

200 ANOS  
DE INDEPENDÊNCIA:  
**TRILHOS PARA O  
FUTURO  
DO BRASIL**

13 a 16  
SETEMBRO  
2022

**28ª SEMANA DE TECNOLOGIA  
METROFERROVIÁRIA**

REALIZAÇÃO  
**AEAMESP**  
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ



# Análise de Sensibilidade do Modelo de Divisão Modal da Cia do Metropolitano de São Paulo

Alexandre Frazão D' Andréa  
José de França Bueno  
Mario José Gil Telesi

Ana Carolina Theodoro  
Alexandre Makoto Koga  
José Alberto Rubira

# INTRODUÇÃO

- Avanços metodológicos
- Planejamento de transportes
- Previsão de demanda
- Divisão Modal

# DIAGNÓSTICO: MODELOS

- Simplificações da realidade
- Mundo real x mundo simplificado
- Comportamento
- Escolhas dos passageiros
  - Nova oferta de transporte coletivo,
  - Sistema viário,
  - Alterações do uso do solo
  - Desenvolvimento econômico
  - Características do passageiro

# DIAGNÓSTICO

- Novo modelo
  - OD 2017
  - Projeções de variáveis socioeconômicas
  - Oferta de transporte coletivo e viário

# DIAGNÓSTICO

- Novo modelo
  - Modelo 4 Etapas
    - Geração
    - Distribuição
    - Divisão Modal
    - Alocação

# DIAGNÓSTICO: DIVISÃO MODAL

## Características das viagens

- Motivo da viagem
- Horário da viagem
- Distância da viagem

## Atributos do sistema de transportes

- Preço do combustível
- Custo de estacionamento
- Tempo de deslocamento
- Gestão da demanda
- Tarifa do transporte público
- Tarifa de integração
- Tempo de embarque
- Tempo embarcado
- Tempo de transferência
- Confiabilidade
- Conforto
- Imagem

## Atributos dos indivíduos

- Posse de automóvel
- Renda familiar
- Características da família

# Fatores que afetam a divisão modal



Atributos da viagem (motivo, extensão, custo,...)

Atributos do indivíduo (renda, gênero, escolaridade, idade,...)

Atributos do sistema de transportes (custos e tempos, imagem,...)

# DIAGNÓSTICO: DIVISÃO MODAL

Características das viagem

$$U = \theta + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n$$

Onde:

$U(x_1, x_2, \dots, x_n)$ : função utilidade

$x_1, x_2, \dots, x_n$  = variáveis associadas ao TC e ao TI

$\theta, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  = coeficientes a serem determinados

$$P_{TC} = \frac{e^{U_{TC}}}{e^{U_{TI}} + e^{U_{TC}}}$$

Onde:

$P_{TC}$  = probabilidade TC

$P_{TI}$  = probabilidade TI

Sendo que  $P_{TI} = 1 - P_{TC}$



# DIAGNÓSTICO: DIVISÃO MODAL

Base Domiciliar Trabalho

$$Ptc = \frac{1}{(1 + e^{(-\left(0,0232339 \cdot CG_{TI} - 0,0045664 \cdot CG_{TC} - 3,604907 \cdot TMI_{orig} + 0,3664752 \cdot \frac{POPCDE_{orig}}{POP_{orig}} + 0,9114817\right)})}$$

Base Domiciliar Educação

$$Ptc = \frac{1}{(1 + e^{(-\left(-0,1255437 \cdot CG_{TC}/CG_{TI} - 4,582399 \cdot TMI_{orig} + 2,203611 \cdot \frac{MSUP_{dest}}{MAT_{dest}} + 0,9653881\right)})}$$

Base Domiciliar Outros

$$Ptc = \frac{1}{(1 + e^{(-\left(-0,1083817 \cdot CG_{TC}/CG_{TI} - 3,076953 \cdot TMI_{orig} + 1,191402 \cdot \frac{POPC_{orig}}{POP_{orig}} + 1,128124\right)})}$$

Base Não Domiciliar

$$Ptc = \frac{1}{(1 + e^{(-\left(0,024183 \cdot CG_{TI} - 0,0026805 \cdot CG_{TC} - 3,559669 \cdot \frac{EMPS_{dest}}{EMP_{dest}} + 2,465168 \cdot \frac{POPBC_{orig}}{POP_{orig}} - 3,553948\right)})}$$

# DIAGNÓSTICO: DIVISÃO MODAL

Variáveis utilizadas nos modelos de divisão modal

- $CG_{TI}$  = Custo generalizado do transporte individual
- $CG_{TC}$  = Custo generalizado do transporte coletivo
- $CG_{TC}/CG_{TI}$  = Custo generalizado do transporte coletivo/ Custo generalizado do transporte individual
  
- $TMI_{origem}$  = Taxa de Motorização Individual (TMI) nas zonas de origem
  
- $MSUP_{dest}/MAT_{dest}$  = matrículas no ensino superior nas zonas de destino/ matrículas nas zonas de destino
  
- $EMPS_{dest}/EMP_{dest}$  = empregos no setor secundário/ empregos totais nas zonas de destino
  
- $POPC_{origem}/POP_{origem}$  = população da classe de renda C nas zonas de origem/ população total nas zonas de origem
- $POPCDE_{origem}/POP_{origem}$  = população de classe de renda CDE nas zonas de origem/ população total nas zonas de origem
- $POPBC_{origem}/POP_{origem}$  = população de classes B e C nas zonas de origem/ população total nas zonas de origem

