

# Engenharia de Tráfego em IXPs: Analisando as Escolhas dos ASes

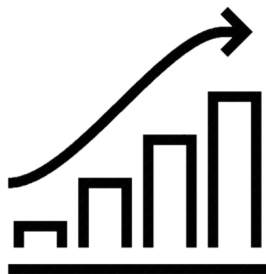
Joaquim Pereira, Pedro Marcos



A entrega de tráfego é um aspecto fundamental das operações da Internet



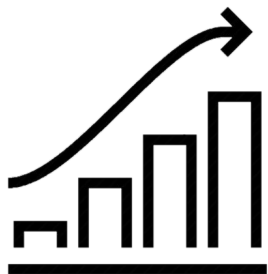
A entrega de tráfego é um aspecto fundamental das operações da Internet



Crescimento do  
tráfego



A entrega de tráfego é um aspecto fundamental das operações da Internet



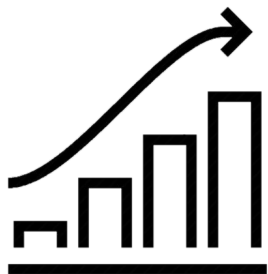
Crescimento do  
tráfego



Requisitos das  
aplicações



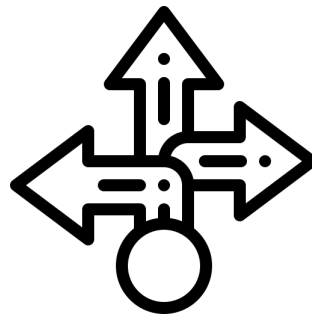
A entrega de tráfego é um aspecto fundamental das operações da Internet



Crescimento do  
tráfego



Requisitos das  
aplicações



Resiliência



# IXPs são elementos essenciais nesse processo...





# IXPs são elementos essenciais nesse processo...



Distâncias



Latência



Custos



# IXPs são elementos essenciais nesse processo...



Distâncias



Latência



Custos

... e com maior conectividade, mais opções de engenharia de tráfego se tornam disponíveis...



Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Há anúncios conflitantes nos IXPs?



Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Há anúncios conflitantes nos IXPs?



Quando um AS está conectado a múltiplos IXPs, ele indica preferência por algum em particular?



Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Há anúncios conflitantes nos IXPs?



Quando um AS está conectado a múltiplos IXPs, ele indica preferência por algum em particular?



A preferência do AS faz sentido do ponto de vista geográfico?



Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes



# Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes



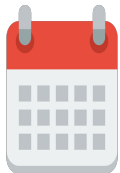


# Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes





# Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes

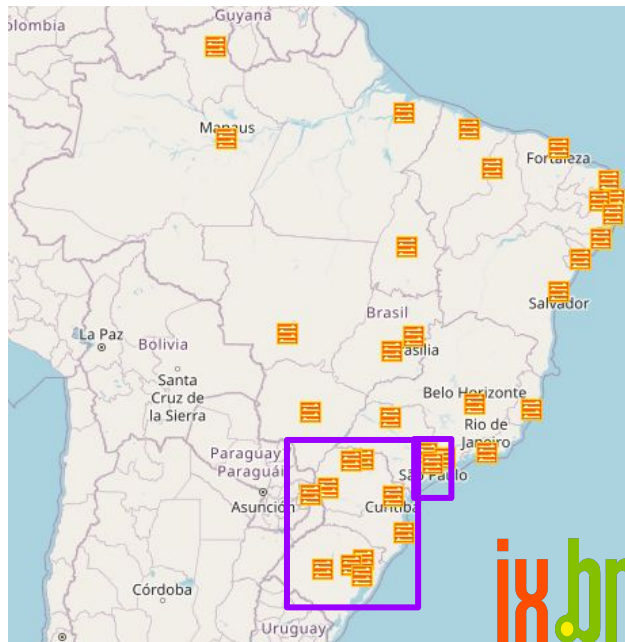


Dados de  
2 de maio  
de 2025

IXP	# ASes IPv4	# Prefixes IPv4	# ASes IPv6	# Prefixes IPv6



# Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes



Dados de  
2 de maio  
de 2025

# ASes conectados no  
route server do IXP

IXP	# ASes IPv4	# Prefixes IPv4	# ASes IPv6	# Prefixes IPv6



# Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes



Dados de  
2 de maio  
de 2025

# Prefixos originados  
pelos ASes membros

IXP	# ASes IPv4	# Prefixes IPv4	# ASes IPv6	# Prefixes IPv6



# Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes



Dados de  
2 de maio  
de 2025

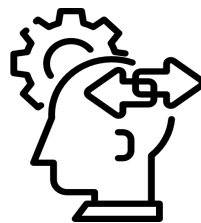
IXP	# ASes IPv4	# Prefixes IPv4	# ASes IPv6	# Prefixes IPv6
São Paulo	1963	24291	1895	8863
Porto Alegre	256	4213	233	1457
Curitiba	133	2604	138	808
Florianópolis	93	1851	90	609
Maringá	52	909	44	247
Londrina	38	707	34	206
Cascavel	37	463	38	104
Foz do Iguaçu	21	388	23	116
Lajeado	19	264	17	49
Caxias do Sul	10	522	8	108
Santa Maria	9	58	7	10



Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Quando um AS está conectado a múltiplos IXPs, ele indica preferência por algum em particular?



Há anúncios conflitantes nos IXPs?



A preferência do AS faz sentido do ponto de vista geográfico?



# Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



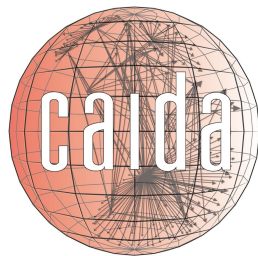
Selecionar  
ASes  
membros



# Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



Selecionar  
ASes  
membros



“Prefix to AS”  
Dataset

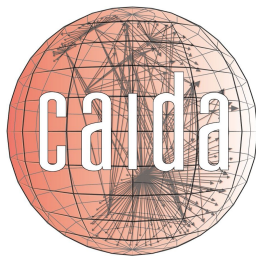




# Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



Selecionar  
ASes  
membros



“Prefix to AS”  
Dataset



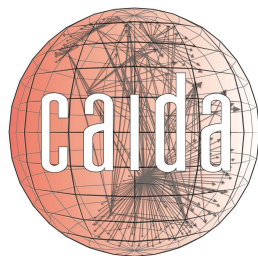
Anúncios no  
Route Server



# Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



Selecionar  
ASes  
membros



“Prefix to AS”  
Dataset



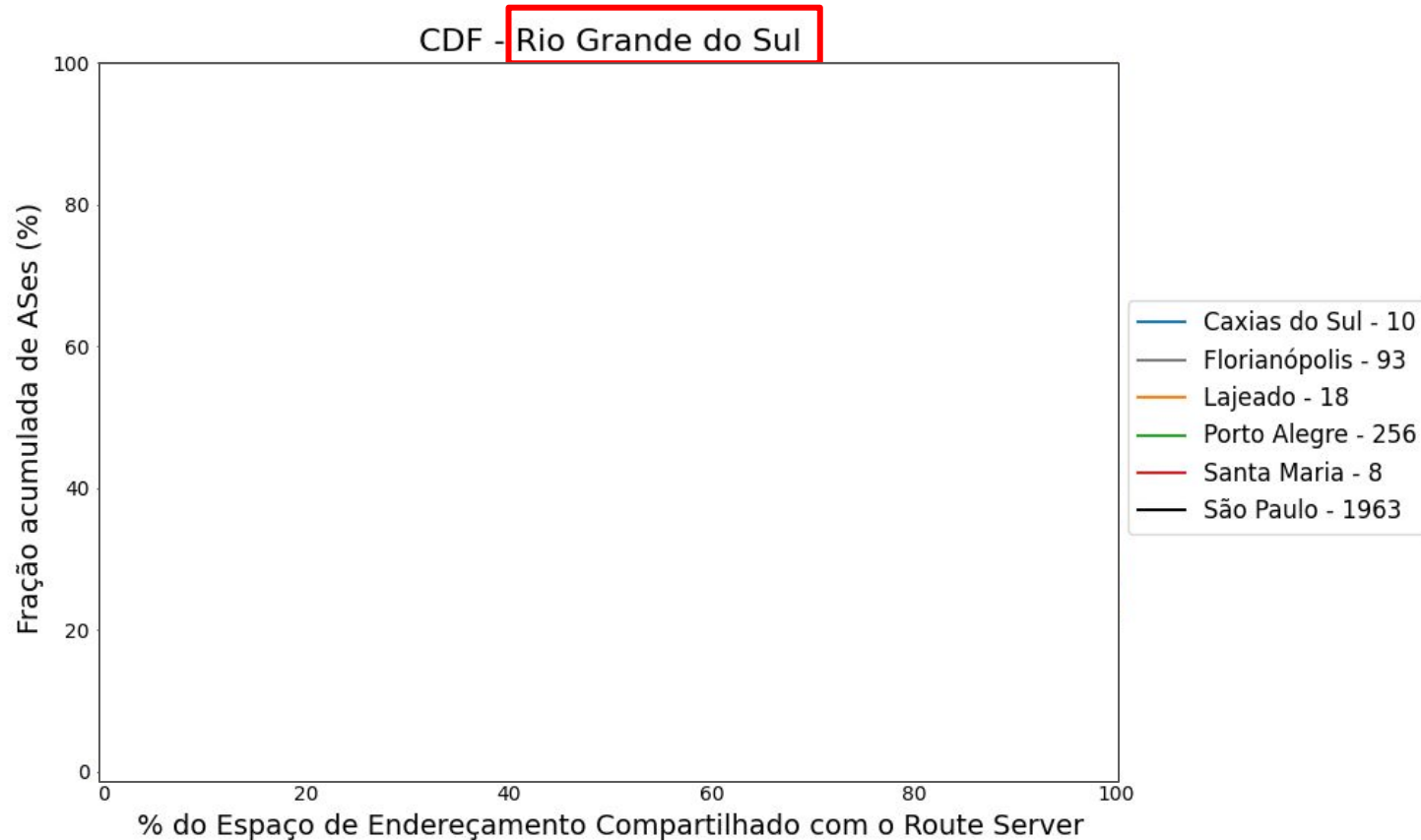
Anúncios no  
Route Server



Anunciado  
vs  
Alocado



# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4





# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4

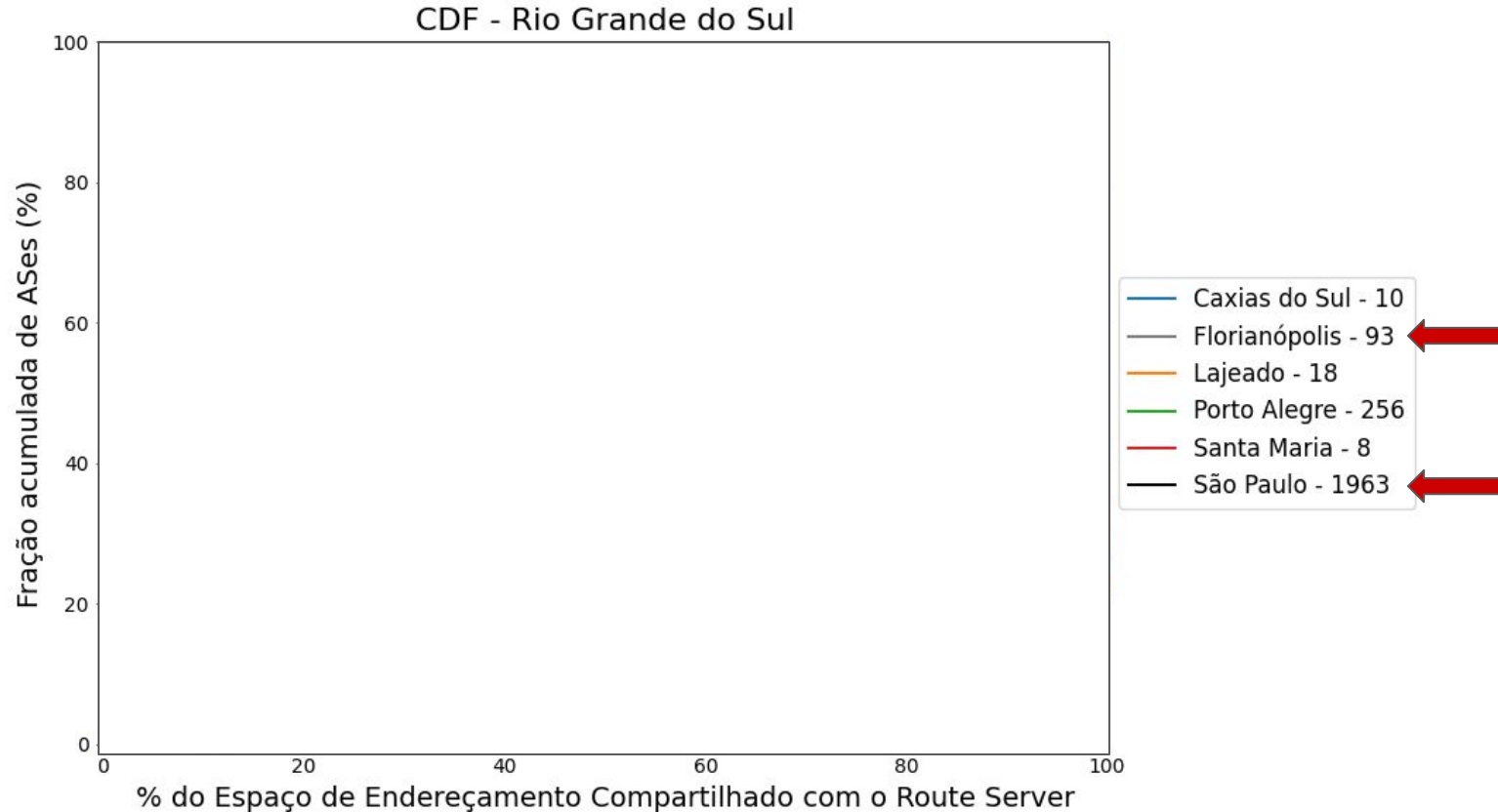


IXPs – # ASes  
analisados

Caxias do Sul - 10  
Florianópolis - 93  
Lajeado - 18  
Porto Alegre - 256  
Santa Maria - 8  
São Paulo - 1963



# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



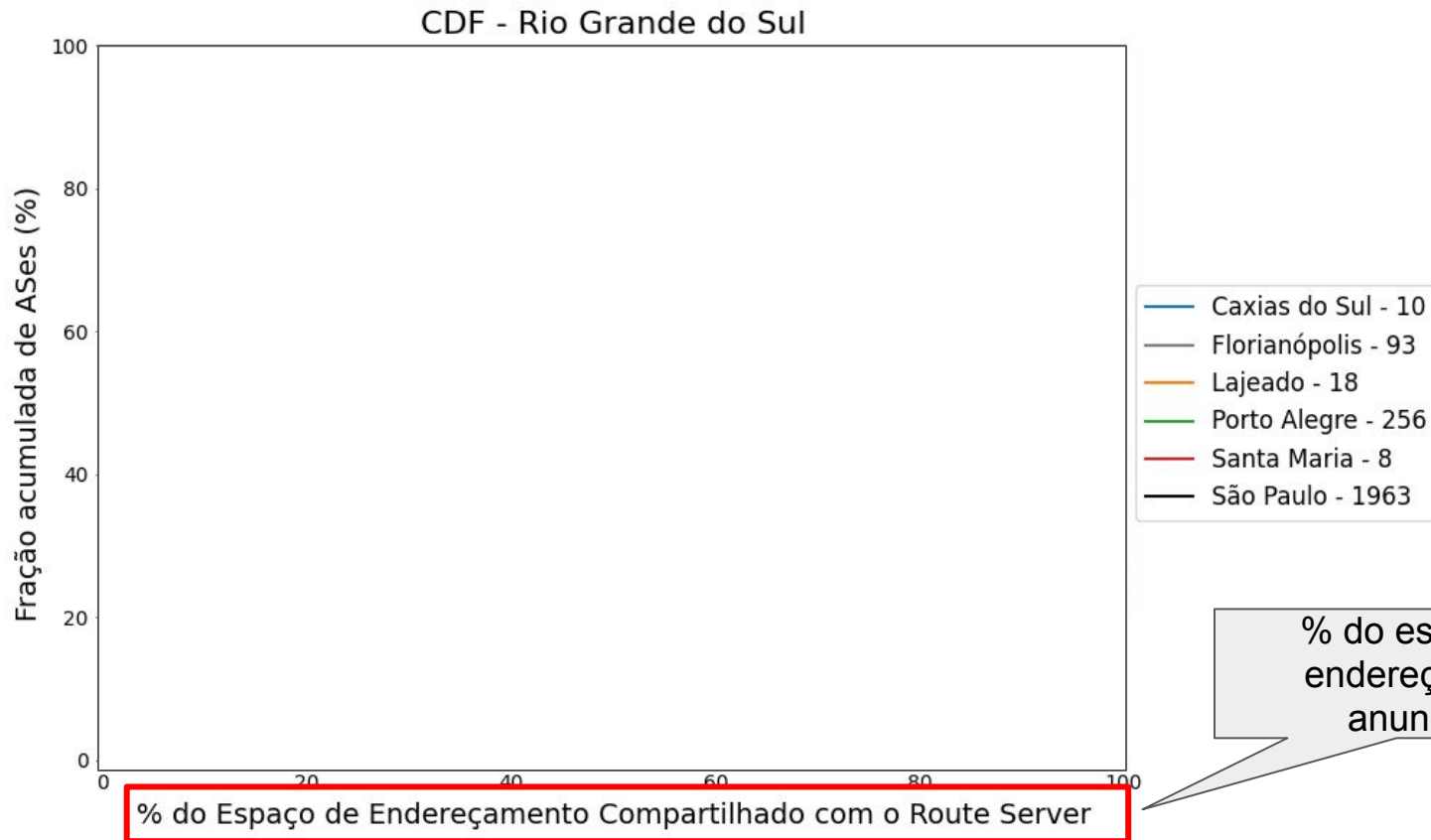


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



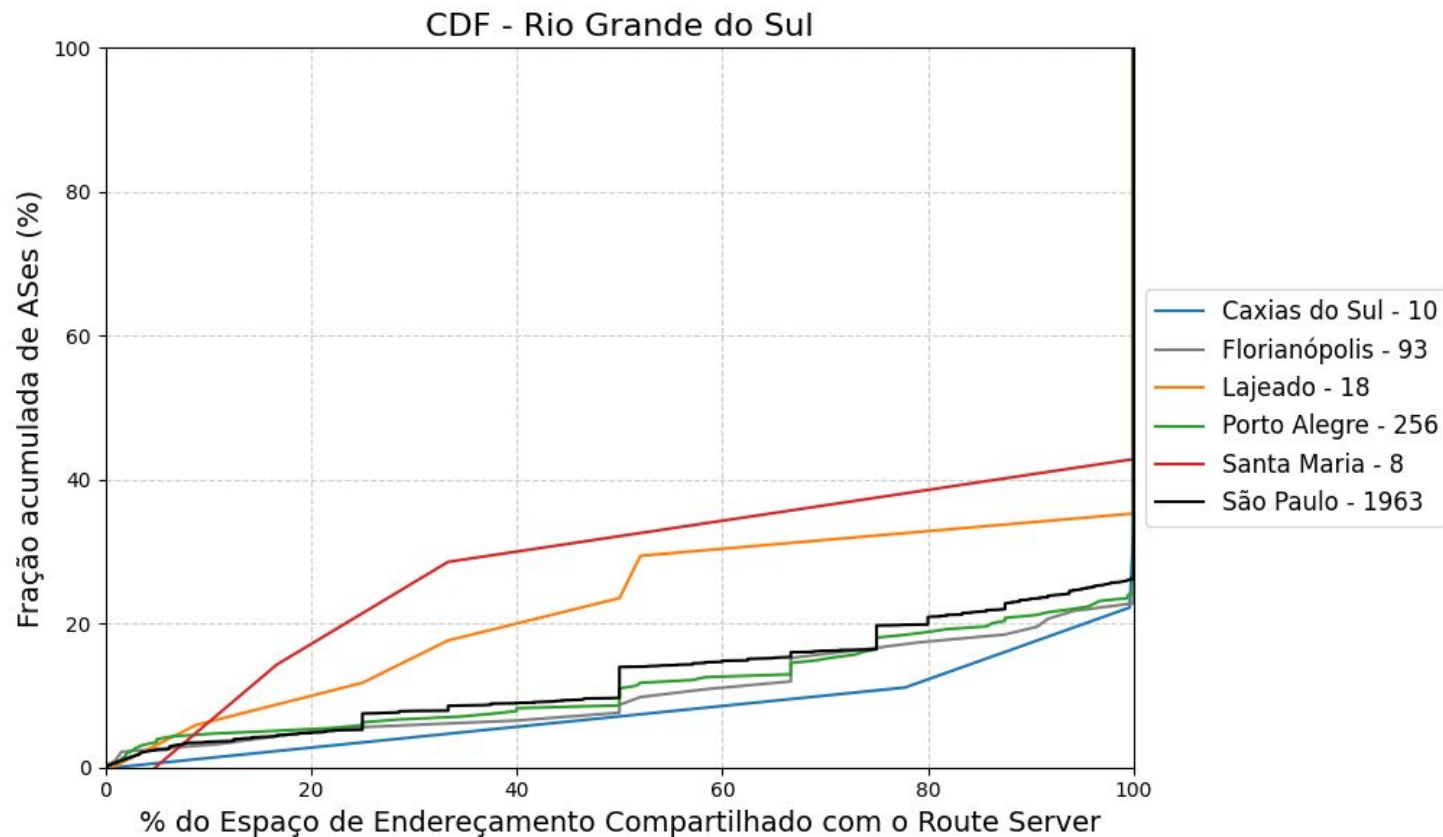


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



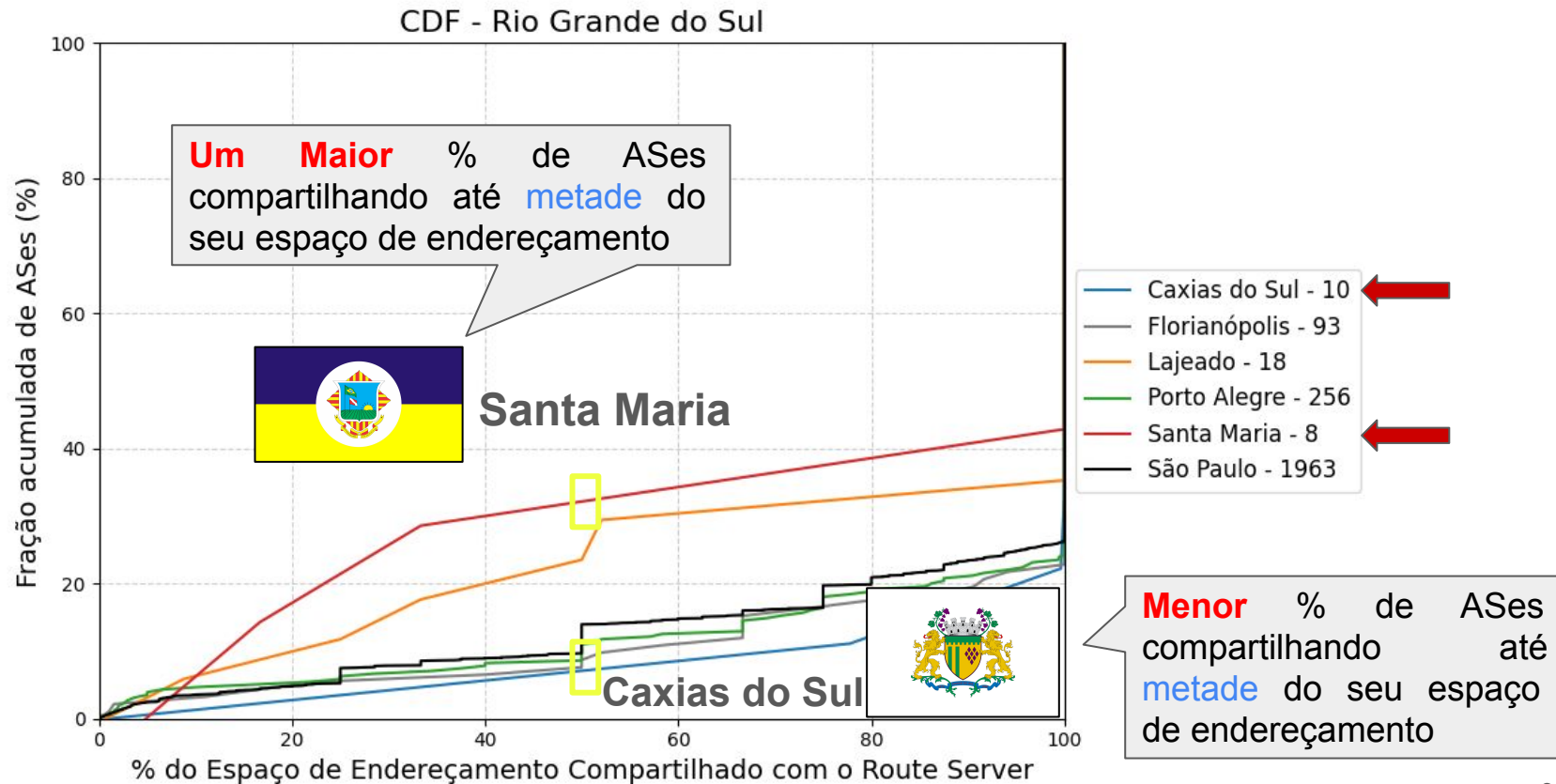


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



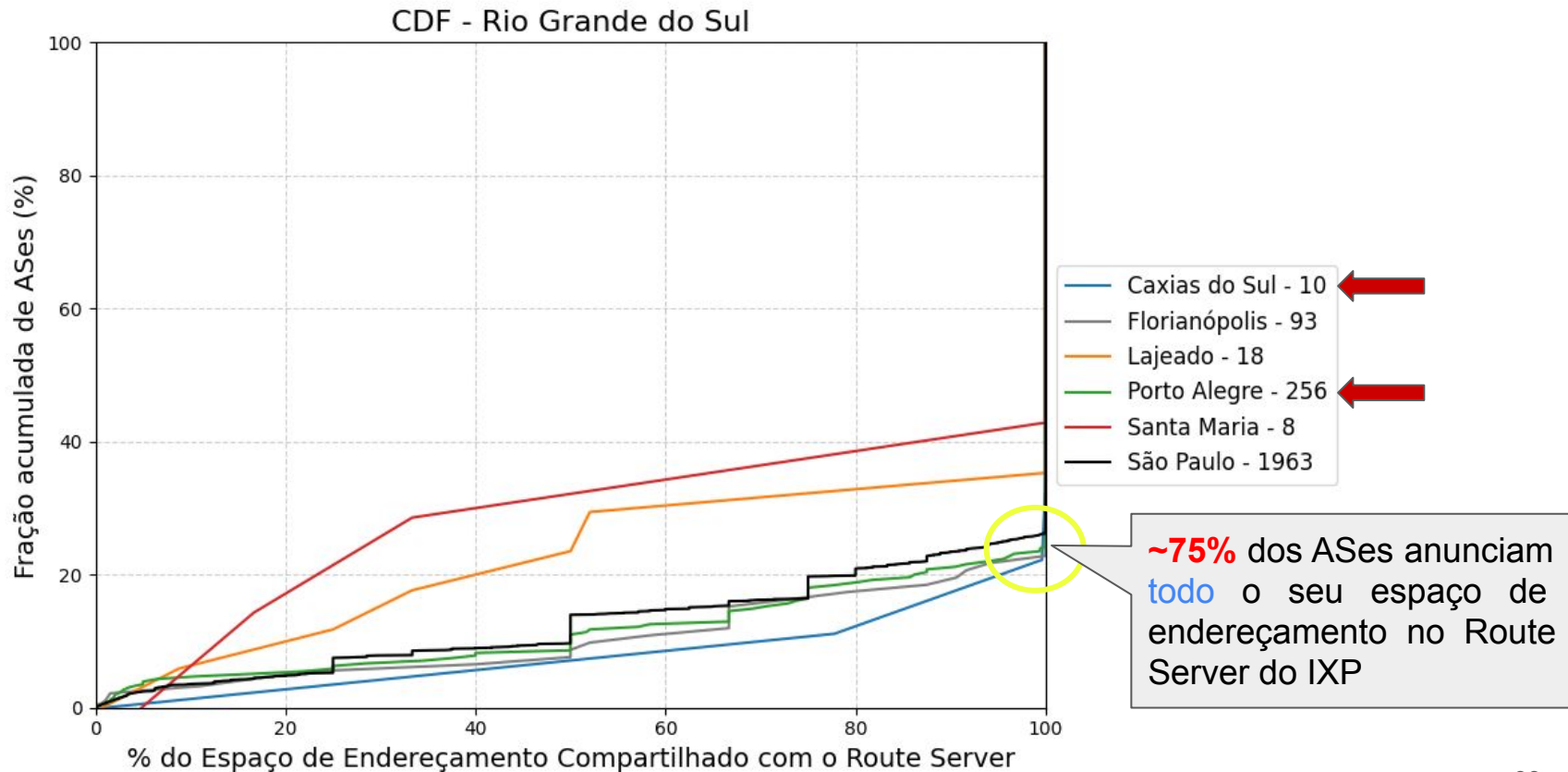


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



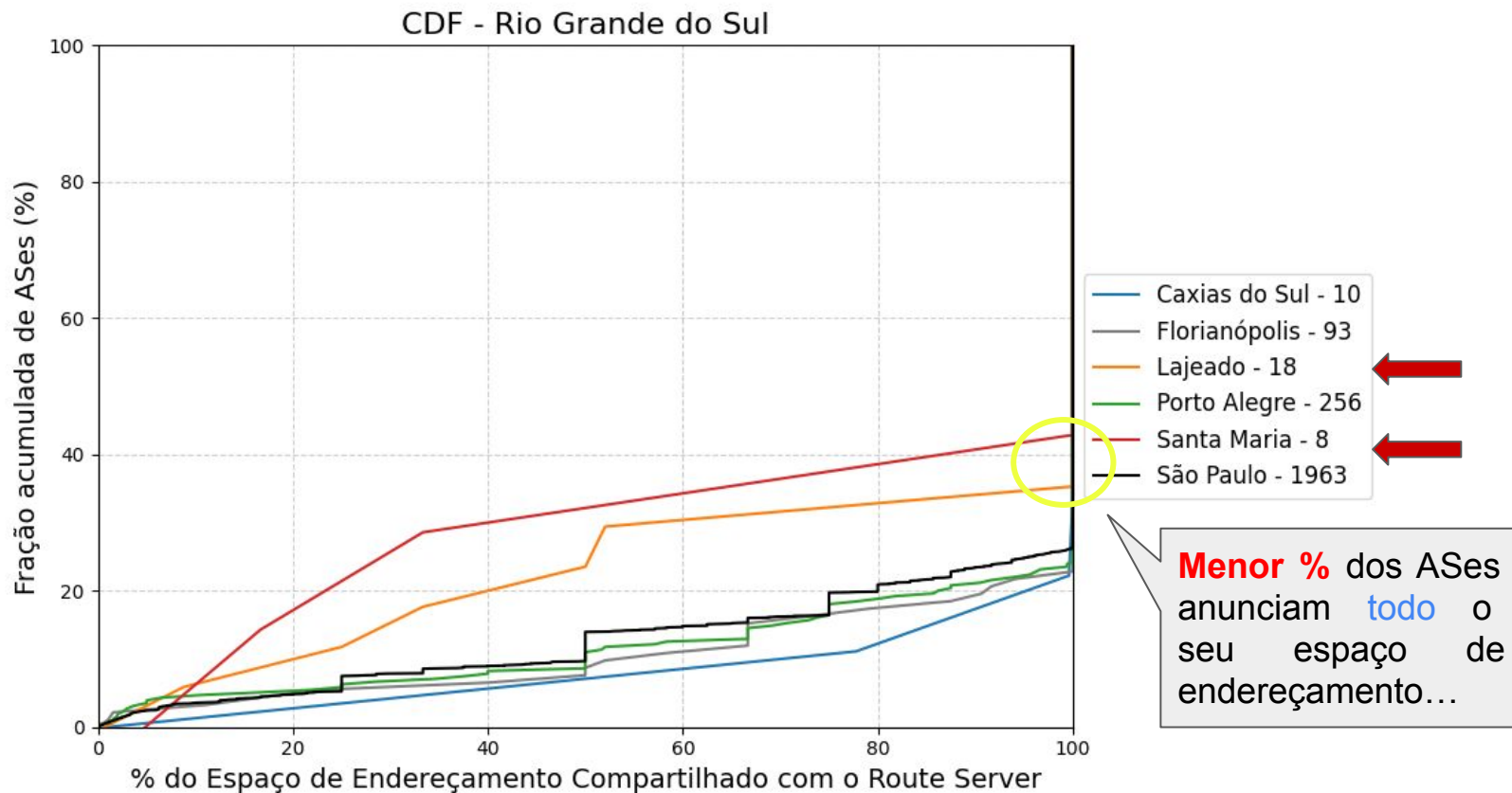


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



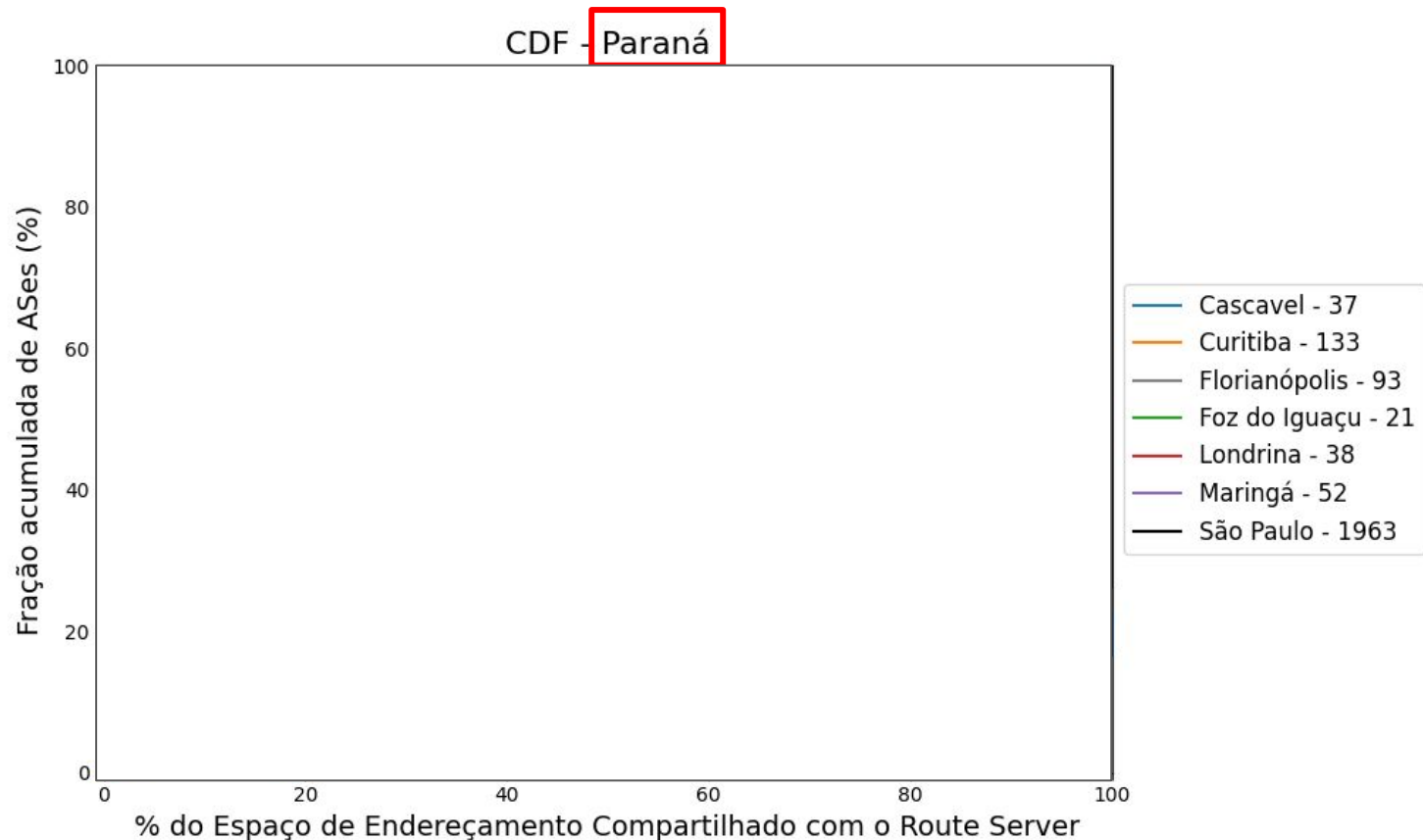


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



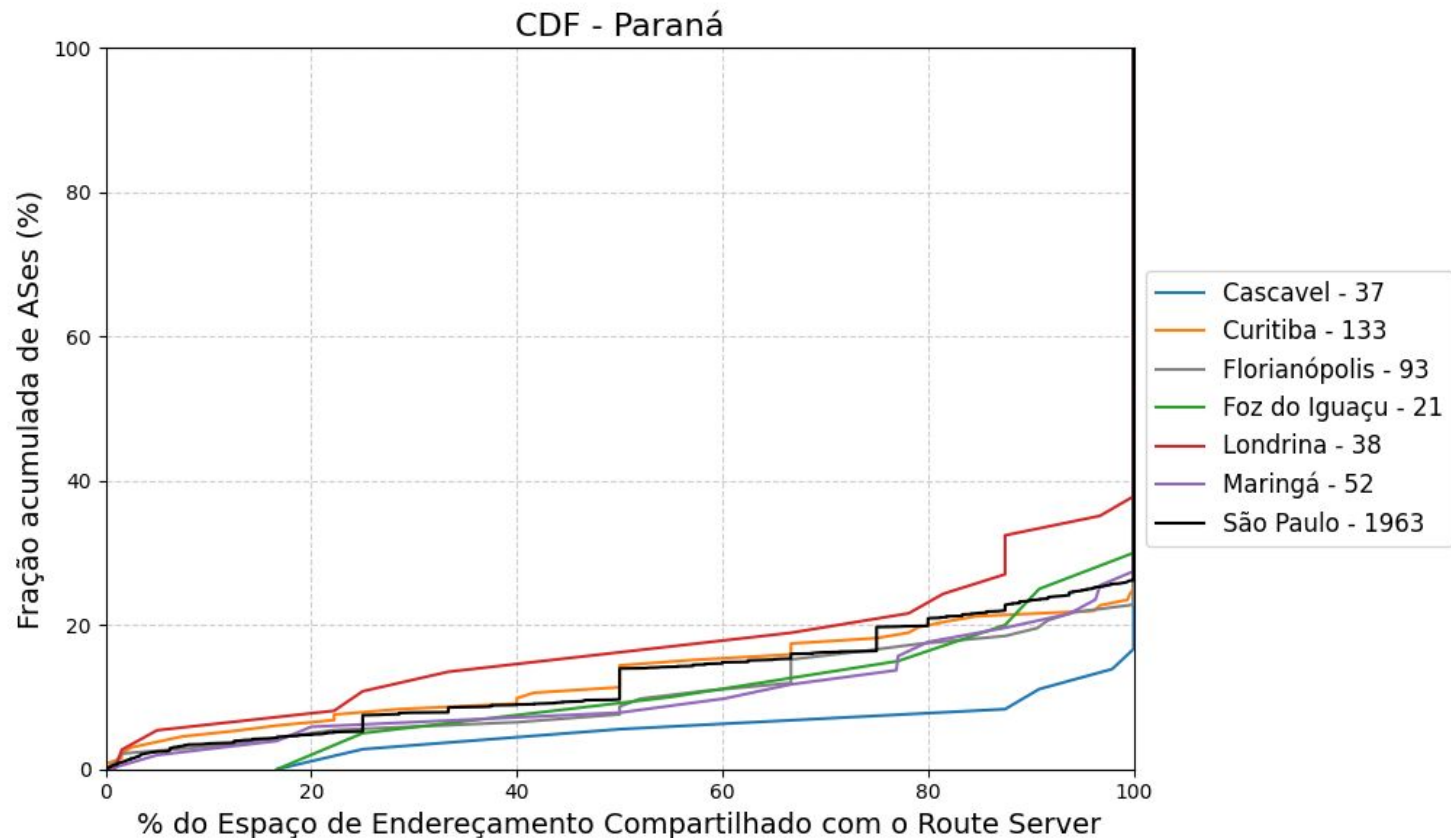


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



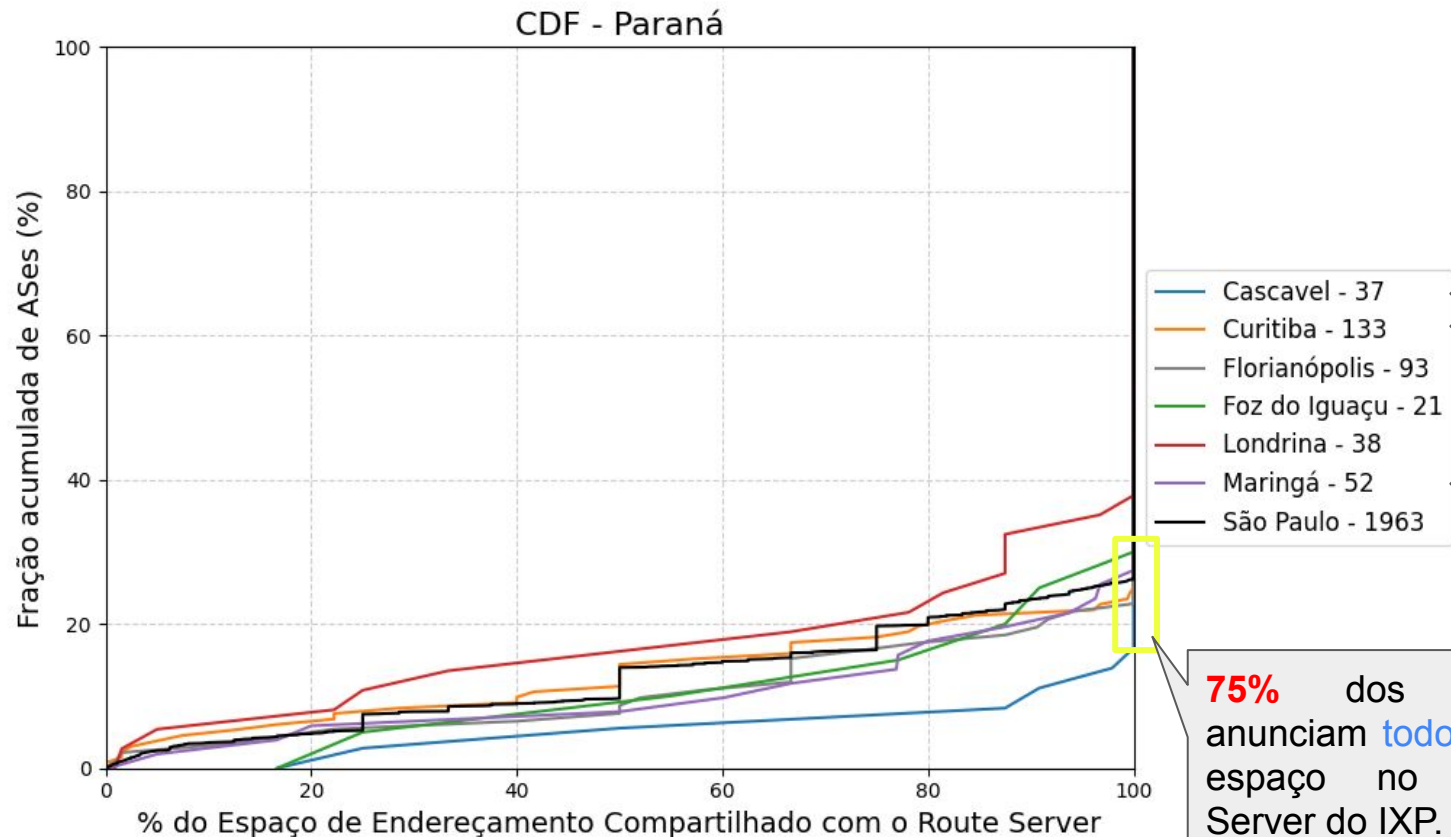


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



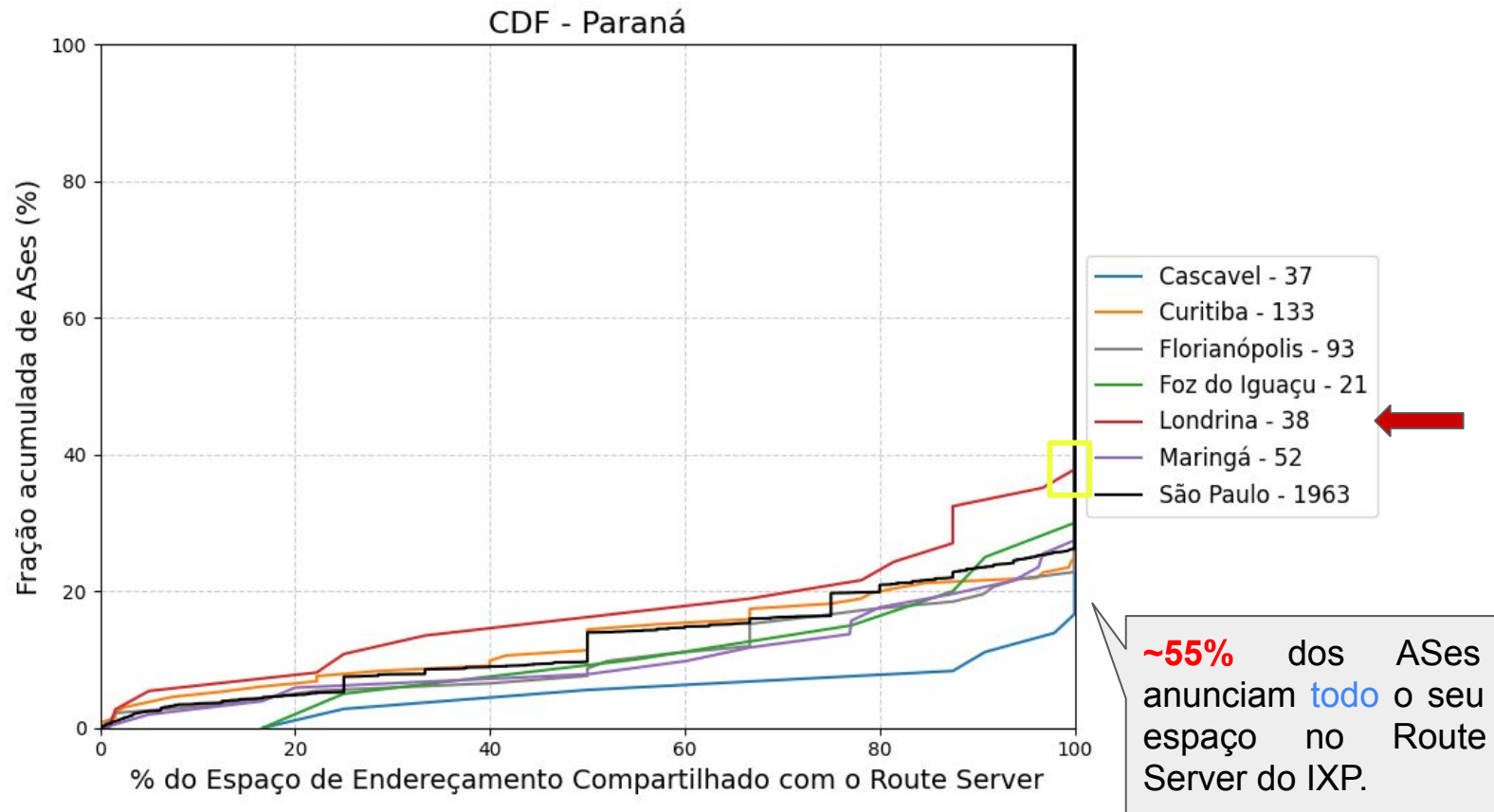


# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4





# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4





Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Há conflitos de anúncios nos IXPs?



Quando um AS está conectado a múltiplos IXPs, ele indica preferência por algum em particular?



A preferência do AS faz sentido do ponto de vista geográfico?



# Anúncios Conflitantes – Situação ( $\frac{1}{2}$ )...



Um anúncio conflitante ocorre quando um AS membro tem seu prefixo também anunciado por outro membro.



# Anúncios Conflitantes – Situação ( $\frac{1}{2}$ )...



## Mesmo prefixo

Um anúncio conflitante ocorre quando um AS membro tem seu prefixo também anunciado por outro membro.

Existem dois casos principais:

- **Mesmo prefixo** anunciado por ambos os ASes
- **Prefixo mais específico** anunciado por outro membro



# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...

