

Estudo da disponibilidade de Energia Eólica em cenários de mudanças climáticas futuras

Fernando Ramos Martins

Enio Bueno Pereira



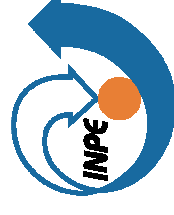
**Ministério da Ciência e Tecnologia
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST)**

Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.



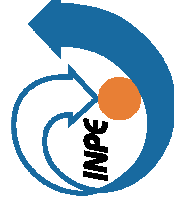
Equipe envolvida no desenvolvimento do estudo

- Enio Bueno Pereira (coordenador)
- André Lyra
- Eliude Introvini
- Fernando Ramos Martins
- Marcelo Pizuti Pes



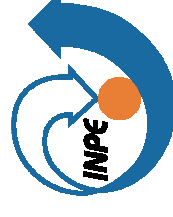
Sumário

- Objetivo do trabalho
- Relevância do trabalho
- Metodologia empregada
- Resultados alcançados



Objetivo

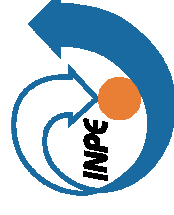
- *Principal:*
 - Avaliar o impacto das alterações climáticas no potencial de geração de eletricidade utilizando a energia eólica;
- *Secundários:*
 - Desenvolver uma metodologia para previsão de longo prazo de recursos energéticos renováveis;
 - Desenvolver uma metodologia para uso de modelos de mesoescala para levantamento de recursos de energia eólica no território brasileiro;
 - Contribuir para o planejamento energético do país por meio de geração de uma base de dados climatológicos aplicados ao setor energético.



