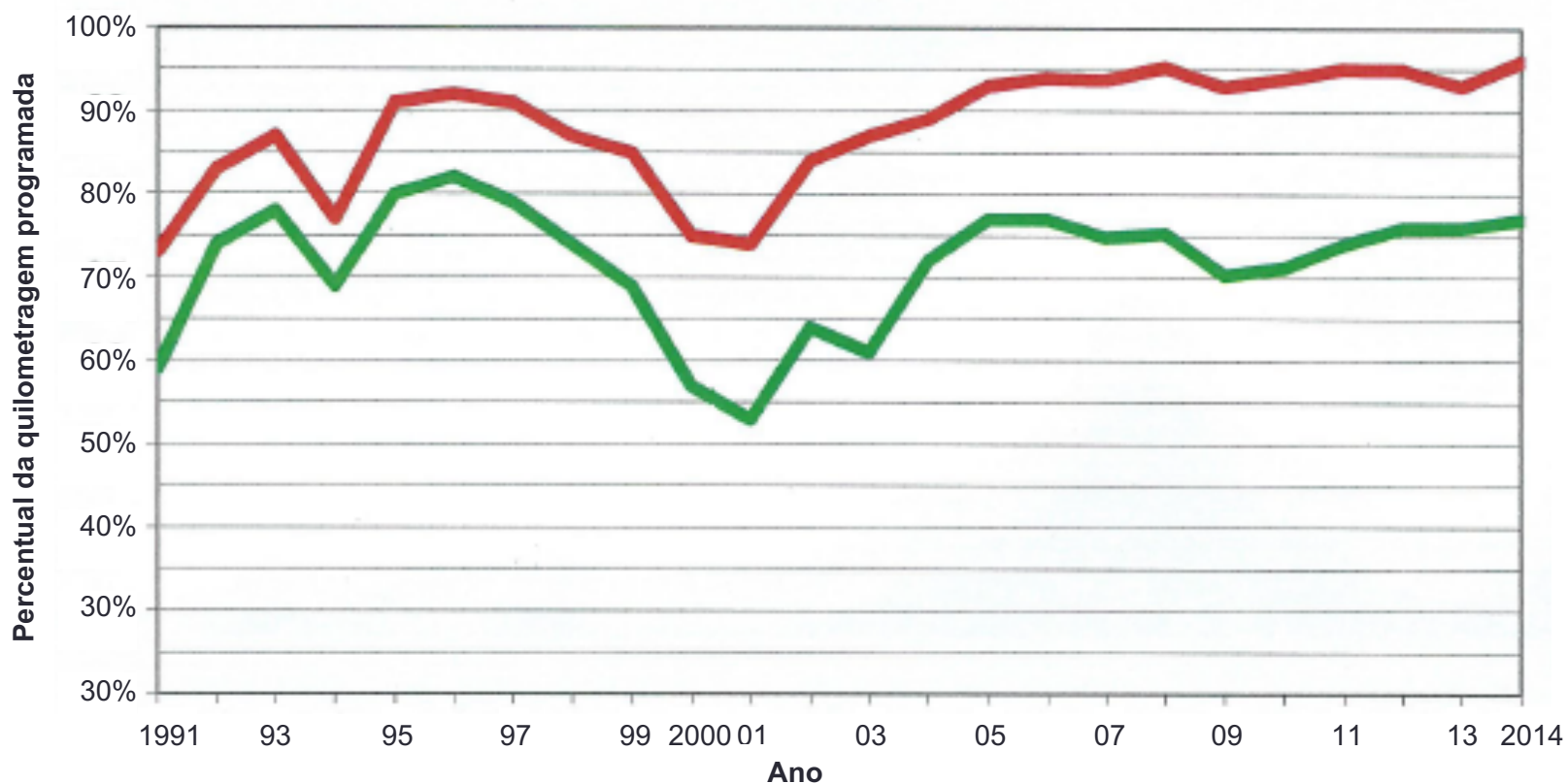
TRÁFEGO

OUTROS

# Londres (TfL): Medição do Custo dos Congestionamentos na Remuneração dos Operadores

## PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À QUILOMETRAGEM PROGRAMADA COM E SEM INCLUSÃO DOS CONGESTIONAMENTOS

Evolução 1991 – 2014



QUILOMETRAGEM OPERADA

QUILOMETRAGEM OPERADA INCLUÍDOS km PERDIDOS EM CONGESTIONAMENTOS

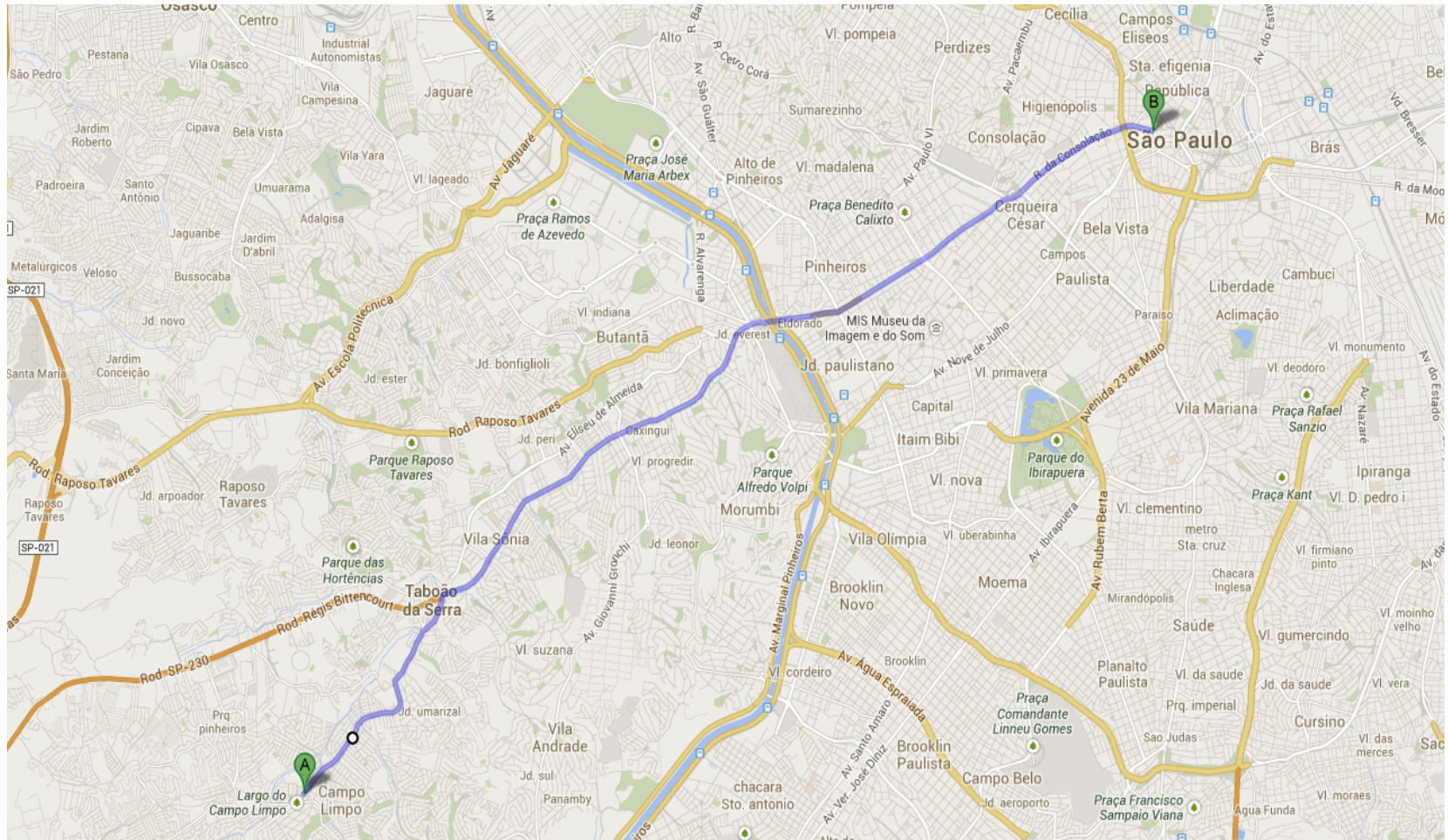
# **Contribuição metodológica para aplicação de prioridade semafórica condicional em corredores de ônibus**