# METODOLOGIA

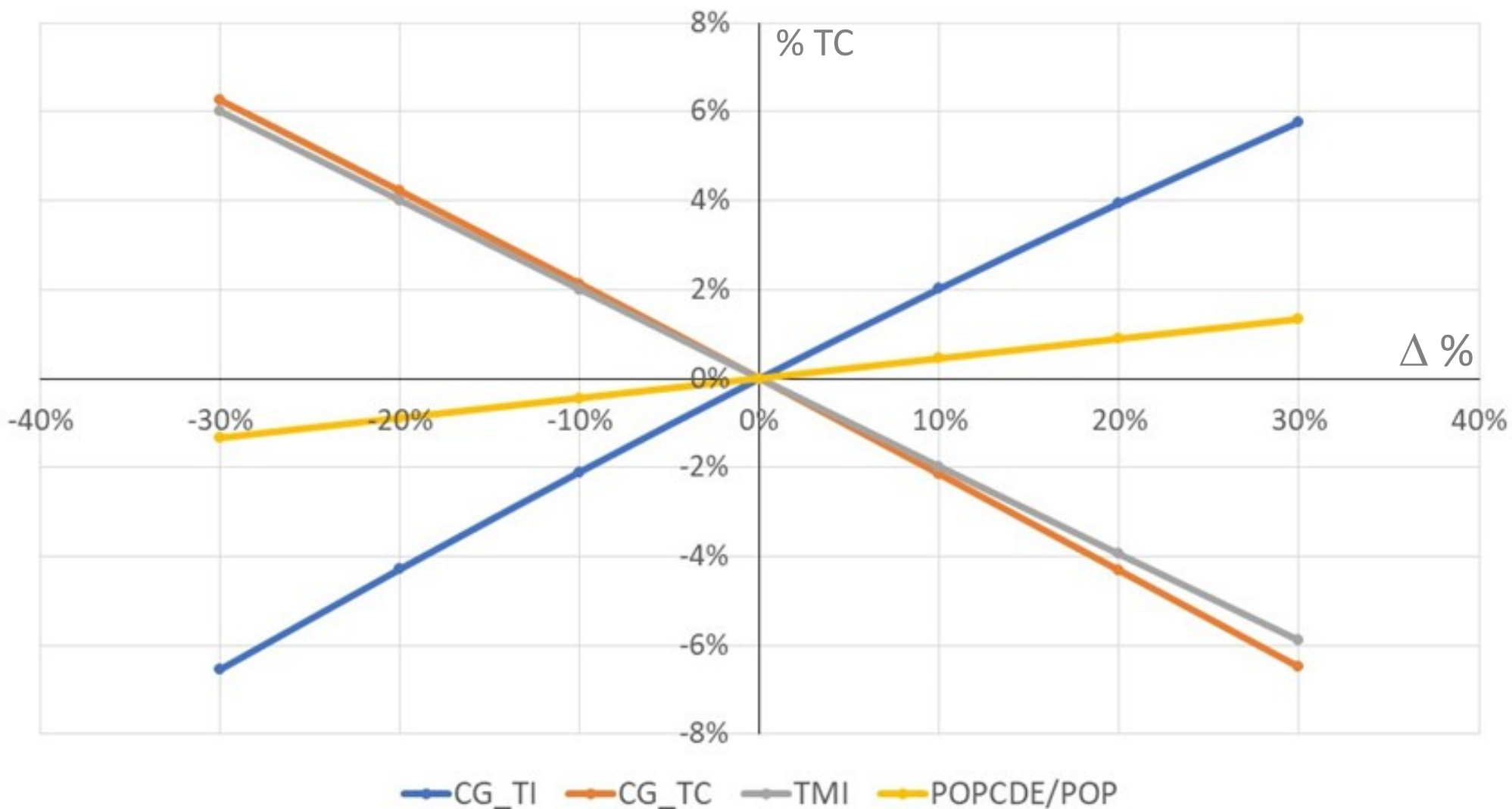
A partir dos valores base nas variáveis utilizadas nos modelos Base Domiciliar Trabalho, Base Domiciliar Estudo, Base Domiciliar Outros e Base Não Domiciliar, foram aplicadas aumentos e reduções de 10%, 20% e 30% em cada uma dessas variáveis, uma por vez.

Em seguida plotamos os gráficos que vem a seguir e, posteriormente, produzimos, utilizando o software GEODA, os mapas apresentados na sequência com a análise de sensibilidade espacial.

Para a produção destes mapas foram utilizadas as matrizes de probabilidade de transporte coletivo resultantes do modelo de divisão modal após os choques de 10% nas variáveis já mencionadas, tomados os valores médios nas origens e, então, obtidos os mapas apresentados na sequência.