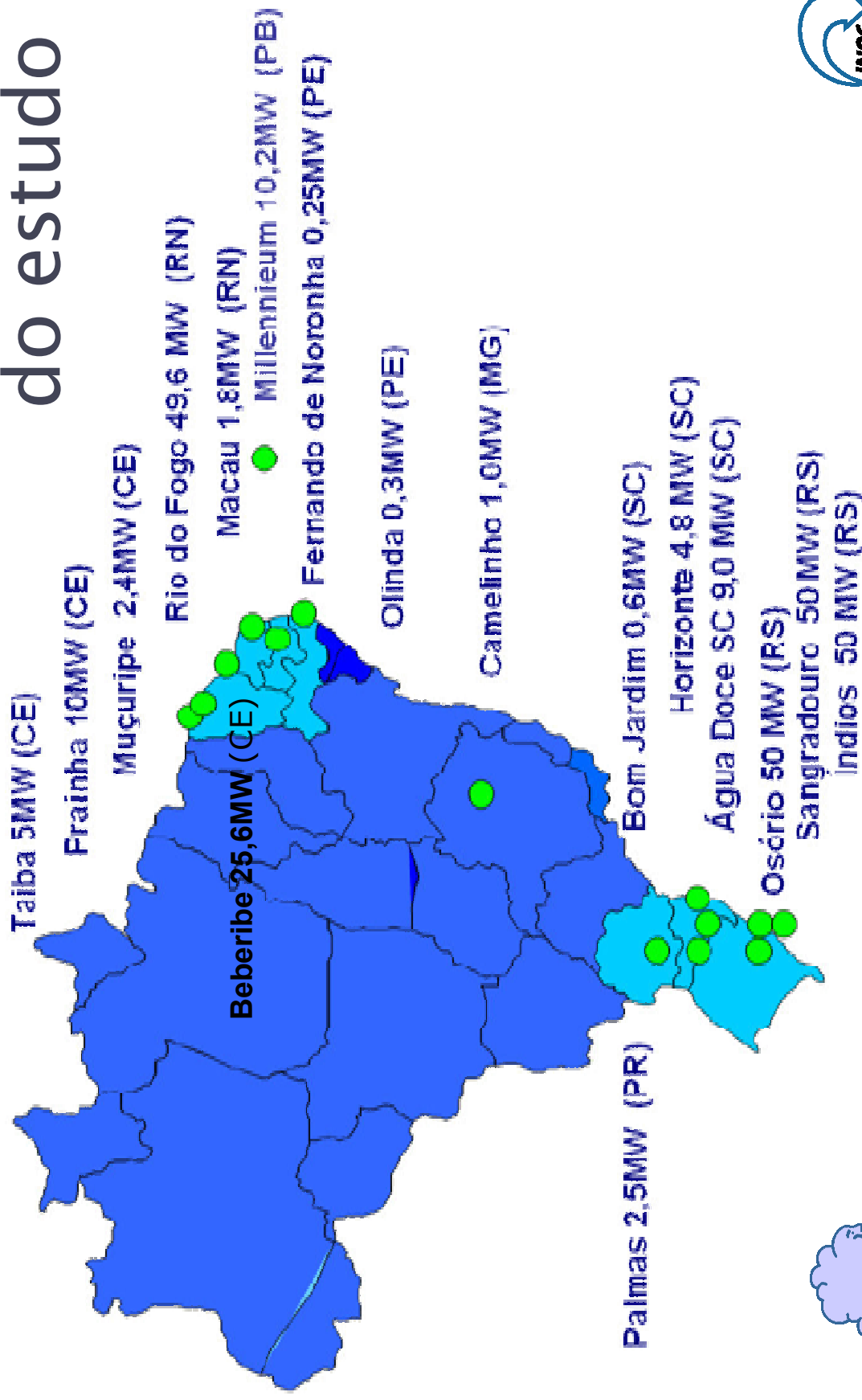
Relevância do estudo

Meteorologia aplicada ao setor energético

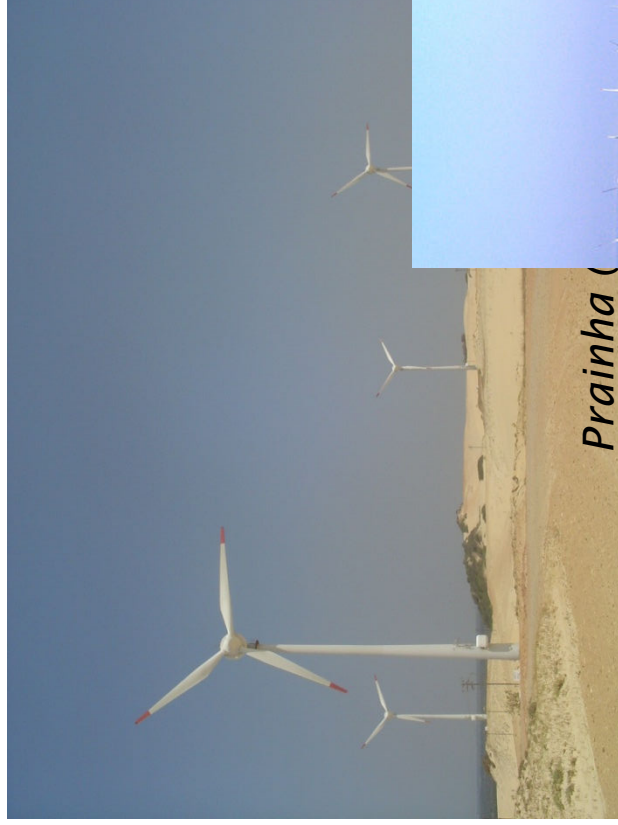
- Planejamento energético:
 - Geração e distribuição de eletricidade
 - Forte influência de fatores climáticos
 - Segurança energética
 - Complementaridade entre diversas fontes renováveis
- Preocupação social e ambiental
 - Relação Desenvolvimento Humano – Consumo de energia
 - Redução da queima de combustíveis fósseis
 - Energia nuclear pouco aceita pela sociedade
 - Uso de energias renováveis



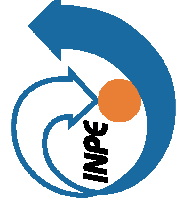
Relevância do estudo



Relevância do estudo

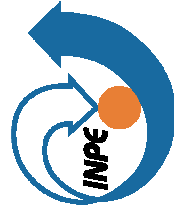


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.