---

# APLICAÇÃO

## Especificação do corredor a ser estudado

### Corredor Analisado: Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro





# APLICAÇÃO

## Especificação do corredor a ser estudado - Seleção de um trecho específico



Trechos onde ocorrem mais retenções

Trechos com retenções. Obras no sistema viário



Trecho com retenção isolada (semáforo)

Trecho onde as retenções são mais intensas

# APLICAÇÃO

Especificação do corredor a ser estudado.

Trecho Selecionado: Rua da Consolação entre avenida Paulista e avenida Ipiranga

Extensão aproximada: 2km ( cerca de 10% da extensão total do corredor)





- ☐ Recently used
- ⚙ Join a...
- 🌐 GDAL/OGR
- 🌱 GRASS com...
- 🗄 GeoServer
- 📦 Models [4...
- 🛠 Orfeo Tool...
- 🌿 QGIS geoa...
- 🌐 SAGA [24...
- 📄 Scripts [10...

Consolacao

Trecho

Consolacao.shp

StreetMap



- Search...
- Recently used
  - Join a...
  - GDAL/OGR
  - GRASS com...
  - GeoServer
  - Models [4...
  - Orfeo Tool...
  - QGIS geo...
  - SAGA [24...
  - Scripts [10...



- Recently used
- Join a...
- GDAL/OGR
- GRASS com...
- GeoServer
- Models [4...
- Orfeo Tool...
- QGIS geoa...
- SAGA [24...
- Scripts [10...

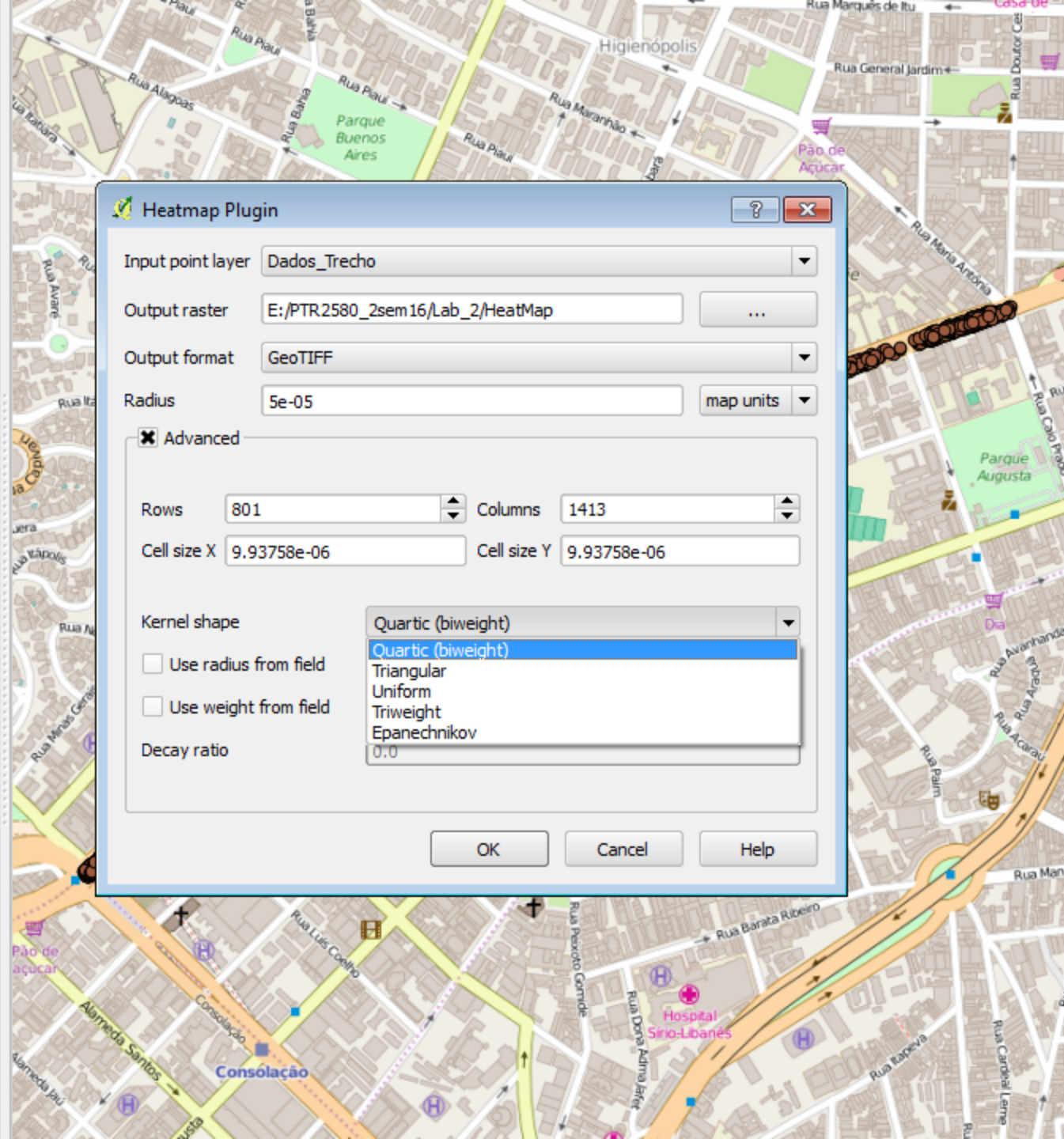


- ☐ Recently used
- ⚙ Join a...
- 🌐 GDAL/OGR
- 🌱 GRASS com...
- 🗄 GeoServer
- 📦 Models [4...
- 🛠 Orfeo Tool...
- 🌿 QGIS geoa...
- 🌐 SAGA [24...
- 📄 Scripts [10...

