

# Modelo Regional e oportunidades para gerar maiores trocas energéticas entre os países do SIESUR



VIII Mesa de Diálogo SIESUR  
Fevereiro de 2024 - Paraguai

# Plano de apresentação

- 1) Situação atual e Modelo SIESUR
- 2) Modelo ICC-ConeSul-BM
- 3) Melhoria do modelo SIESUR
- 4) Proposta de nova modalidade de intercâmbio para analisar



# Situação atual

- A utilização da infra-estrutura de interligação disponível é inferior a 20%.
- Apoio incondicional em **emergências**.
- Para pensar num planeamento a longo prazo, temos primeiro de fazer progressos na utilização do que já temos.
- O progresso foi alcançado impulsionado por **Situações Extremos Complementares**.

# Exemplo de Situações Extremas Complementares (2021) AR+UY -> BR

*"Por fim, o PDE vem seguidamente abordando a importância, para o Brasil e região, da integração energética com os países vizinhos. A inérita situação hidrológica brasileira demandou não apenas novas medidas locais para garantir o suprimento como conduziu a abertura para intercâmbios energéticos em níveis inéditos. Dados da CAMMESA, ADME e ONS indicam que a importação brasileira de energia elétrica a partir de Argentina e Uruguai somou de janeiro a novembro de 2021 aproximadamente 6.000 GWh."*

# Exemplo de Situações Extremas Complementares (2023) BR -> AR+UY

- Em 2023, o Brasil teve alta disponibilidade hidrelétrica e a Argentina e o Uruguai tiveram uma seca prolongada.
- A autorização pelo Brasil da exportação de Energia Hidráulica de Vertimentos Turbináveis foi CRUCIAL, o que permitiu que grandes volumes fossem importados pela Argentina e Uruguai, compensando assim a falta de chuvas.

# Prob.( SEC ) < 20%



- O recurso hidrelétrico está fortemente correlacionado na região. Os anos Niño são chuvosos e os anos Niña são secos.
- Isso faz com que as **Situações Extremos Complementares** tenham uma **probabilidade relativamente baixa (<20%)**.
- É verdade que estas situações são as que mais beneficiam com as trocas, mas precisamos de viabilizar a utilização dos outros 80% da capacidade subutilizada

# A troca marginalista



- Em teoria, a energia deveria fluir através das interligações, do mercado de custo marginal mais baixo para o mercado de custo marginal mais elevado, aumentando o nível de troca até que os custos marginais se equalizem (tendo em conta os factores de perda) ou atinjam o limite da capacidade de troca.
- Os efeitos nos custos/remunerações dos agentes internos de cada país costumam ser a base das dificuldades para trocas fora de Situações Extremos Complementares.

# Necessidade de um Modelo Regional Aberto (MRA)



- É necessário poder simular as modalidades de trocas viáveis para avaliar os seus potenciais benefícios e os possíveis impactos nos preços e remunerações em cada mercado.

# Dados e Modelo Regional Aberto (MRA)

- Ferramentas e dados abertos a todos os envolvidos nos setores elétricos de cada país.
- Governos, operadoras, geradores, grandes consumidores, comerciantes, consultores e academia.



# Modelo Regional SIESUR



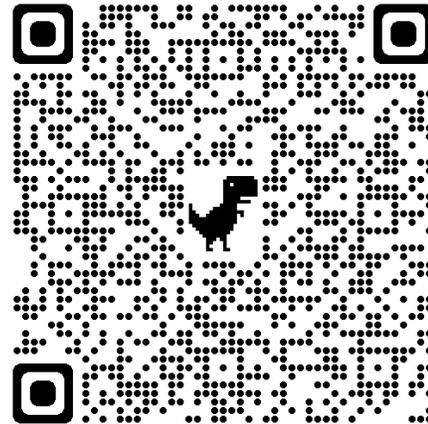
- Modelo SimSEE bastante detalhado do Chile, Uruguai e Paraguai e de forma mais simplificada os sistemas da Argentina e do Brasil.
- Este modelo foi desenvolvido por Eliana Cornalino, Lorena Di Chiara e Jaime García
- Foram apresentados resultados das simulações realizadas nas tabelas de diálogo do SIESUR VI e VII.

*Modelo de estudio regional:  
Impacto das mudanças climáticas na geração de eletricidade  
nos países do Cone Sul (Banco Mundial 2023)*

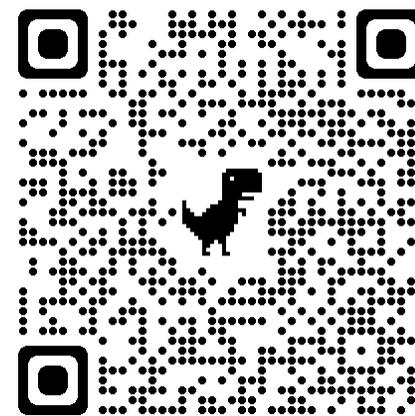
- Modelo SimSEE bastante detalhado do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, não inclui o Chile