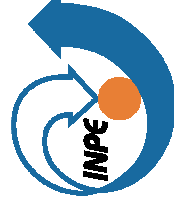
INVENTÁRIOS NACIONAIS



Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

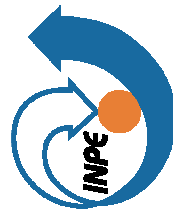
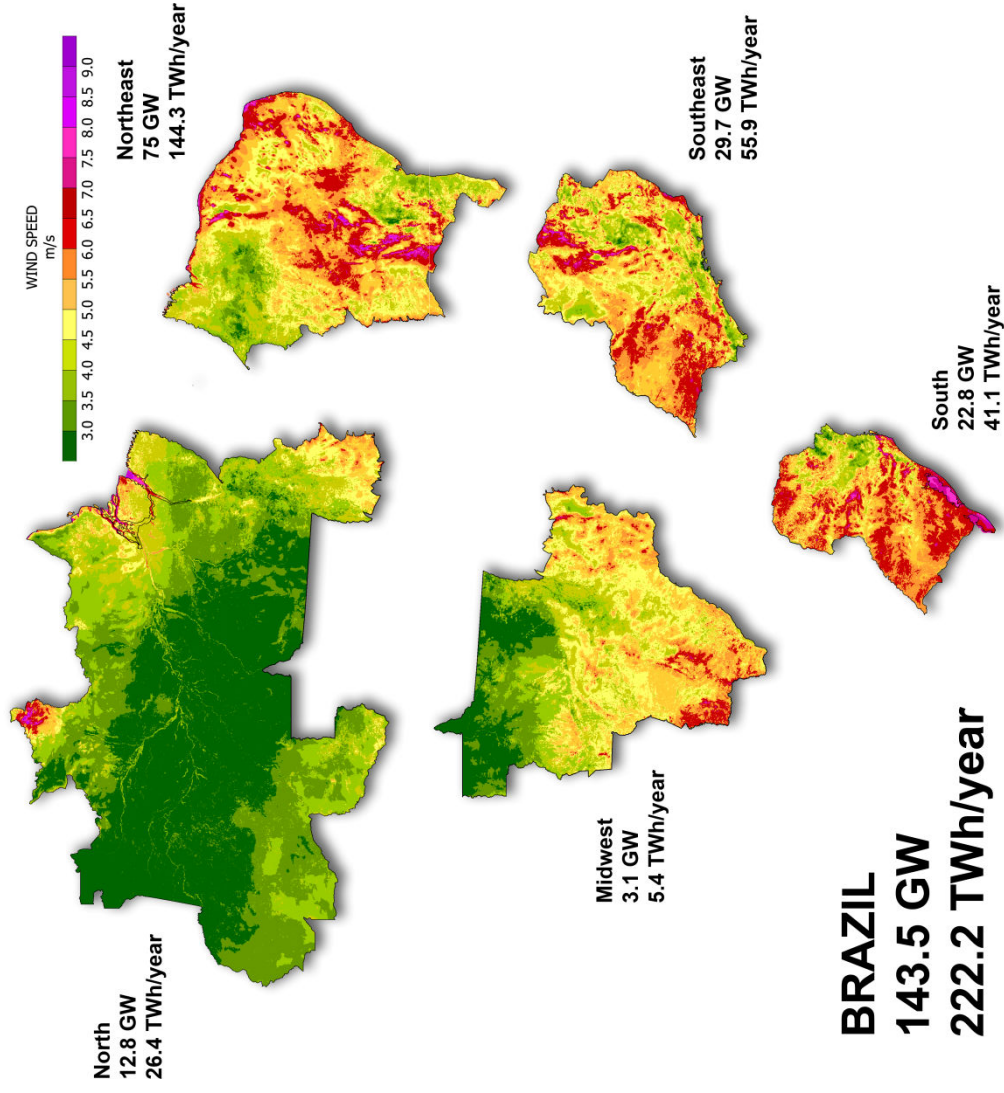
Mapas eólicos nacionais

