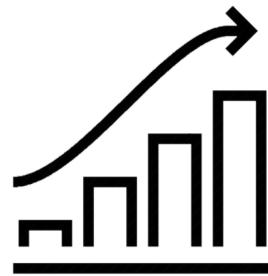


Engenharia de Tráfego em IXPs: Analizando as Escolhas dos ASes

Joaquim Pereira, Pedro Marcos

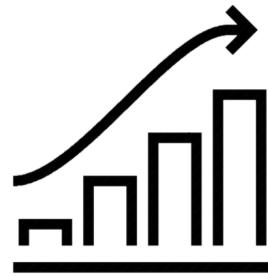
A entrega de tráfego é um aspecto fundamental das operações da Internet

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

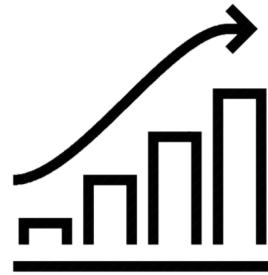


Crescimento do
tráfego



Requisitos das
aplicações

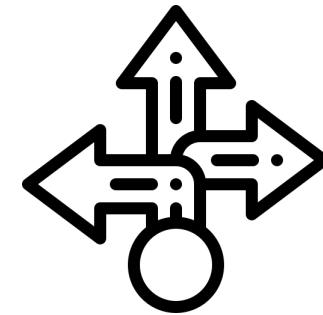
A entrega de tráfego é um aspecto fundamental das operações da Internet



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?

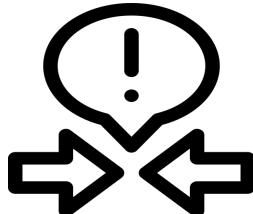


Há anúncios conflitantes nos IXPs?

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



ix.br

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

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

ASes conectados no route server do IXP

Antes de nos aprofundarmos, alguns detalhes



 Dados de
2 de maio
de 2025

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

Prefixos originados
pelos ASes membros

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?



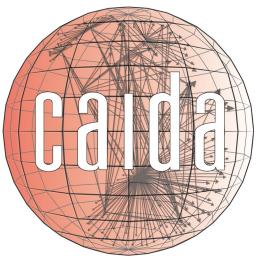
A preferência do AS faz sentido do ponto de vista geográfico?

Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



Selecionar
ASes
membros

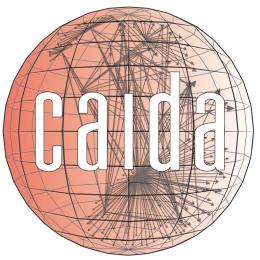
Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



Selecionar
ASes
membros

“Prefix to AS”
Dataset

Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



Selecionar
ASes
membros

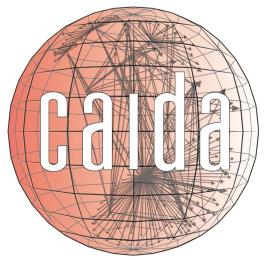
“Prefix to AS”
Dataset

Anúncios no
Route Server

Metodologia - Proporção do espaço de endereçamento



Selecionar
ASes
membros



“Prefix to AS”
Dataset

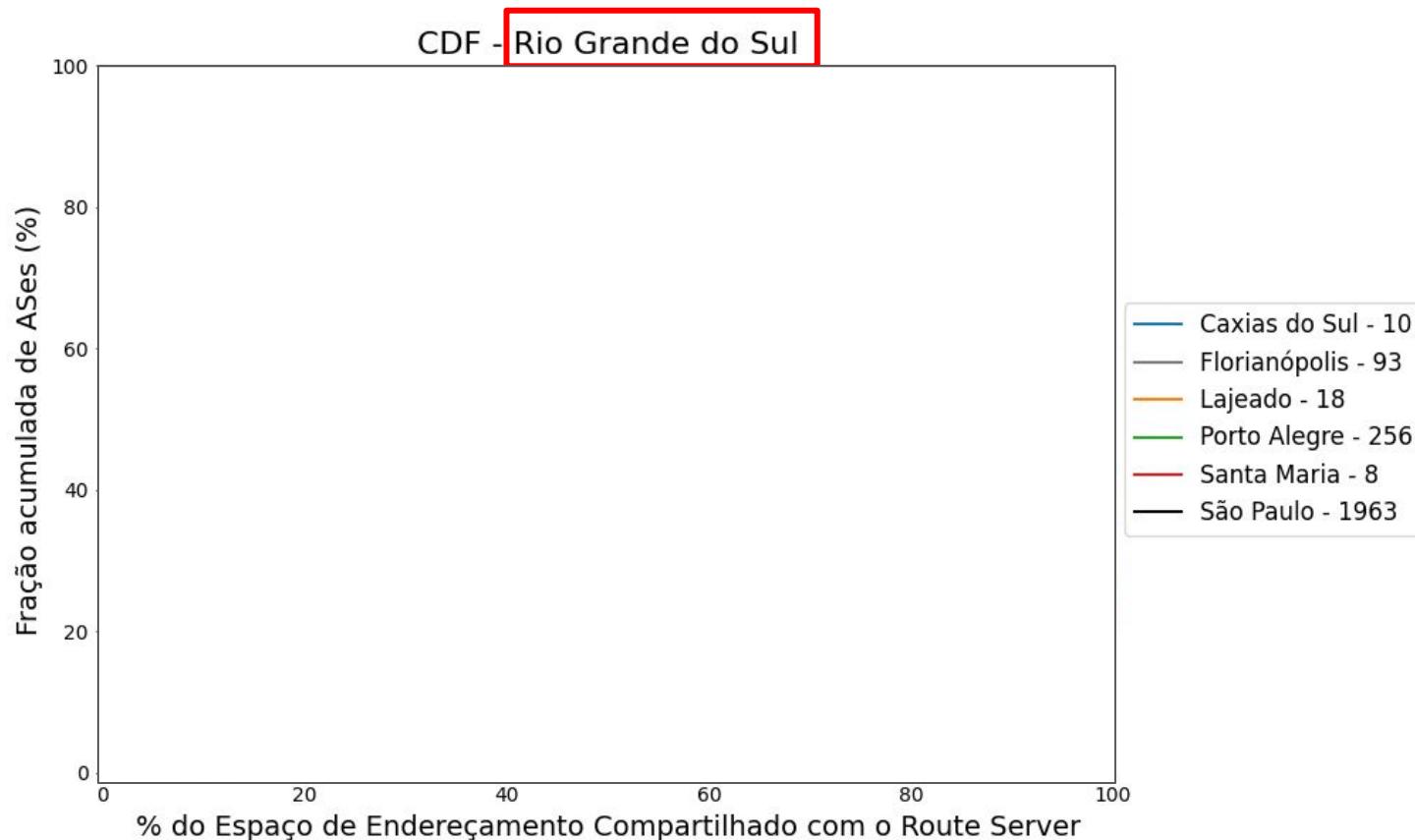


Anúncios no
Route Server

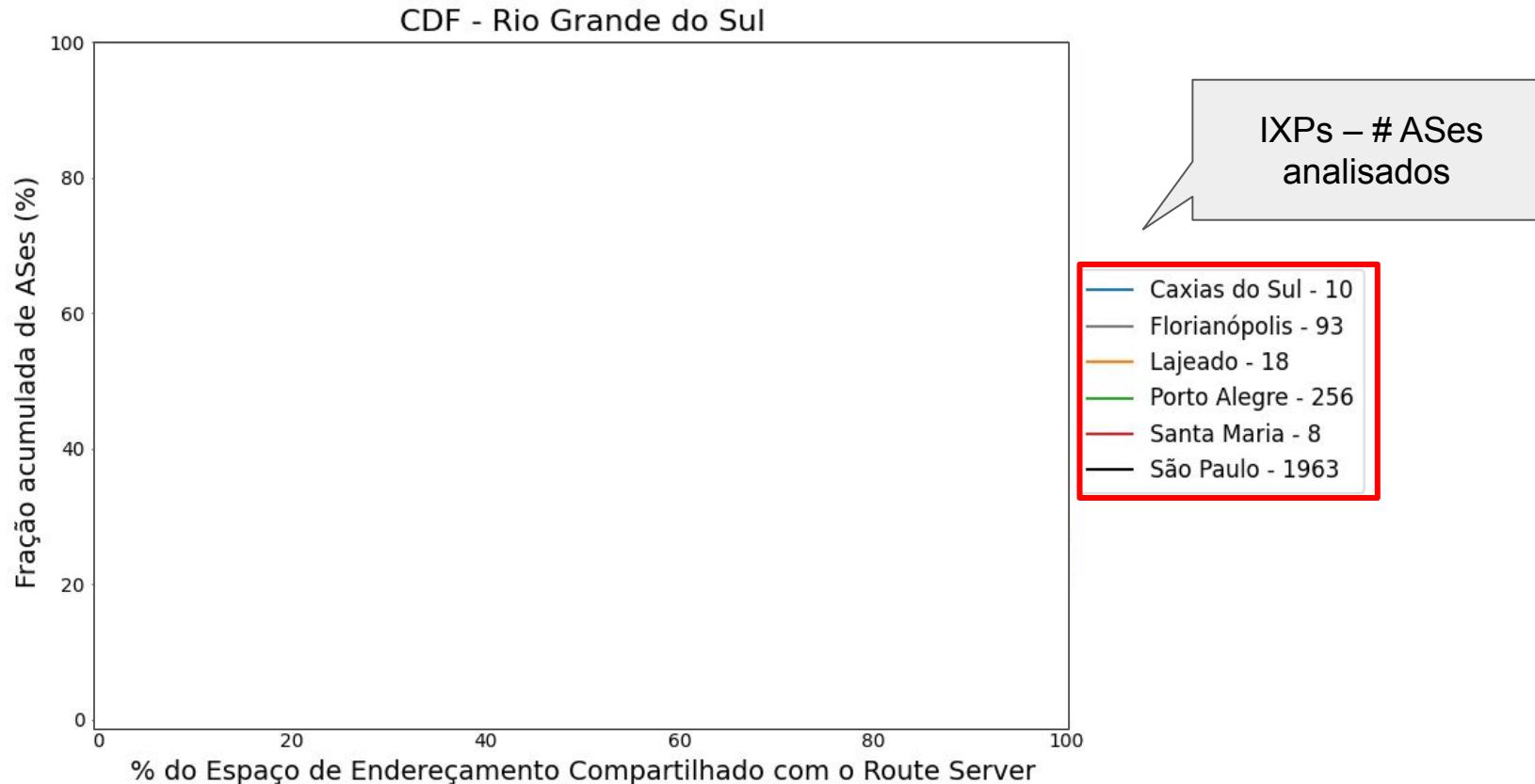


Anunciado
vs
Alocado

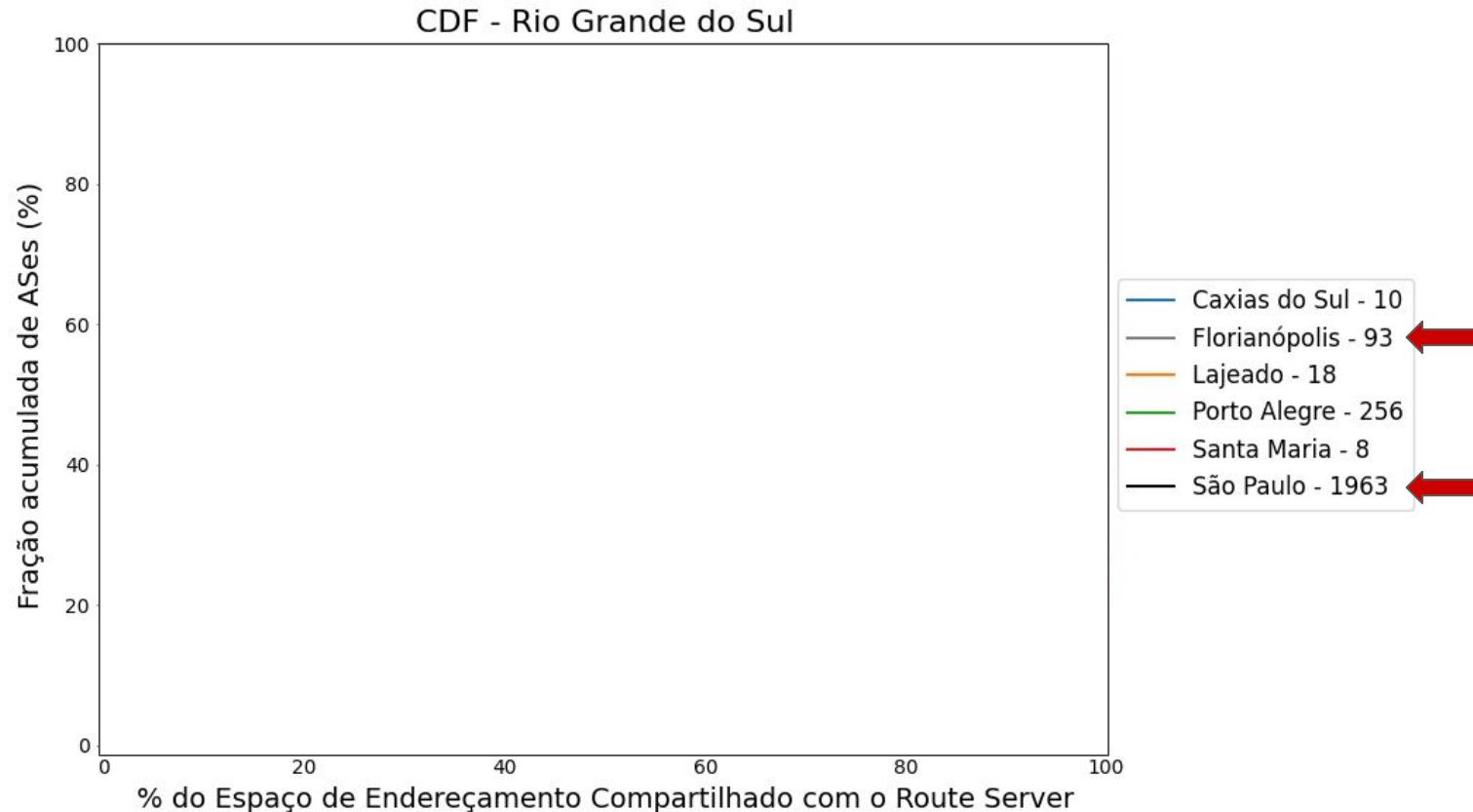
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