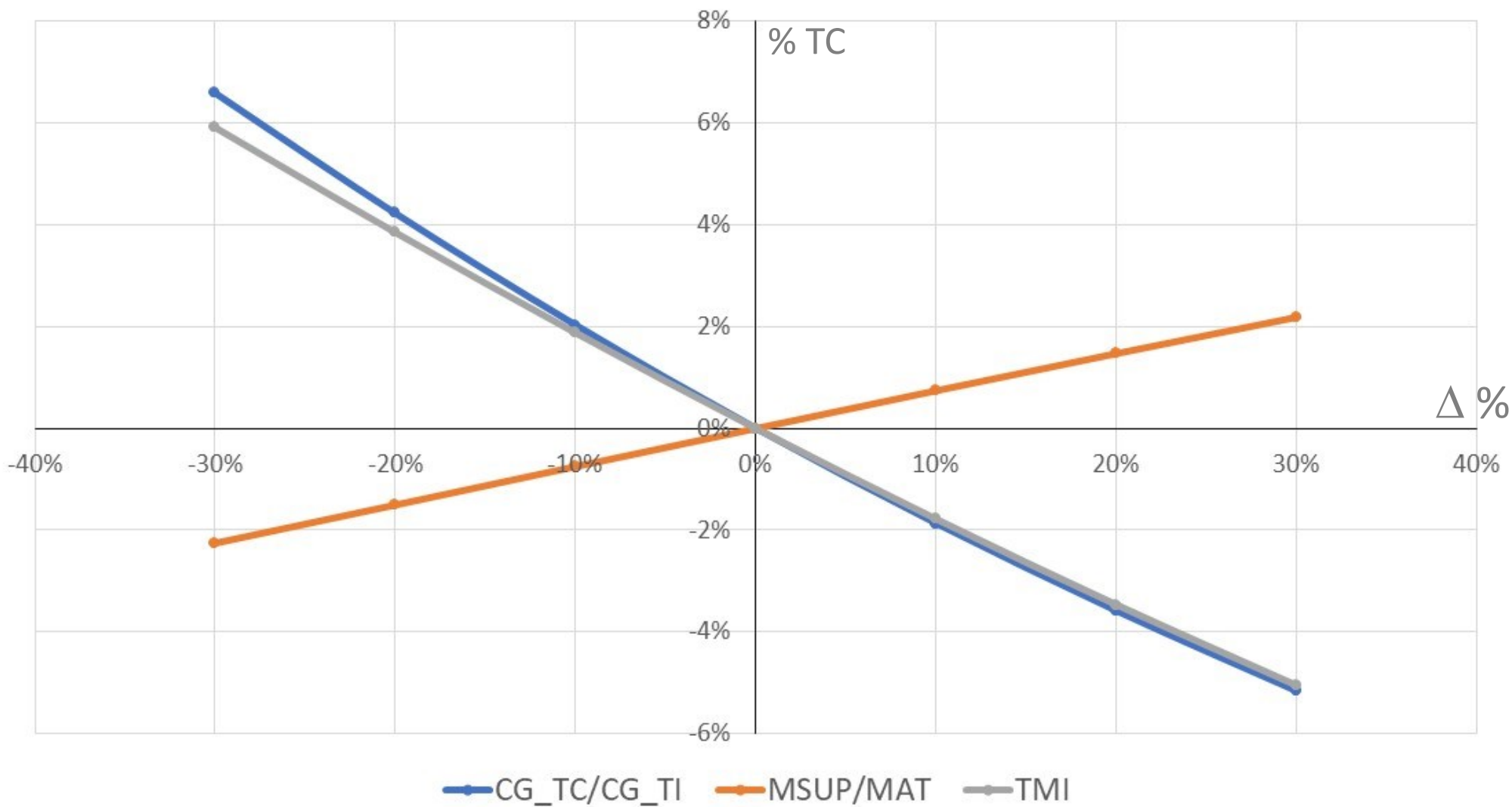
# ANÁLISE DE RESULTADOS: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE BDT

% Transporte Coletivo para Viagens Base Domiciliar motivo Trabalho: BDT



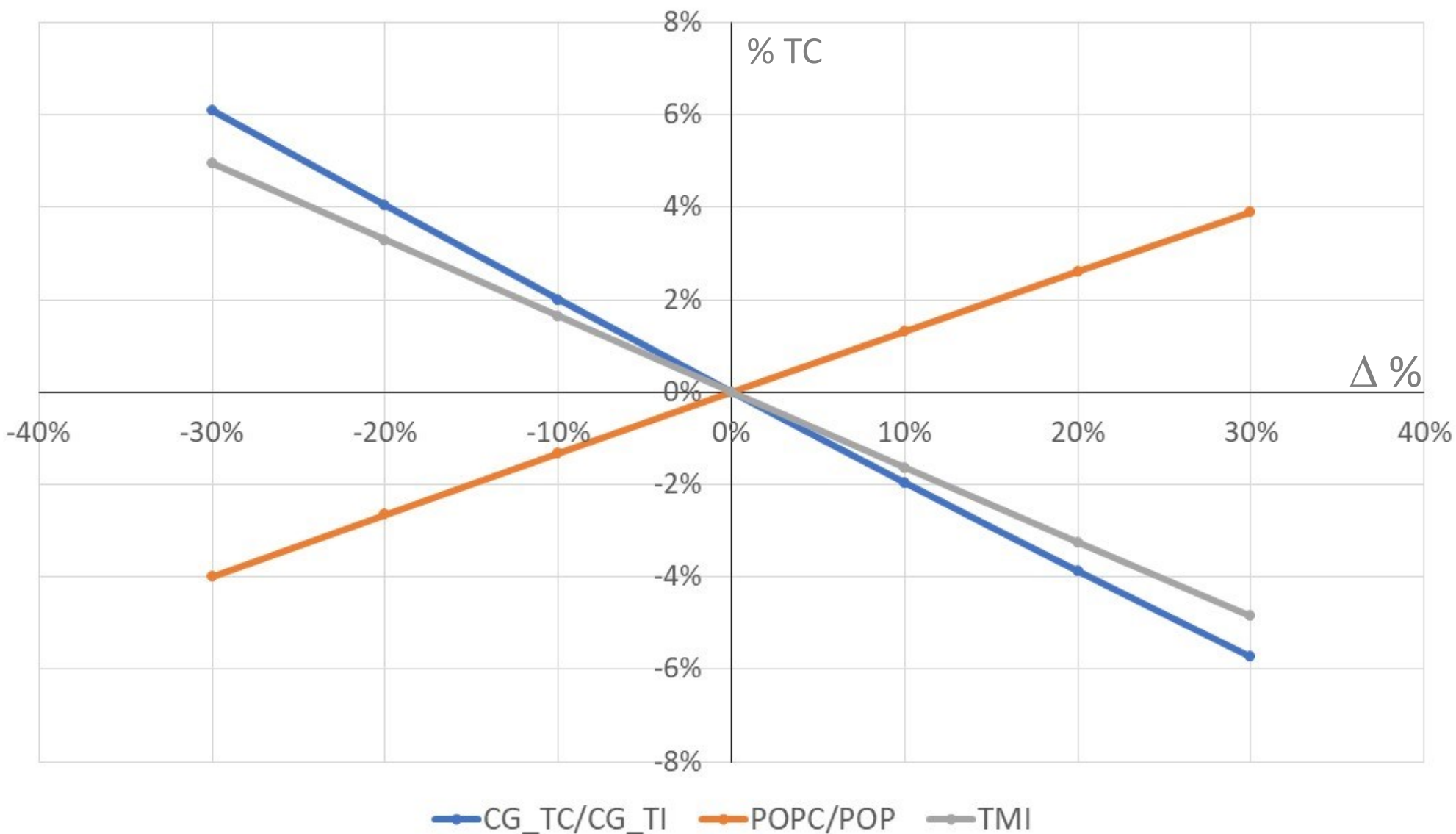
# ANÁLISE DE RESULTADOS: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE BDE