Consolacao

Consolacao.shp

StreetMap



### Heatmap Plugin

Input point layer: Dados\_Trecho

Output raster: E:/PTR2580\_2sem16/Lab\_2/HeatMap

Output format: GeoTIFF

Radius: 5e-05 map units

Advanced

Rows: 801 Columns: 1413

Cell size X: 9.93758e-06 Cell size Y: 9.93758e-06

Kernel shape: Quartic (biweight)

- Use radius from field
- Use weight from field

Decay ratio: 0.0

OK Cancel Help

- Search...
- Recently used
  - Join a
  - GDAL/OGR
  - GRASS com
  - GeoServer
  - Models [4
  - Orfeo Tool
  - QGIS geo
  - SAGA [24:
  - Scripts [10

tecnico  
p  
Consolacao  
Consolacao.shp  
o  
StreetMap



- Search...
- Recently used
  - Join a
  - GDAL/OGR
  - GRASS com
  - GeoServer
  - Models [4
  - Orfeo Tool
  - QGIS geo
  - SAGA [24
  - Scripts [10



00  
02  
03  
05  
06  
08  
09  
15  
20  
Consolacao  
Consolacao.shp  
StreetMap



Search...

- Recently used
- Join a...
- GDAL/OG...
- GRASS com...
- GeoServer
- Models [4...
- Orfeo Tool...
- QGIS geoa...
- SAGA [24...
- Scripts [10...

Onibus

mp

00

72

43

15

86

58

29

95

50

Consolacao

Consolacao.shp

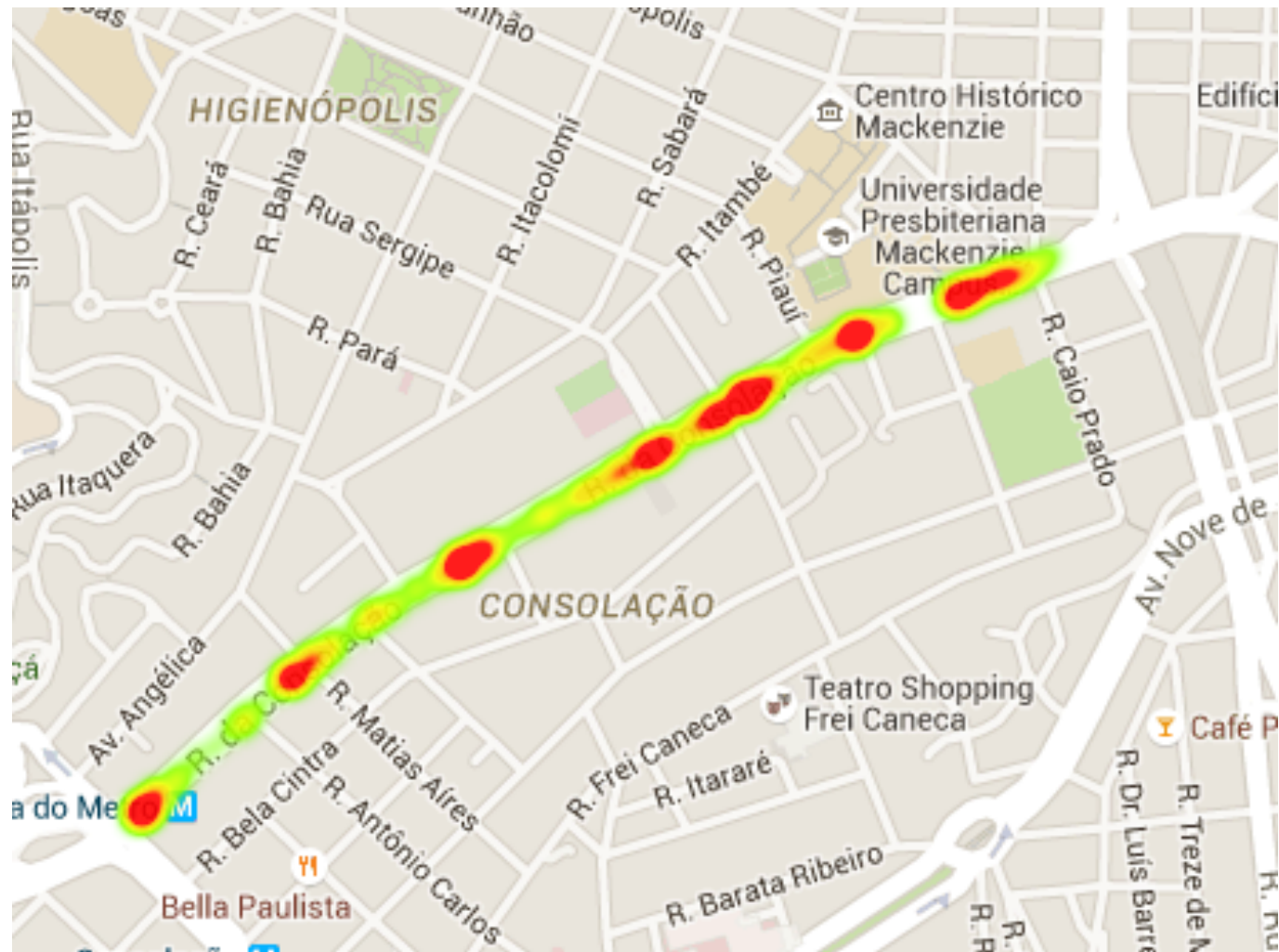
StreetMap



Search...

Recently used

- Join a
- GDAL/OGR
- GRASS com
- GeoServer
- Models [4
- Orfeo Tool
- QGIS geo
- SAGA [24
- Scripts [10