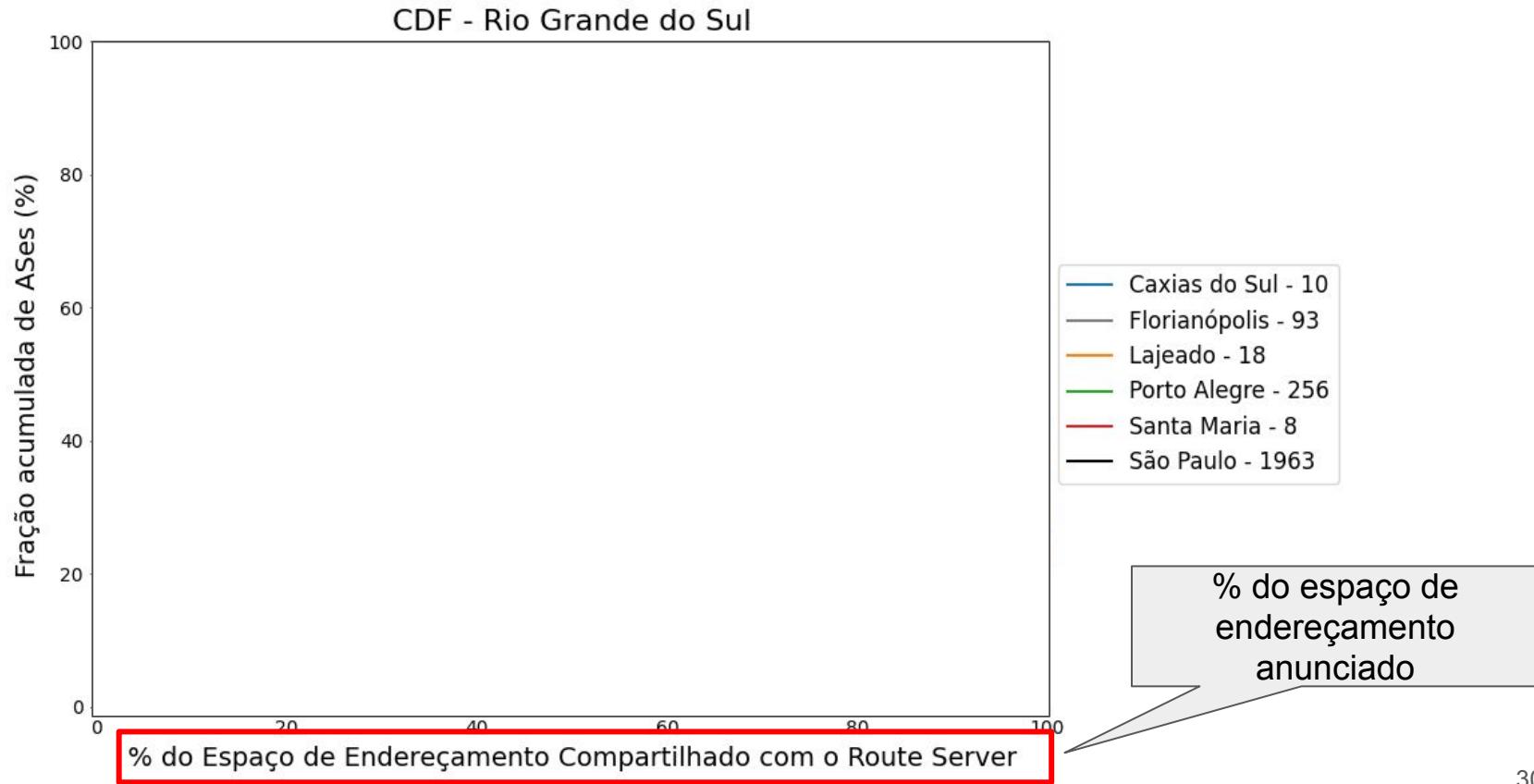
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



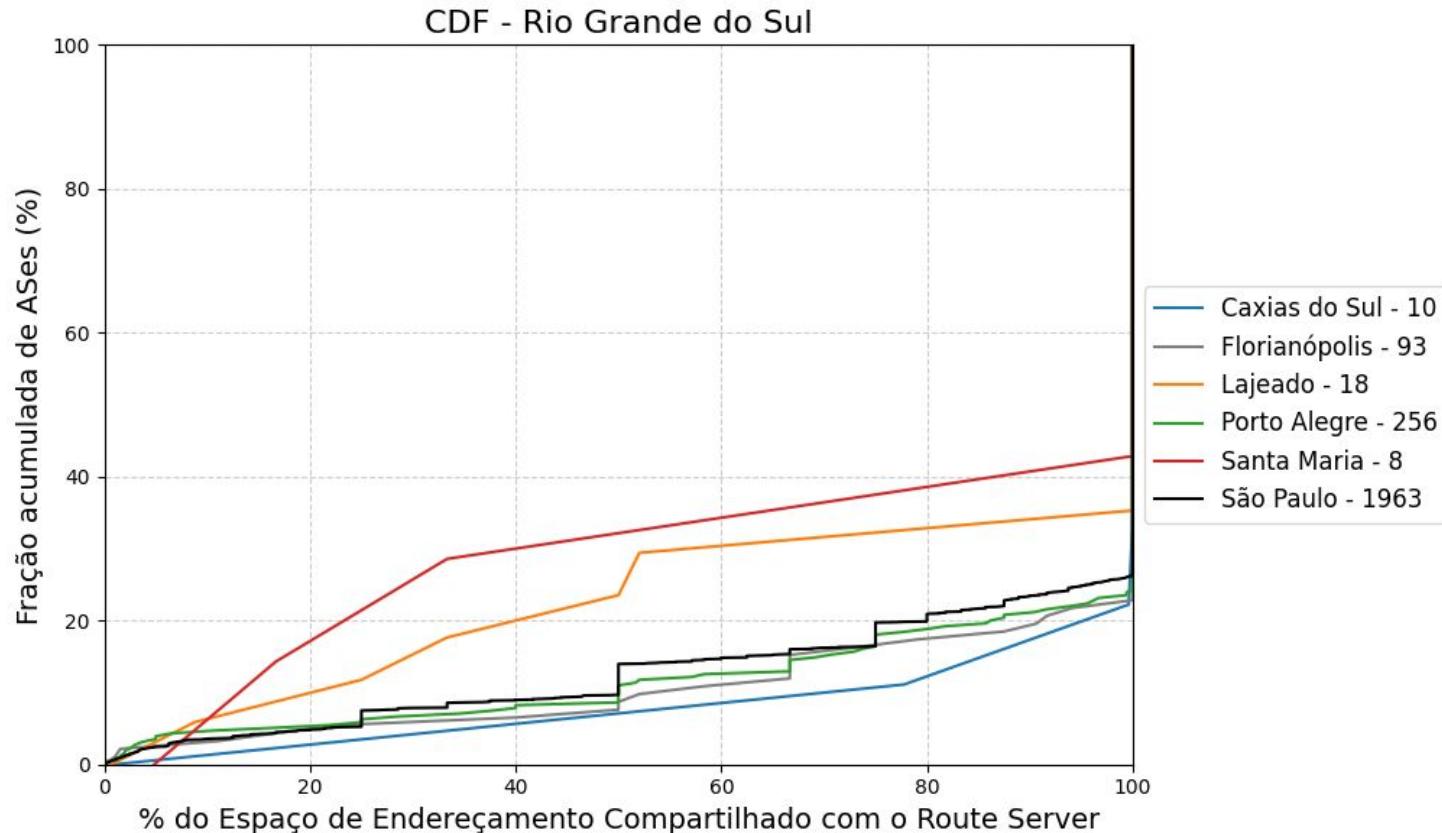
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



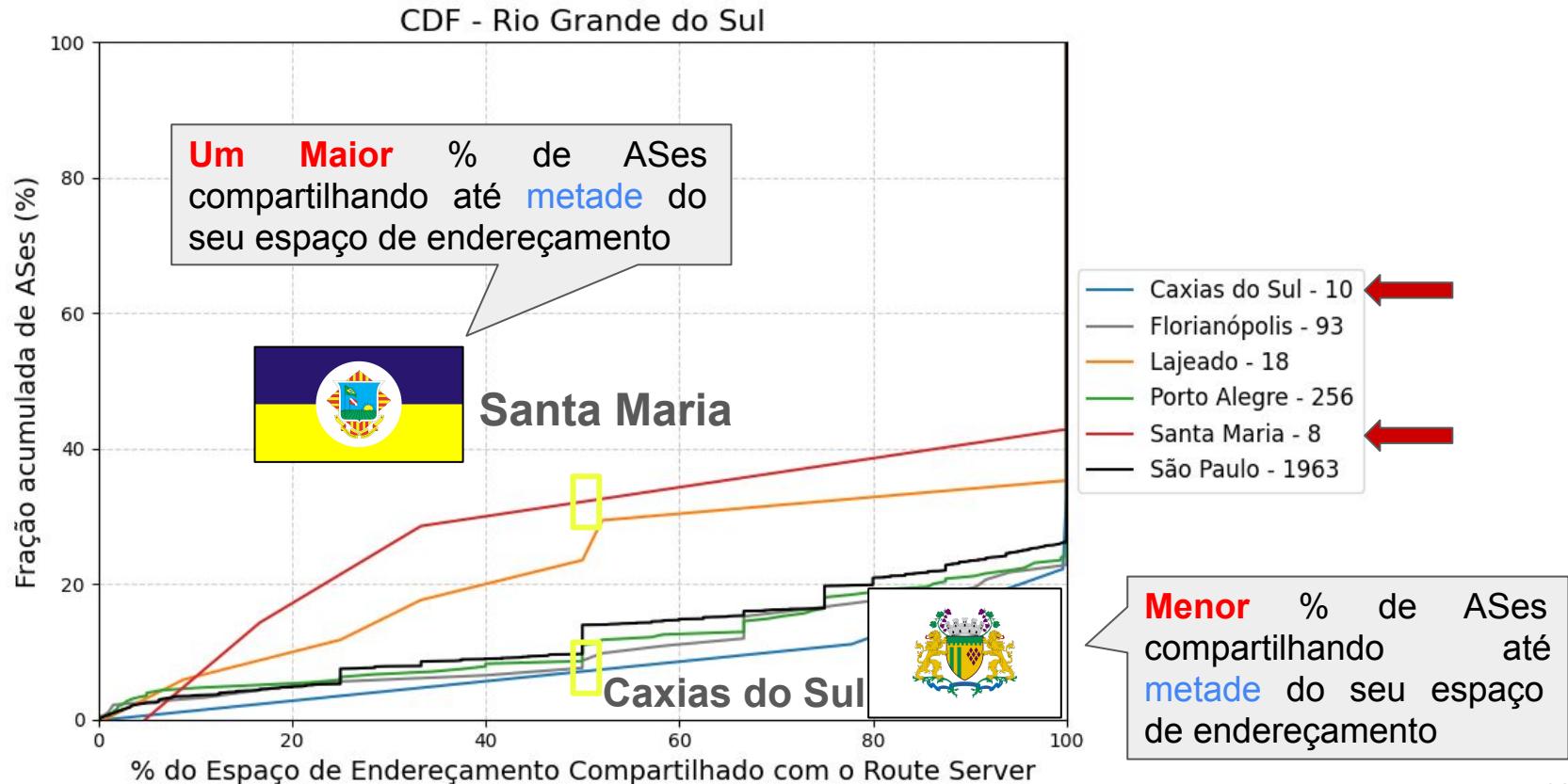
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



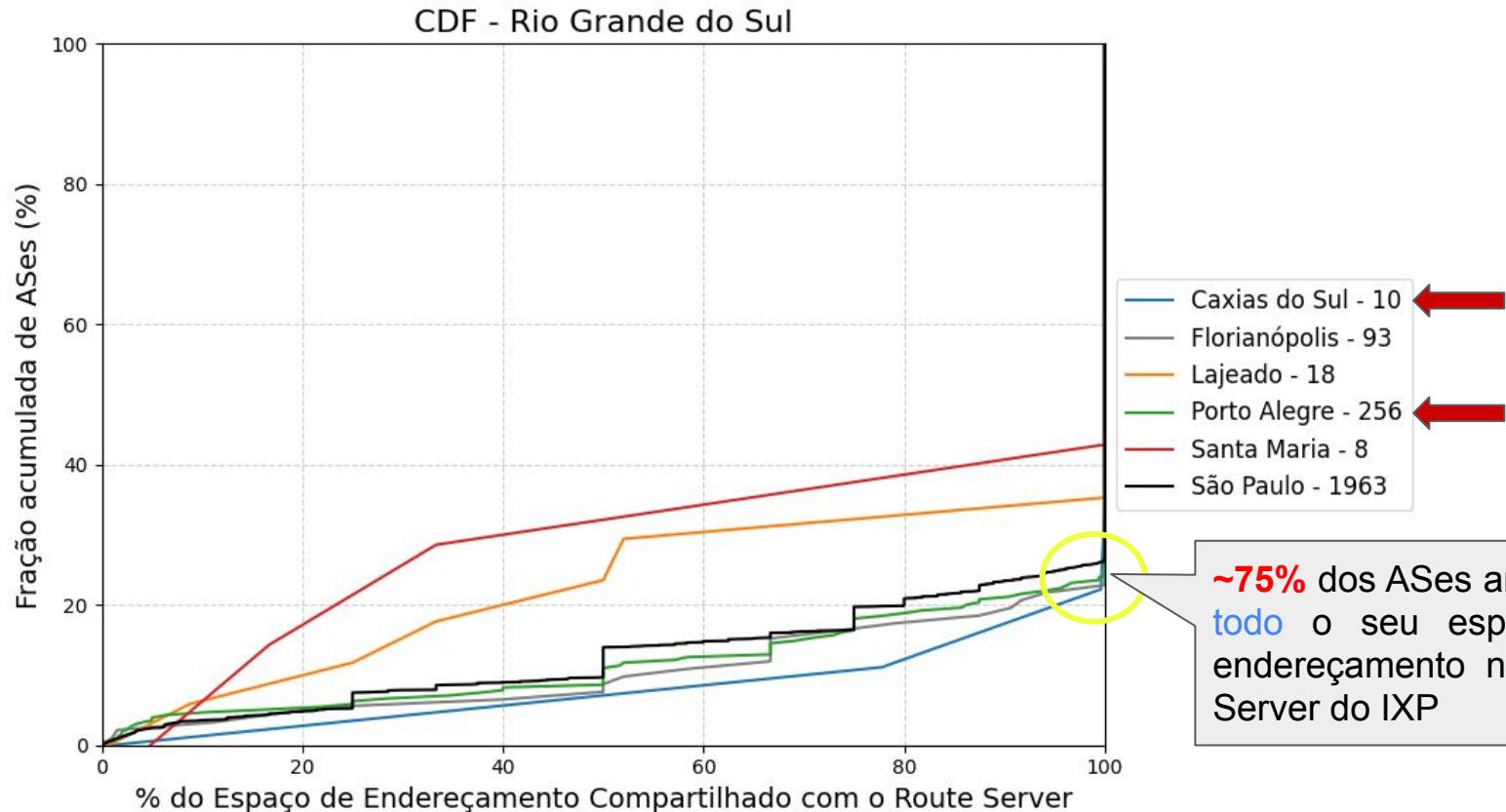
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