%Transporte Coletivo para viagens Base Domiciliar motivo Educação: BDE



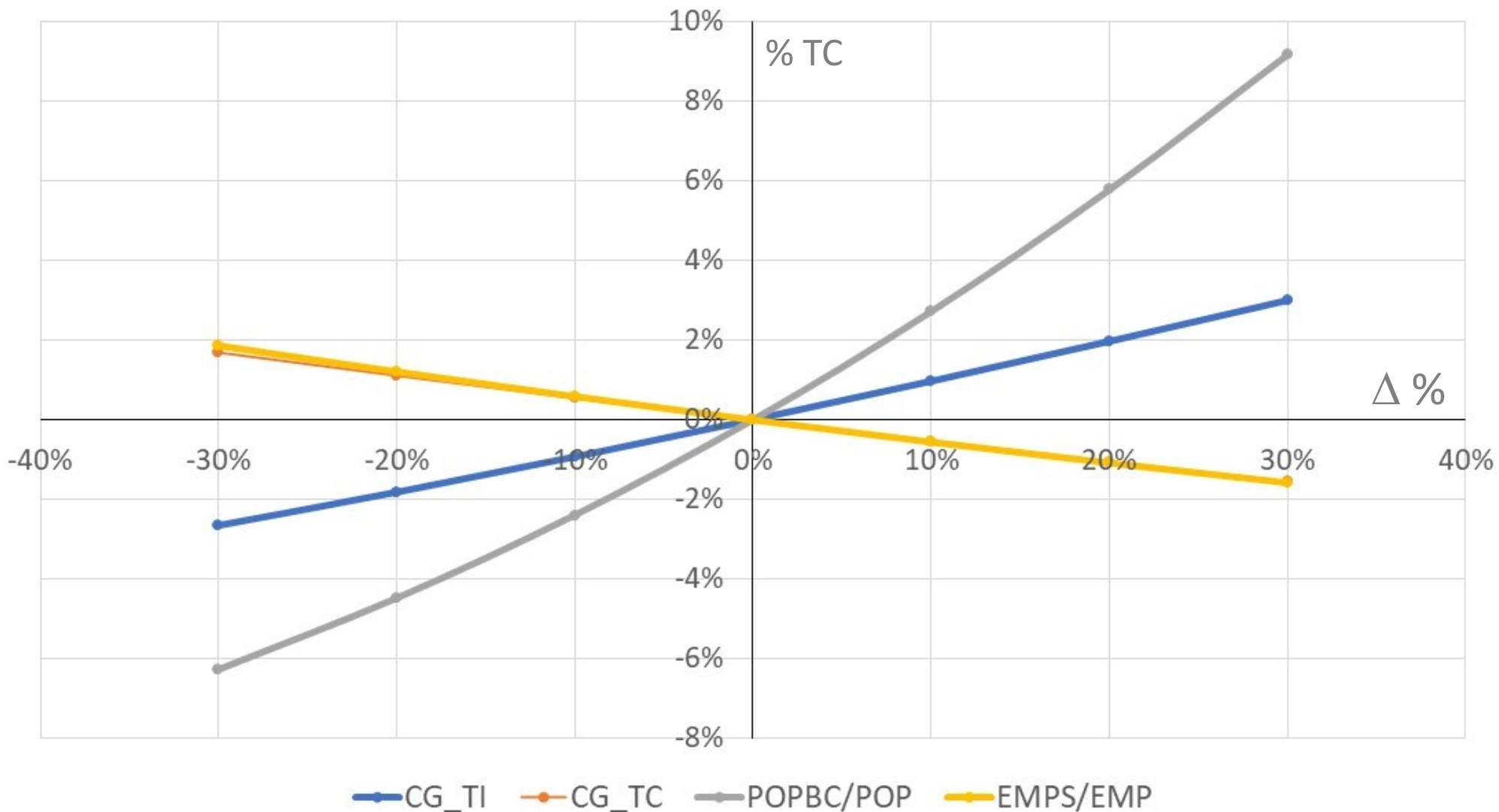
# ANÁLISE DE RESULTADOS: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE BDO

%Transporte Coletivo Viagens Base domiciliar motivo outros: BDO



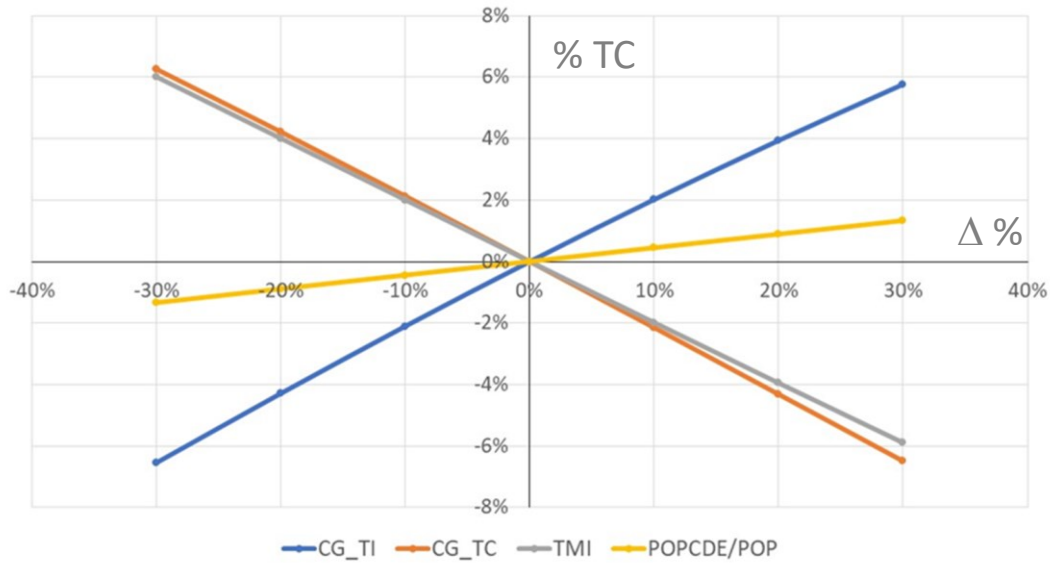
# ANÁLISE DE RESULTADOS: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE BND