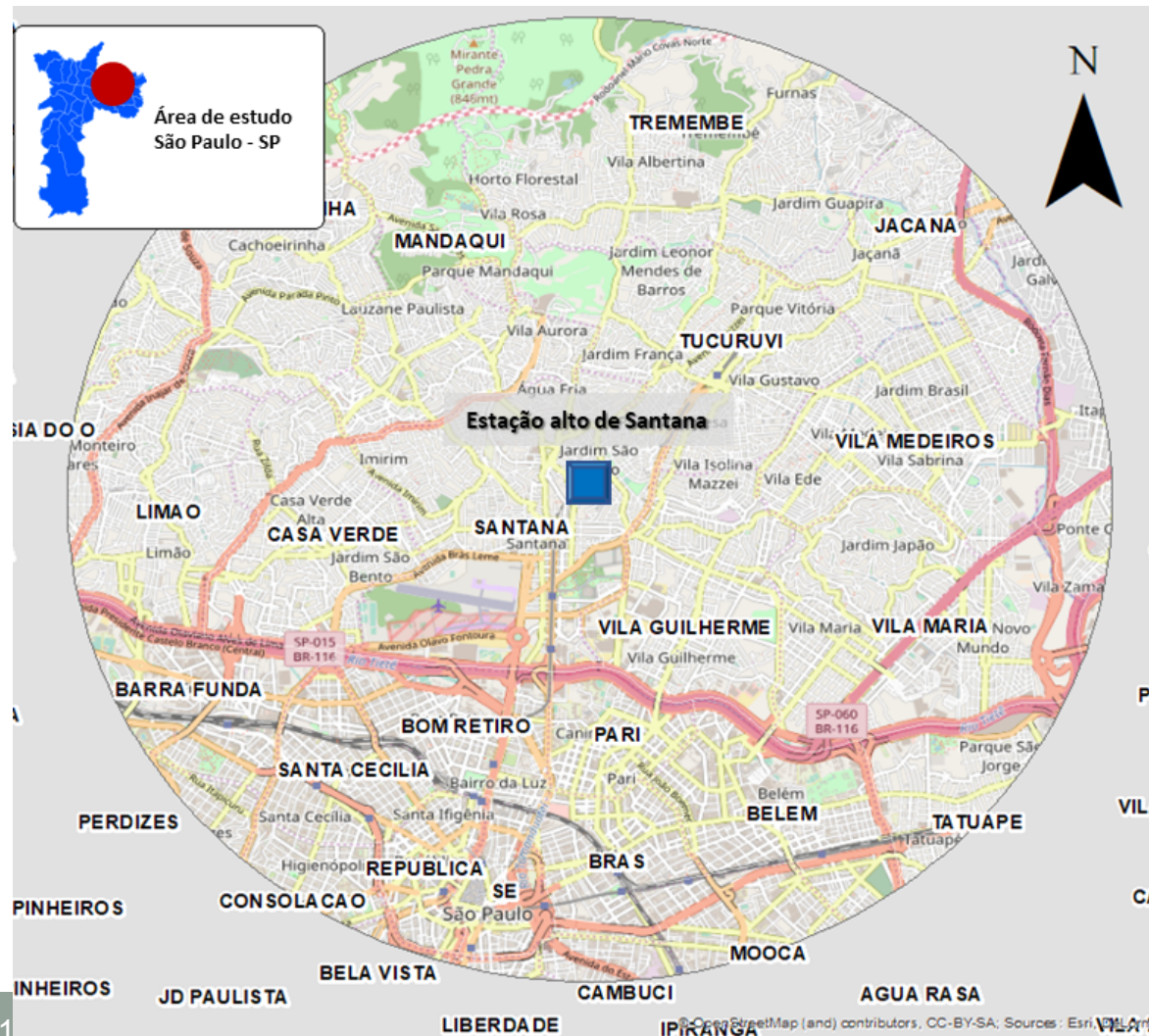


# **Análise de Comportamento de Operação de Ônibus Urbanos sob o impacto de chuva**

---

**utilizando as Técnicas de  
Árvores de Regressão ChAID  
e Estatística Geográfica**

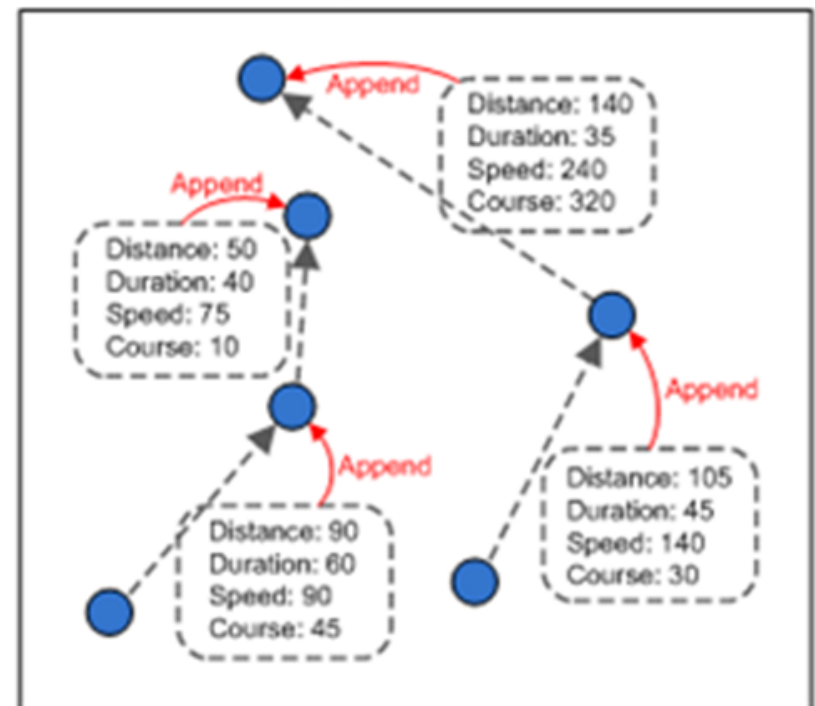
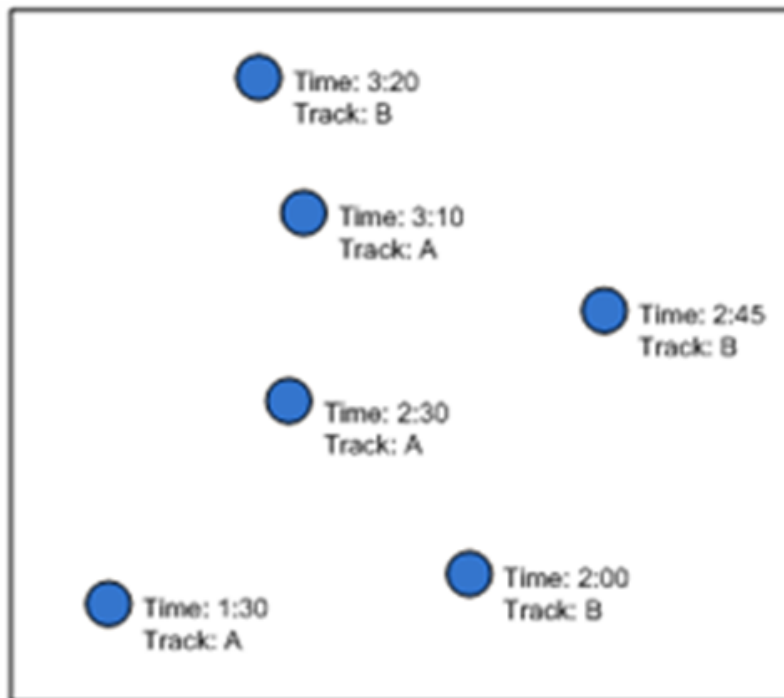
# Mapa com a localização da estação meteorológica Alto de Santana



# cálculo de grandezas a partir de coordenadas geográficas e data/hora

Pontos de GPS contendo latitude, longitude, data e hora

Inclusão dos campos **distância**, **duração**, **velocidade** e **direção** aos atributos.