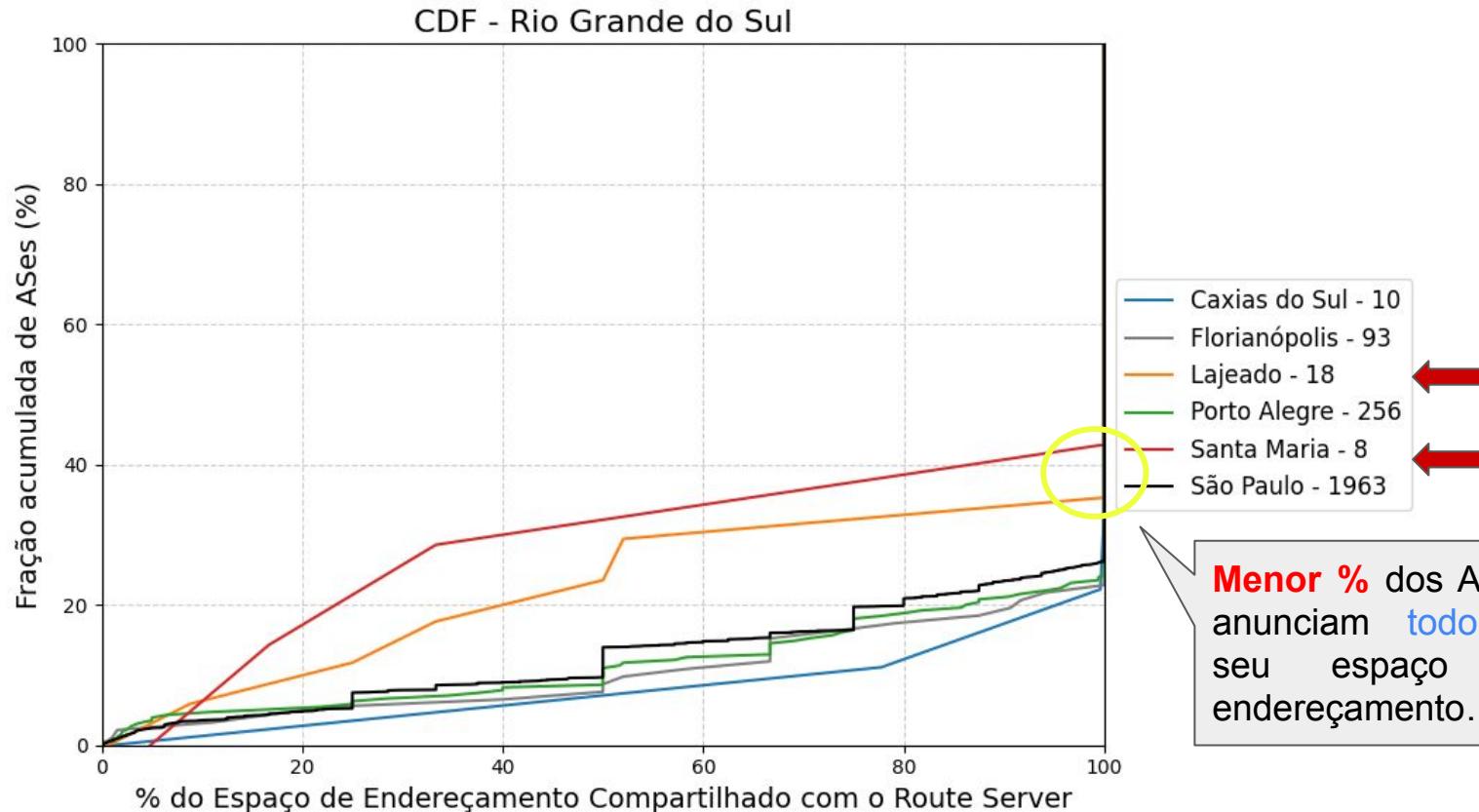
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



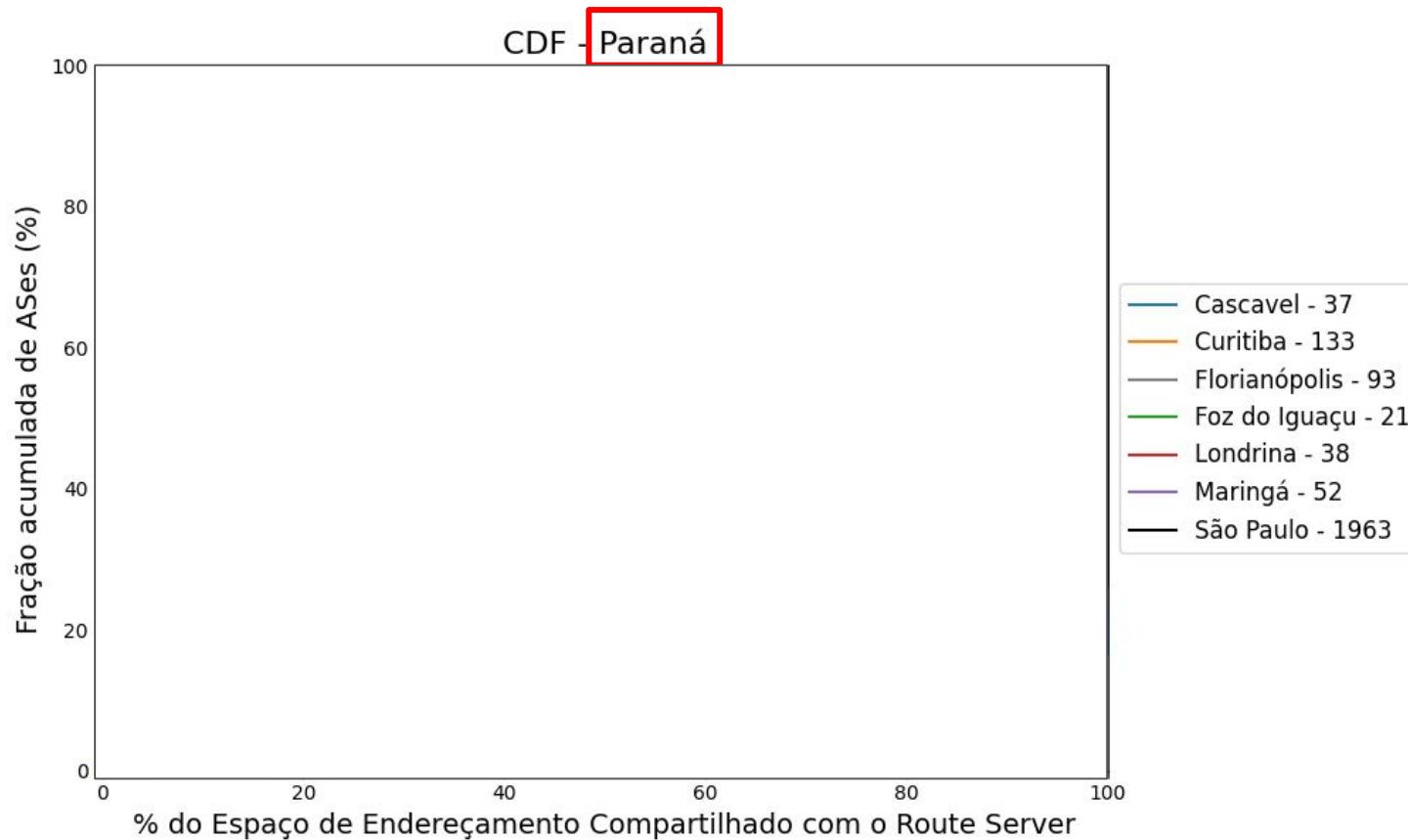
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



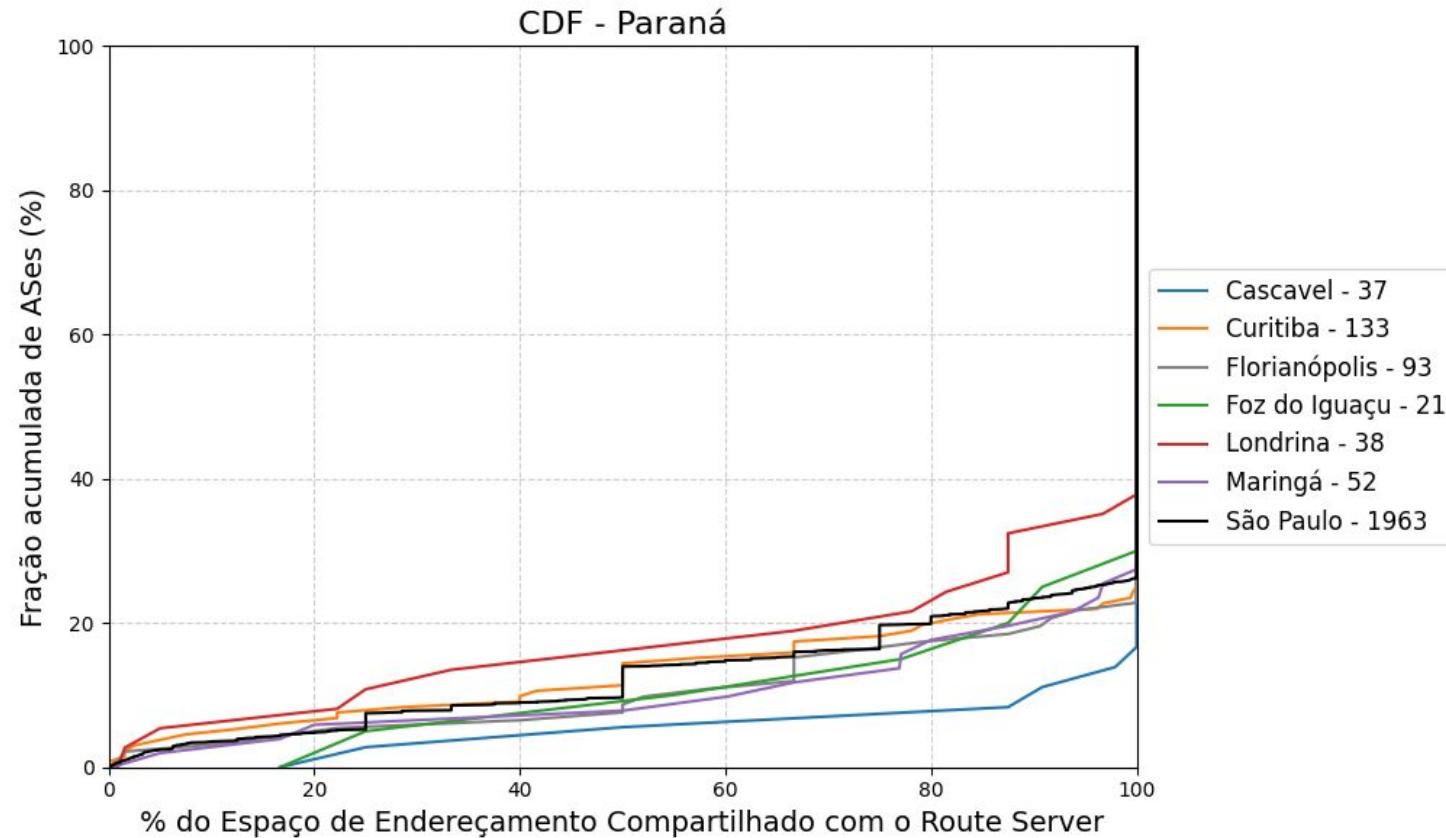
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



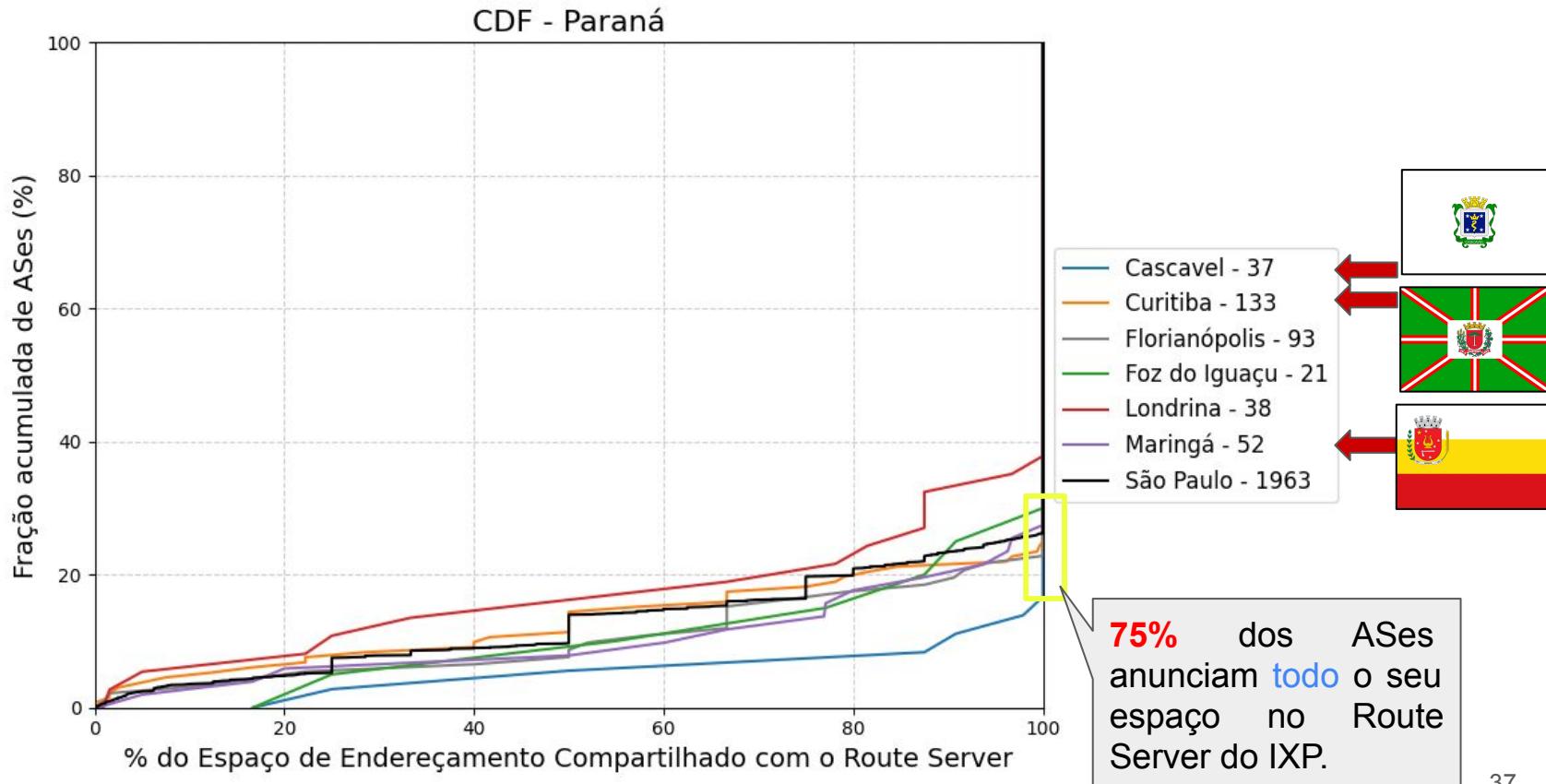
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