%Transporte Coletivo Viagens Base não domiciliar: BND

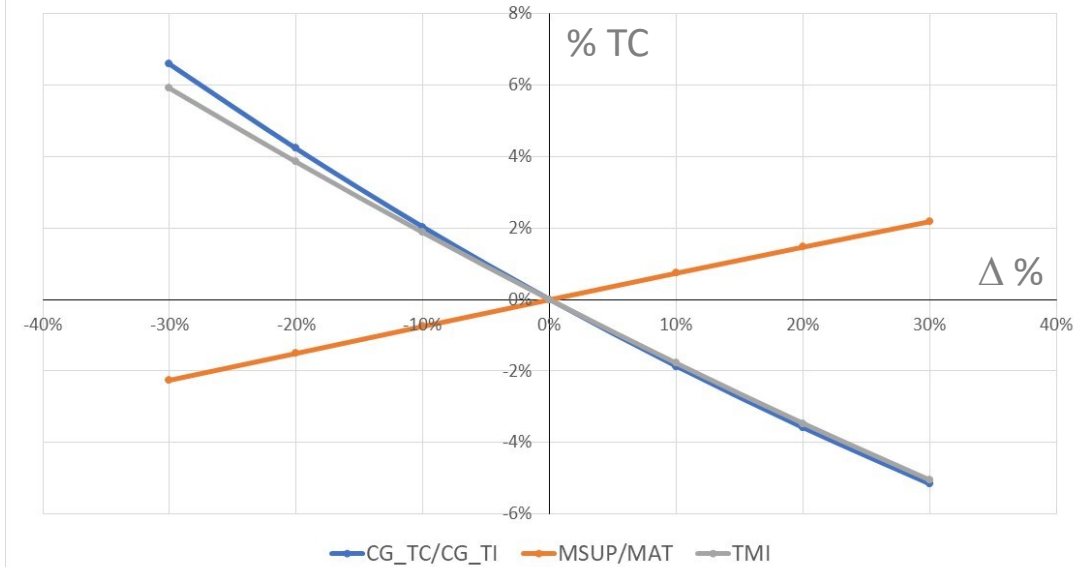


# ANÁLISE DE RESULTADOS

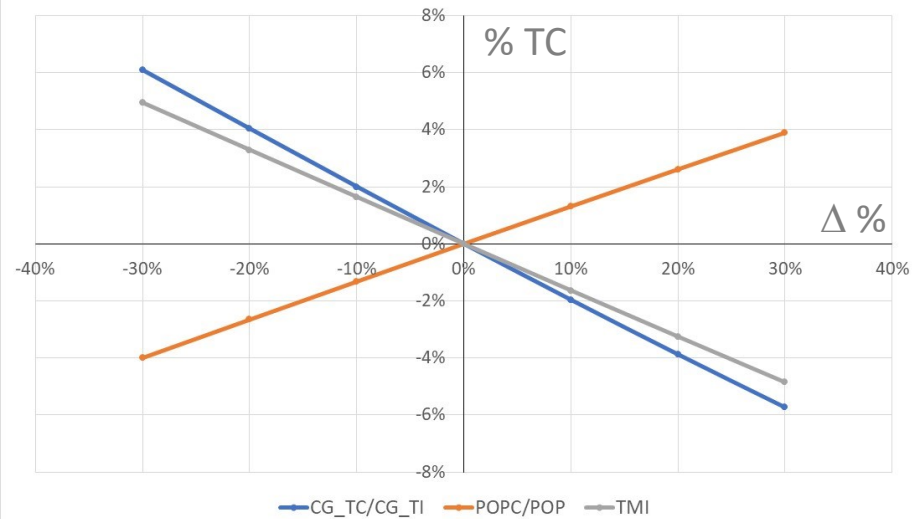
% Transporte Coletivo para Viagens Base Domiciliar motivo Trabalho: BDT



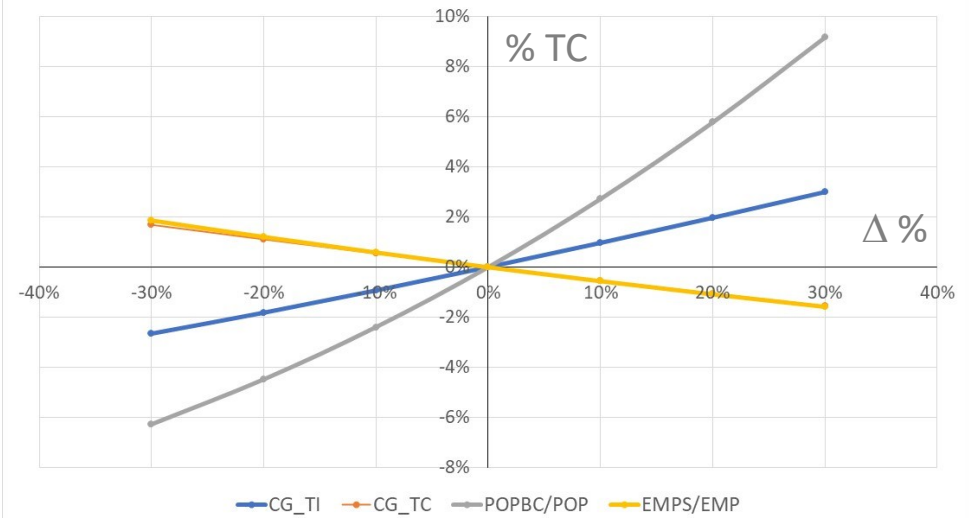
% Transporte Coletivo para viagens Base Domiciliar motivo Educação: BDE