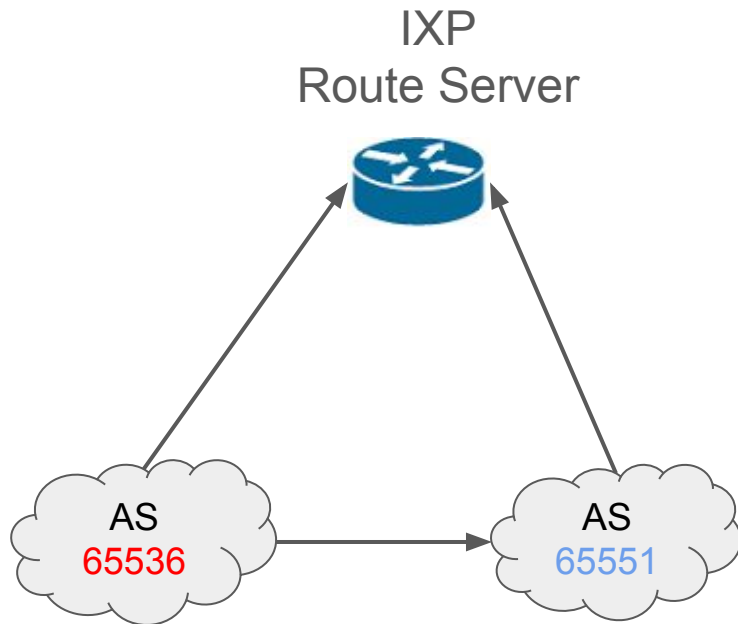


Um **anúncio conflitante** ocorre quando um **AS membro** tem seu **prefixo** também anunciado por **outro membro**.

Existem dois casos principais:

- **Mesmo prefixo** anunciado por ambos os ASes
- **Prefixo mais específico** anunciado por outro membro

## Mesmo prefixo





# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...

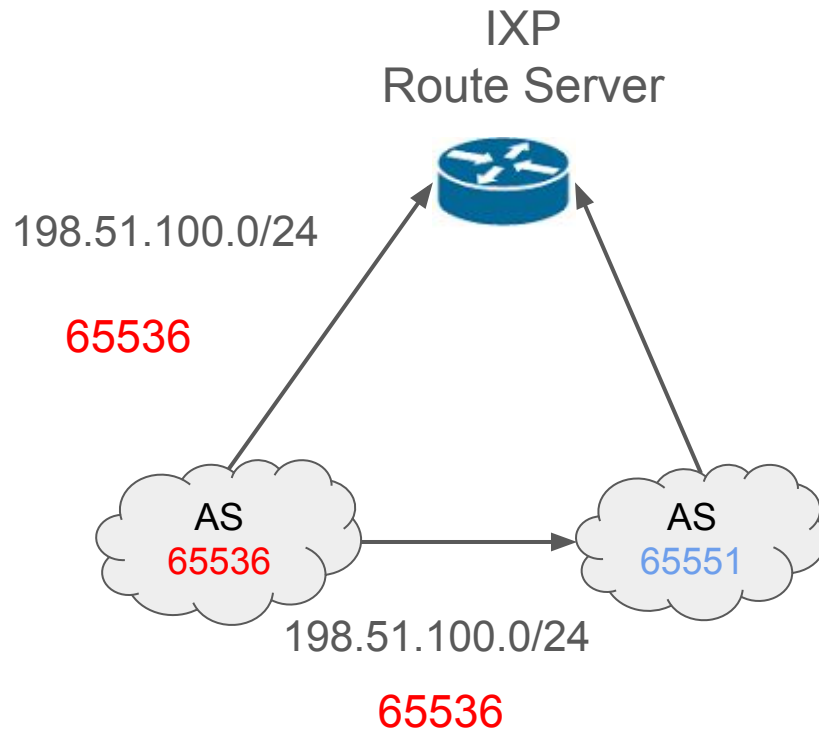


Um **anúncio conflitante** ocorre quando um **AS membro** tem seu **prefixo** também anunciado por **outro membro**.

Existem dois casos principais:

- **Mesmo prefixo** anunciado por ambos os ASes
- **Prefixo mais específico** anunciado por outro membro

## Mesmo prefixo





# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...

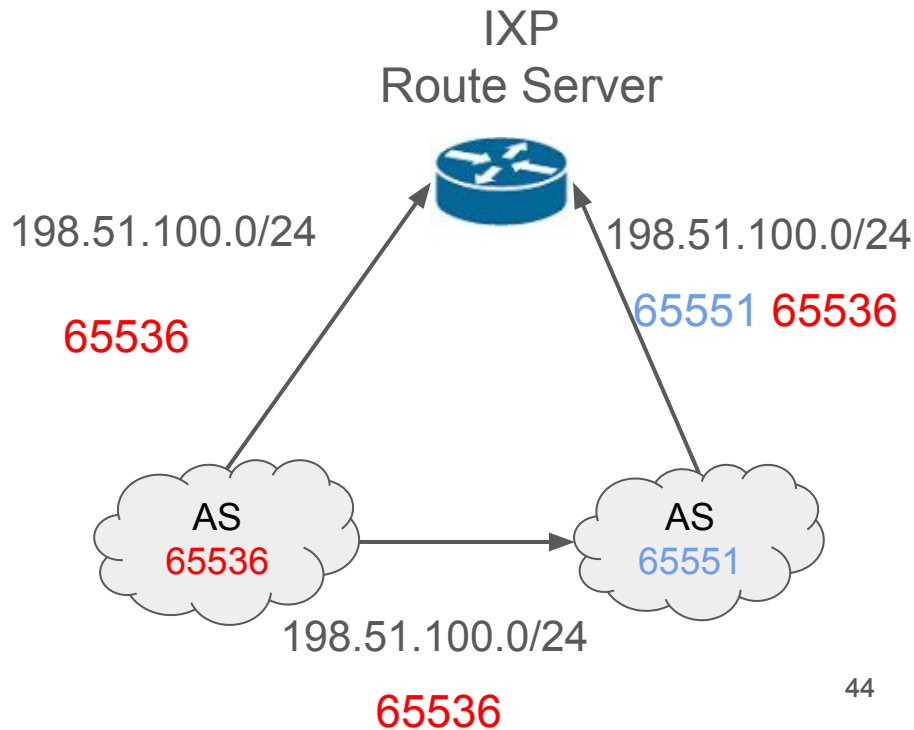


Um **anúncio conflitante** ocorre quando um **AS membro** tem seu **prefixo** também anunciado por **outro membro**.

Existem dois casos principais:

- **Mesmo prefixo** anunciado por ambos os ASes
- **Prefixo mais específico** anunciado por outro membro

## Mesmo prefixo





# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...

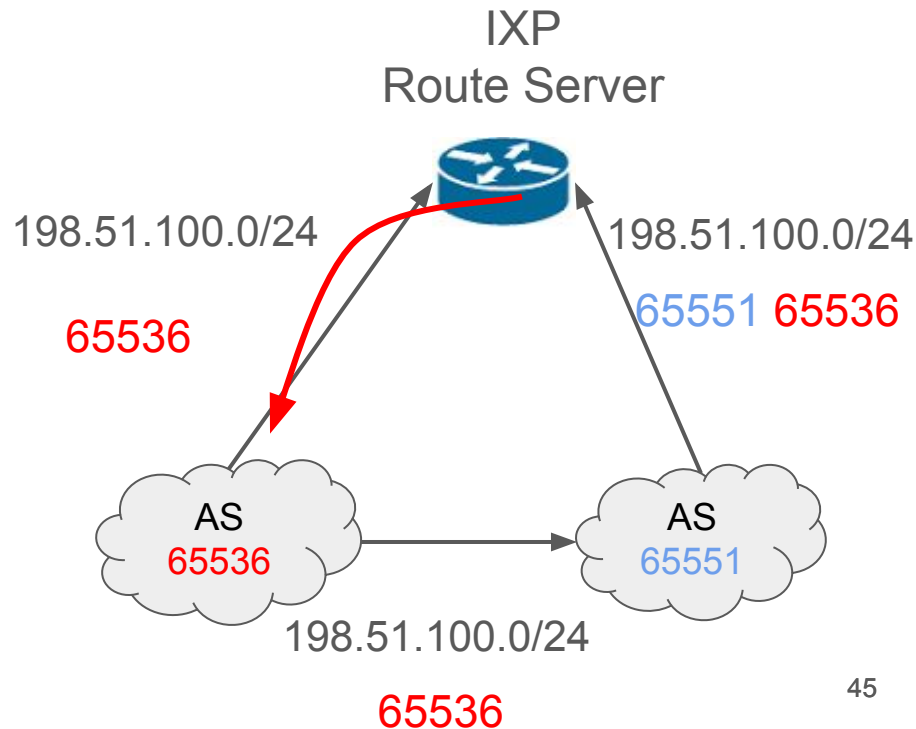


Um **anúncio conflitante** ocorre quando um **AS membro** tem seu **prefixo** também anunciado por **outro membro**.

Existem dois casos principais:

- **Mesmo prefixo** anunciado por ambos os ASes
- **Prefixo mais específico** anunciado por outro membro

## Mesmo prefixo

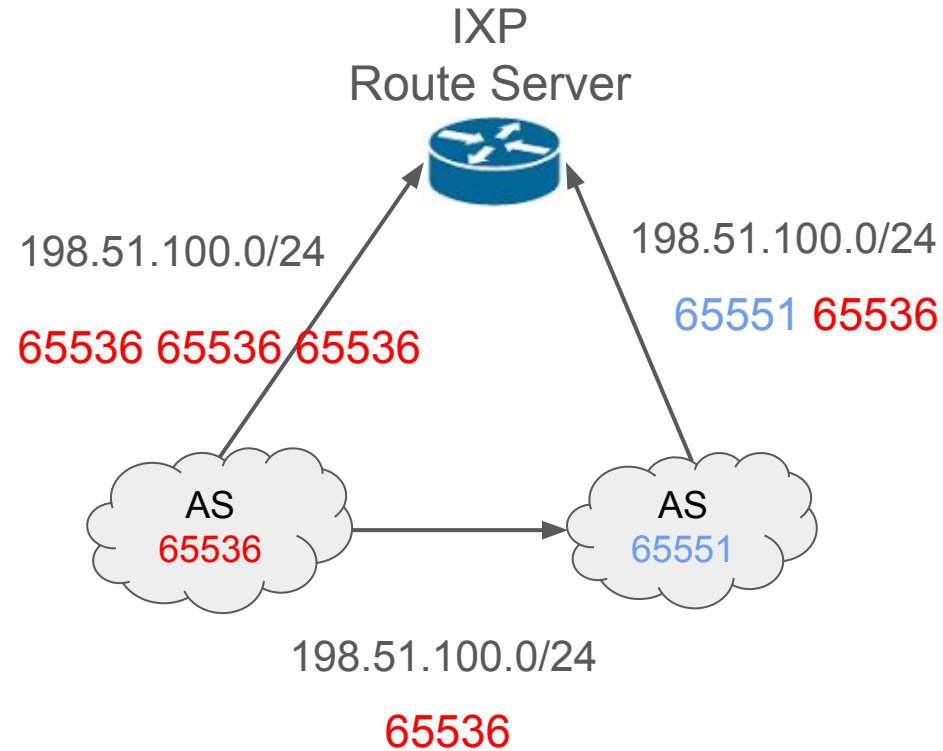




# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...



**Mesmo prefixo** com comportamento inesperado



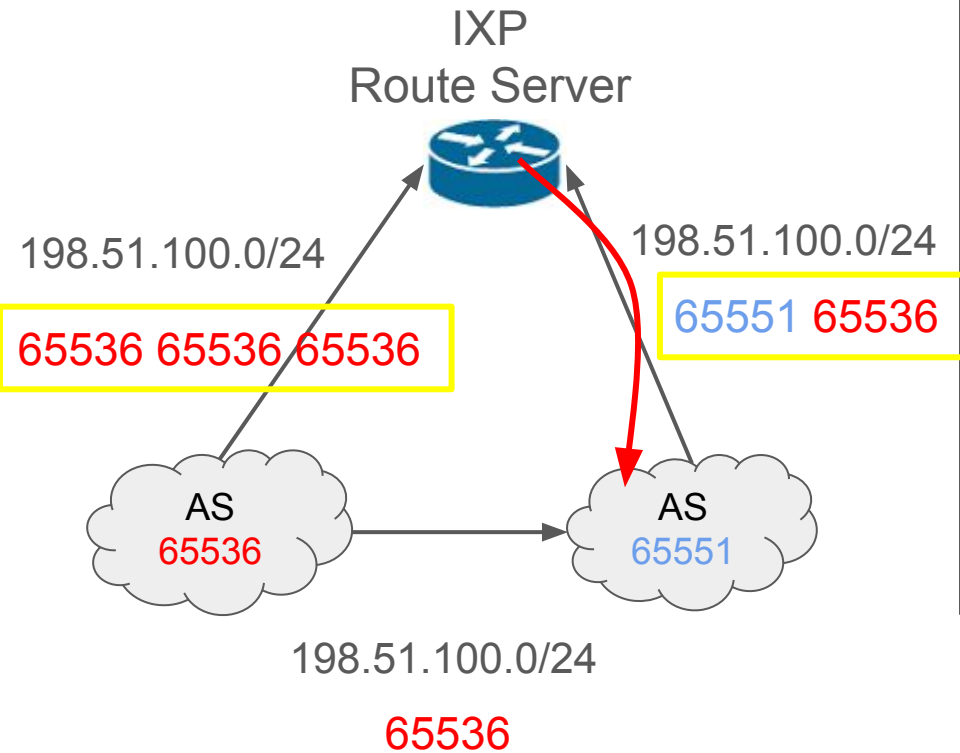


# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...



**Mesmo prefixo** com comportamento inesperado

**Prefixo mais específico**

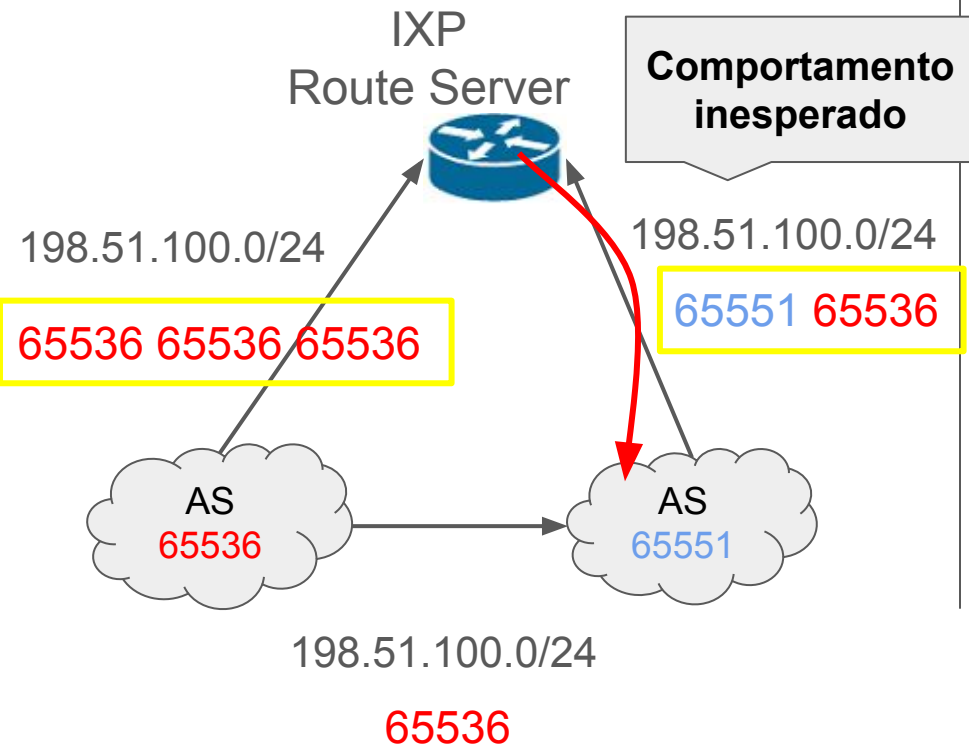




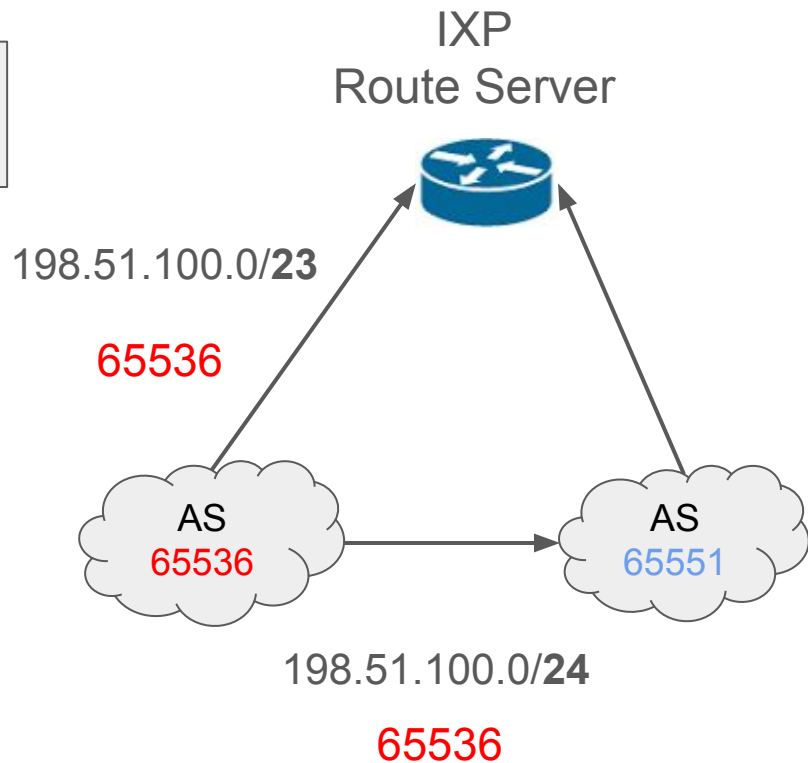
# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...