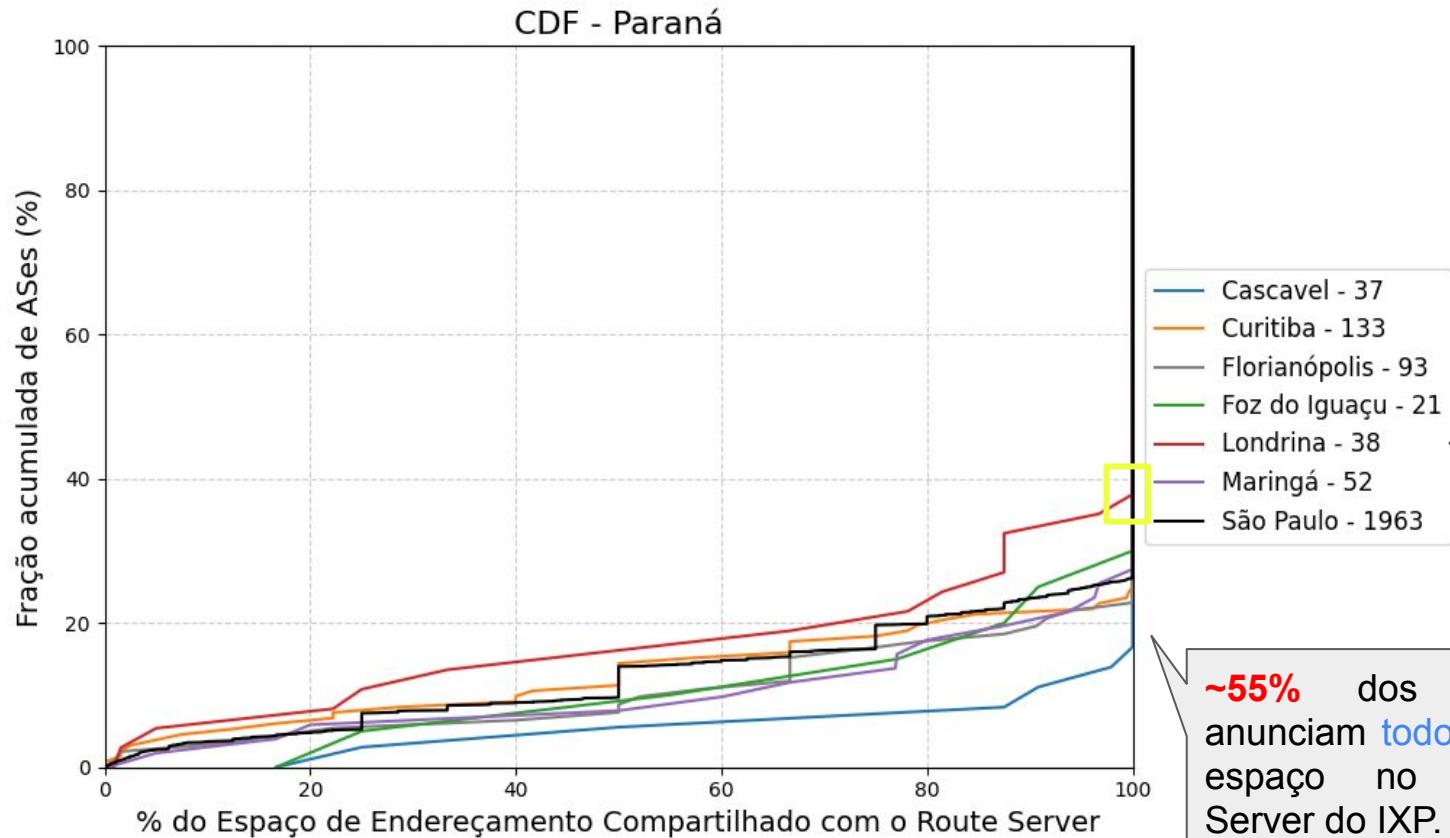
Proporção do espaço de endereçamento... - IPv4



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 (½)...



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

Anúncios Conflitantes – Situação (½)...



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 (½)...

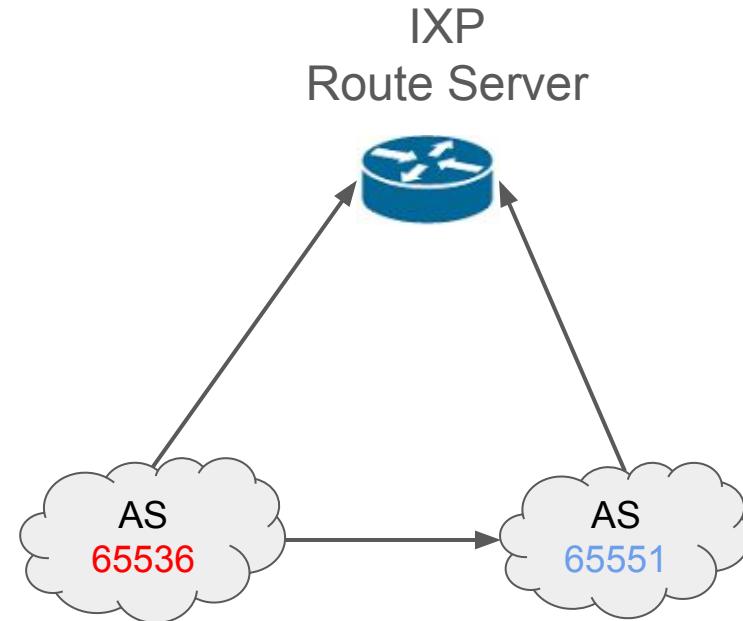


Um anúncio conflitante ocorre quando um AS membro tem seu prefixo também anunciado por outro membro.

Existem dois casos principais:

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

Mesmo prefixo



Anúncios Conflitantes – Situação (½)...

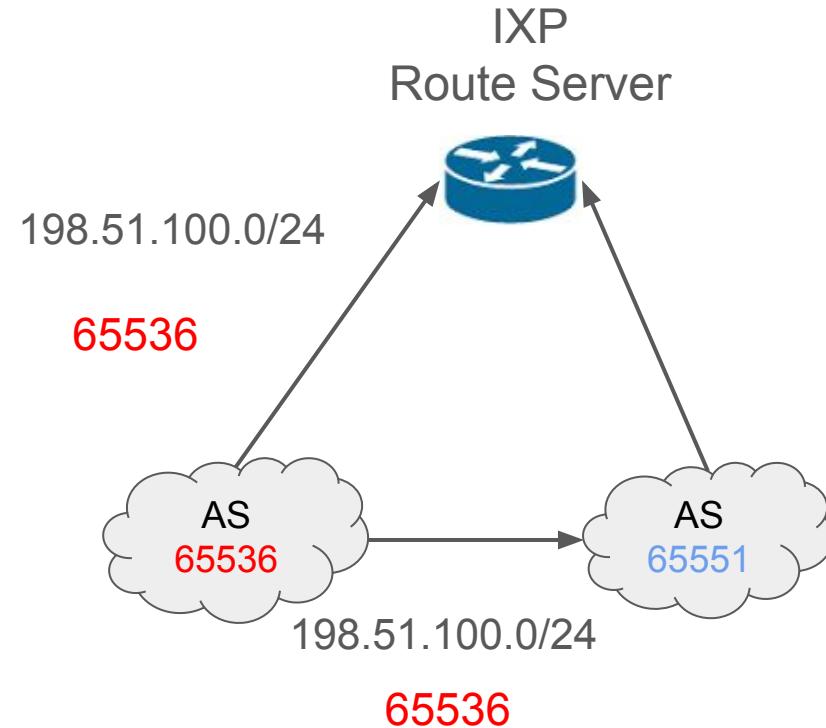


Um anúncio conflitante ocorre quando um AS membro tem seu prefixo também anunciado por outro membro.

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)...

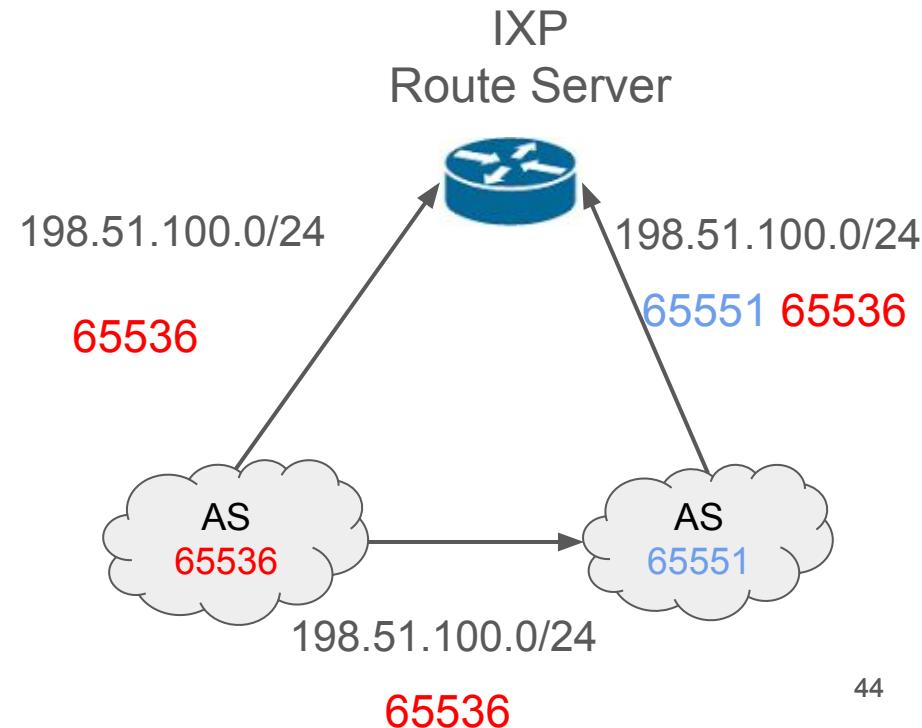


Um anúncio conflitante ocorre quando um AS membro tem seu prefixo também anunciado por outro membro.

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)...

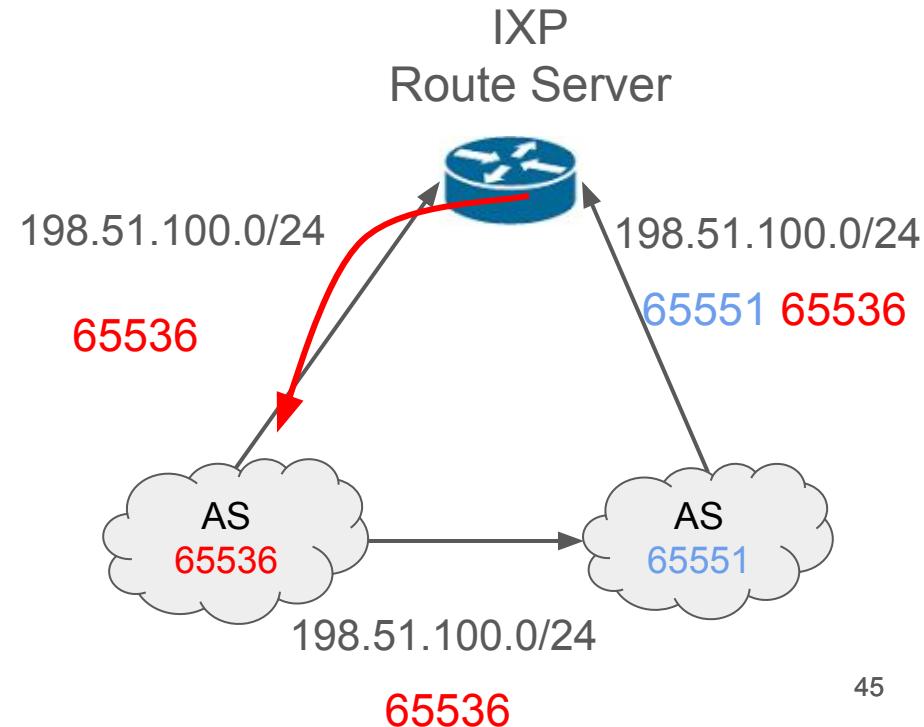


Um anúncio conflitante ocorre quando um AS membro tem seu prefixo também anunciado por outro membro.

Existem dois casos principais:

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

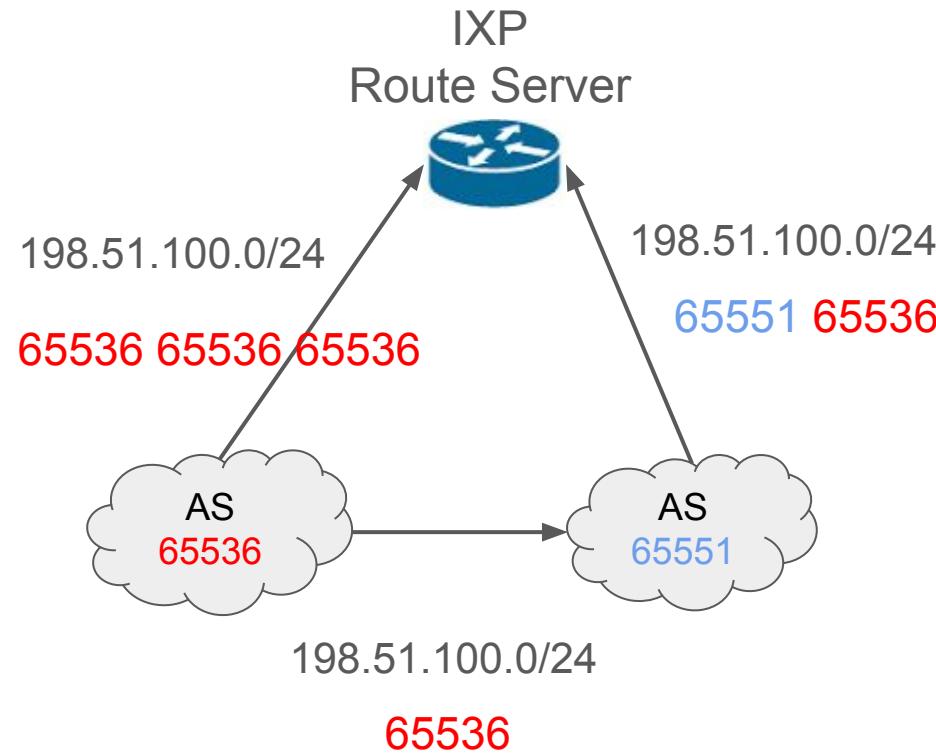
Mesmo prefixo



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



Mesmo prefixo com **comportamento inesperado**

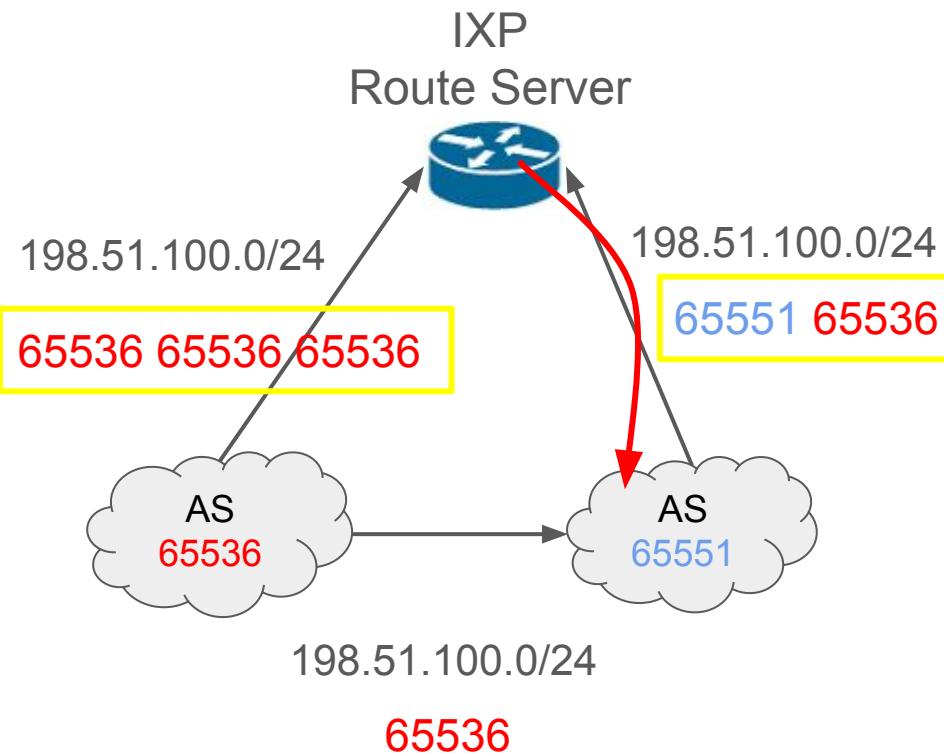


Anúncios Conflitantes – Situação (½)...