% Transporte Coletivo Viagens Base domiciliar motivo outros: BDO



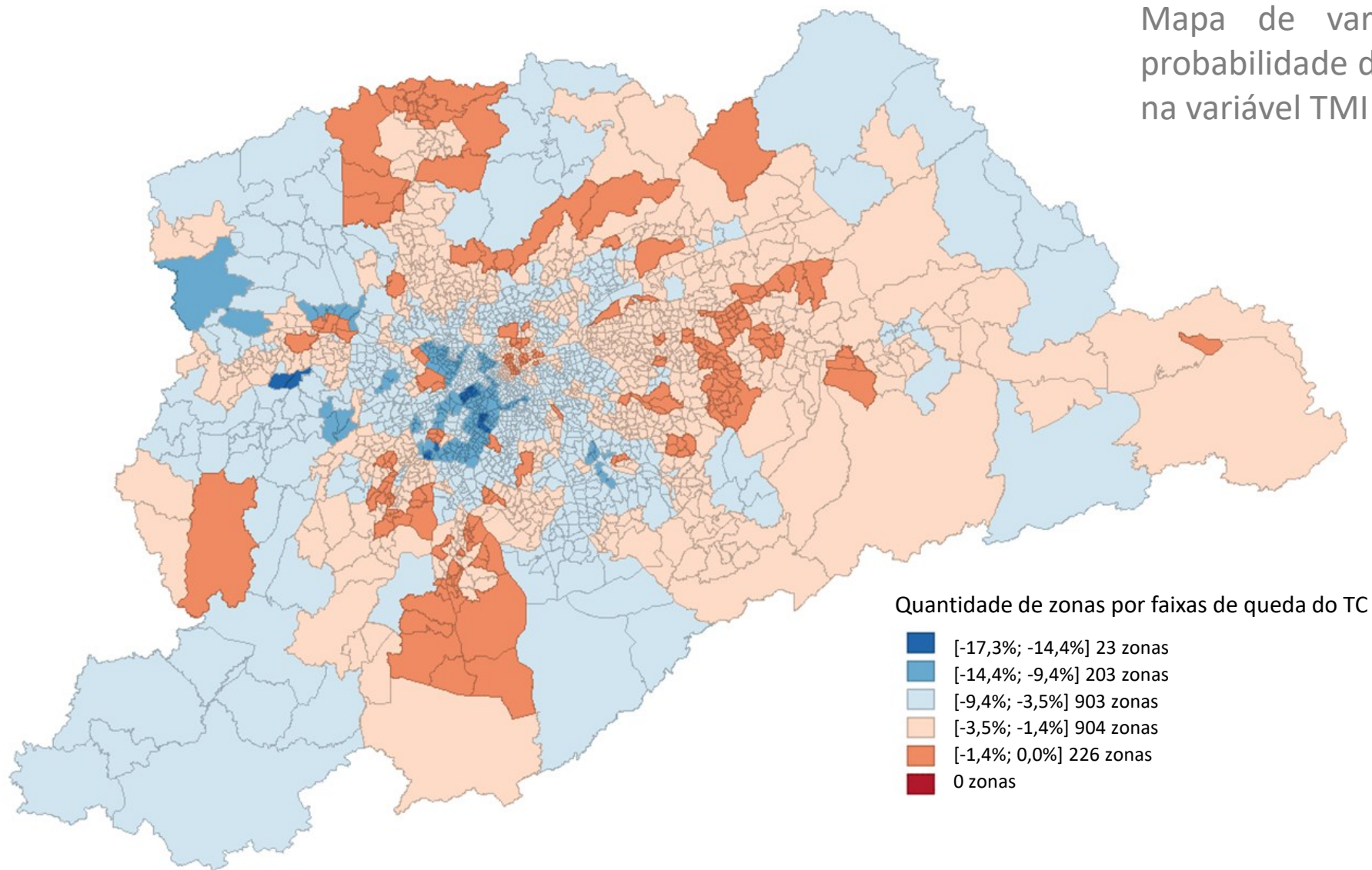
% Transporte Coletivo Viagens Base não domiciliar: BND