**Mesmo prefixo** com comportamento inesperado



**Prefixo mais específico**

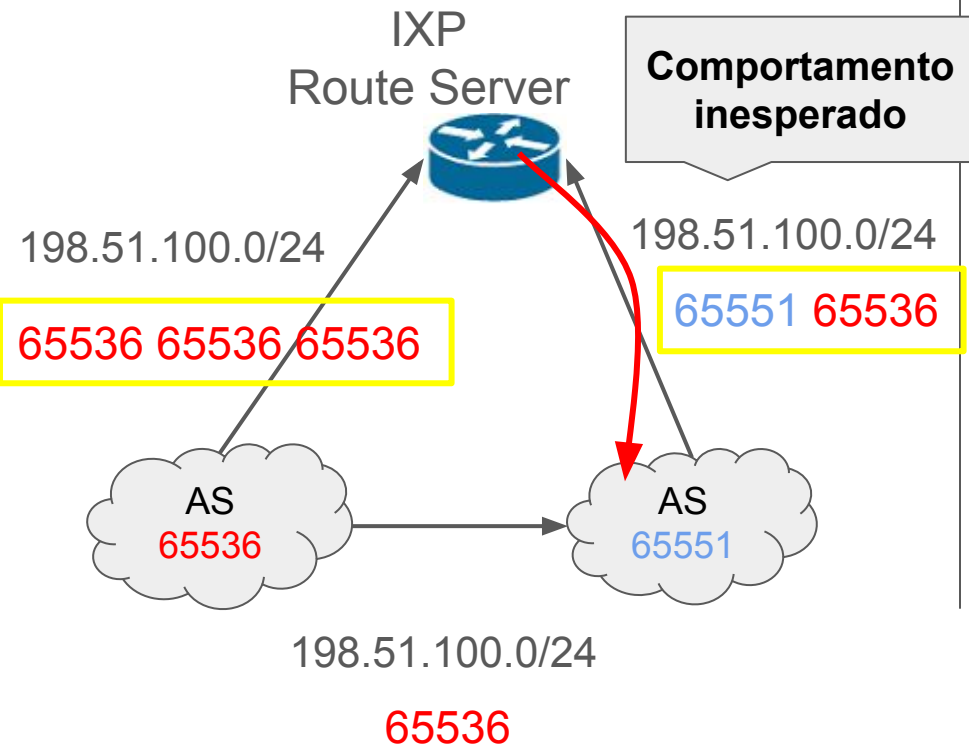




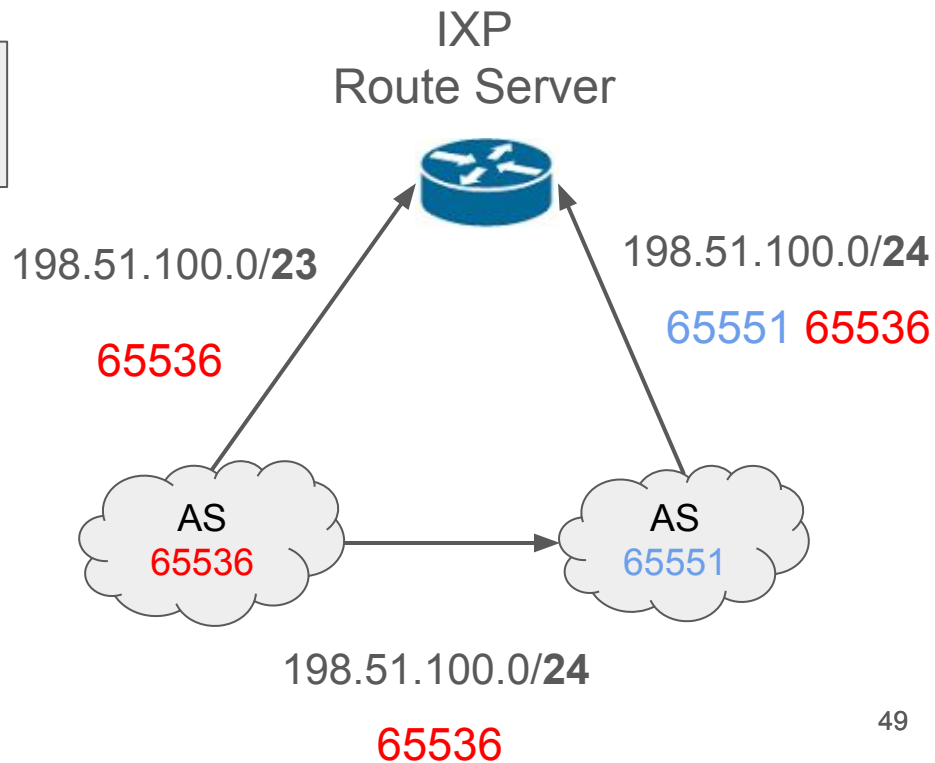
# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...



Mesmo prefixo com comportamento inesperado



Prefixo mais específico

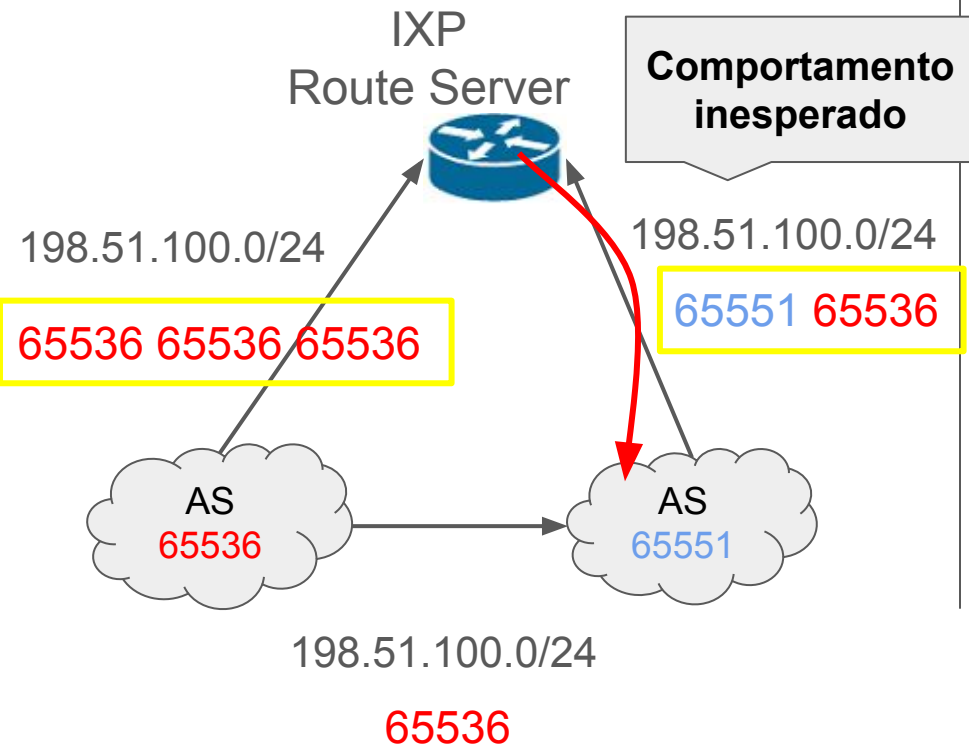




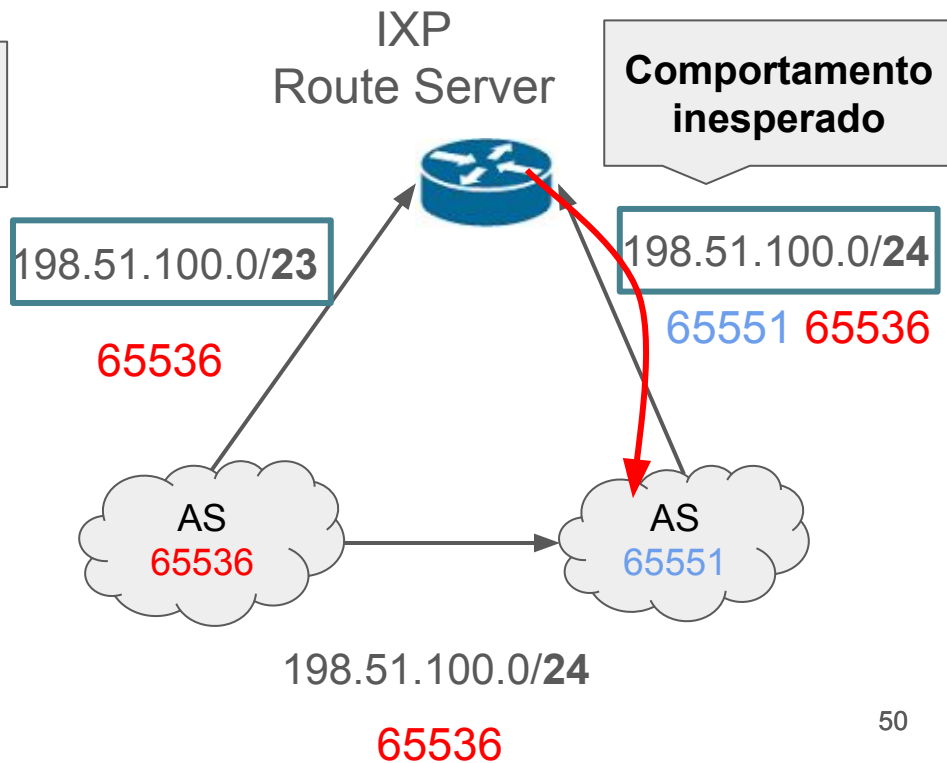
# Anúncios Conflitantes – Situação (1/2)...



Mesmo prefixo com comportamento inesperado



Prefixo mais específico





# Anúncios Conflitantes – IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com anúncios sobrepostos	# ASes com <b>comportamento inesperado</b>



# Anúncios Conflitantes – IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com anúncios sobrepostos	# ASes com comportamento inesperado
São Paulo	1963	<div>Não consideramos anúncios de ASes siblings como anúncios conflitantes</div>	
Porto Alegre	256		
Curitiba	133		
Florianópolis	93		
Maringá	52		
Londrina	38		
Cascavel	37		
Foz do Iguaçu	21		
Lajeado	19		



# Anúncios Conflitantes – IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com anúncios sobrepostos	# ASes com <b>comportamento inesperado</b>
São Paulo	1963	437 (22.26%)	
Porto Alegre	256	47 (18.35%)	
Curitiba	133	28 (21.05%)	
Florianópolis	93	15 (16.12%)	
Maringá	52	7 (13.46%)	
Londrina	38	7 (18.42%)	
Cascavel	37	3 (8.1%)	
Foz do Iguaçu	21	4 (19.0%)	
Lajeado	19	7 (36.84%)	



# Anúncios Conflitantes – IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com anúncios sobrepostos	# ASes com <b>comportamento inesperado</b>
São Paulo	1963	437 (22.26%)	76
Porto Alegre	256	47 (18.35%)	2
Curitiba	133	28 (21.05%)	2
Florianópolis	93	15 (16.12%)	0
Maringá	52	7 (13.46%)	0
Londrina	38	7 (18.42%)	1
Cascavel	37	3 (8.1%)	0
Foz do Iguaçu	21	4 (19.0%)	0
Lajeado	19	7 (36.84%)	0



# Anúncios Conflitantes – IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com anúncios sobrepostos	# ASes com <b>comportamento inesperado</b>
São Paulo	1963	437 (22.26%)	76
Porto Alegre	256	47 (18.35%)	2
Curitiba	133	28 (21.05%)	2
Florianópolis	93	15 (16.12%)	0
Maringá	52	7 (13.46%)	0
Londrina	38	7 (18.42%)	1
Cascavel	37	3 (8.1%)	0
Foz do Iguaçu	21	4 (19.0%)	0
Lajeado	19	7 (36.84%)	0



# Anúncios Conflitantes – Situação (2/2)...



## Anúncio Indireto do Prefixo

Também observamos cenários em que um **AS membro não anuncia** um de seus próprios prefixos no Route Server, mas **outro membro anuncia** esse prefixo dentro do IXP.

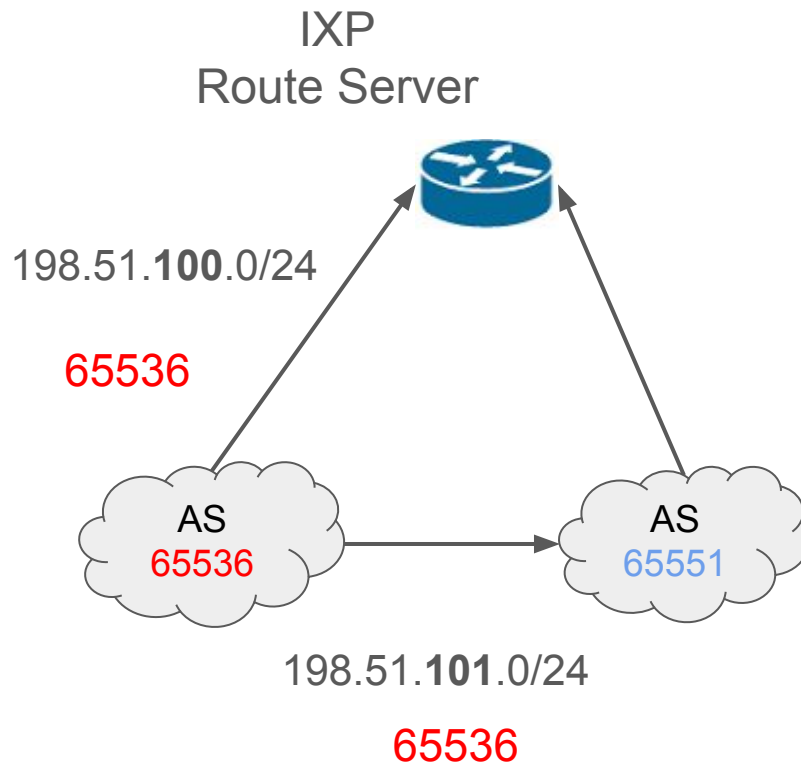


# Anúncios Conflitantes – Situação (2/2)...



Também observamos cenários em que um **AS membro não anuncia** um de seus próprios prefixos no Route Server, mas **outro membro anuncia** esse prefixo dentro do IXP.

## Anúncio Indireto do Prefixo



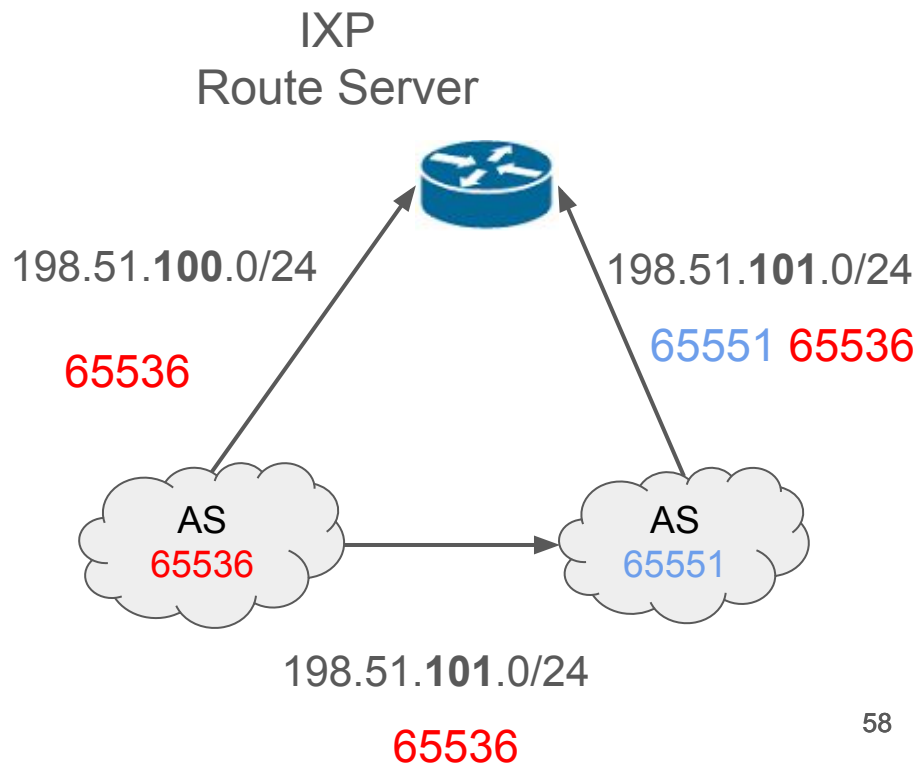


# Anúncios Conflitantes – Situação (2/2)...



Também observamos cenários em que um **AS membro não anuncia** um de seus próprios prefixos no Route Server, mas **outro membro anuncia** esse prefixo dentro do IXP.