Reporte Final



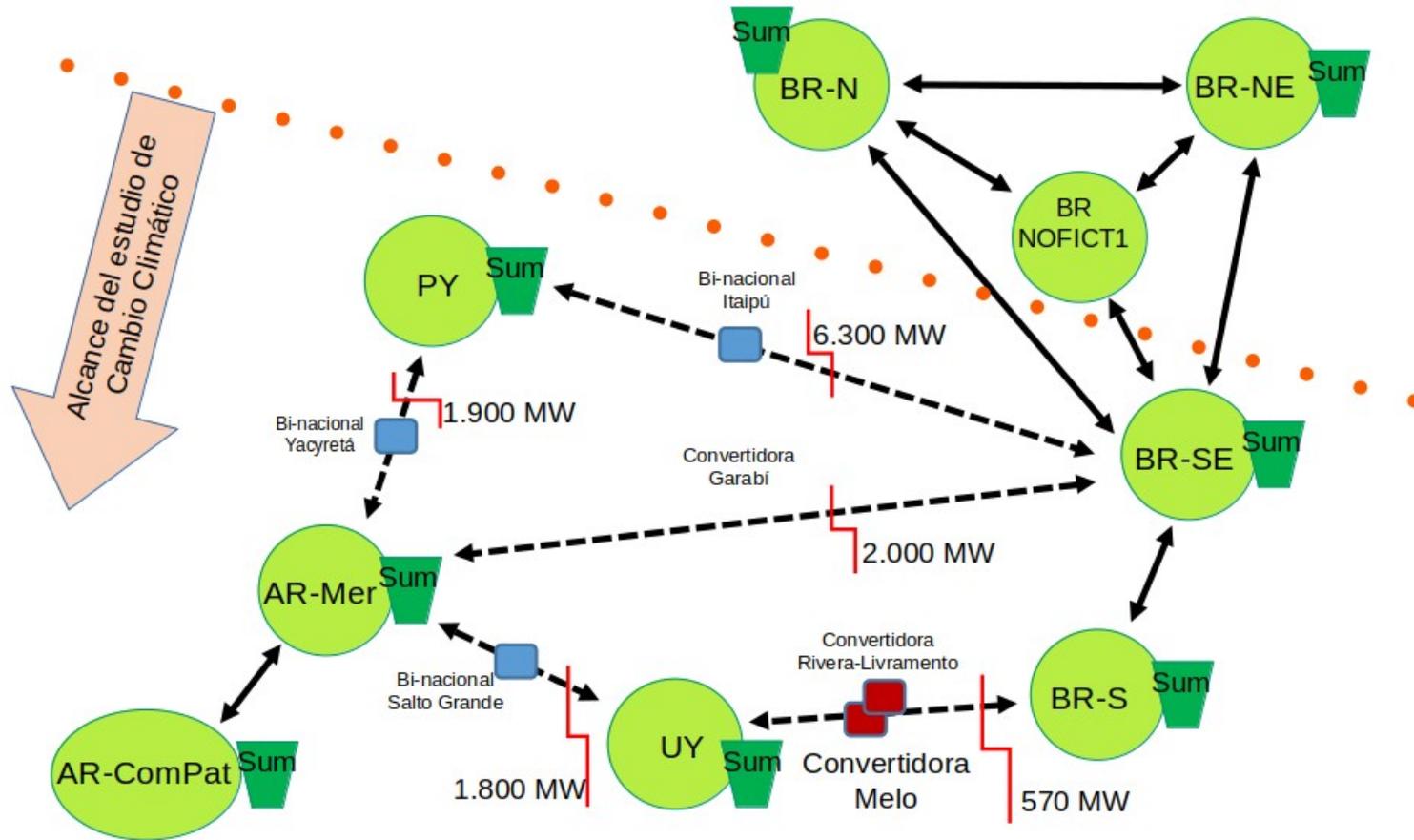
Anexo detalles  
modelo en SimSEE



Modelo SimSEE



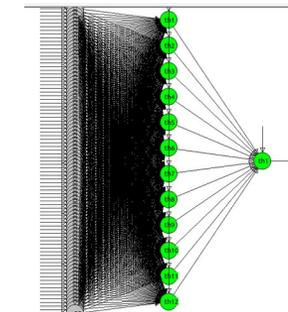
# Representação por zonas



		REGIONES		PAÍSES	
		Dem	Gen	Dem	Gen
		MW-m	MW-m	MW-m	MW-m
AR	ComPat	1.056	5.256	17.995	18.238
	MER	16.939	12.982		
BR	N	7.857	11.255	93.385	98.008
	NE	15.445	23.490		
	S	16.502	14.076		
	SE	53.581	49.187		
PY		4.223	6.513	4.223	6.513
UY		1.537	1.670	1.537	1.670
Total		117.140	124.430		