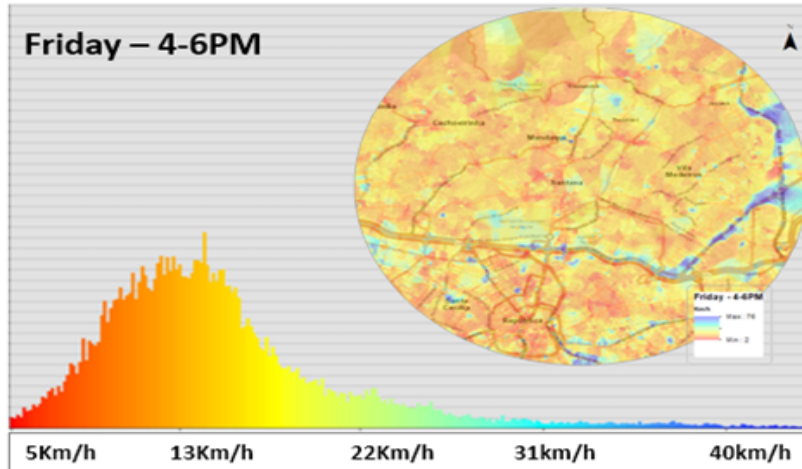
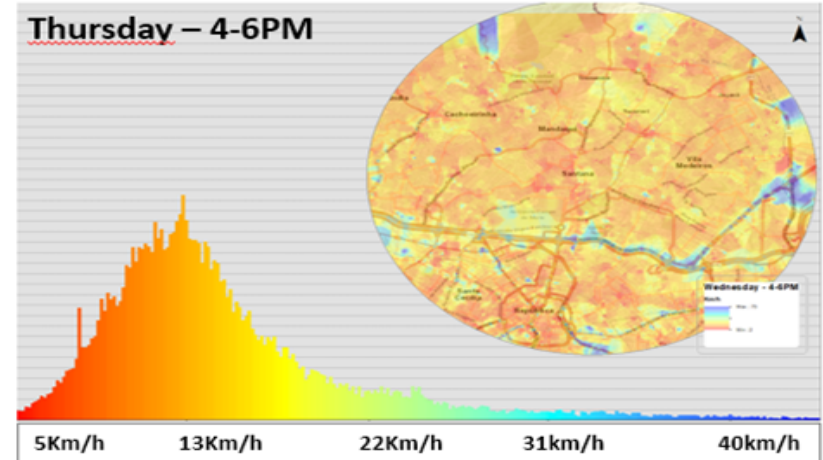
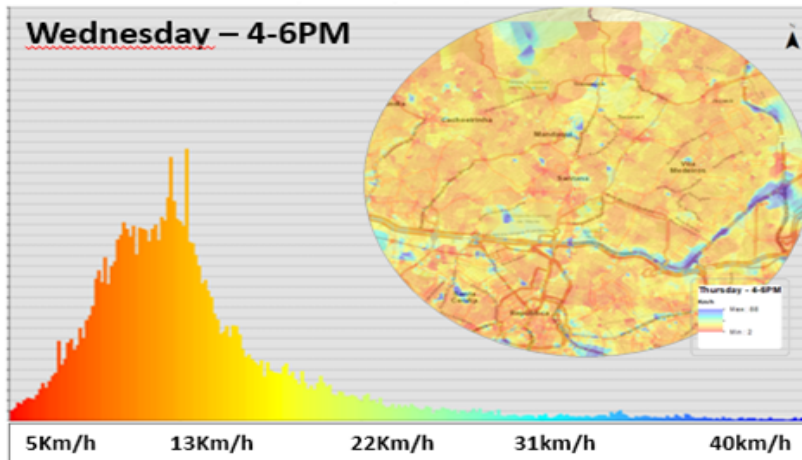


# VM dos ônibus urbanos frente à ausência de precipitação de chuva (0 mm de chuva / hora)

|          | Monday | Tuesday | Wednesday | Thursday | Friday | Global Average | Time to time variability |
|----------|--------|---------|-----------|----------|--------|----------------|--------------------------|
| 7:00 AM  | 17,71  | 18,00   | 18,17     | 17,34    | 17,69  | 17,78          |                          |
| 8:00 AM  | 17,81  | 18,24   | 18,30     | 17,61    | 17,51  | 17,89          | 1%                       |
| 9:00 AM  | 18,19  | 18,38   | 17,88     | 17,85    | 17,65  | 17,99          | 1%                       |
| 10:00 AM | 18,27  | 18,32   | 18,14     | 17,91    | 17,56  | 18,04          | 0%                       |
| 11:00 AM | 18,00  | 17,92   | 17,45     | 17,35    | 17,27  | 17,60          | -2%                      |
| 12:00 AM | 17,47  | 17,47   | 17,21     | 16,91    | 16,94  | 17,20          | -2%                      |
| 1:00 PM  | 17,54  | 17,48   | 17,07     | 16,96    | 16,97  | 17,20          | 0%                       |
| 2:00 PM  | 17,66  | 17,88   | 17,08     | 17,07    | 17,18  | 17,37          | 1%                       |
| 3:00 PM  | 17,53  | 17,61   | 16,96     | 17,02    | 16,77  | 17,18          | -1%                      |
| 4:00 PM  | 17,40  | 17,48   | 16,70     | 16,54    | 15,77  | 16,78          | -2%                      |
| 5:00 PM  | 16,66  | 17,33   | 16,69     | 16,09    | 15,34  | 16,42          | -2%                      |
| 6:00 PM  | 15,93  | 16,26   | 15,38     | 15,40    | 14,81  | 15,56          | -6%                      |
| 7:00 PM  | 17,62  | 17,70   | 16,62     | 17,08    | 16,06  | 17,01          | 9%                       |
| 8:00 PM  | 19,63  | 19,35   | 19,03     | 18,89    | 17,77  | 18,94          | 10%                      |
| Average  | 17,67  | 17,82   | 17,33     | 17,14    | 16,81  | 17,35          |                          |

Superfícies e histogramas das VM dos ônibus urbanos frente à ausência de precipitação de chuva (0 mm de chuva / hora), para os dias de quartas, quintas e sextas-feiras, no horário de pico (4:00 – 6:00 PM)