## Anúncio Indireto do Prefixo



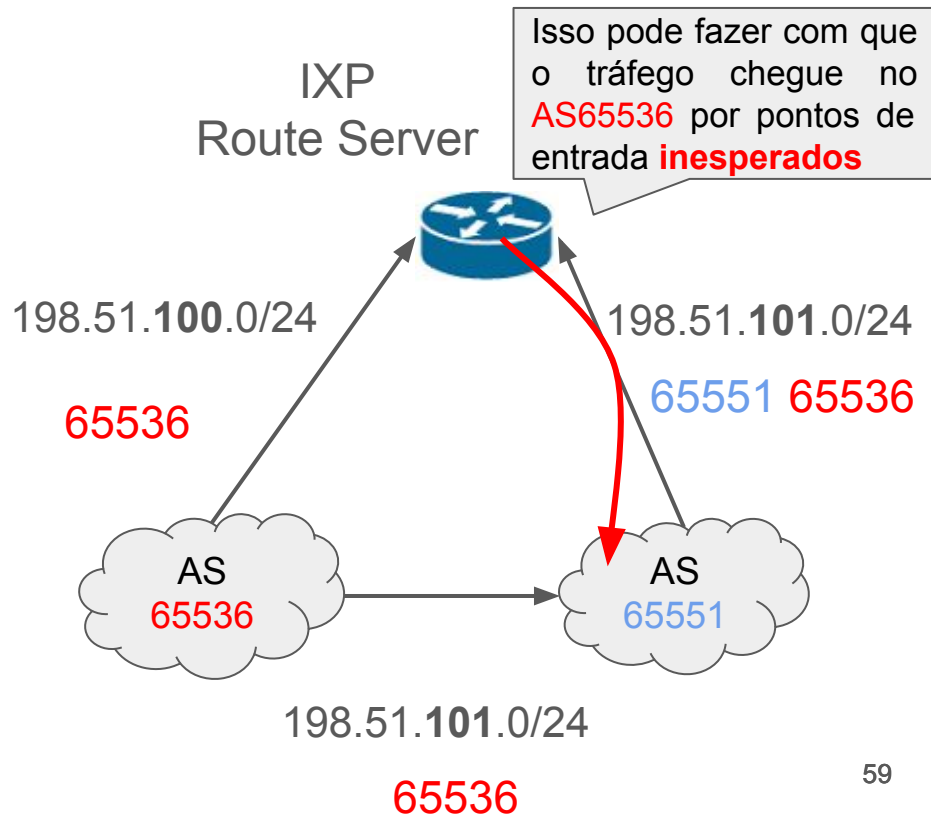


# Anúncios Conflitantes – Situação (2/2)...



Também observamos cenários em que um **AS membro não anuncia** um de seus próprios prefixos no Route Server, mas **outro membro anuncia** esse prefixo dentro do IXP.

## Anúncio Indireto do Prefixo





# Anúncios Conflitantes – Anúncio Indireto do Prefixo IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com rotas indiretas



# Anúncios Conflitantes – Anúncio Indireto do Prefixo IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com rotas indiretas
São Paulo	1963	
Porto Alegre	256	
Curitiba	133	
Florianópolis	93	
Maringá	52	
Londrina	38	
Cascavel	37	
Foz do Iguaçu	21	
Lajeado	19	



# Anúncios Conflitantes – Anúncio Indireto do Prefixo IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com rotas indiretas
São Paulo	1963	398 (20.27%)
Porto Alegre	256	35 (13.67%)
Curitiba	133	23 (17.29%)
Florianópolis	93	10 (10.75%)
Maringá	52	5 (9.6%)
Londrina	38	4 (10.52%)
Cascavel	37	2 (5.4%)
Foz do Iguaçu	21	1 (4.76%)
Lajeado	19	3 (15.78%)



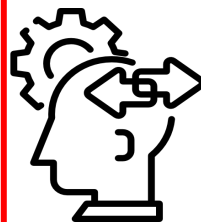
Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Há conflitos de anúncios nos IXPs?



Quando um AS está conectado a múltiplos IXPs, ele indica preferência por algum em particular?



A preferência do AS faz sentido do ponto de vista geográfico?



# ASes conectados a múltiplos IXPs? – IPv4



Combinação IXP	# ASes IXP A	# ASes IXP B	# ASes Sobrepostos
(Cascavel, Curitiba)			
(Cascavel, Foz do Iguaçu)			
(Cascavel, Maringá)			
(Caxias do Sul, Porto Alegre)			
(Curitiba, Florianópolis)			
(Curitiba, Foz do Iguaçu)			
(Curitiba, Londrina)			
(Curitiba, Maringá)			
(Curitiba, Porto Alegre)			
(Florianópolis, Londrina)			
(Florianópolis, Maringá)			
(Florianópolis, Porto Alegre)			
(Foz do Iguaçu, Maringá)			
(Lajeado, Porto Alegre)			
(Londrina, Maringá)			
(Londrina, Porto Alegre)			



# ASes conectados a múltiplos IXPs? – IPv4



Combinação IXP	# ASes IXP A	# ASes IXP B	# ASes Sobrepostos
(Cascavel, Curitiba)	37	133	
(Cascavel, Foz do Iguaçu)	37	22	
(Cascavel, Maringá)	37	53	
(Caxias do Sul, Porto Alegre)	10	256	
(Curitiba, Florianópolis)	133	93	
(Curitiba, Foz do Iguaçu)	133	22	
(Curitiba, Londrina)	133	38	
(Curitiba, Maringá)	133	53	
(Curitiba, Porto Alegre)	133	256	
(Florianópolis, Londrina)	93	38	
(Florianópolis, Maringá)	93	53	
(Florianópolis, Porto Alegre)	93	256	
(Foz do Iguaçu, Maringá)	22	53	
(Lajeado, Porto Alegre)	19	256	
(Londrina, Maringá)	38	53	
(Londrina, Porto Alegre)	38	256	



# ASes conectados a múltiplos IXPs? – IPv4



Combinação IXP	# ASes IXP A	# ASes IXP B	# ASes Sobrepostos
(Cascavel, Curitiba)	37	133	17
(Cascavel, Foz do Iguaçu)	37	22	8
(Cascavel, Maringá)	37	53	9
(Caxias do Sul, Porto Alegre)	10	256	8
(Curitiba, Florianópolis)	133	93	39
(Curitiba, Foz do Iguaçu)	133	22	12
(Curitiba, Londrina)	133	38	21
(Curitiba, Maringá)	133	53	25
(Curitiba, Porto Alegre)	133	256	56
(Florianópolis, Londrina)	93	38	11
(Florianópolis, Maringá)	93	53	6
(Florianópolis, Porto Alegre)	93	256	60
(Foz do Iguaçu, Maringá)	22	53	7
(Lajeado, Porto Alegre)	19	256	11
(Londrina, Maringá)	38	53	18
(Londrina, Porto Alegre)	38	256	10



# ASes conectados a múltiplos IXPs? – IPv4



Combinação IXP	# ASes IXP A	# ASes IXP B	# ASes Sobrepostos
(Cascavel, Curitiba)	37	133	17
(Cascavel, Foz do Iguaçu)	37	22	8
(Cascavel, Maringá)	37	53	9
(Caxias do Sul, Porto Alegre)	10	256	8
(Curitiba, Florianópolis)	133	93	39
(Curitiba, Foz do Iguaçu)	133	22	12
(Curitiba, Londrina)	133	38	21
(Curitiba, Maringá)	133	53	25
(Curitiba, Porto Alegre)	133	256	56
(Florianópolis, Londrina)	93	38	11
(Florianópolis, Maringá)	93	53	6
(Florianópolis, Porto Alegre)	93	256	60
(Foz do Iguaçu, Maringá)	22	53	7
(Lajeado, Porto Alegre)	19	256	11
(Londrina, Maringá)	38	53	18
(Londrina, Porto Alegre)	38	256	10

**> 20 ASes**



# Classificação do Comportamento de Anúncio entre IXPs



**Como Determinamos a Preferência de um AS entre IXPs?**

- **Anúncio Seletivo:** Prefixos são anunciados em um IXP, mas não no outro.
- **Prefixos Mais Específicos:** Um prefixo mais específico é anunciado apenas em um dos IXPs.
- **AS Path Prepending:** O AS altera o comprimento do AS\_PATH para influenciar as decisões de roteamento.



# Classificação do **Comportamento de Anúncio** entre IXPs



 **Como Determinamos a Preferência de um AS entre IXPs?**

- **Anúncio Seletivo:** Prefixos são anunciados em um IXP, mas não no outro.
- **Prefixos Mais Específicos:** Um prefixo mais específico é anunciado apenas em um dos IXPs.
- **AS Path Prepending:** O AS altera o comprimento do AS\_PATH para influenciar as decisões de roteamento.

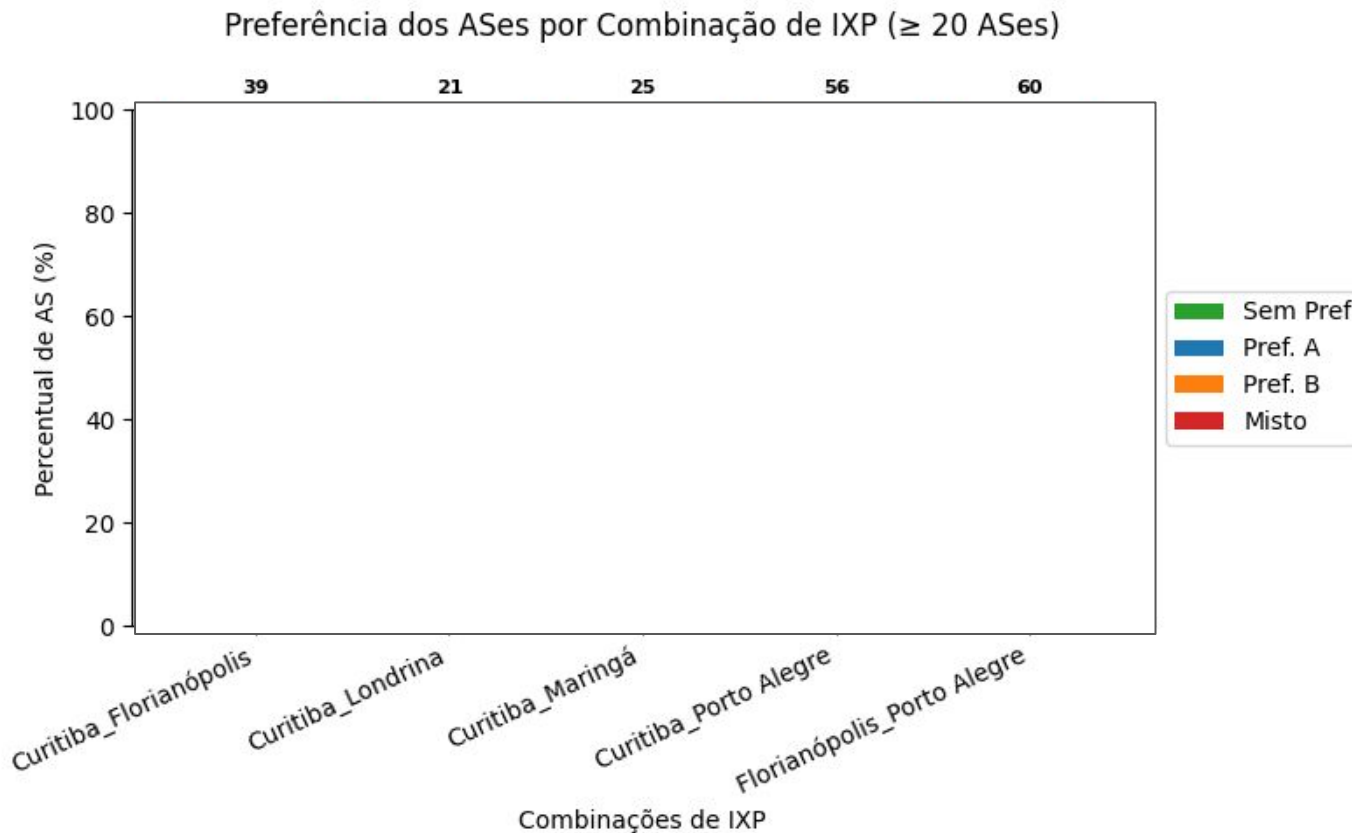


Para cada **AS conectado a ambos os IXPs**, avaliamos seu comportamento de anúncio:

Tipo	Descrição
<b>Sem Pref.</b>	O AS anuncia exatamente os mesmos prefixos em ambos os IXPs
<b>Pref. A</b>	Quando indica preferência, o AS prefere o IXP A
<b>Pref. B</b>	Quando indica preferência, o AS prefere o IXP B
<b>Misto</b>	Para alguns prefixos, o AS prefere o IXP A; para outros, prefere o IXP B