Mesmo prefixo com comportamento inesperado

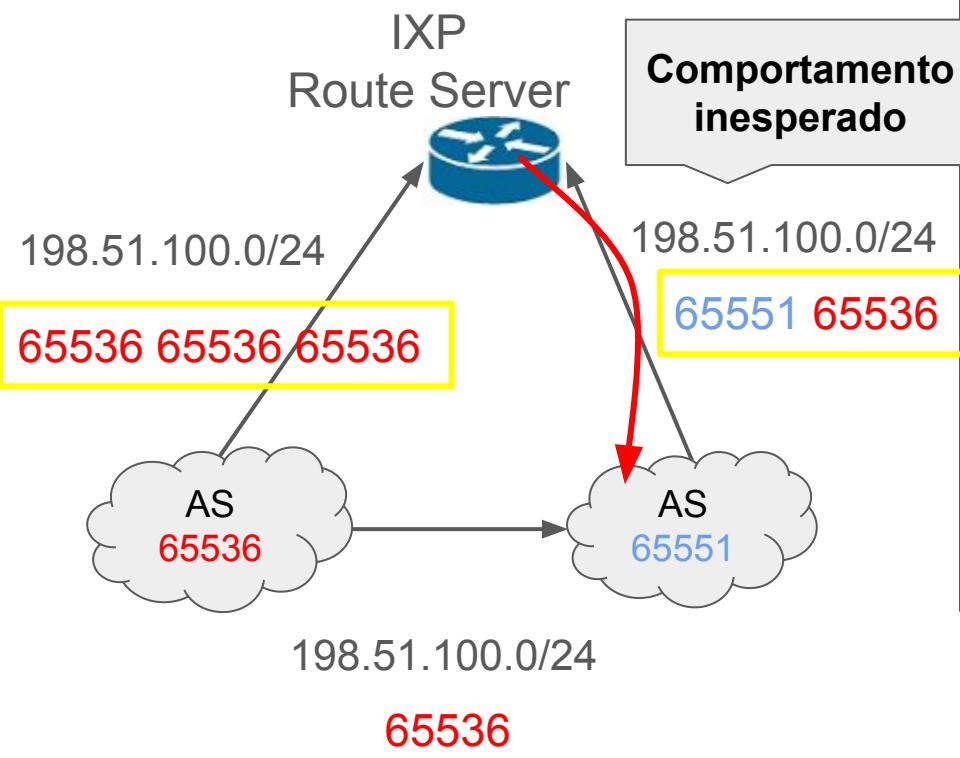
Prefixo mais específico



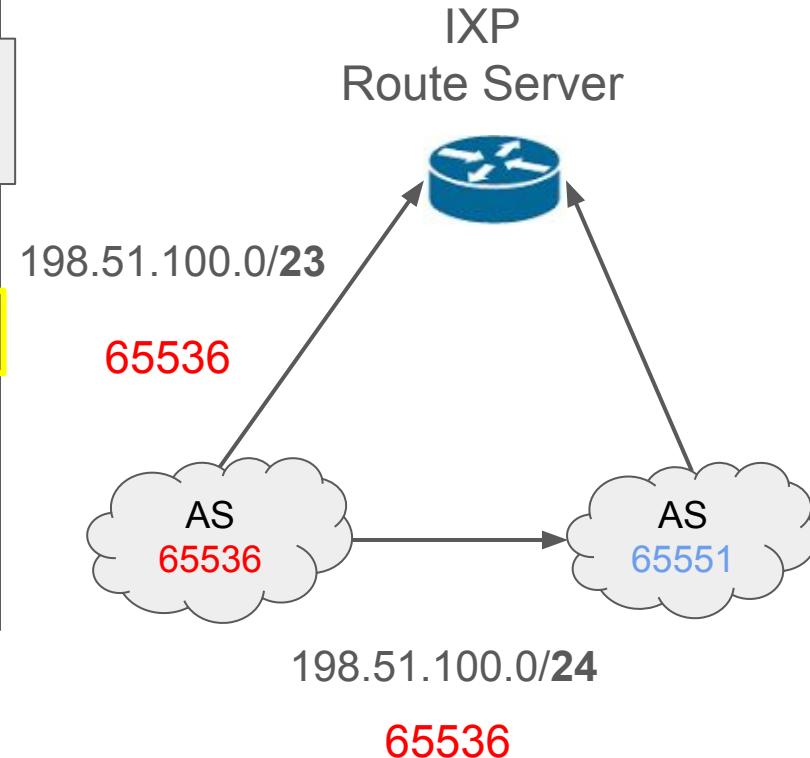
Anúncios Conflitantes – Situação (½)...



Mesmo prefixo com **comportamento inesperado**



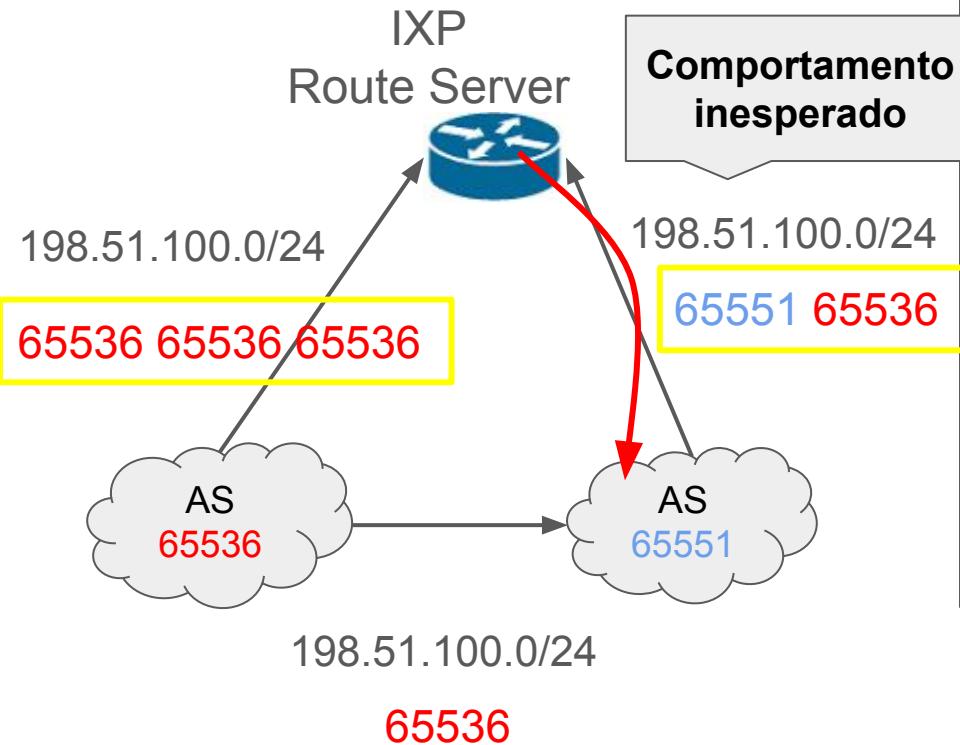
Prefixo mais específico



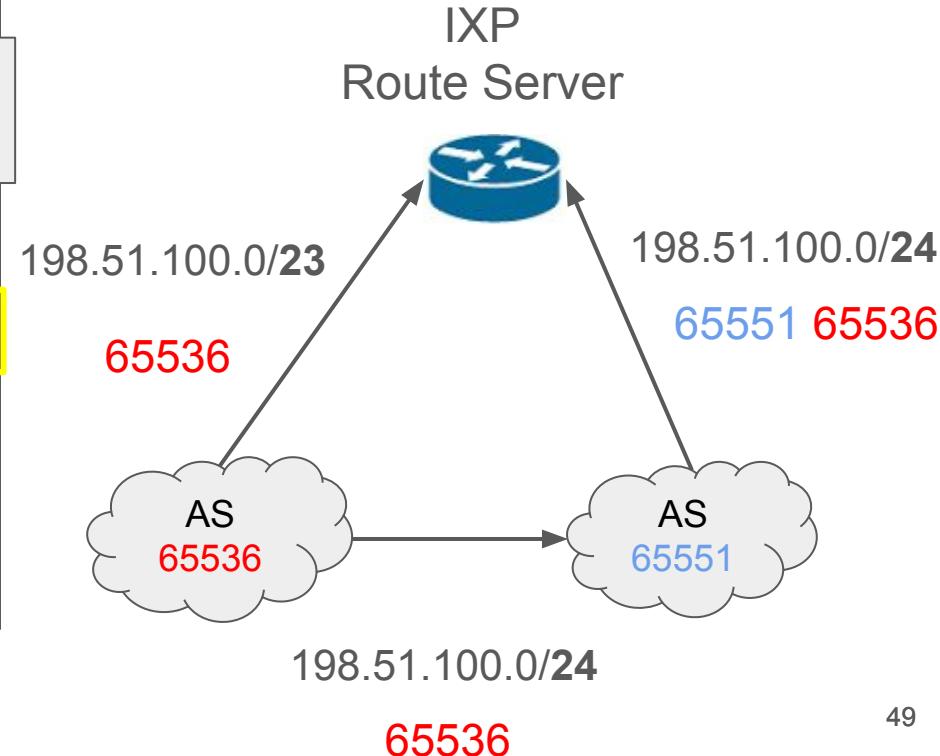
Anúncios Conflitantes – Situação (½)...



Mesmo prefixo com **comportamento inesperado**



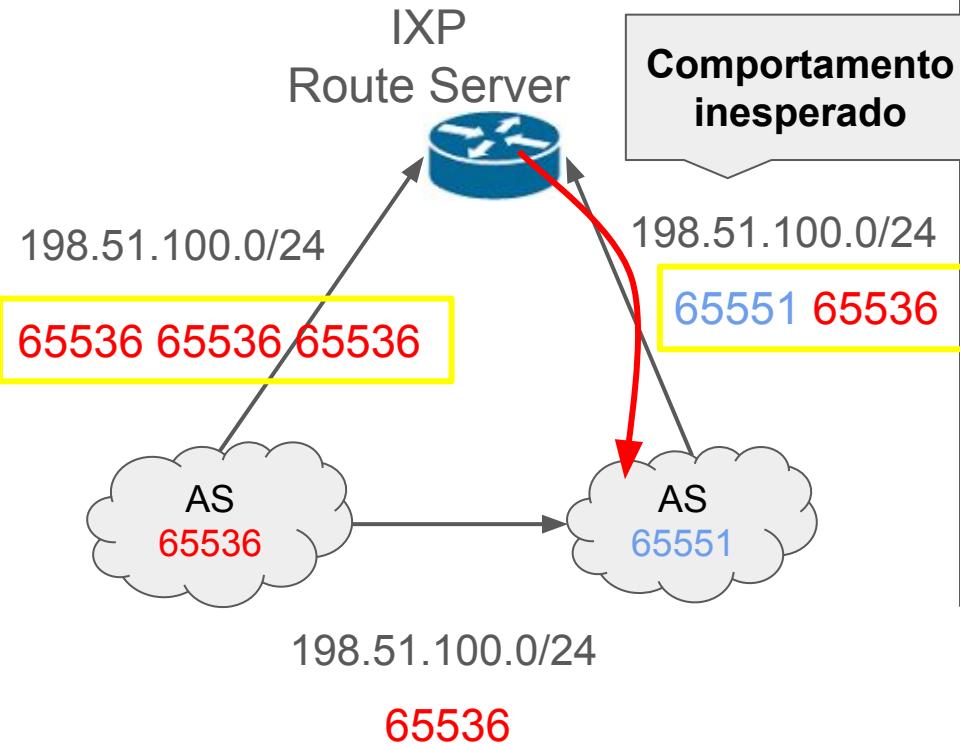
Prefixo mais específico



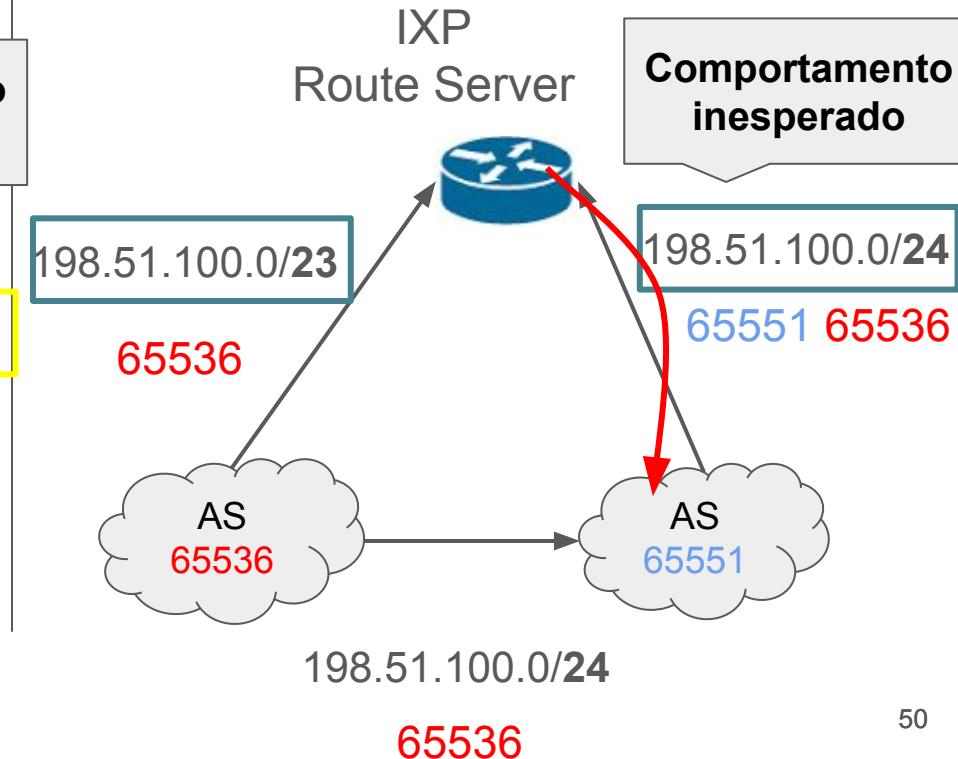
Anúncios Conflitantes – Situação (½)...



Mesmo prefixo com comportamento inesperado



Prefixo mais específico



Anúncios Conflitantes – IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com anúncios sobrepostos	# ASes com comportamento inesperado

Anúncios Conflitantes – IPv4...



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

Não consideramos anúncios de ASes siblings como anúncios conflitantes

Anúncios Conflitantes – IPv4...