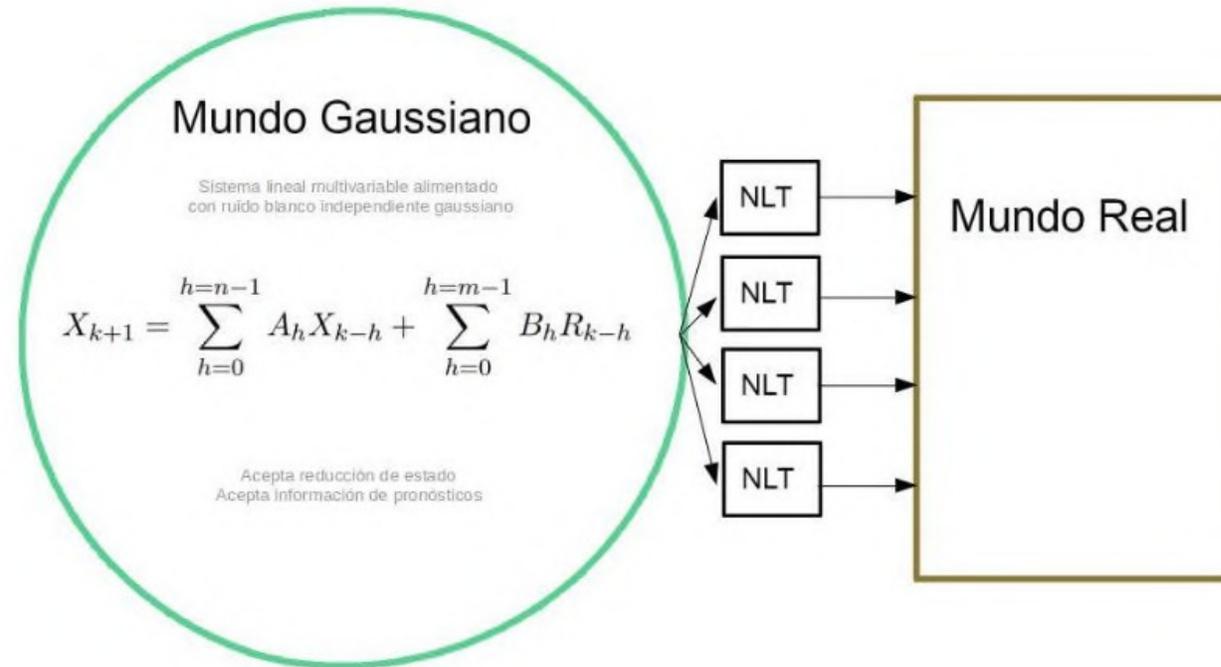


# Política de Operação (76 variáveis de estado)



1	AR_hid_ALI_Vol	21	BR_hid_CORUMBA_III_Vol	41	BR_hid_MACHADINHO_Vol	61	BR_hid_SAO_SIMAO_Vol
2	AR_hid_CHO_Vol	22	BR_hid_CORUMBA_IV_Vol	42	BR_hid_MANSO_Vol	62	BR_hid_SEGREDO_Vol
3	AR_hid_PBA_Vol	23	BR_hid_CURUA-UNA_Vol	43	BR_hid_MARIMBONDO_Vol	63	BR_hid_SERRA_FACAO_Vol
4	AR_hid_PIE_Vol	24	BR_hid_EMBORCACAO_Vol	44	BR_hid_MAUА_Vol	64	BR_hid_SERRA_MESA_Vol
5	BR_hid_A.A._LAYDNER_Vol	25	BR_hid_ERNESTINA_Vol	45	BR_hid_MIRANDA_Vol	65	BR_hid_SINOP_Vol
6	BR_hid_A._VERMELHA_Vol	26	BR_hid_ESPORA_Vol	46	BR_hid_NOVA_PONTE_Vol	66	BR_hid_SLT.SANTIAGO_Vol
7	BR_hid_B._ESPERANCA_Vol	27	BR_hid_FUNIL_Vol	47	BR_hid_P._CAVALO_Vol	67	BR_hid_SOBRADINHO_Vol
8	BR_hid_BALBINA_Vol	28	BR_hid_FURNAS_Vol	48	BR_hid_P._ESTRELA_Vol	68	BR_hid_STA_CLARA_PR_Vol
9	BR_hid_BARRA_BONITA_Vol	29	BR_hid_G.B._MUNHOZ_Vol	49	BR_hid_PARAIBUNA_Vol	69	BR_hid_TRES_IRMAOS_Vol
10	BR_hid_BARRA_GRANDE_Vol	30	BR_hid_G.P._SOUZA_Vol	50	BR_hid_PASSO_FUNDO_Vol	70	BR_hid_TRES_MARIAS_Vol
11	BR_hid_BATALHA_Vol	31	BR_hid_GARIBALDI_Vol	51	BR_hid_PASSO_REAL_Vol	71	BR_hid_TUCURUI_Vol
12	BR_hid_BILLINGS_Vol	32	BR_hid_GUARAPIRANGA_Vol	52	BR_hid_PEIXE_ANGIC_Vol	72	PY_hid_Yguazú_Vol
13	BR_hid_CACONDE_Vol	33	BR_hid_I._SOLTEIRA_Vol	53	BR_hid_PROMISSAO_Vol	73	UY_hid_Bonete_Vol
14	BR_hid_CACU_Vol	34	BR_hid_IRAPE_Vol	54	BR_hid_QUEBRA_QUEIX_Vol	74	UY_hid_Palmar_Vol
15	BR_hid_CAMARGOS_Vol	35	BR_hid_ITAPARICA_Vol	55	BR_hid_QUEIMADO_Vol	75	UY_hid_SaltoGrande_CTM50_Vol
16	BR_hid_CAMPOS_NOVOS_Vol	36	BR_hid_ITUMBIARA_Vol	56	BR_hid_RETIRO_BAIXO_Vol	76	iN34
17	BR_hid_CAPIM_BRANC1_Vol	37	BR_hid_JAGUARI_Vol	57	BR_hid RondON II_Vol		
18	BR_hid_CAPIVARA_Vol	38	BR_hid_JORDAO_Vol	58	BR_hid_SAMUEL_Vol		
19	BR_hid_CHAVANTES_Vol	39	BR_hid_LAJES_Vol	59	BR_hid_SANTA_BRANCA_Vol		
20	BR_hid_CORUMBA_I_Vol	40	BR_hid_M._DE_MORAES_Vol	60	BR_hid_SAO_ROQUE_Vol		