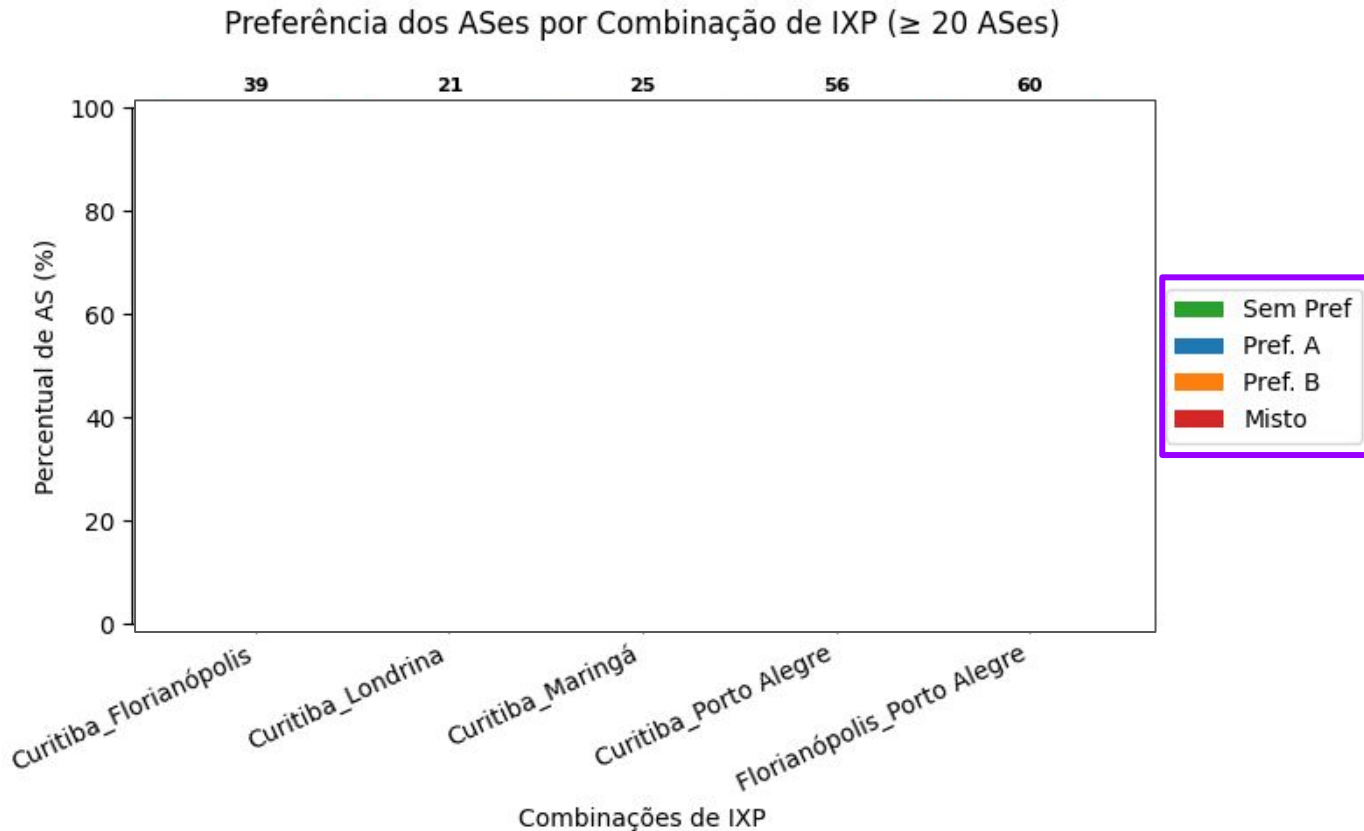


# Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



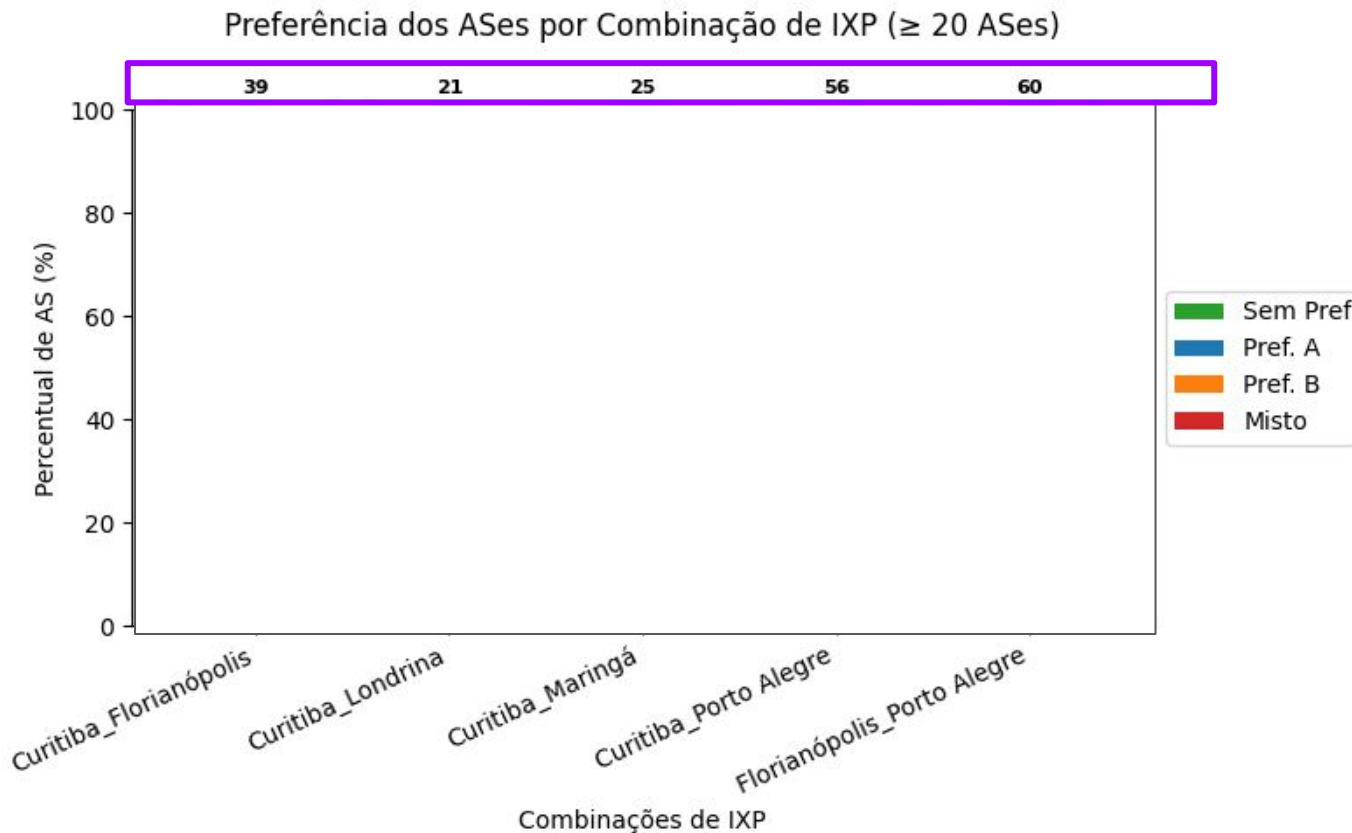


# Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



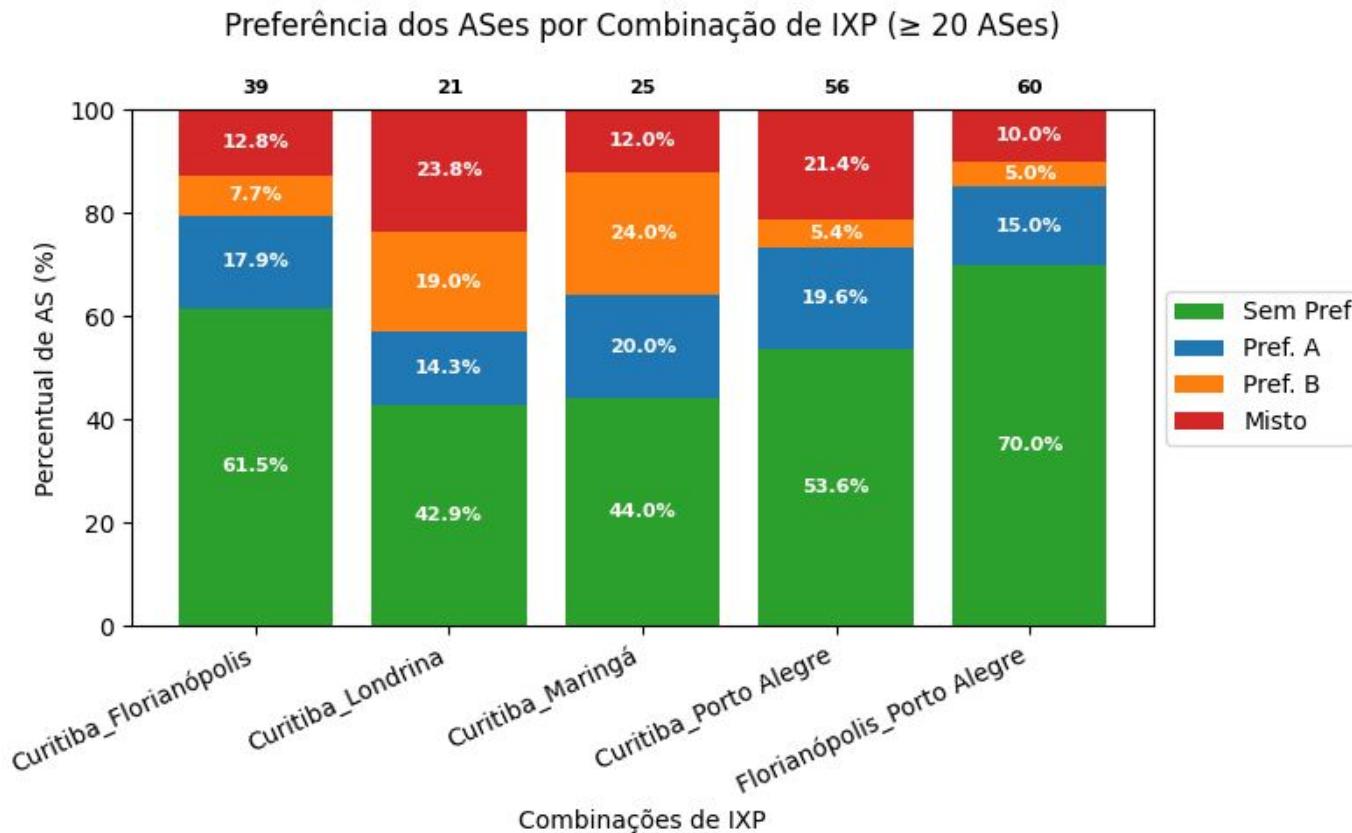


# Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



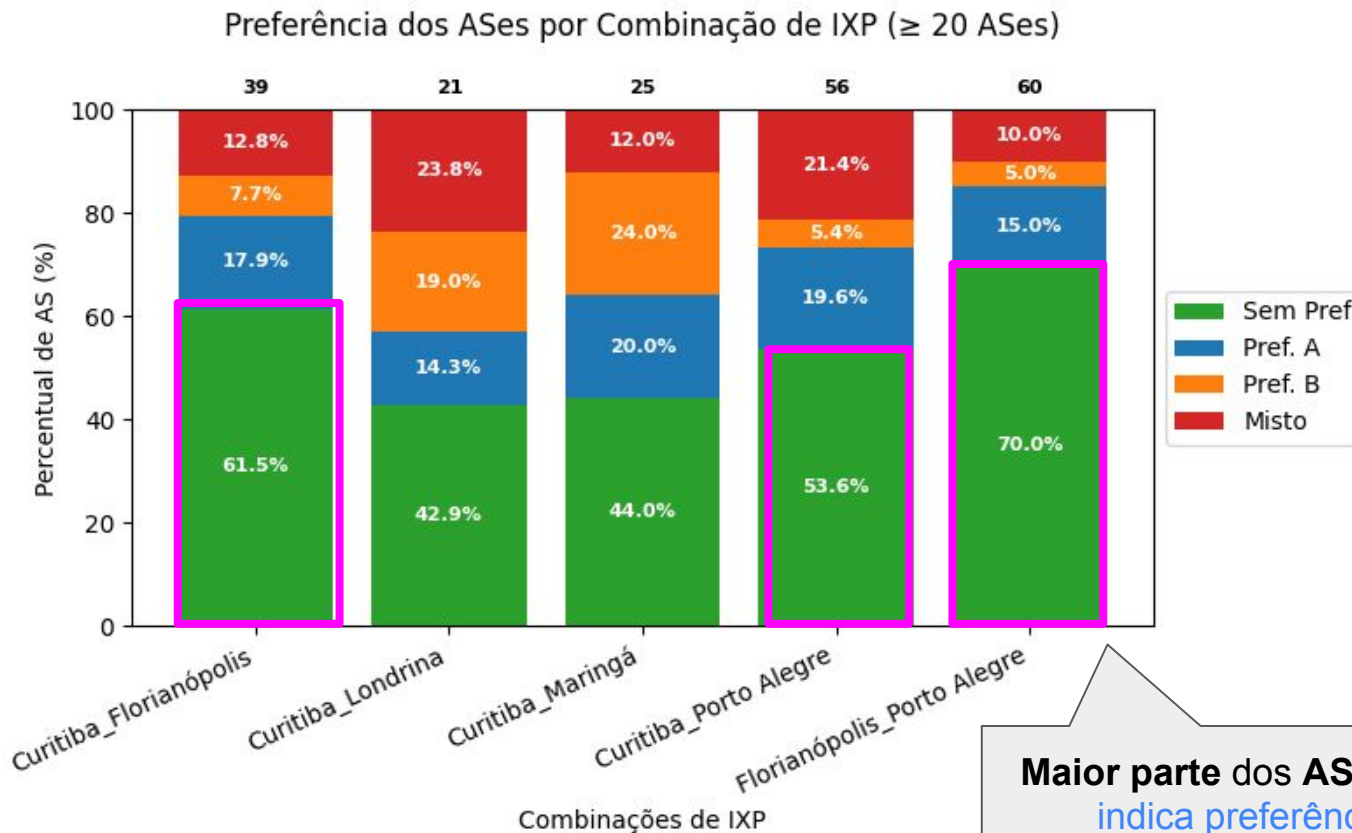


# Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4





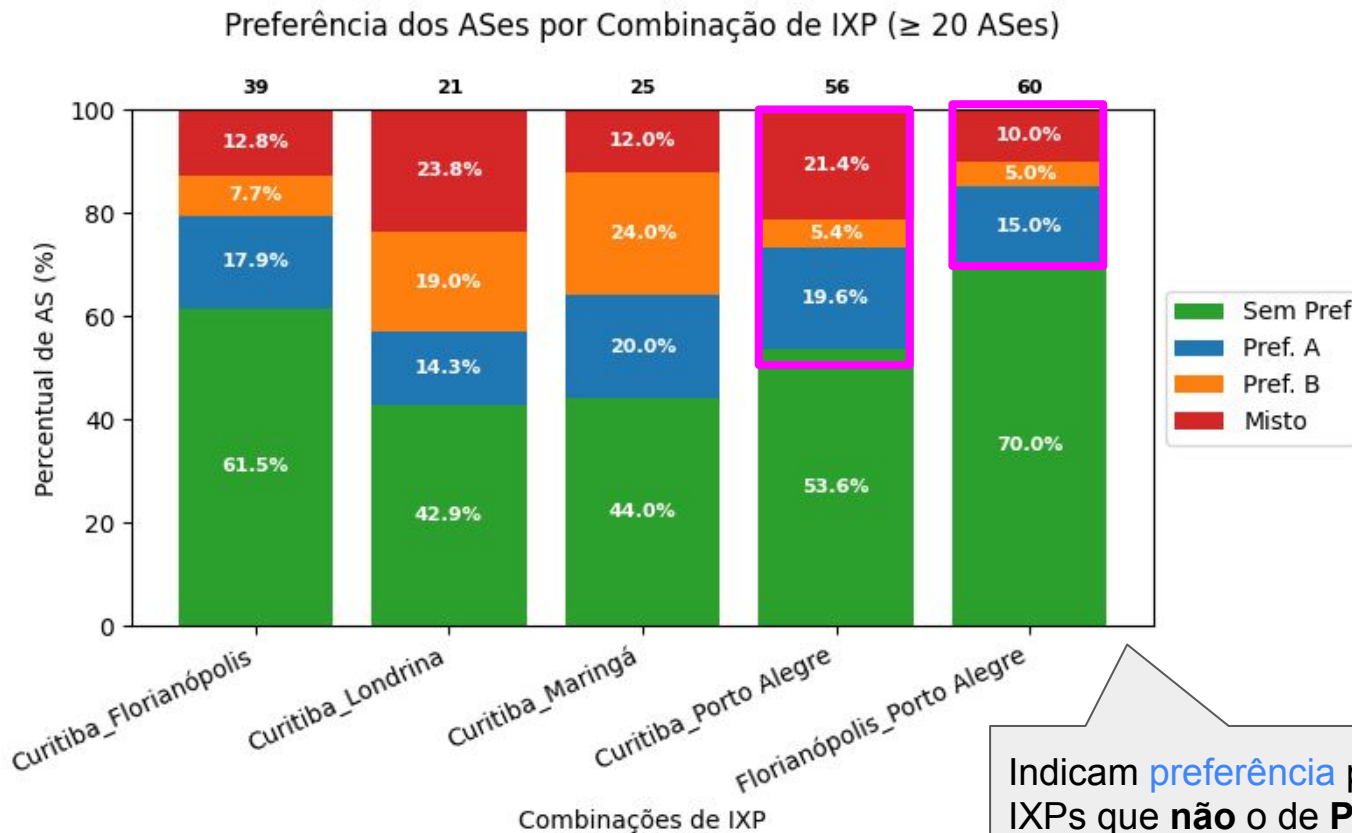
# Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



**Maior parte dos ASes não indica preferência**

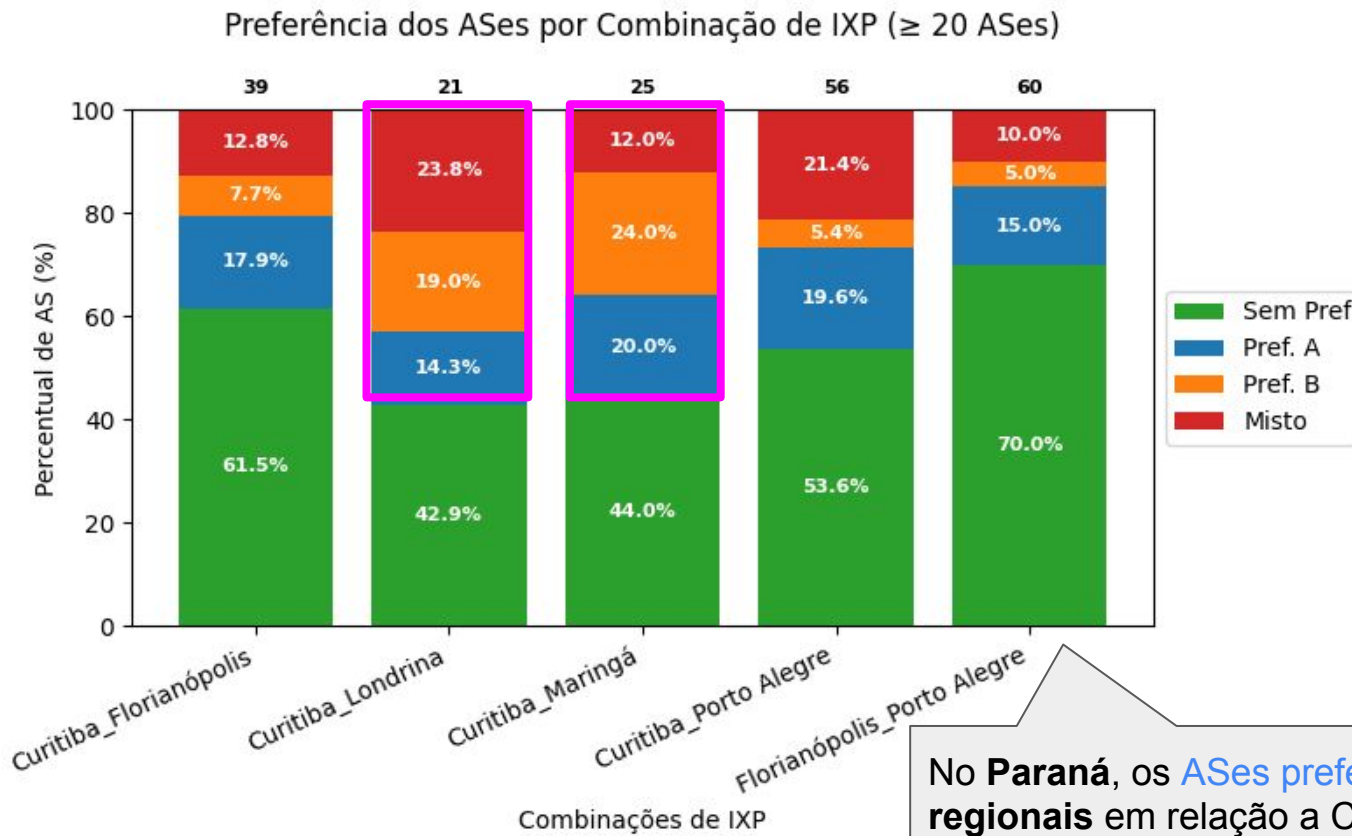


# Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4





# Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



No **Paraná**, os **ASes** **preferem** IXPs **regionais** em relação a Curitiba



Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



ASes anunciam todo o seu espaço de endereçamento nos IXPs?