IXP	# Total ASes	# ASes com anúncios sobrepostos	# ASes com comportamento inesperado
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 comportamento inesperado
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 comportamento inesperado
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

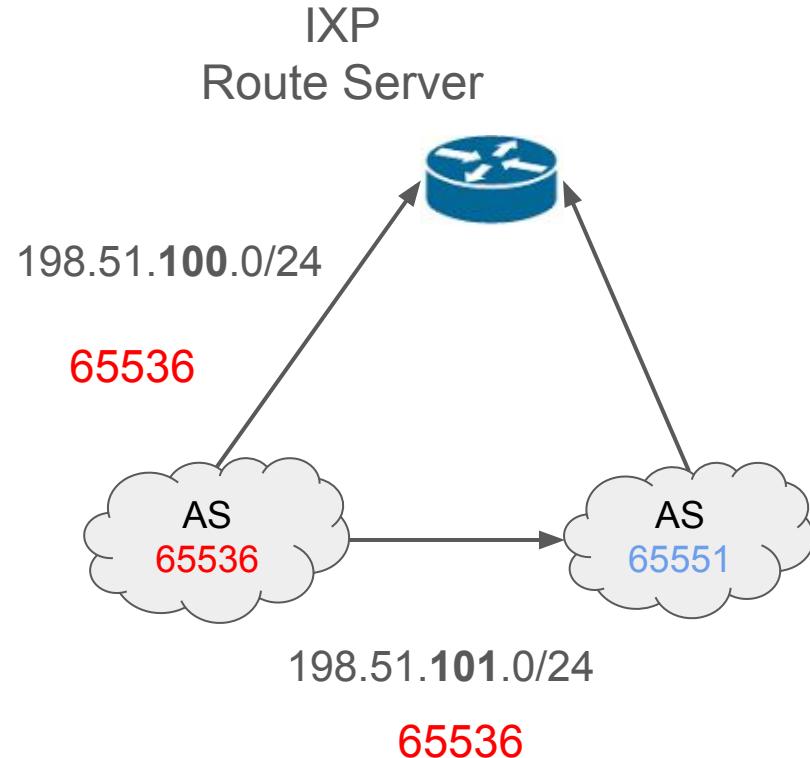
Também observamos cenários em que um **AS membro não anuncia** um de seus próprios prefixos no Route Server, mas **outro membro anuncia** esse prefixo dentro do IXP.

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

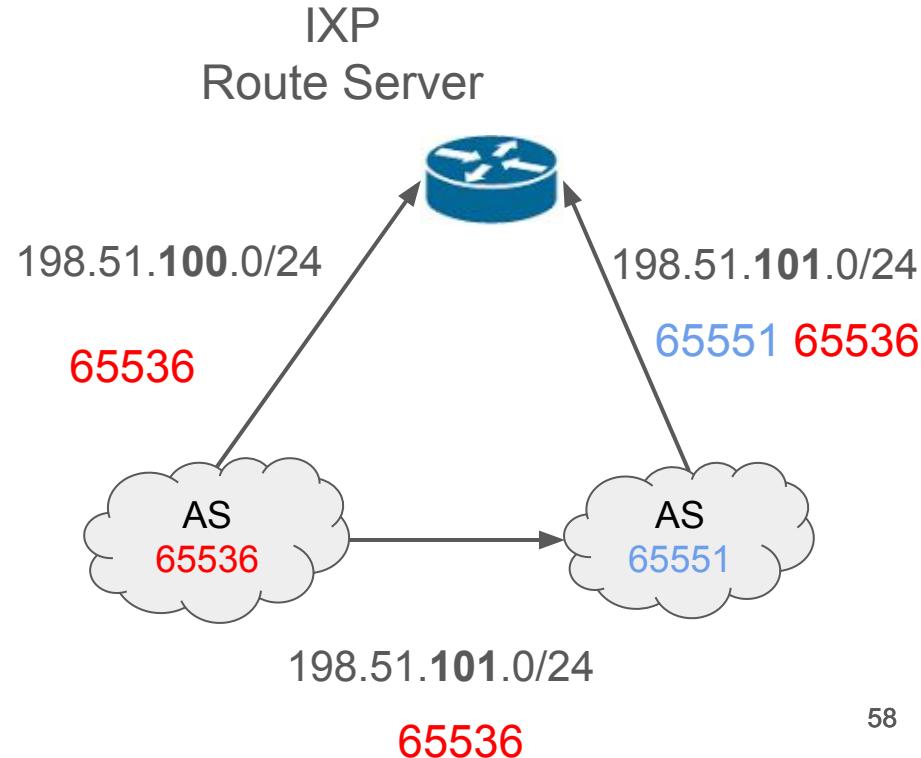


Anúncios Conflitantes – Situação (2/2)...



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

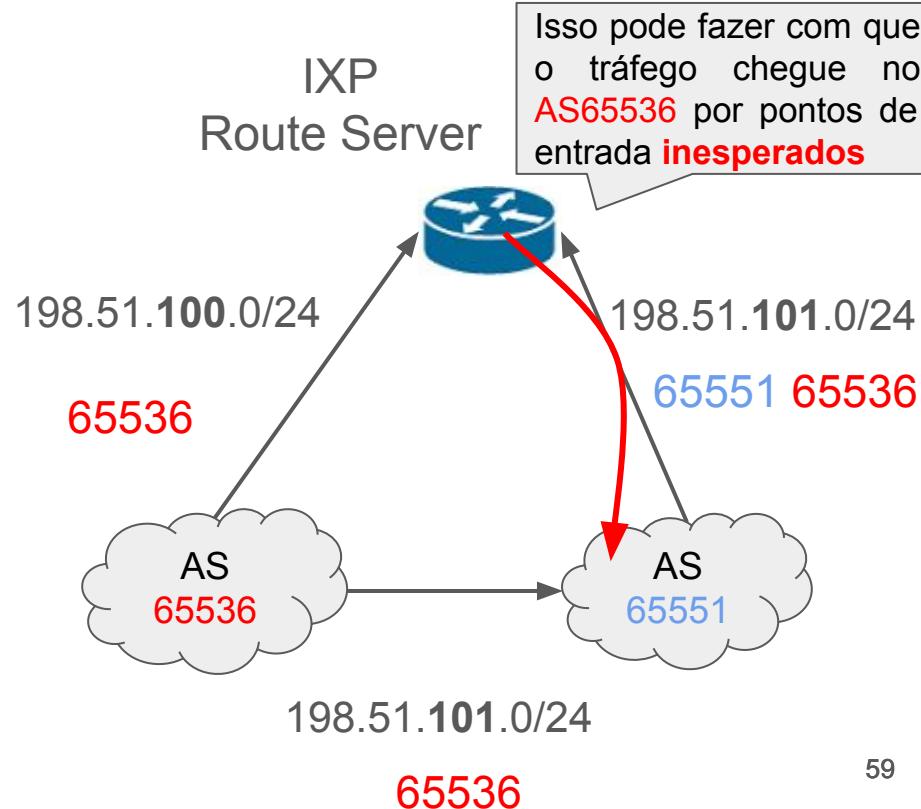


Anúncios Conflitantes – Situação (2/2)...



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...

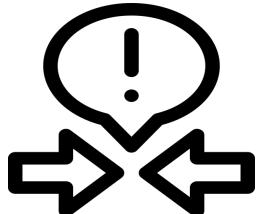


IXP	# Total ASes	# ASes com rotas indiretas
São Paulo	1963	398 (20.27%)
Porto Alegre	256	35 (13.67%)
Curitiba	133	23 (17.29%)
Florianópolis	93	10 (10.75%)
Maringá	52	5 (9.6%)
Londrina	38	4 (10.52%)
Cascavel	37	2 (5.4%)
Foz do Iguaçu	21	1 (4.76%)
Lajeado	19	3 (15.78%)

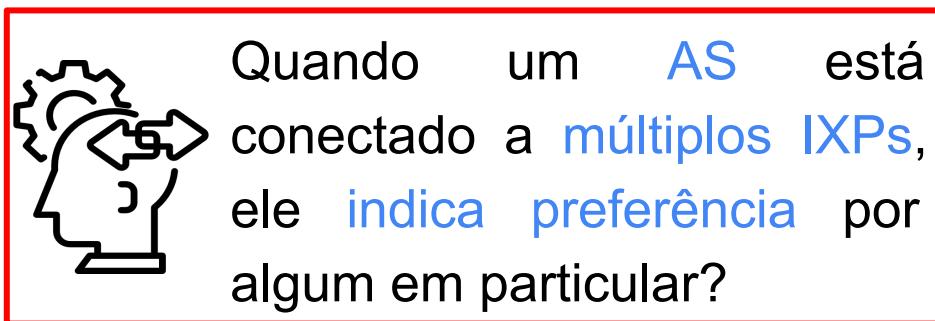
Nosso objetivo é contribuir para o entendimento de como os ASes realizam engenharia de tráfego nos IXPs



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.



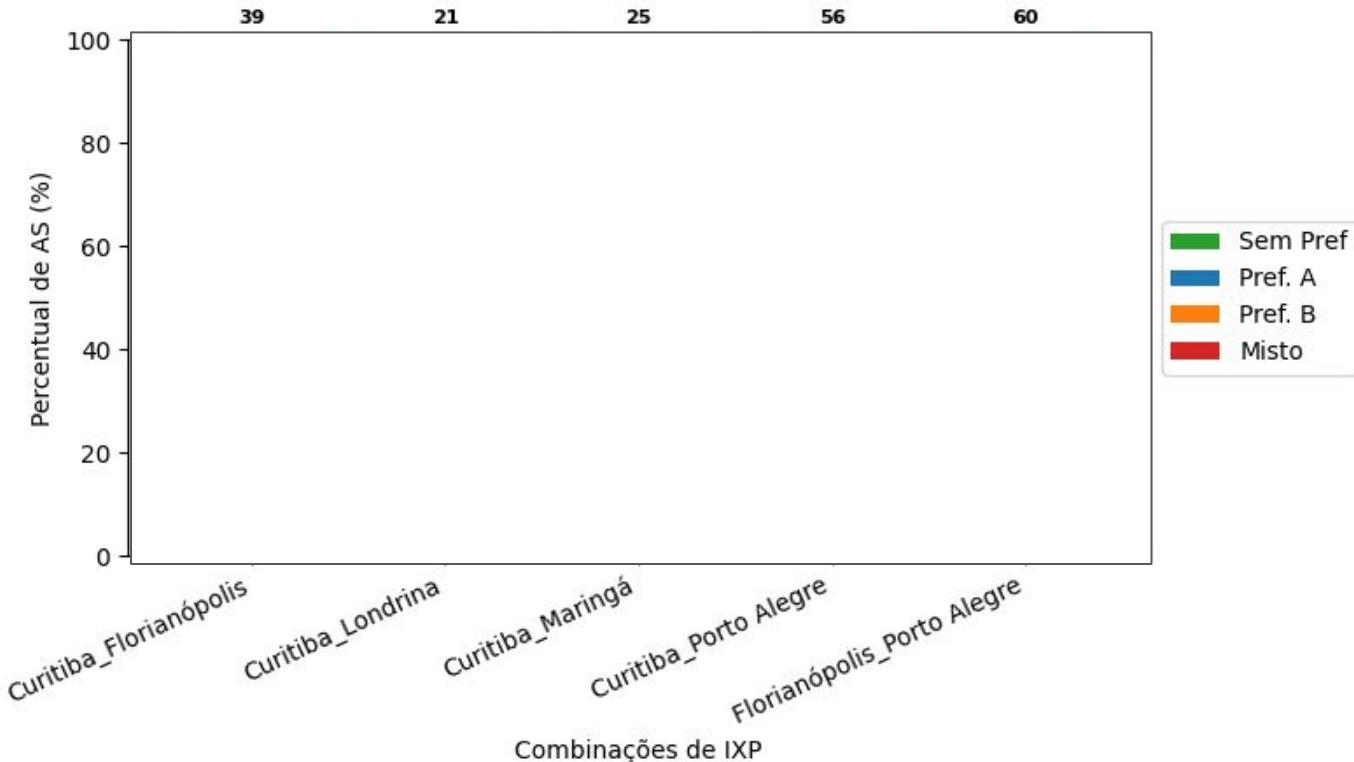
Para cada **AS conectado a ambos os IXPs**, avaliamos seu comportamento de anúncio:

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

Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



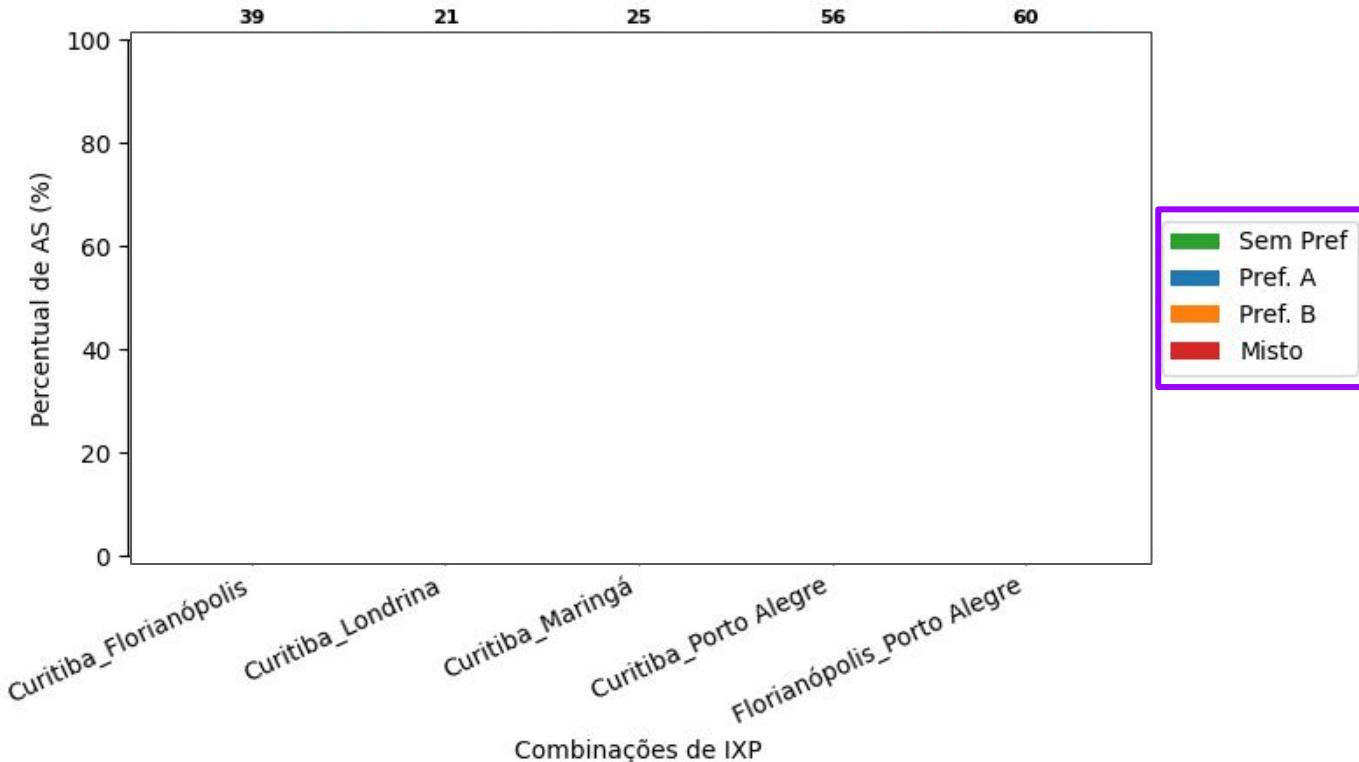
Preferência dos ASes por Combinação de IXP (≥ 20 ASes)