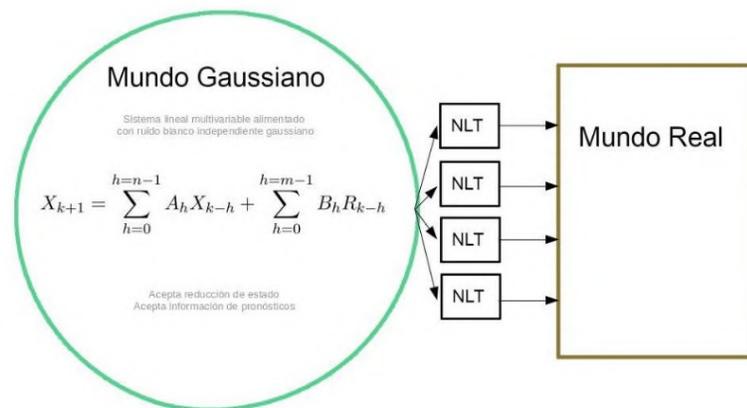
# Modelo estocástico de vazões



CEGH considerando as vazões das bacias incrementais de 151 usinas e índice de anomalia de temperatura superficial do Oceano Pacífico na zona 3.4



# Modelo estocástico de velocidade do vento, radiação solar e temperaturas

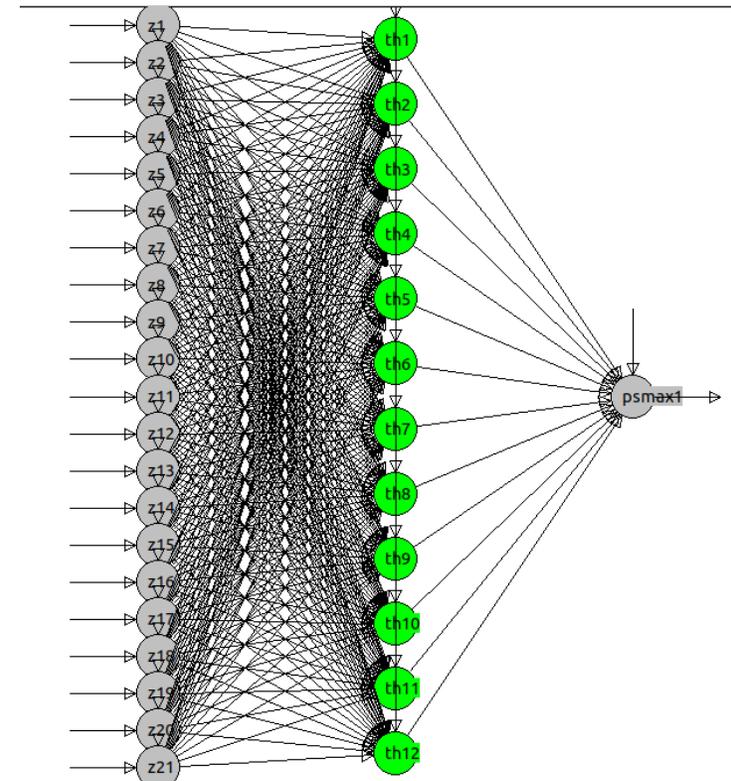


CEGH: Velocidade do vento, radiação solar e temperatura de 21 + 6 localidades.



# Modelo de demanda horária dependendo do tipo de dia e temperatura

Para cada região foi ajustado um modelo de rede neural que considera como entrada a temperatura média diária e o tipo de dia (dia útil, semi-feriado ou feriado) além de uma entrada que representa o instante de tempo (para permitir que possíveis tendências sejam capturados) e entradas de séries de senos e cossenos que representam os três primeiros harmônicos do ciclo anual e dos ciclos semanal e diário.