## Average Speed Kriging Map Peak time comparsion



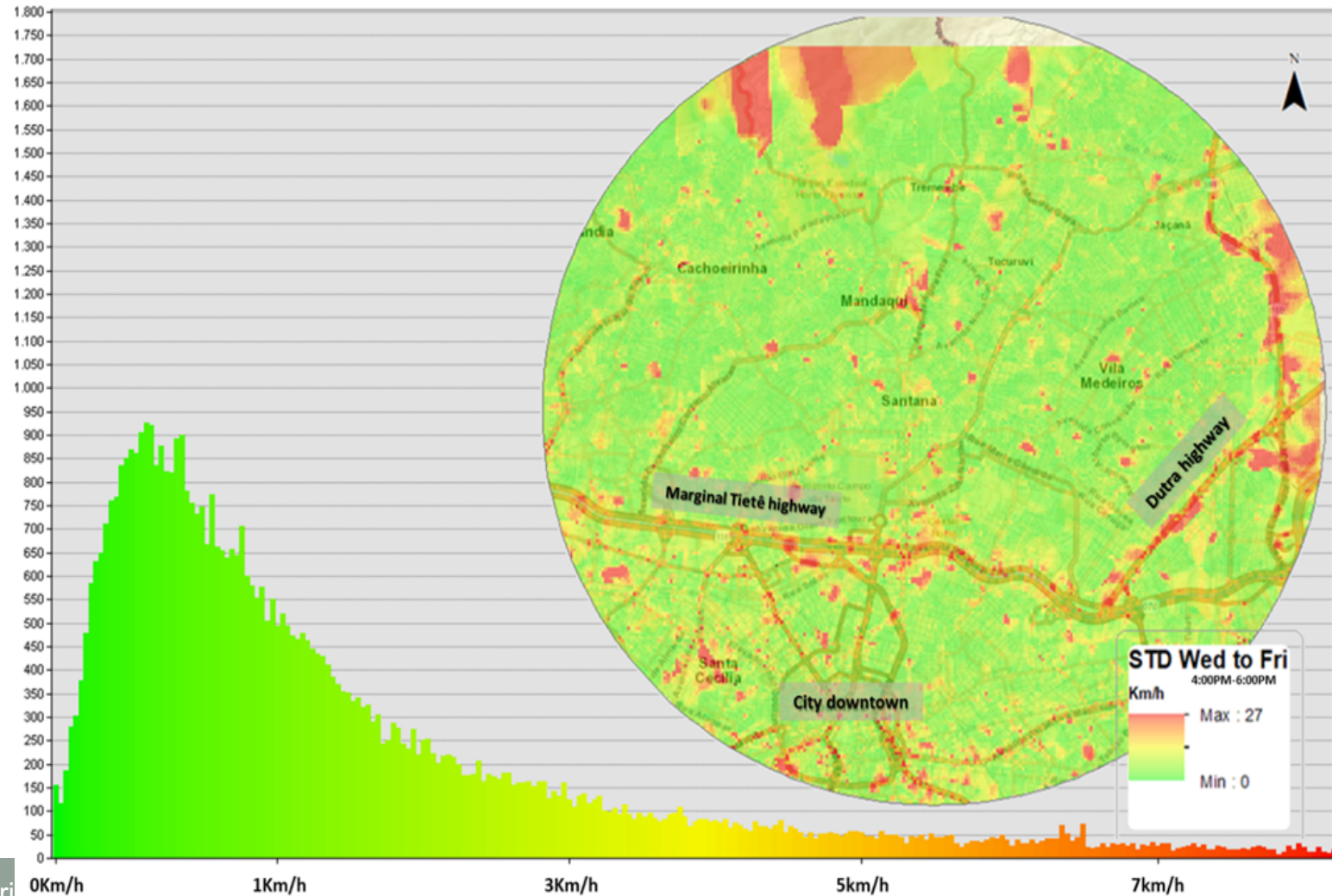
### Statistics comparsion

|           | Min | Max  | Mean  | Std |
|-----------|-----|------|-------|-----|
| Wednesday | 2,8 | 73,9 | 15,74 | 7,1 |
| Thursday  | 2,7 | 88,3 | 15,57 | 6,8 |
| Friday    | 2,8 | 76,2 | 15,56 | 6,6 |



Superfície e histograma dos DP das velocidades dos ônibus urbanos frente à ausência de precipitação de chuva (0 mm de chuva / hora), para os dias de quartas, quintas e sextas-feiras, no horário de pico (4:00 – 6:00 PM)

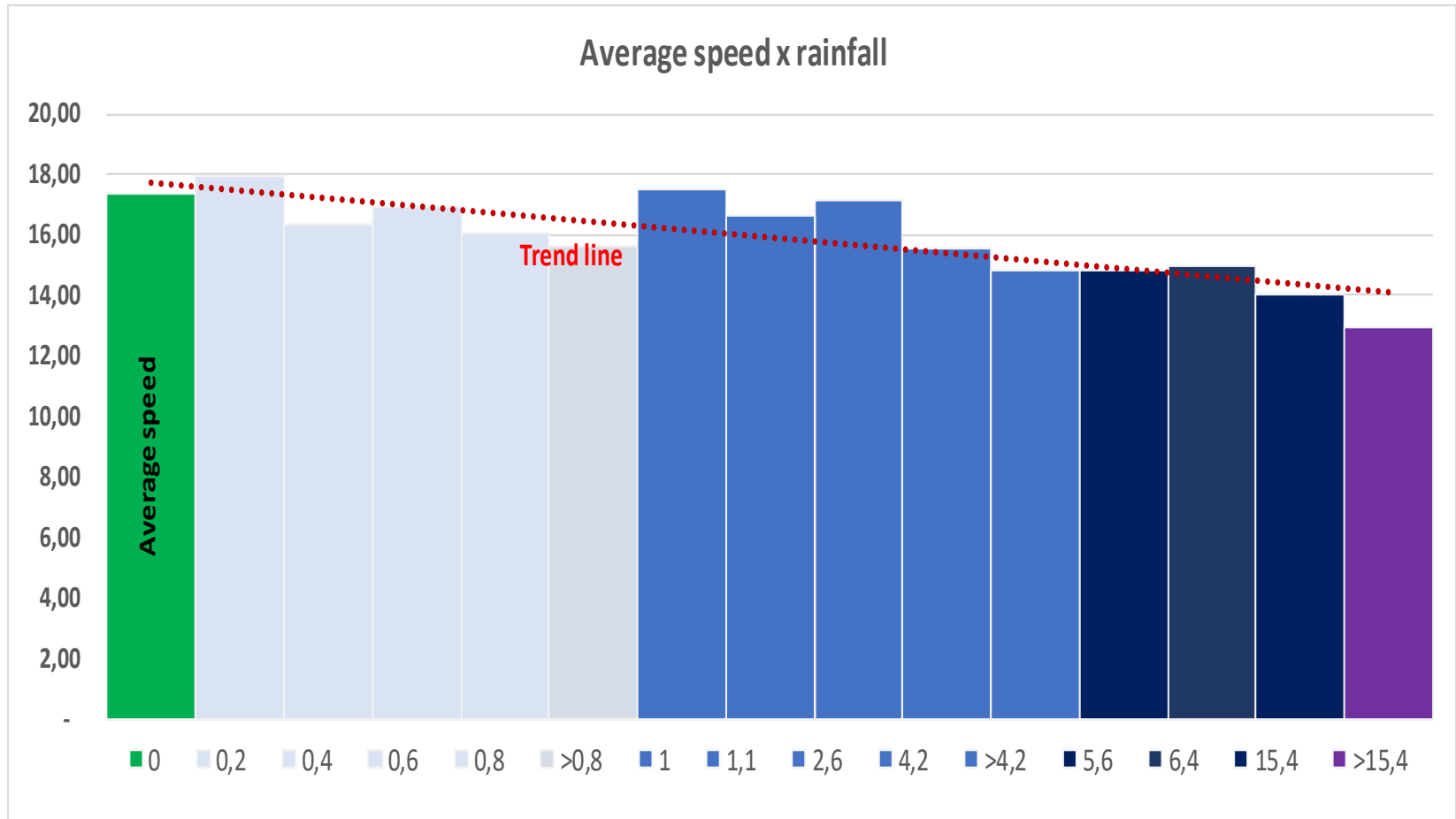
## Standard deviation map: 4PM-6PM Wednesday-Friday maps