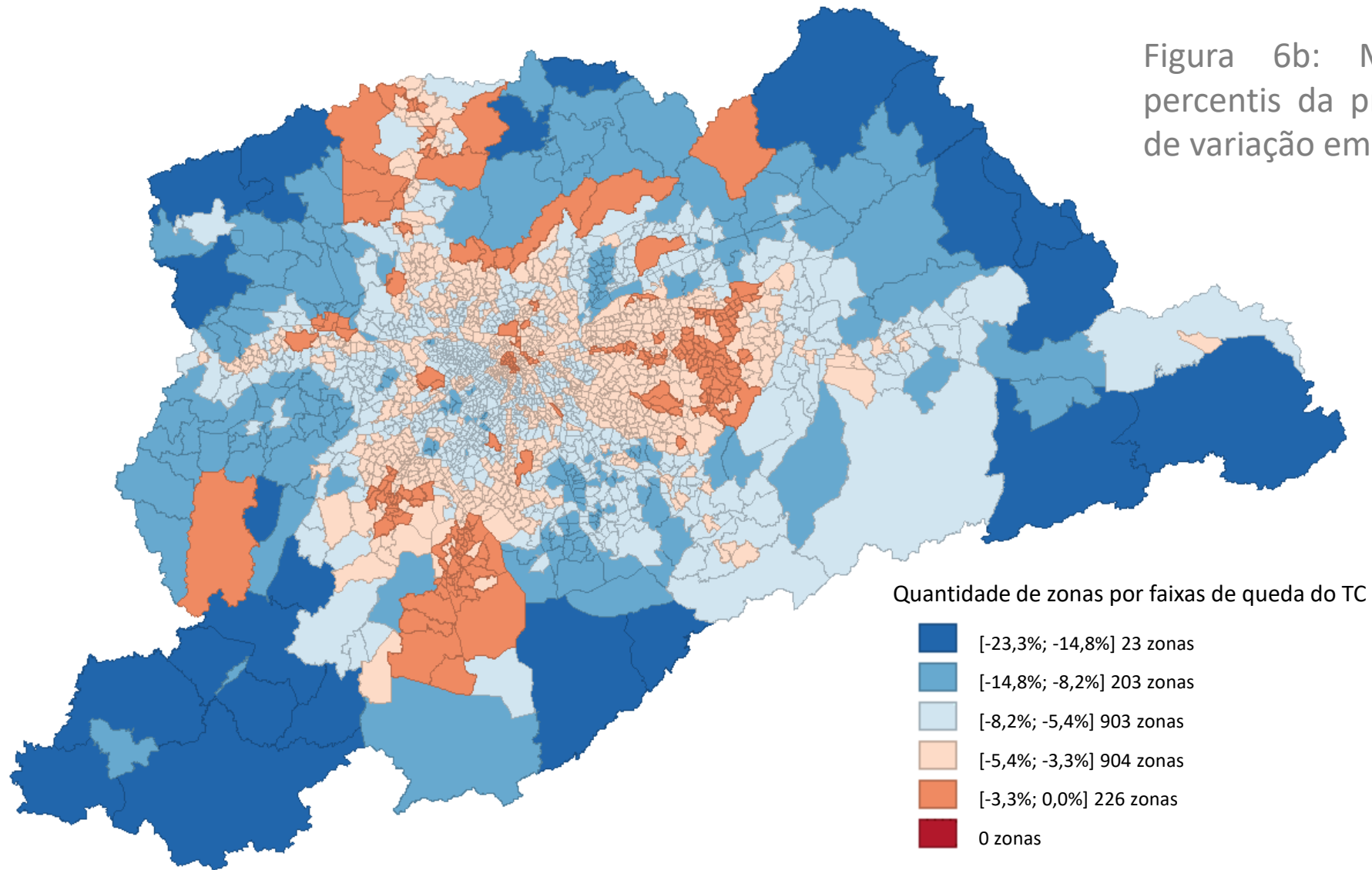
# Variação de 10% TMI no segmento BDT

Mapa de variação por percentis da probabilidade de TC para 10% de variação na variável TMI no segmento BDT.



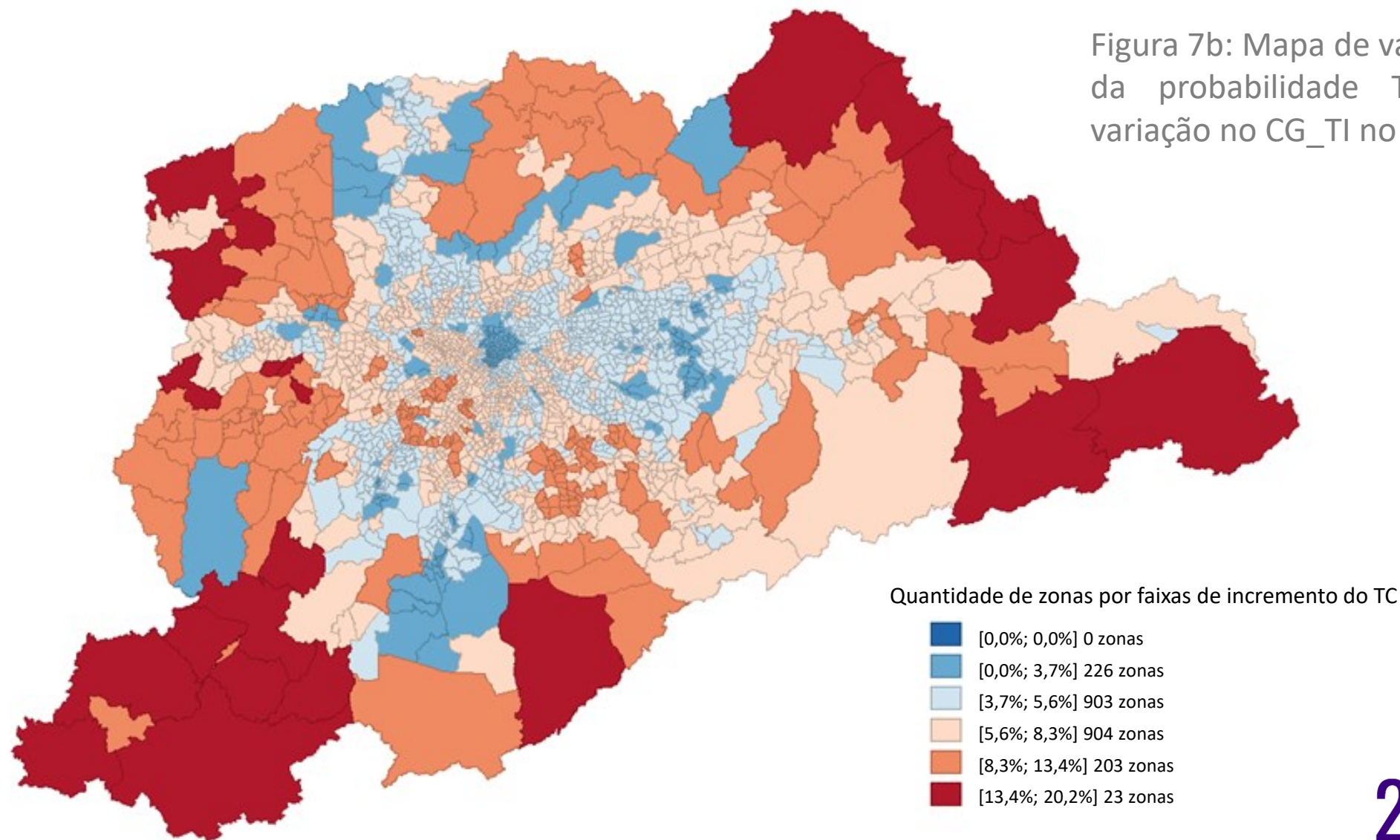
# Variação de 10% $CG_{TC}$ no segmento BDT

Figura 6b: Mapa de variação por percentis da probabilidade TC para 10% de variação em  $CG_{TC}$  no segmento BDT.