# Resultados principais ICC-Cone Sul (1)

- De modo geral, há aumento da demanda em todos os países, sendo o aumento mais relevante no Paraguai e no Brasil.
- A geração hidrelétrica aumenta no Brasil e no Paraguai e diminui no Uruguai e na região sul da Argentina.
- De modo geral, verifica-se que o aumento da temperatura tem o efeito de reduzir a capacidade de geração das usinas térmicas, o que, somado ao aumento da Demanda, aumenta a necessidade de backup do sistema.
- O aumento da geração hidráulica no Brasil e no Paraguai supera o aumento da Demanda, o que se traduz no aumento dos excedentes hidráulicos exportáveis de ambos os países.
- **O comportamento desigual na disponibilidade do recurso hidroelétrico, na procura e nas necessidades de energia são impactos que podem ser mitigados por todos os países fazendo uso da infra-estrutura de interligação existente.**



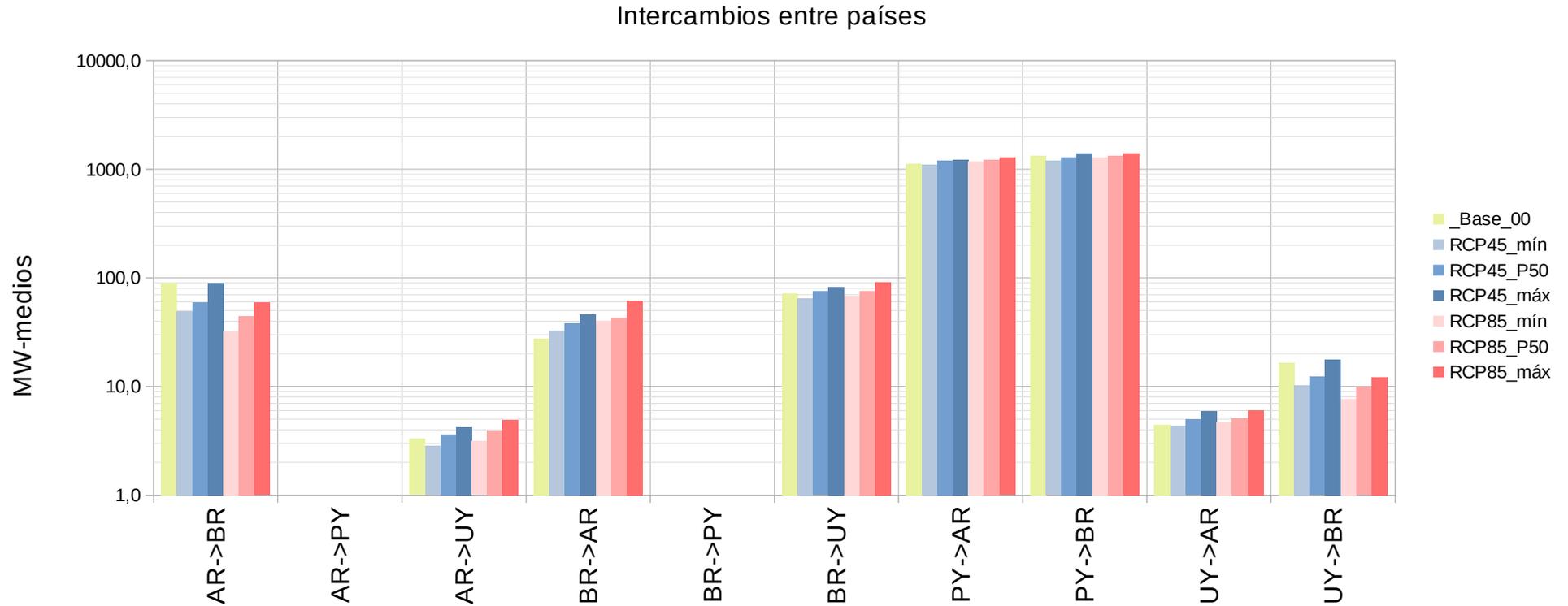
# Resultados principais ICC-Cone Sul (2)

- Os sistemas analisados têm uma componente hídrica muito relevante. Este recurso apresenta variabilidade anual significativa. (+/- 30% do seu valor esperado com distribuição quase uniforme.
- 
- O impacto no valor esperado da energia influente associada às alterações climáticas é uma ordem de grandeza inferior às variações anuais que o recurso apresenta hoje.
- 
- Isto implica que dificilmente se justificam possíveis ações para mitigar variações como a instalação de centrais de acumulação e bombagem, dado que a capacidade instalada dos subsistemas hidráulicos já está preparada para amortecer ao máximo as grandes variações anuais do recurso.
- 
- No funcionamento atual dos sistemas, as trocas são realizadas com base nas ofertas diárias dos excedentes que cada país tem disponíveis. De acordo com as simulações realizadas, o Brasil e o Paraguai como um todo terão maiores excedentes hidrelétricos exportáveis fora da primavera.