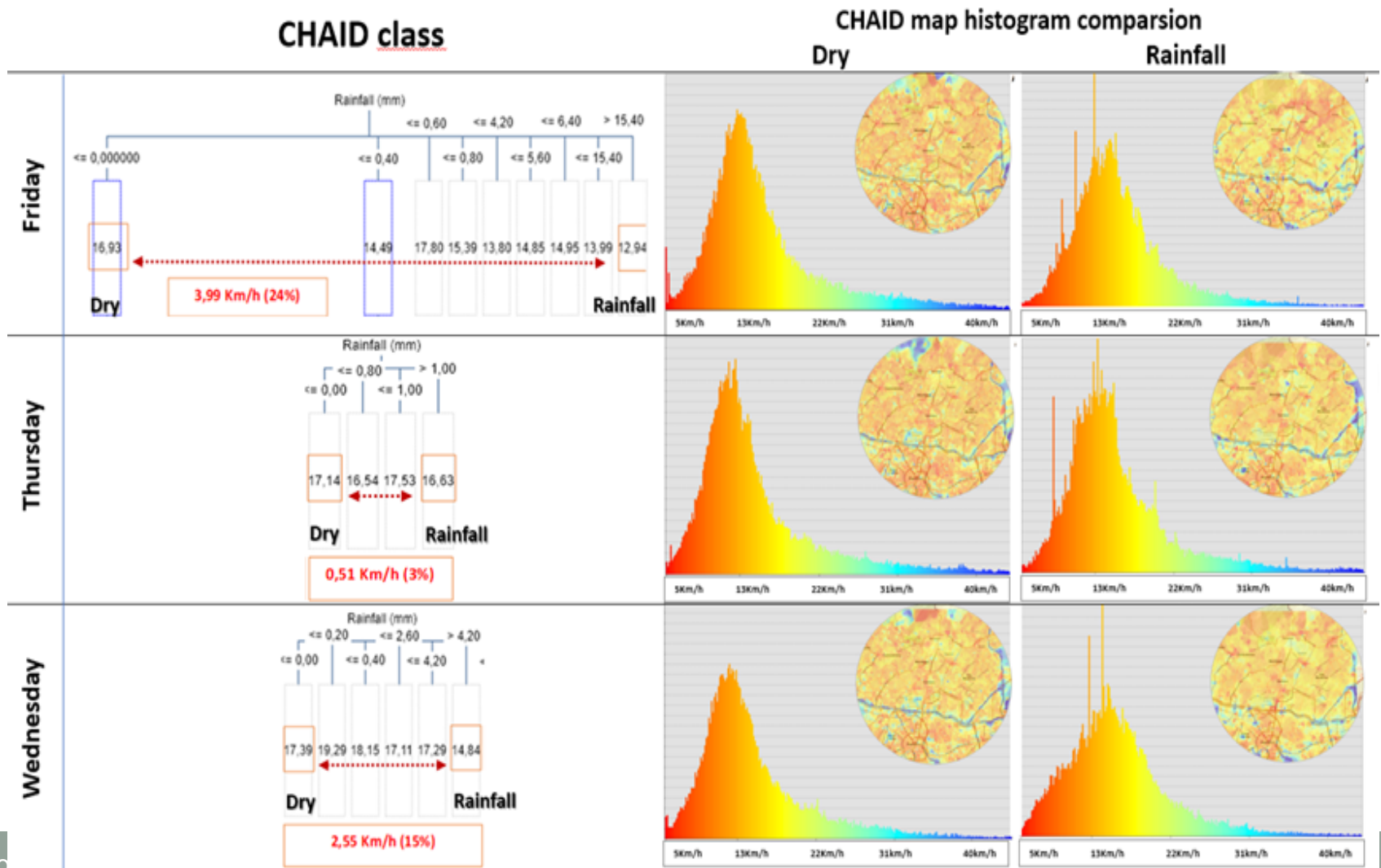
# VM dos ônibus urbanos frente à precipitação de chuva (> 0 mm de chuva / hora) [1]

| Rainfall       | Monday | Tuesday | Wednesday | Thursday | Friday | Average |
|----------------|--------|---------|-----------|----------|--------|---------|
| 0              | 17,67  | 17,83   | 17,40     | 17,14    | 16,81  | 17,37   |
| 0,2            |        | 16,51   | 19,29     |          |        | 17,90   |
| 0,4            |        |         | 18,15     |          | 14,49  | 16,32   |
| 0,6            |        | 15,99   |           |          | 17,80  | 16,90   |
| 0,8            |        | 16,11   |           | 16,55    | 15,39  | 16,02   |
| >0,8           |        | 15,65   |           |          |        | 15,65   |
| 1              |        |         |           | 17,53    |        | 17,53   |
| 1,1            |        |         |           | 16,64    |        | 16,64   |
| 2,6            |        |         | 17,11     |          |        | 17,11   |
| 4,2            |        |         | 17,29     |          | 13,80  | 15,55   |
| >4,2           |        |         | 14,84     |          |        | 14,84   |
| 5,6            |        |         |           |          | 14,85  | 14,85   |
| 6,4            |        |         |           |          | 14,95  | 14,95   |
| 15,4           |        |         |           |          | 13,99  | 13,99   |
| >15,4          |        |         |           |          | 12,94  | 12,94   |
| <b>Average</b> | 17,67  | 16,42   | 17,35     | 16,96    | 15,00  | 15,91   |