- ✧ **Brasil** (www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas.htm)
([www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica(3).pdf))
- ✧ **Ceará** (<http://www.seinfra.ce.gov.br/>)
- ✧ **Rio Grande do Sul** (<http://www.semc.rs.gov.br>)
- ✧ **Bahia** (<http://www.coelba.com.br>)
- ✧ **Rio de Janeiro** (romilda@desenvolvimento.rj.gov.br)
- ✧ **Alagoas** (http://www.desenvolvimentoeconomico.al.gov.br/minas-e-energia/mapa-eolico/ATLAS_EOLICO_AL_cap03.pdf/view)
- ✧ **Paraná** (<http://www.copel.com/>)
- ✧ **Região Sul** (<http://sonda.cptec.inpe.br/>)
- ✧ **Região Nordeste** (<http://sonda.cptec.inpe.br/>)
- ✧ **São Paulo** (em execução)
- ✧ **Santa Catarina**
- ✧ **Espírito Santo**
- ✧ **Mato Grosso do Sul**
- ✧ **Rio Grande do Norte**
- ✧ **Ilha de Marajó**



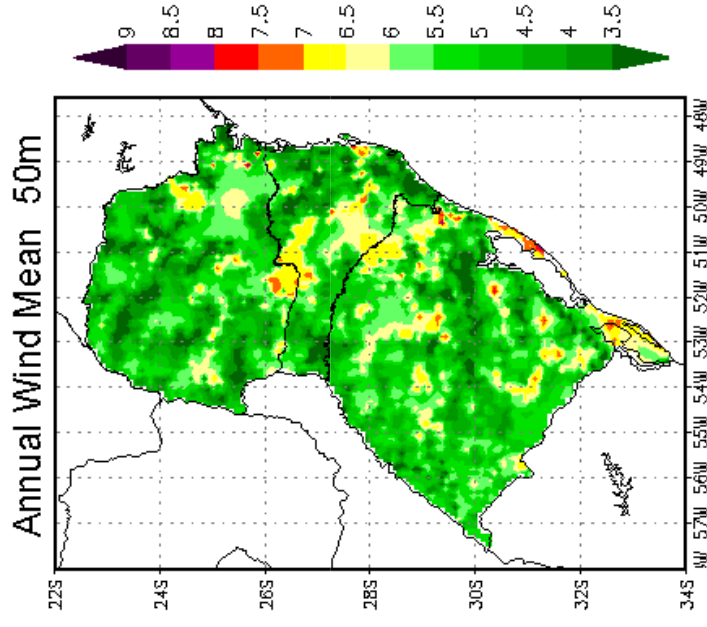
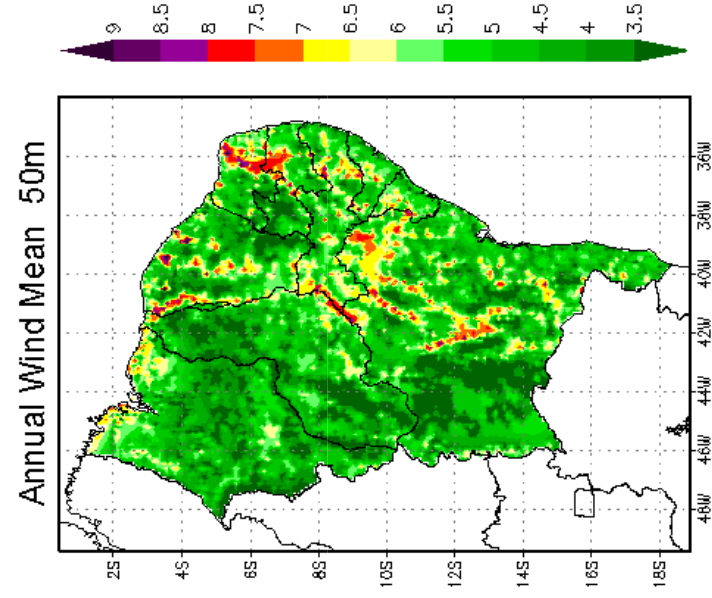
Potencial eólico nacional

Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. - Amarante et al., Ministério de Minas e Energia / Eletrobrás / CEPEL / Cresesb, 2001



Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

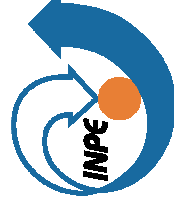
Mapeamento com uso do modelo Eta



Metodologia

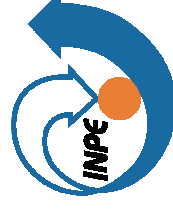
Descrição sucinta:

- Emprego do modelo Eta(CPTEC) para simular o recurso eólico no período de 1960 a 1990
- Avaliação do desempenho do modelo por meio de comparações com dados coletados em superfície
- Uso do modelo Eta(CPTEC) para a simulação de clima futuro e avaliação do recurso eólico no futuro



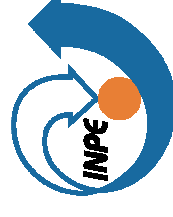
Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

- Intuito
 - avaliar se o modelo é capaz de simular as condições observadas no período de 1960 e 1990;
 - averiguar a confiabilidade do modelo para estimar as informações de vento por meio de comparação com dados medidos em estações de superfície

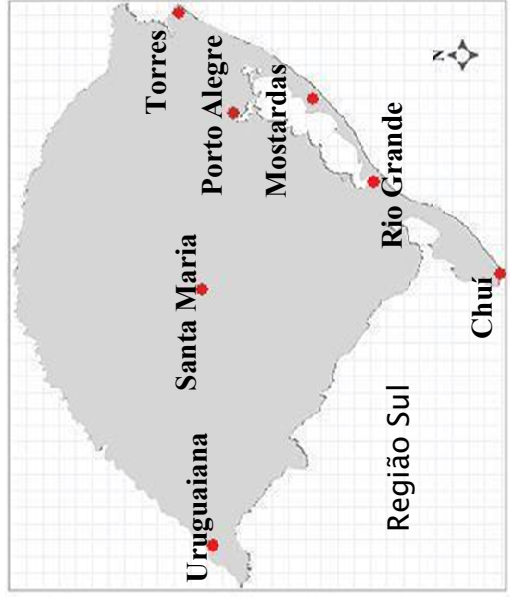


Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

- **Modelo Regional Eta (CPTEC):**
 - Condições de contorno do modelo global HADCM3 (Hadley Center – UK MetOffice);
 - Integração de 31 anos, 1960–1990, total de 267.840 horas;
 - A frequência de saída a cada 6 horas;
 - Resolução horizontal – 40 x 40 km
 - Resolução vertical – 38 camadas verticais.