# Resultados principais ICC-Cone Sul (3)

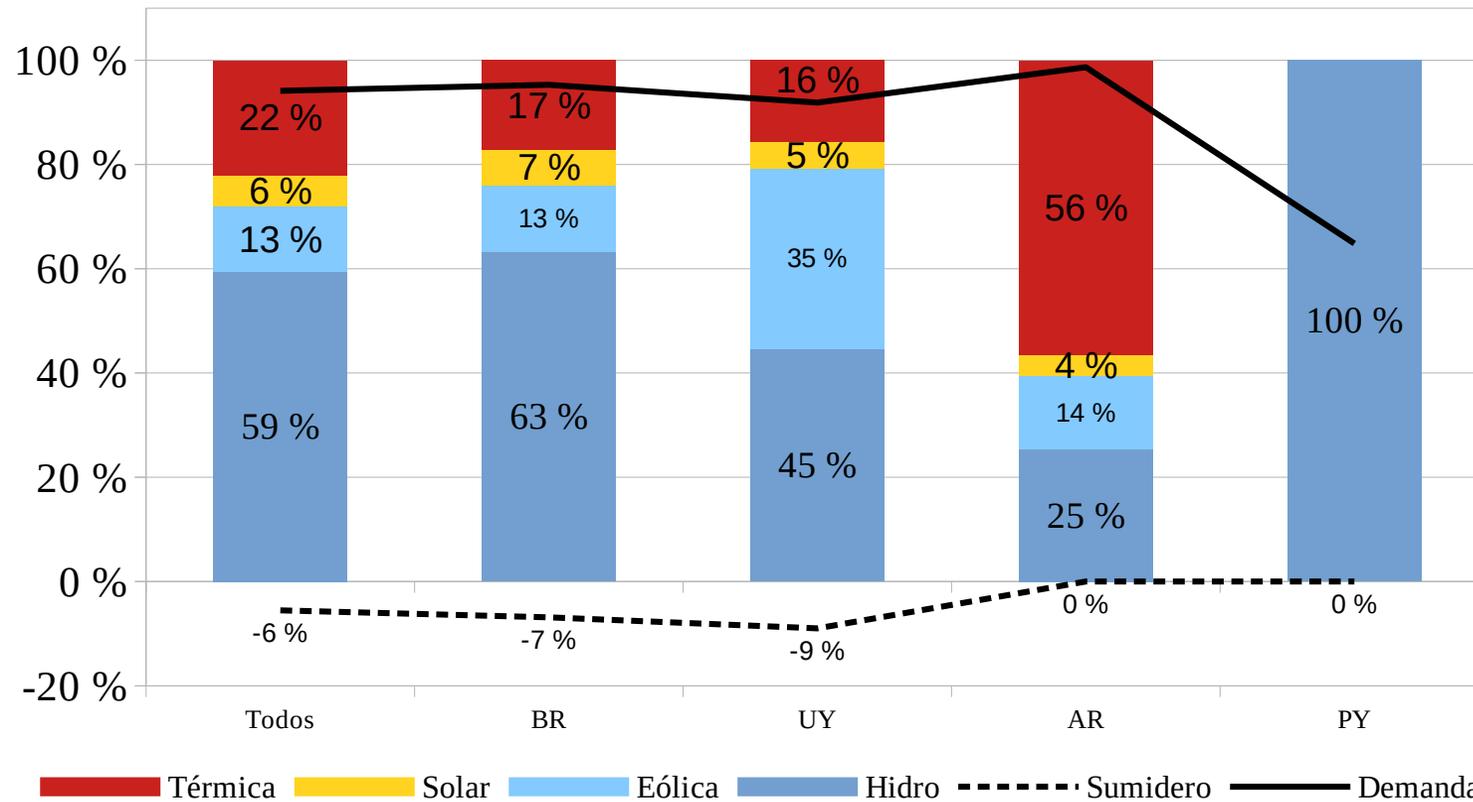




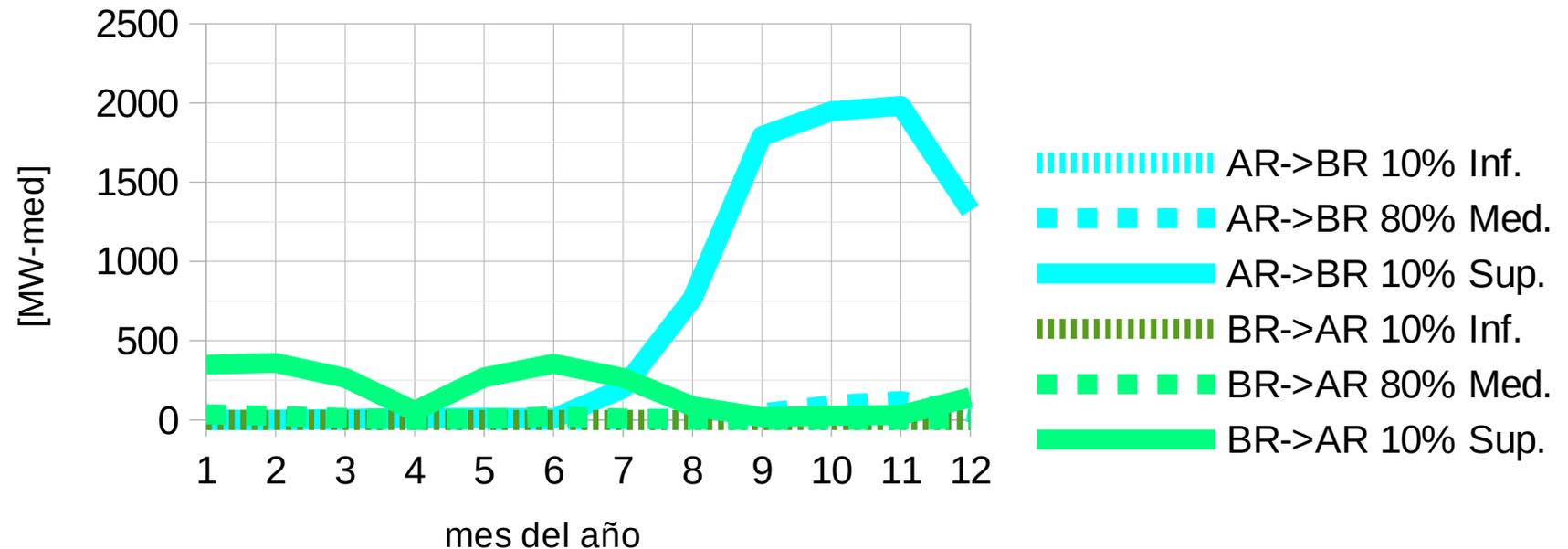
# Algumas observações das simulações do modelo ICC-ConeSul que contribuem para a análise do SIESUR