# Variação de 10% $CG_{TI}$ no segmento BDT

Figura 7b: Mapa de variação de percentis da probabilidade TC para 10% de variação no  $CG_{TI}$  no segmento BDT





# Variação de 10% POPCDE/POP no segmento BDT

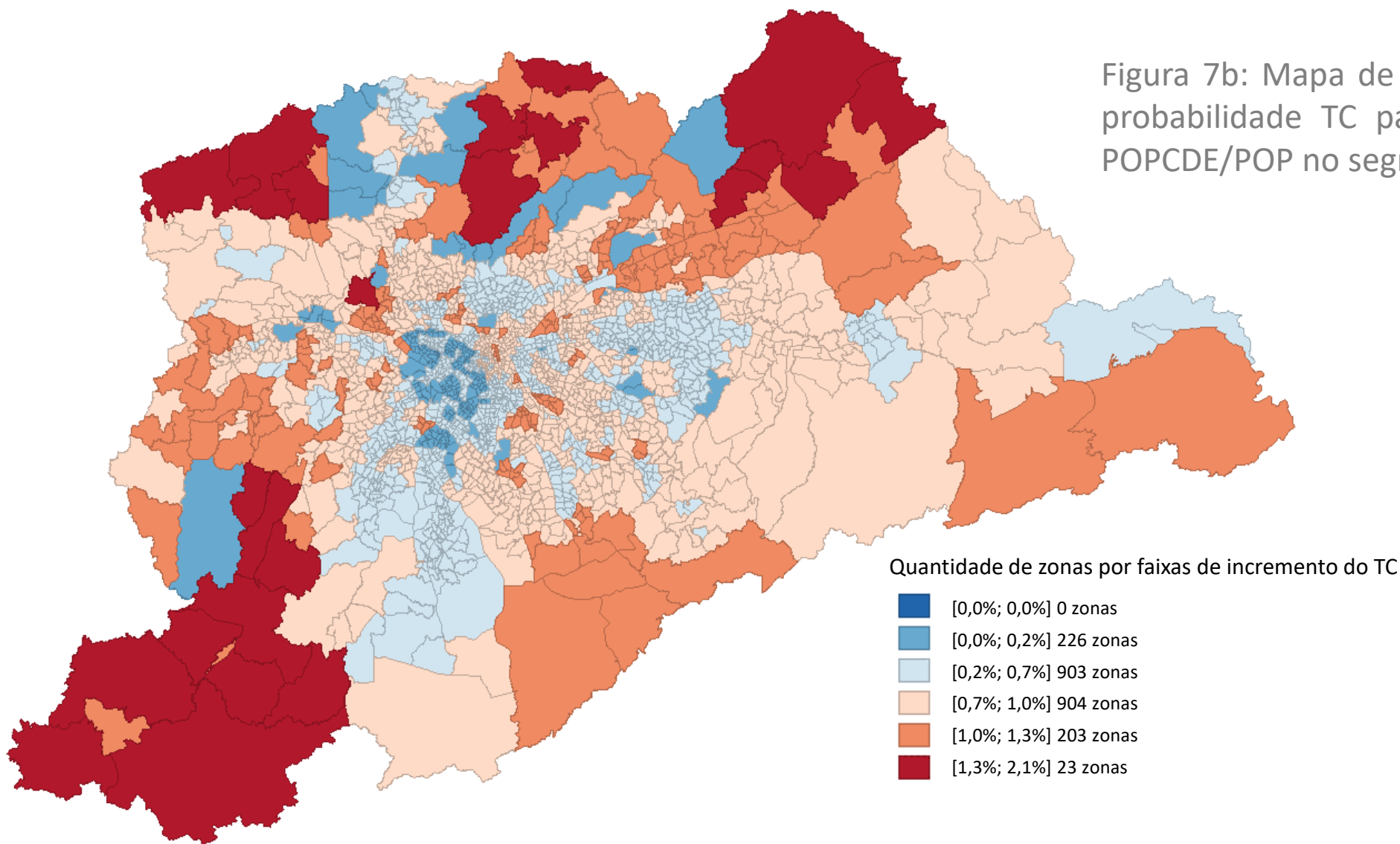


Figura 7b: Mapa de variação de percentis da probabilidade TC para 10% de variação no POPCDE/POP no segmento BDT

# CONCLUSÕES

- A análise de sensibilidade é relevante tanto nas etapas de desenvolvimento do modelo de divisão modal quanto de validação.
- A análise de sensibilidade é ferramenta útil para compreensão do papel de cada uma das variáveis no modelo de divisão modal.
- Não há nenhuma variável individual que reflita uma migração massiva para o TC. Isso sugere que apenas políticas públicas combinadas poderiam surtir efeito significativo a favor do TC.
- Impactos da migração de modos ocorrem de forma diferenciada na RMSP, relacionados com características locais.
- Análises de sensibilidade do modelo de divisão modal permitem avaliar o efeito de políticas públicas relacionadas com as variáveis  $CG_{TC}$  (tarifa do TC, tarifa de integração do TC, tempo de embarque, tempo embarcado, etc) e  $CG_{TI}$  (custo do estacionamento, custo do combustível, pedágio urbano, etc)
- A TMI possui forte influência em todos os principais segmentos de demanda, pressionando a divisão modal a favor do TI.

200 ANOS  
DE INDEPENDÊNCIA:

TRILHOS PARA O  
**FUTURO**  
DO BRASIL

13 a 16  
SETEMBRO  
2022

28ª SEMANA DE TECNOLOGIA  
METROFERROVIÁRIA

REALIZAÇÃO  
**AEAMESP**  
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ



# Análise de Sensibilidade do Modelo de Divisão Modal da Cia do Metropolitano de São Paulo

Alexandre Frazão D' Andréa  
José de França Bueno  
Mario José Gil Telesi

Ana Carolina Theodoro  
Alexandre Makoto Koga  
José Alberto Rubira