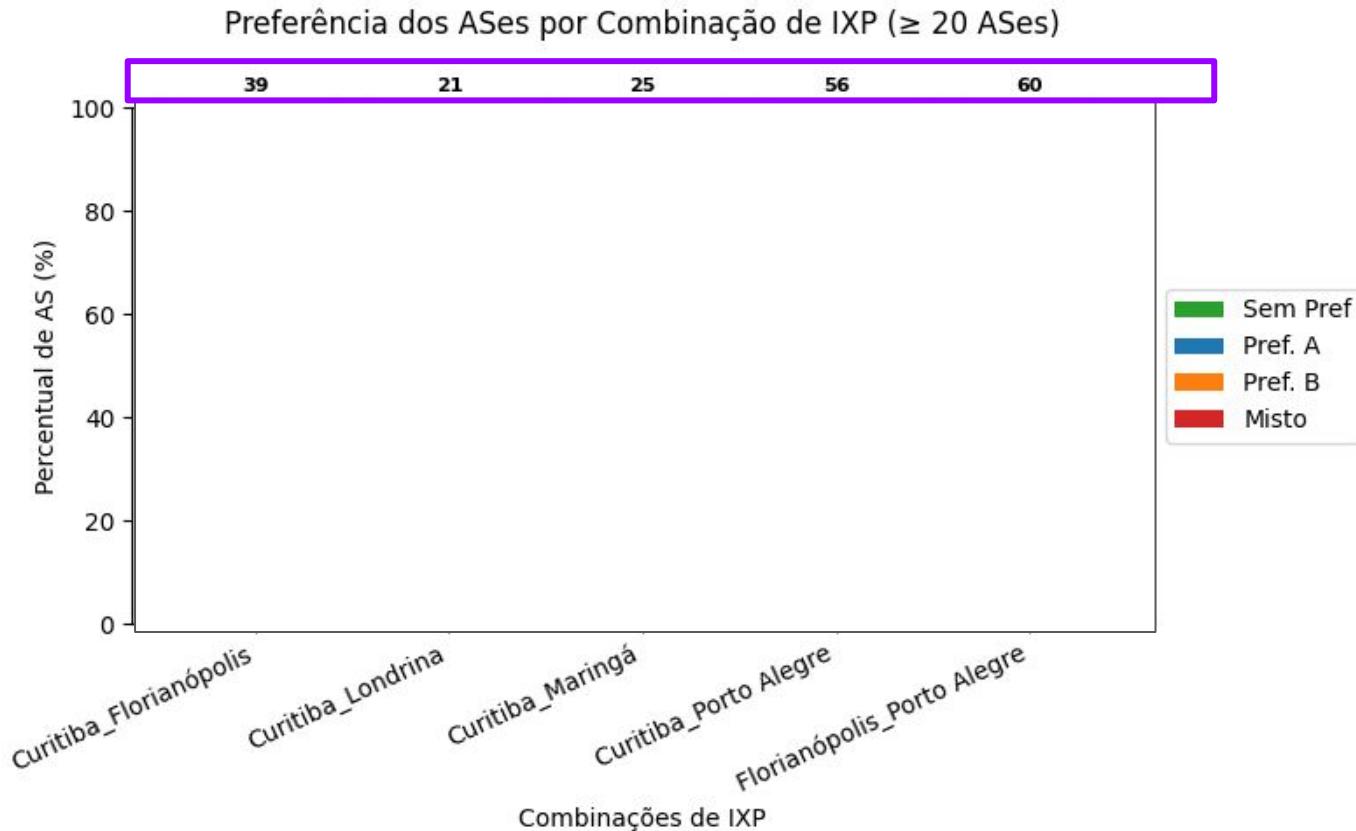
Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



Preferência dos ASes por Combinação de IXP (≥ 20 ASes)



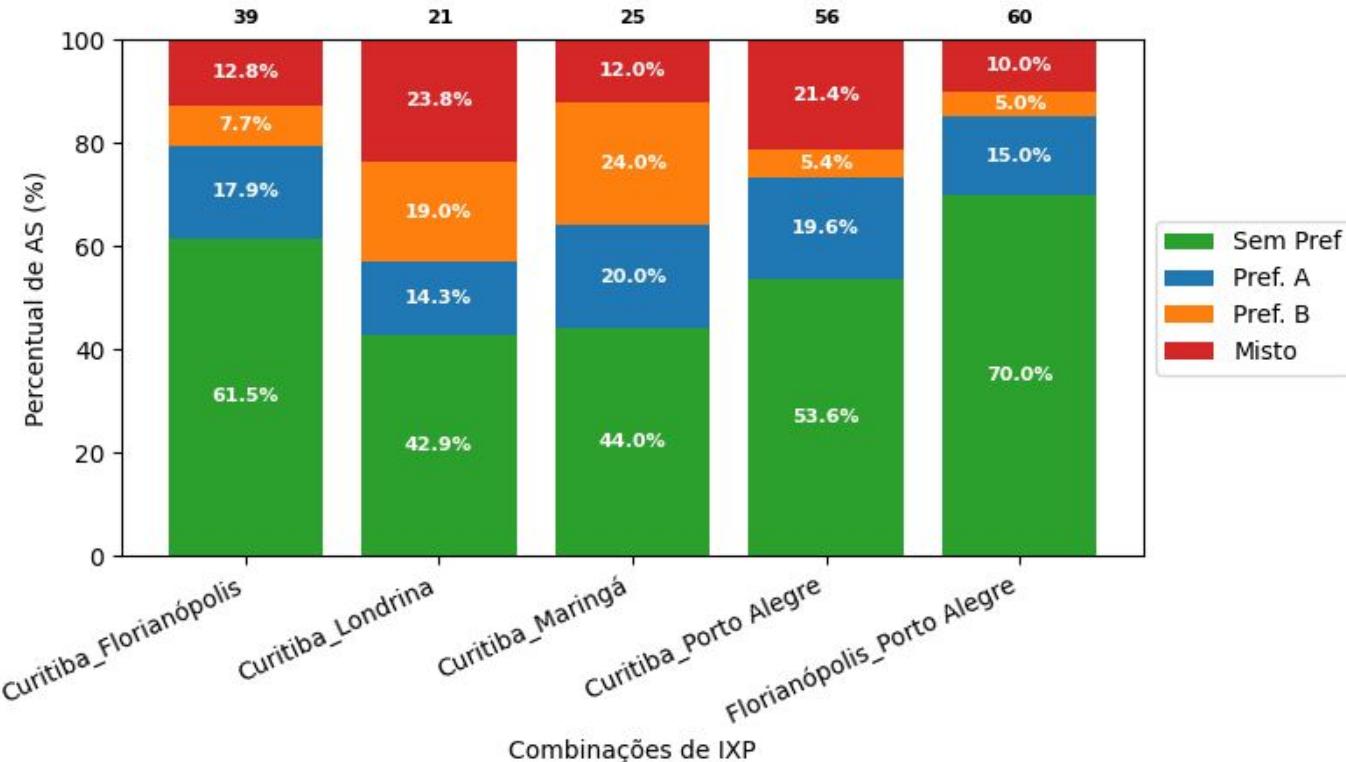
Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



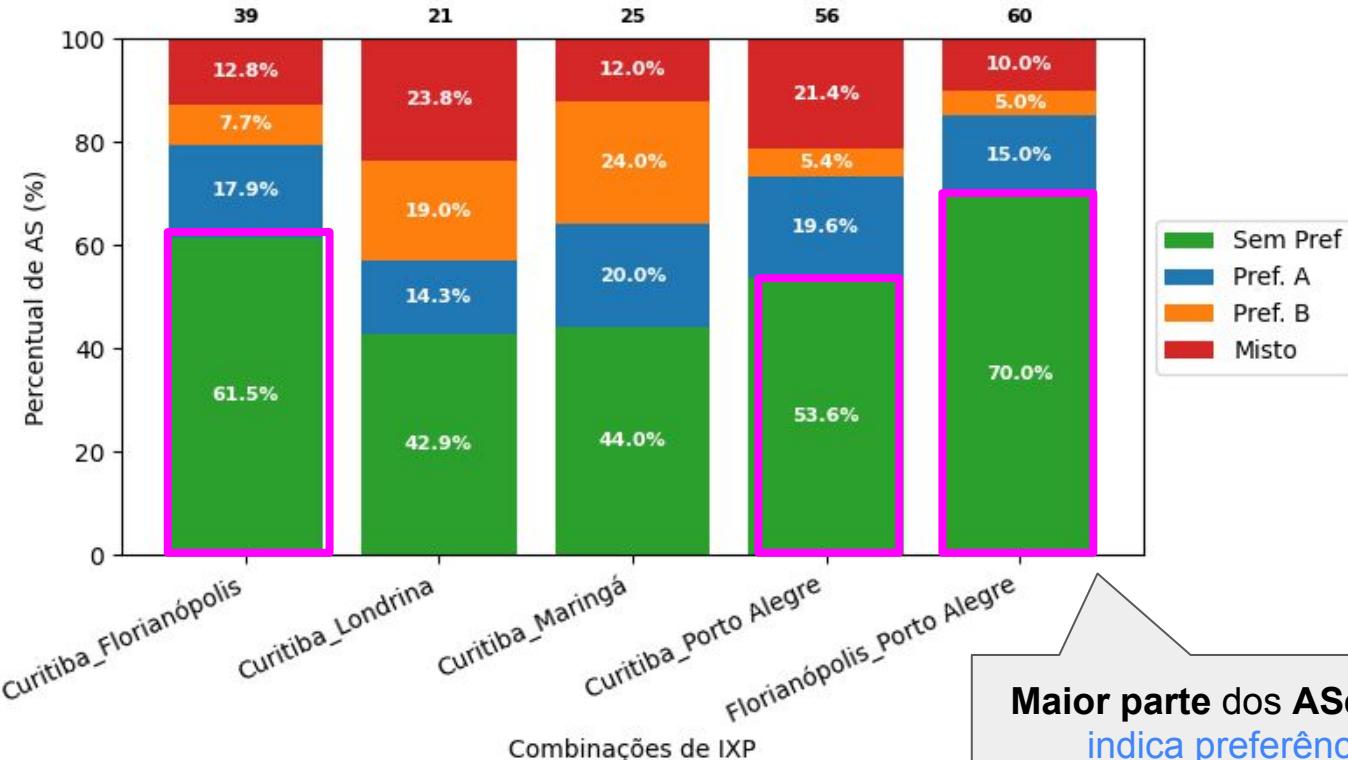
Preferência dos ASes por Combinação de IXP (≥ 20 ASes)



Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



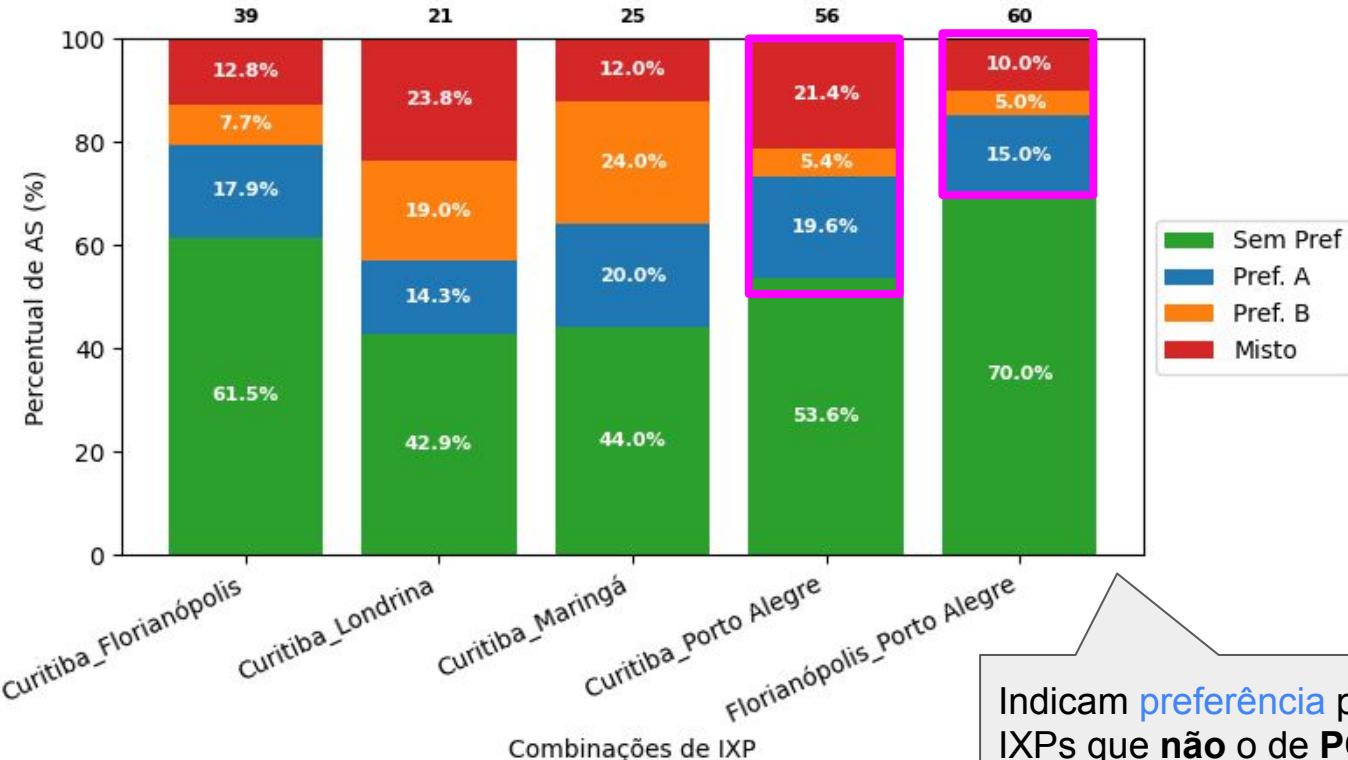
Preferência dos ASes por Combinação de IXP (≥ 20 ASes)



Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



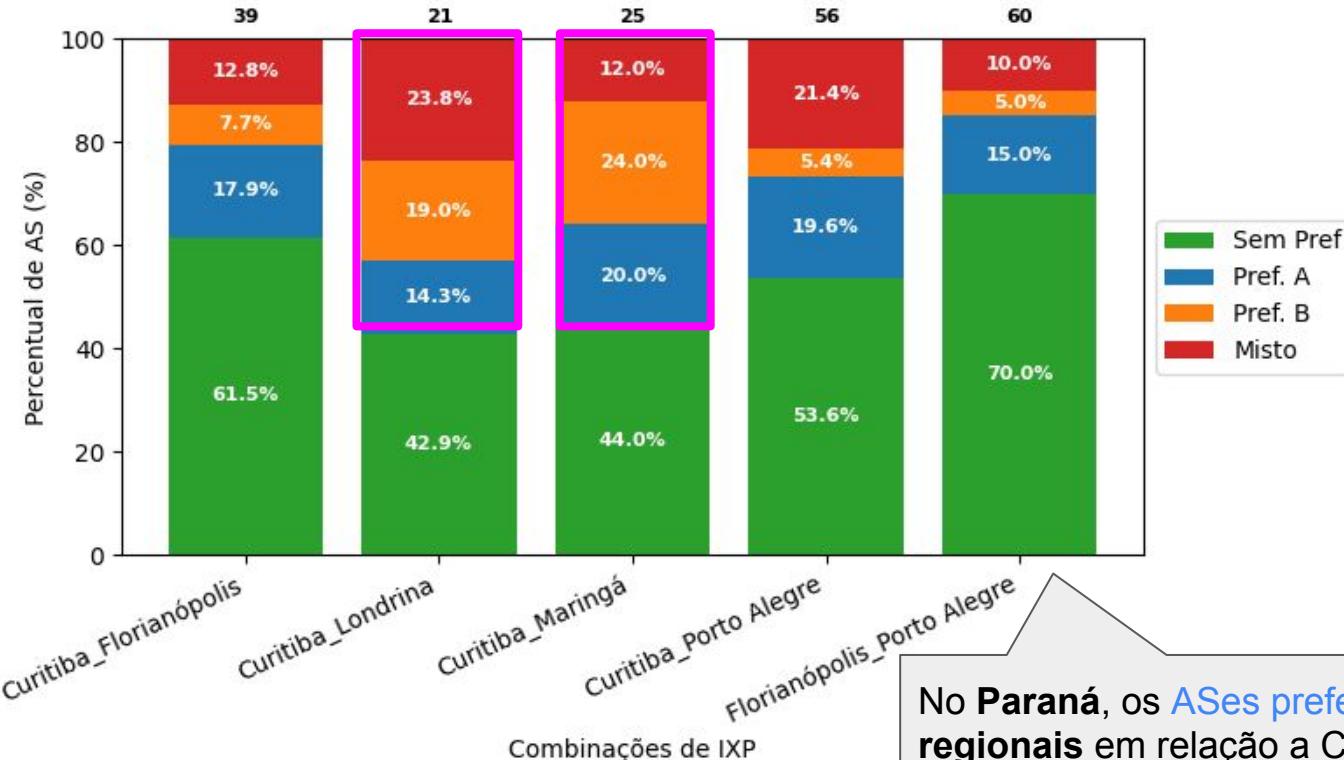
Preferência dos ASes por Combinação de IXP (≥ 20 ASes)



Comportamento dos ASes entre IXPs – IPv4



Preferência dos ASes por Combinação de IXP (≥ 20 ASes)



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...

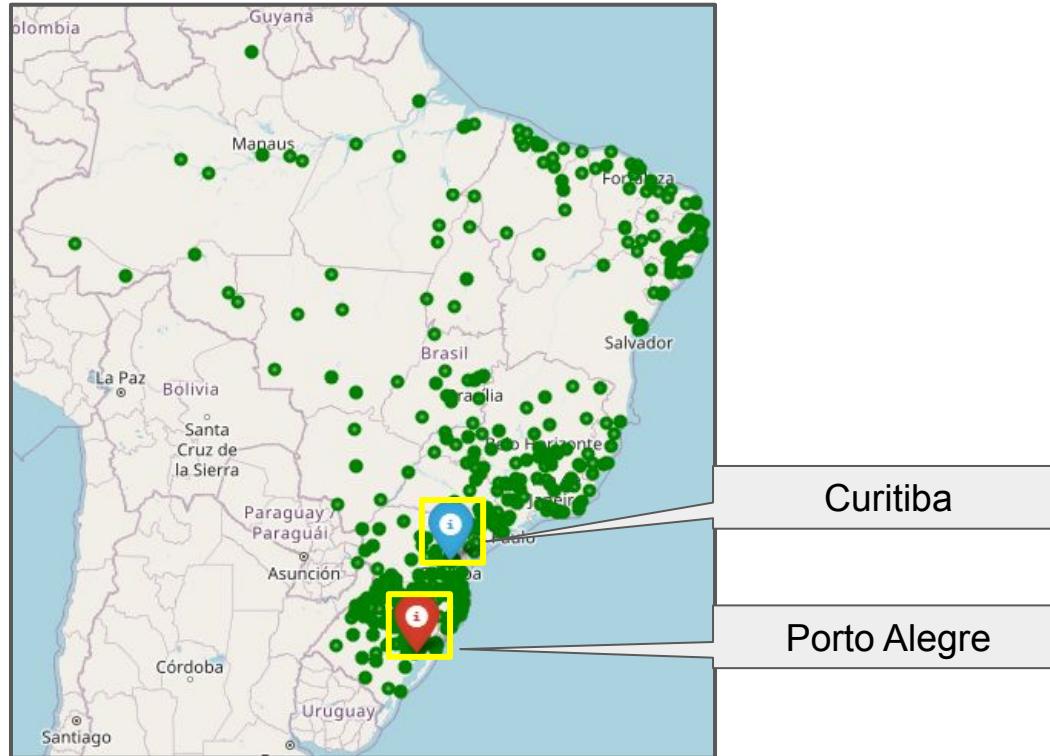
Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...



Sem Preferência

De Forma Geral...

/24 sem preferência



Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...

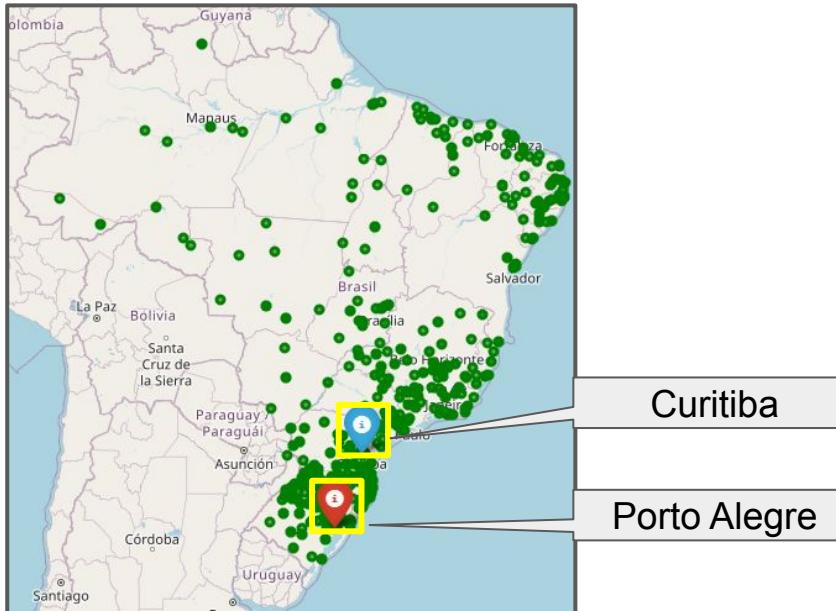


Sem Preferência

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

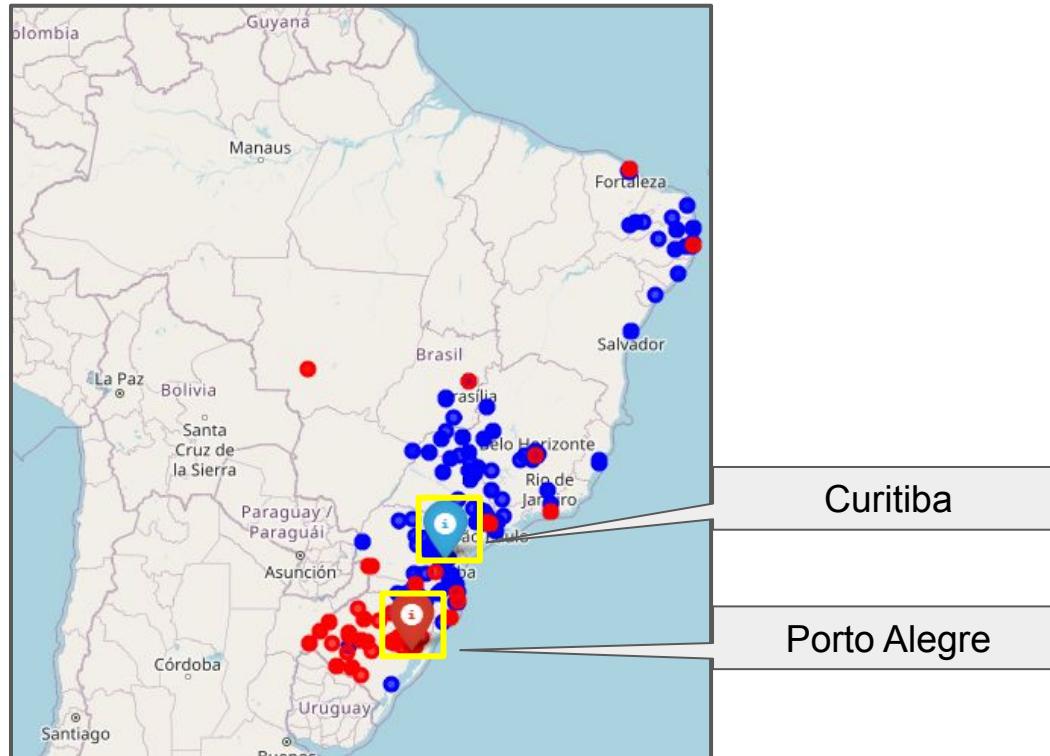
Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...



Com Preferência De Forma Geral...

/24 Com Preferência

- Curitiba (blue dot)
- Porto Alegre (red dot)



Cobertura Geográfica - Curitiba vs. Porto Alegre...



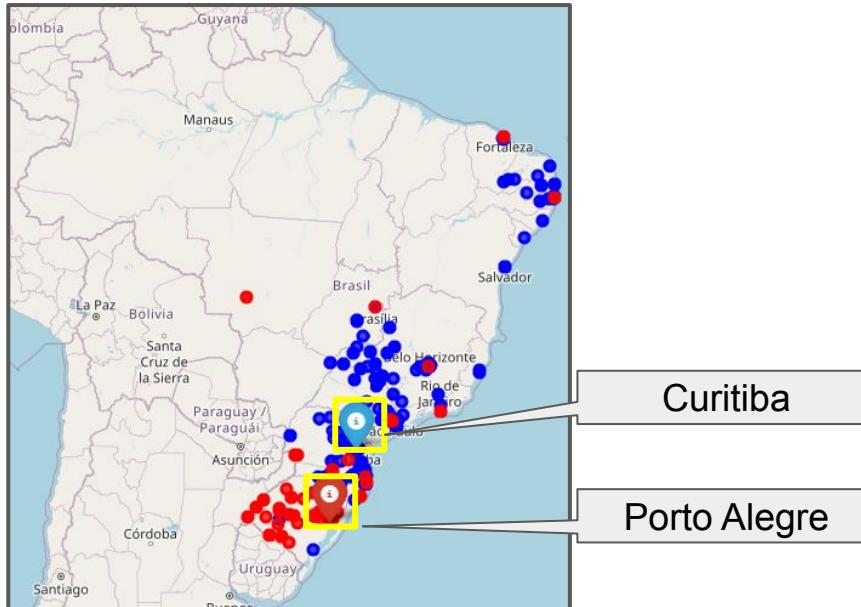
Com Preferência

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

- Curitiba
- Porto Alegre



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



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**.



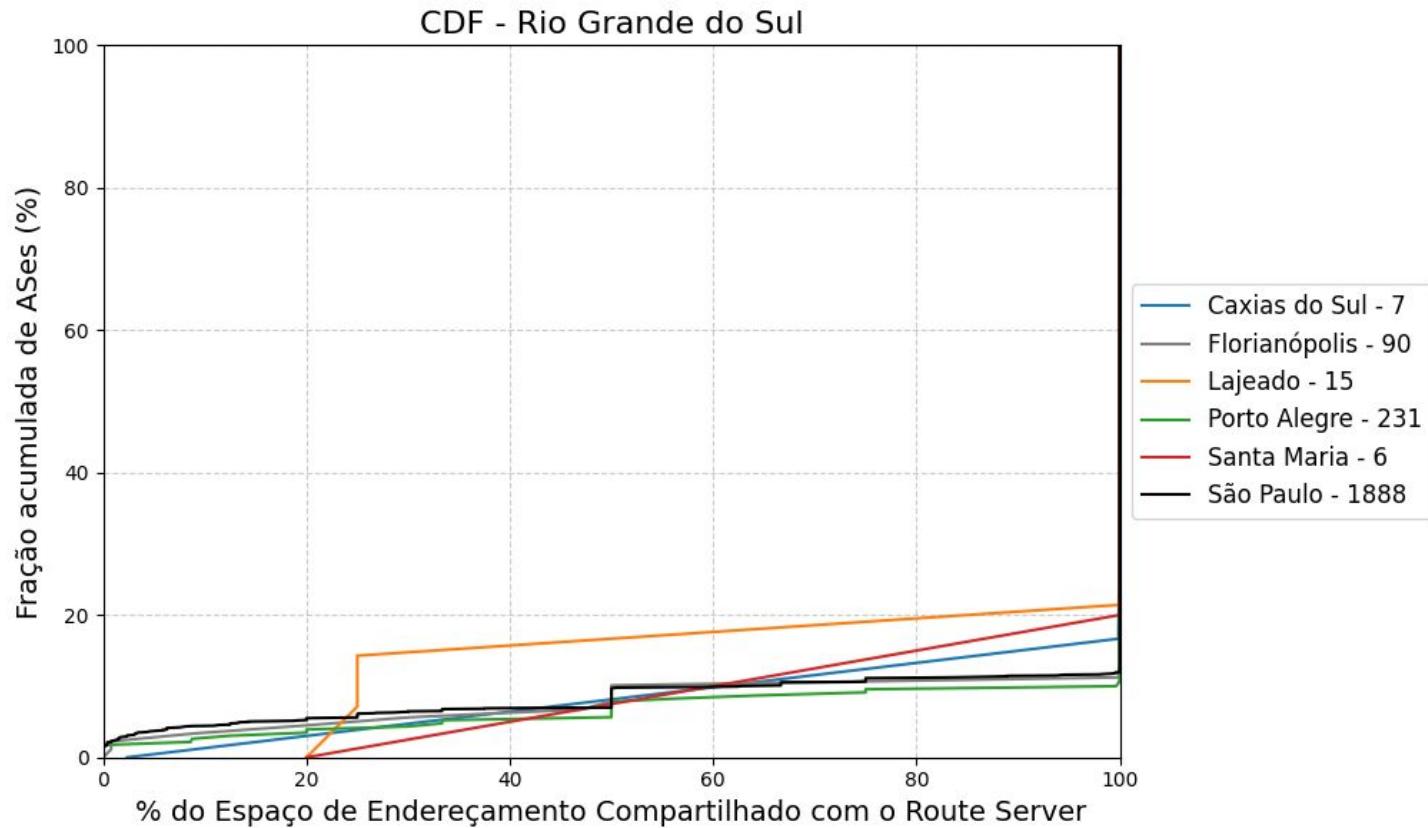
ASes conectados a **múltiplos IXPs** tendem a fazer anúncios **idênticos**, mas, quando há preferência, escolhem **um IXP em detrimento do outro**.



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