As simulações foram realizadas com uma barreira às trocas de US\$ 60/MWh para refletir a situação atual em que os países apenas trocam vertimentos turbinadas ou térmicas para substituir a geração térmica.

# Composição da matriz de geração

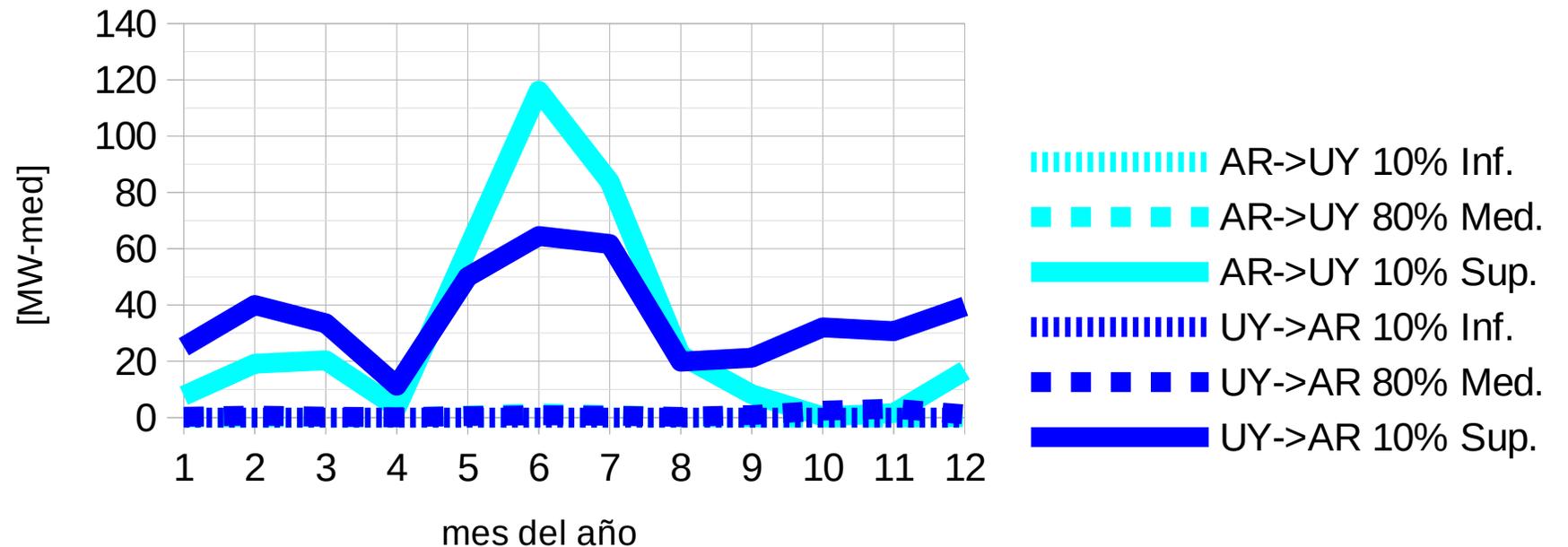


# Fluxos por mês e faixa de probabilidade Argentina <-> Brasil (d60)

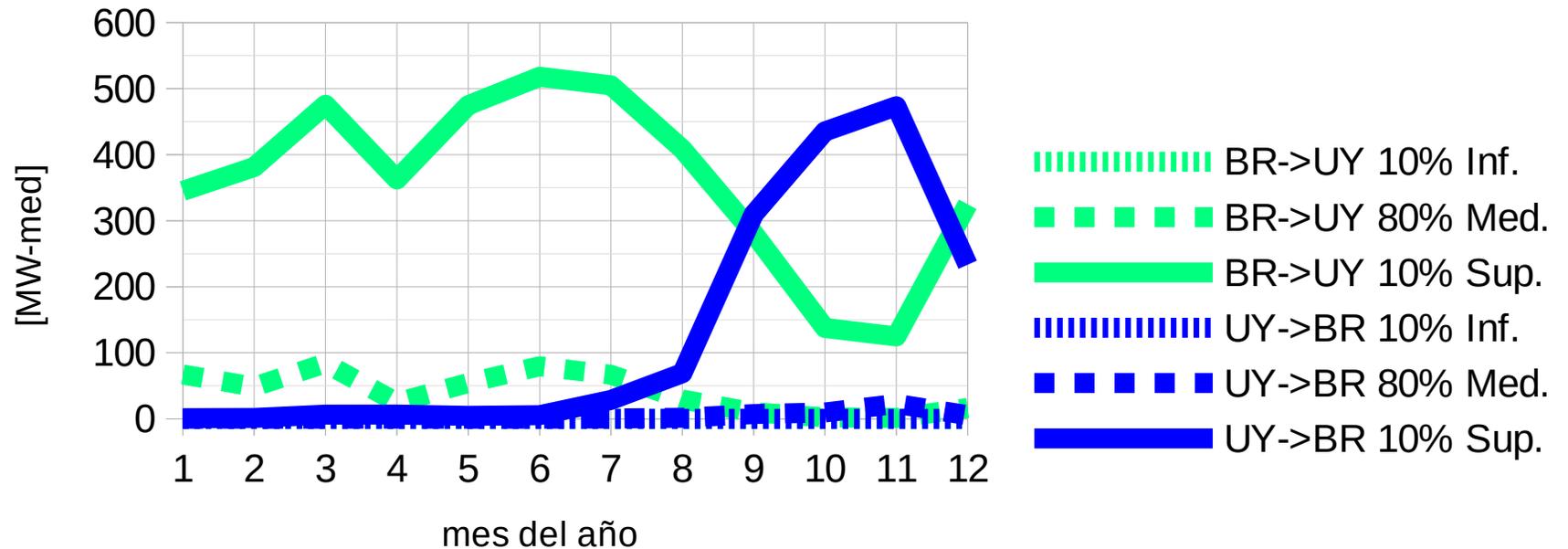


# Fluxos por mês e faixa de probabilidade

## Argentina <-> Uruguay (d60)



# Fluxos por mês e faixa de probabilidade Brasil <-> Uruguay (d60)



# Proposta de aprimoramento do Modelo Regional do SIESUR



- Incorporar os modelos detalhados da Argentina e do Brasil do MICC\_BM ao modelo SIESUR
- Refaça modelos estocásticos de vazões e séries de radiação, velocidade do vento e temperatura com a metodologia MICC\_BM
- Incorporar modelos de demanda dependentes da temperatura, como MICC\_BM

# Como aumentar o intercâmbio entre os países do SIESUR?



- Devemos ter como objetivo cobrir 80% das situações que não são SEC.
- Para tal, é necessária a troca em situações normais, o que implica a utilização/substituição de água represada.

## Nova Modalidade de Troca: Troca Ocasional Diferida(TOD)

- Aumentar o fator de utilização das interligações através da troca em situações não só associadas ao SEC.
- Para isso, propõe-se utilizar os reservatórios das hidrelétricas, mas sem afetar a otimização deles que cada país faz.

## Troca Ocasional Diferida (TOD) Gerador Hidráulico (GH)

- Quando no pré-despacho diário é despachado um GH, que tem capacidade de armazenamento restante e caso exista oferta de TOD de um país vizinho com capacidade de interligação restante, este poderá importar energia, reduzindo na mesma quantidade a sua própria produção.
- Nestas condições, considerar-se-á que o referido GH cumpriu o despacho (entregando a energia importada em vez da energia gerada), garantindo assim que nenhuma remuneração no mercado interno do referido gerador seja afetada.

# Troca Ocasional Diferida

## Tratamento de Energia Armazenada TOD

- Ao reduzir sua geração, a energia não gerada pelo GH ficará represada em seu lago e será considerada pelo ONS como Energia Armazenada TOD.