# VM dos ônibus urbanos frente à precipitação de chuva (> 0 mm de chuva / hora) [2]

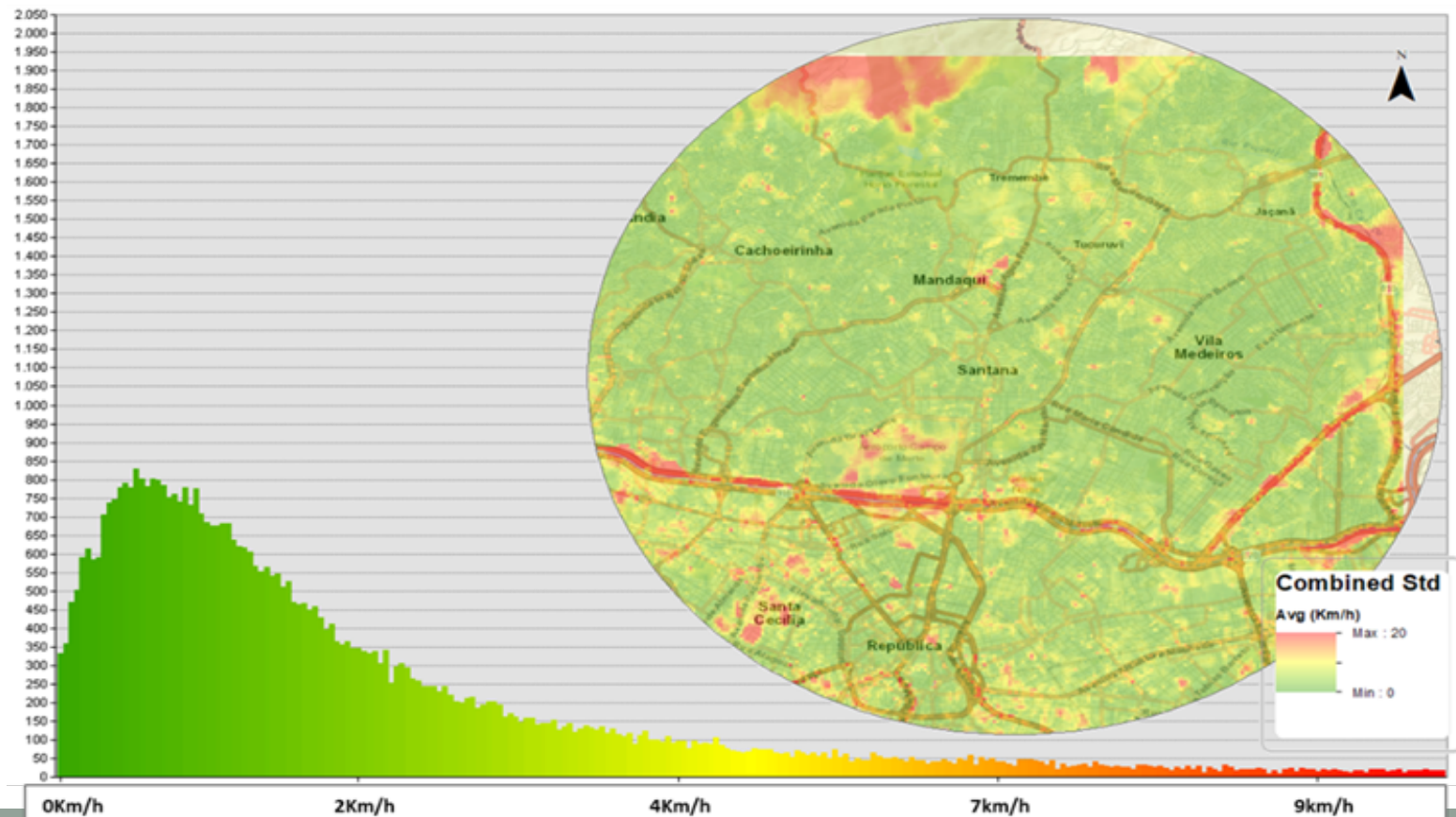


# Árvores ChAID, superfícies e histogramas das VM dos ônibus urbanos frente à ausência e com precipitação de chuva, para os dias de quartas, quintas e sextas-feiras, no horário de pico (4:00 – 6:00 PM)

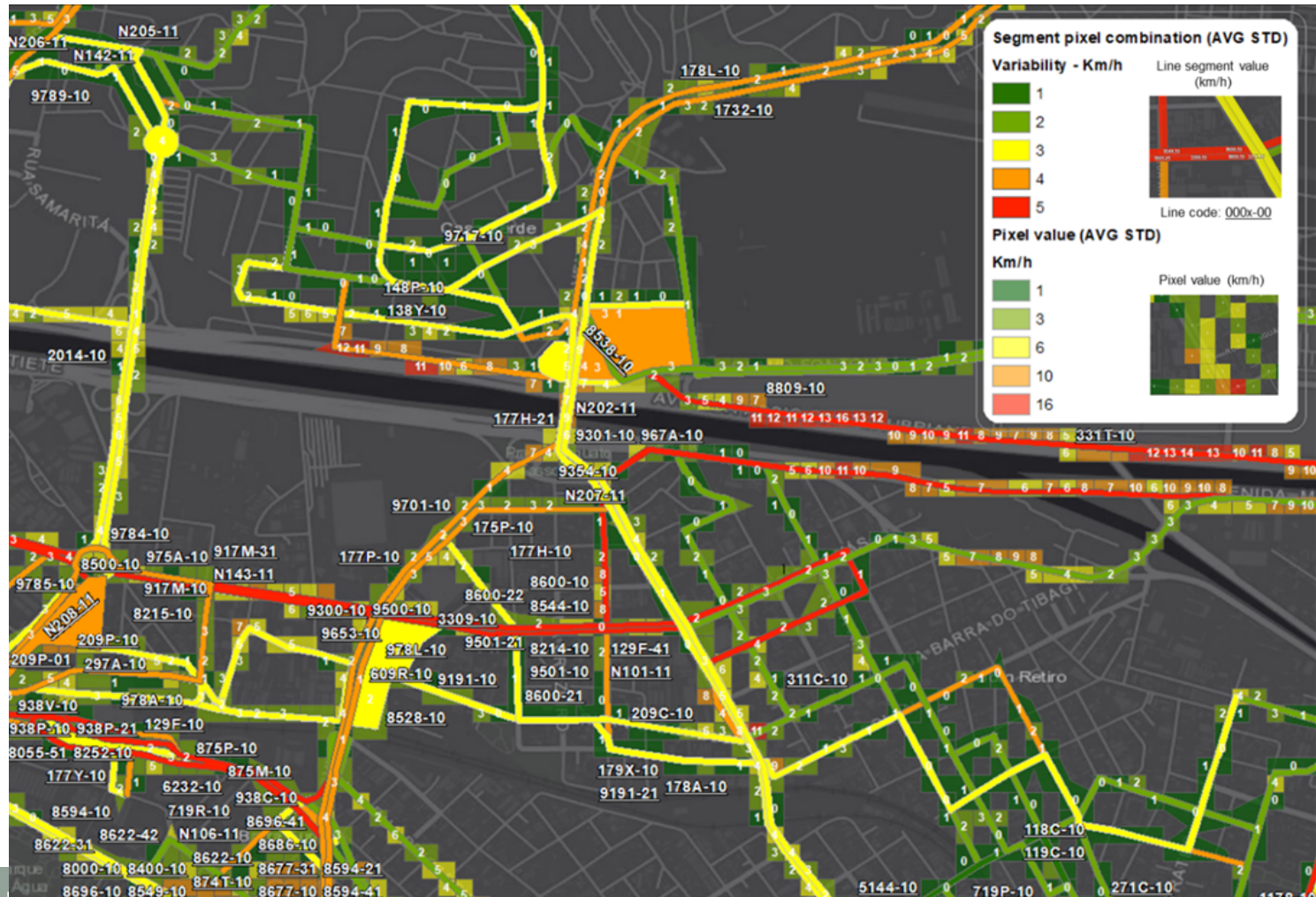


Superfície e histograma dos DP das velocidades dos ônibus urbanos frente à ausência e com a presença de precipitação de chuva para os dias de quartas, quintas e sextas-feiras, no horário de pico (4:00 – 6:00 PM)

## Deviation average map CHAID class standard deviation map



# Identificação das linhas de ônibus urbanos e trechos específicos sob o impacto do clima na variabilidade das velocidades



# Exercícios

1. Porque são necessários 4 satélites para determinar a posição tridimensional de um ponto através do uso do sistema GPS?
2. Porque a medição da distância, satélite-receptor, não é tão precisa quanto se poderia esperar pelo conhecimento da velocidade da luz e do tempo de percurso?
3. Indique algumas fontes de erro que afetam o sistema GPS. Qual a maior delas?
4. Em que consiste o método diferencial?
5. Qual a importância do controle rigoroso do tempo no sistema GPS? Qual foi a solução encontrada para mitigar a incerteza no relógio do receptor?
6. Quais são as principais diferenças entre os sistemas de correção em tempo real DGPS e RTK?

# Referências

- BERALDO, P.; SOARES, S. M. **GPS - introdução e aplicações práticas**. Brasília: Luana, 1995.
- **MONICO**, J. F. G. - **Posicionamento pelo Navstar-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo. Editora UNESP, 2000;
- GEMAEL, C. – **Introdução à Geodésia Física**, Editora UFPR, 1999.
- GEMAEL, C.; DE ANDRADE, J. B. – **Geodésia Celeste**, Editora UFPR, 2004.
- **HOFMANN**-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. - **GPS Theory and Practice**, Ed. Springer-Verlag Wien. 5ed., 2001.



# PTR3111 – Geomática I

- Claudio L. Marte
  - Tel (Poli): 3091-9983
  - E-mail: [claudio.marte@usp.br](mailto:claudio.marte@usp.br)