Há conflitos de anúncios nos IXPs?



Quando um AS está conectado a múltiplos IXPs, ele indica preferência por algum em particular?



A preferência do AS faz sentido do ponto de vista geográfico?



Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...

**Sem Preferência**

**De Forma Geral...**





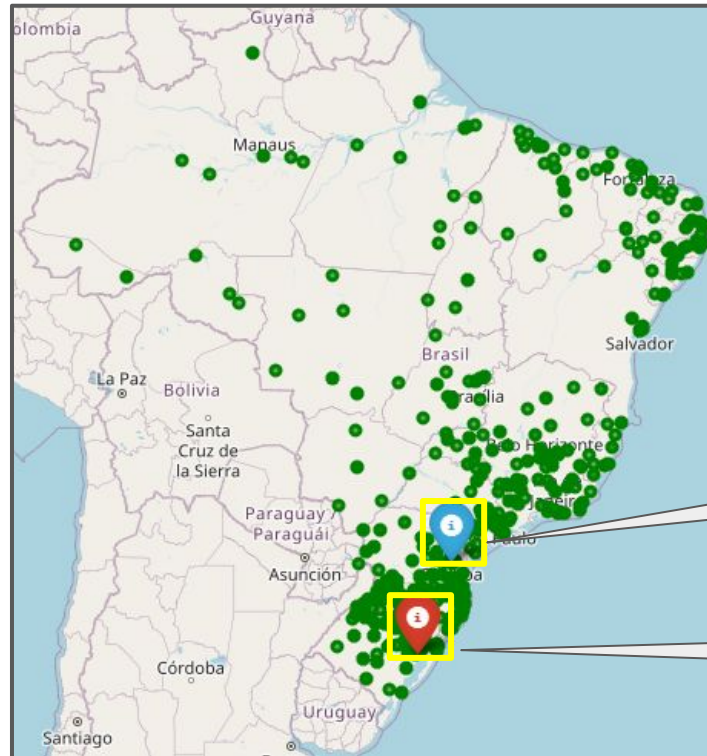
# Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...



## Sem Preferência

De Forma Geral...

/24 sem preferência



Curitiba

Porto Alegre



# Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...

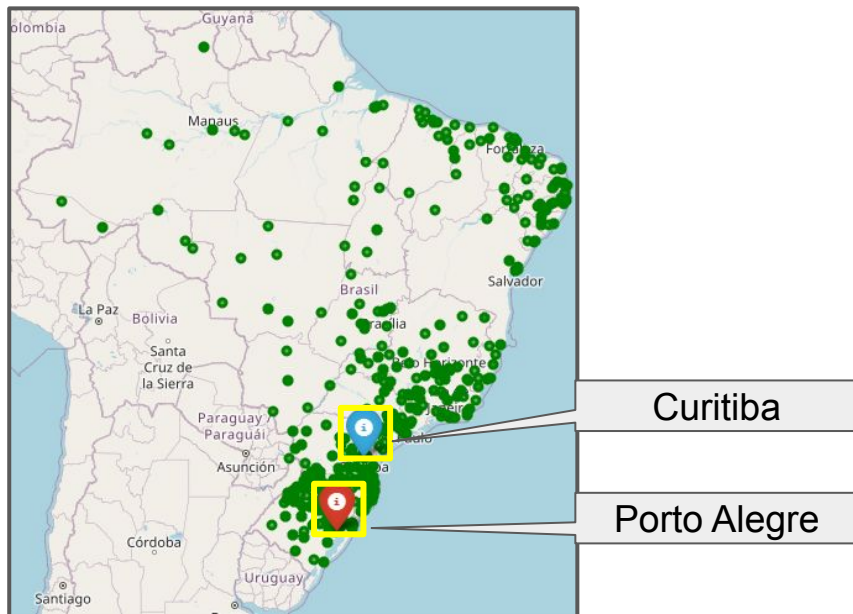


## Sem Preferência

### De Forma Geral...

- Existem 5.623 prefixos /24 geolocalizados **no Brasil** **sem preferência indicada**.
  - Dentre eles, observamos que **81,4%** estão **mais próximos** do IXP de **Curitiba**...

/24 sem preferência



Curitiba

Porto Alegre



# Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...

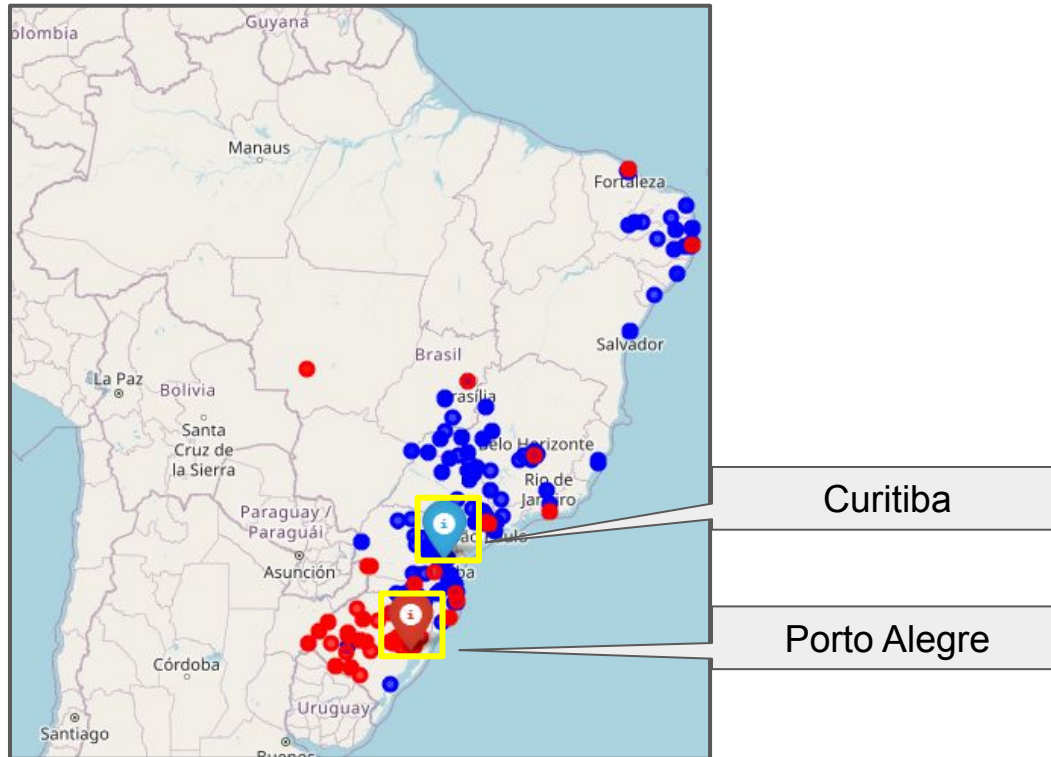


## Com Preferência

De Forma Geral...

/24 Com Preferência

-  Curitiba
-  Porto Alegre





# Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...

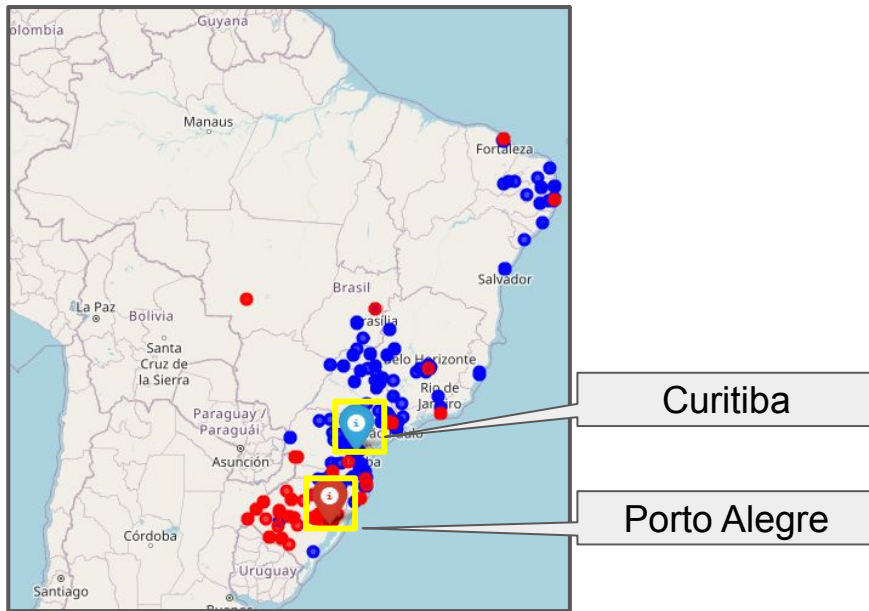


## Com Preferência

### De Forma Geral...

- Existem 2.291 prefixos /24 geolocalizados **no Brasil** com preferência indicada
  - 1.920** indicam preferência por Curitiba e, de fato, em sua maioria estão mais próximos do IXP.

### /24 Com Preferência





# Em resumo...



# Em resumo...



O comportamento de anúncio **varia conforme a região do IXP** - ASes nem sempre anunciam **todo o seu espaço de endereçamento**.



# Em resumo...



O comportamento de anúncio **varia conforme a região do IXP** - ASes nem sempre anunciam **todo o seu espaço de endereçamento**.



**Existem anúncios conflitantes** que exigem atenção para evitar efeitos de **roteamento indesejados**.



# Em resumo...



O comportamento de anúncio **varia conforme a região do IXP** - ASes nem sempre anunciam **todo o seu espaço de endereçamento**.



**Existem anúncios conflitantes** que exigem atenção para evitar efeitos de **roteamento indesejados**.



ASes conectados a **múltiplos IXPs** tendem a fazer **anúncios idênticos**, mas, quando há preferência, escolhem **um IXP em detrimento do outro**.



# Em resumo...



O comportamento de anúncio **varia conforme a região do IXP** - ASes nem sempre anunciam **todo o seu espaço de endereçamento**.



**Existem anúncios conflitantes** que exigem atenção para evitar efeitos de **roteamento indesejados**.



ASes conectados a **múltiplos IXPs** tendem a fazer **anúncios idênticos**, mas, quando há preferência, escolhem **um IXP em detrimento do outro**.



**A maior parte** dos /24 **sem preferência** indicada está mais **próxima** do IXP de **Curitiba...**



# Em resumo...

## Perguntas?

[jmfeolapereira@gmail.com](mailto:jmfeolapereira@gmail.com)



O comportamento de anúncio **varia conforme a região do IXP** - ASes nem sempre anunciam **todo o seu espaço de endereçamento**.



Existem **anúncios conflitantes** que exigem atenção para evitar efeitos de **roteamento indesejados**.



ASes conectados a **múltiplos IXPs** tendem a fazer **anúncios idênticos**, mas, quando há preferência, escolhem **um IXP em detrimento do outro**.



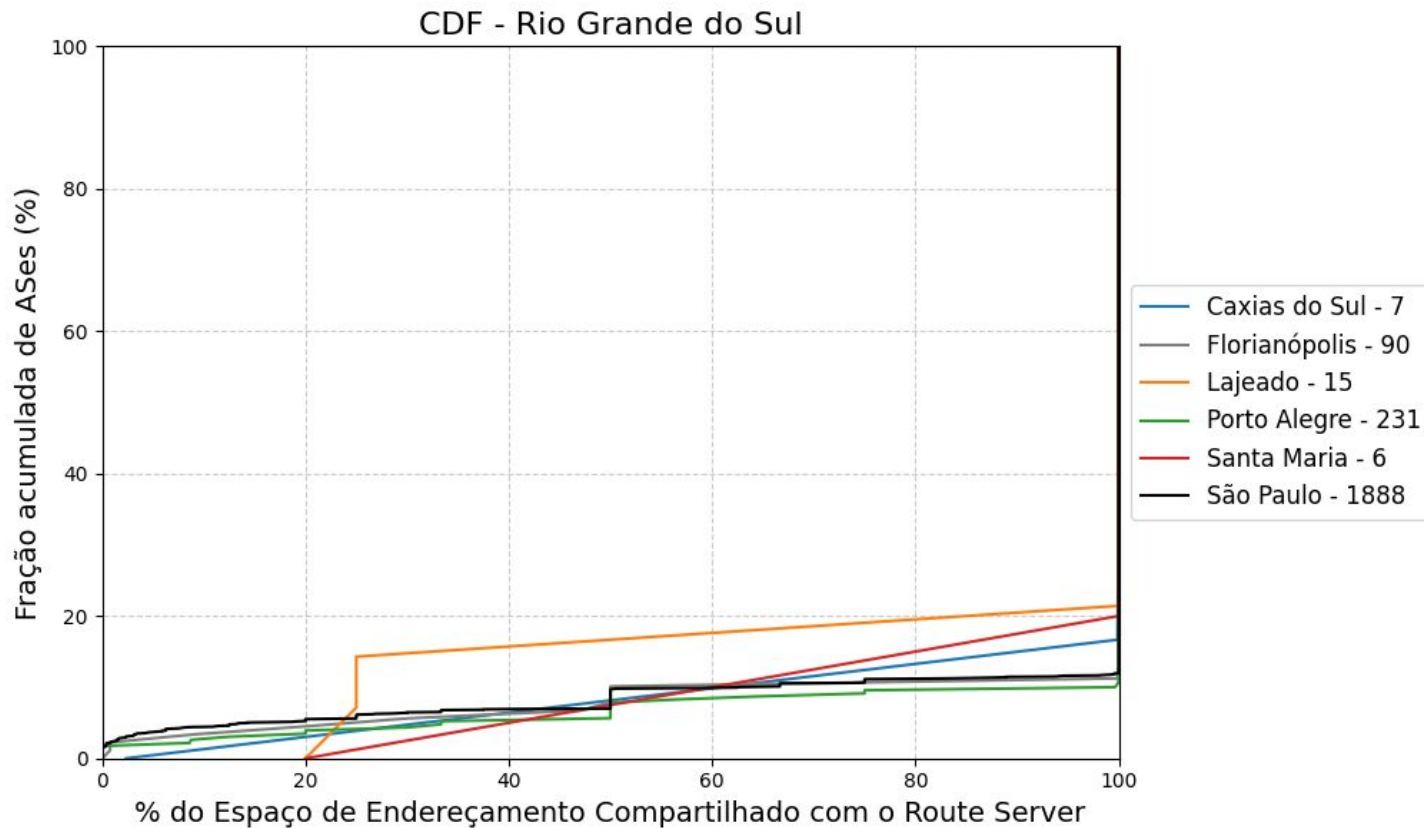
A maior parte dos /24 **sem preferência** indicada está mais próxima do IXP de **Curitiba...**



# Backup



# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv6





# Proporção do espaço de endereçamento... - IPv6