- A Energia Armazenada TOD será a primeira vertida em caso de vertimento da planta hidráulica.
- Os mesmos coeficientes de evaporação e perda do reservatório serão aplicados à Energia Armazenada TOD.
- Para efeitos de programação da operação, o ONS não considerará a Energia Armazenada TOD, o que garante que a otimização dos reservatórios não é afetada pela referida energia.

# Troca Ocasional Diferida

## Venda de Energia Armazenada TOD

- Quando o GH resultar em pré-despacho diário com capacidade de geração remanescente, o comercializador com direitos sobre a energia TOD armazenada em seu reservatório poderá oferecer a parcela gerável dessa energia, tanto para o mercado interno quanto para os mercados regionais que possuam capacidade remanescente em as interconexões.
- Estas ofertas terão o mesmo tratamento no mercado interno do GH que as ofertas de importação de países vizinhos.

# Quem é o comercializador com direitos sobre a energia armazenada TOD?

- Depende de como é implementado.
- Enquanto houver condições em que as trocas baseadas em ofertas de blocos de energia com preço não permitam trocas fluidas, o comercializador que fizer as referidas ofertas poderá licitar o bloco de energia associado aos Vertimientos Turbináveis entre os Geradores Hidráulicos da região em condições de apreender referida energia no modo TOD.
- Dependendo da forma como este concurso for realizado, os direitos sobre a energia permanecem com o comercializador que realiza o concurso ou são transferidos para o comercializador ou GH vencedor.
- Exemplo 1, poderia ser licitada a comissão pela venda, que o GH cobraria quando a venda do TOD fosse concluída. Nesse caso, os direitos permanecem com o comercializador que realiza a licitação.
- Exemplo 2, é lançado um concurso para compra do bloco de energia a retirar na modalidade TOD e nesse caso os direitos sobre a energia passam para o comercializador/GH que armazenará a energia para posterior venda.

# Muito obrigado pela sua atenção



- Não há nada impossível para uma boa equipe, apenas coisas um pouco mais difíceis