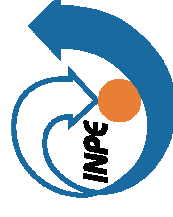
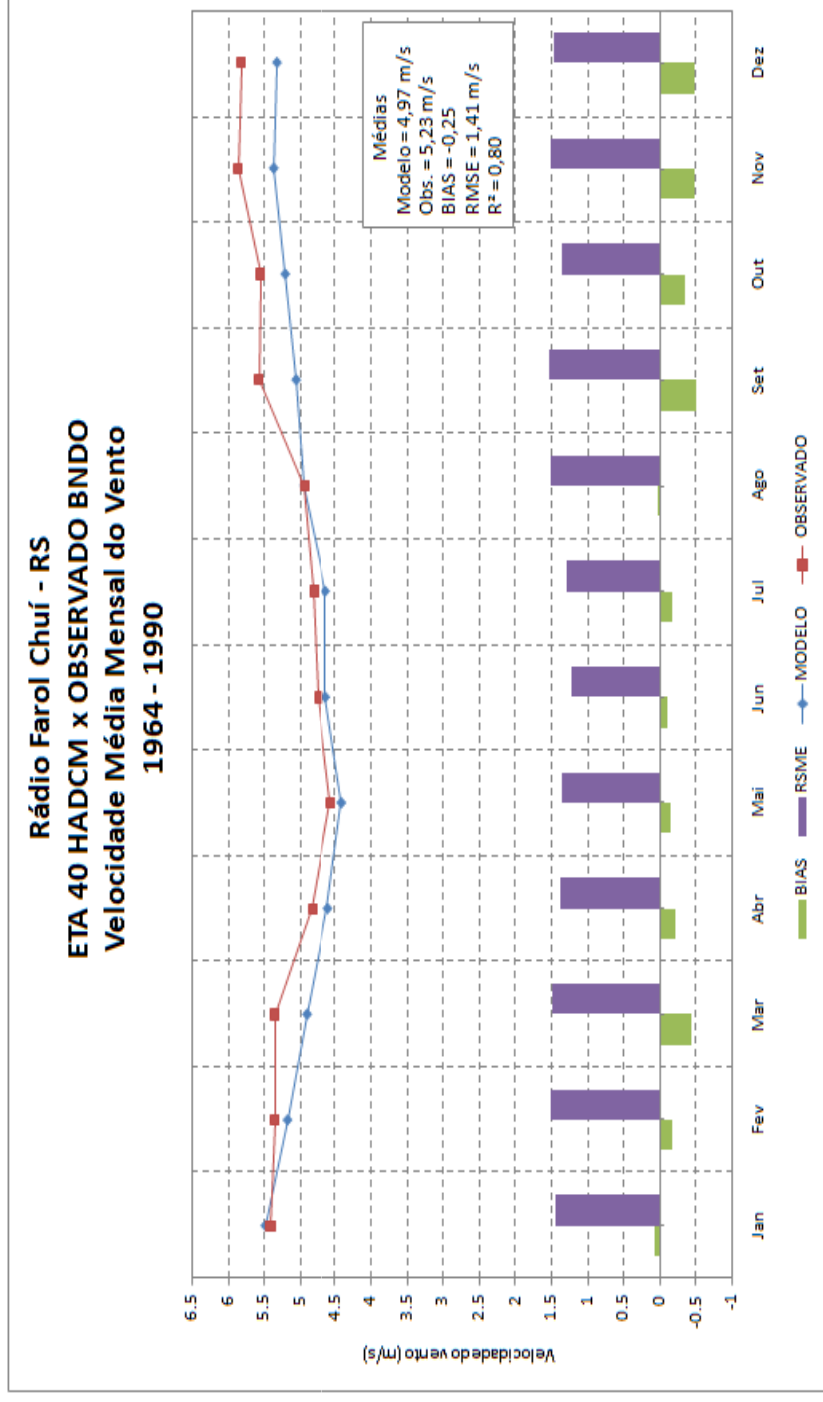
Dados coletados em Superfície



Estação	Período de Dados	Total de Dados	
		Originais	Dados Excluídos
Chuí	1964-2002	51515	6901
Mostardas	1965-2002	48232	8357
Rio Grande	1961-2007	13773	341
Porto Alegre	1960-1999	481	0
Torres	1961-2007	14238	0
Santa Maria	1960-2000	371	0
Uruguaiana	1960-1997	493	0
			Total de Dados Válidos
			44614
			39875
			13432
			481
			14238
			371
			453

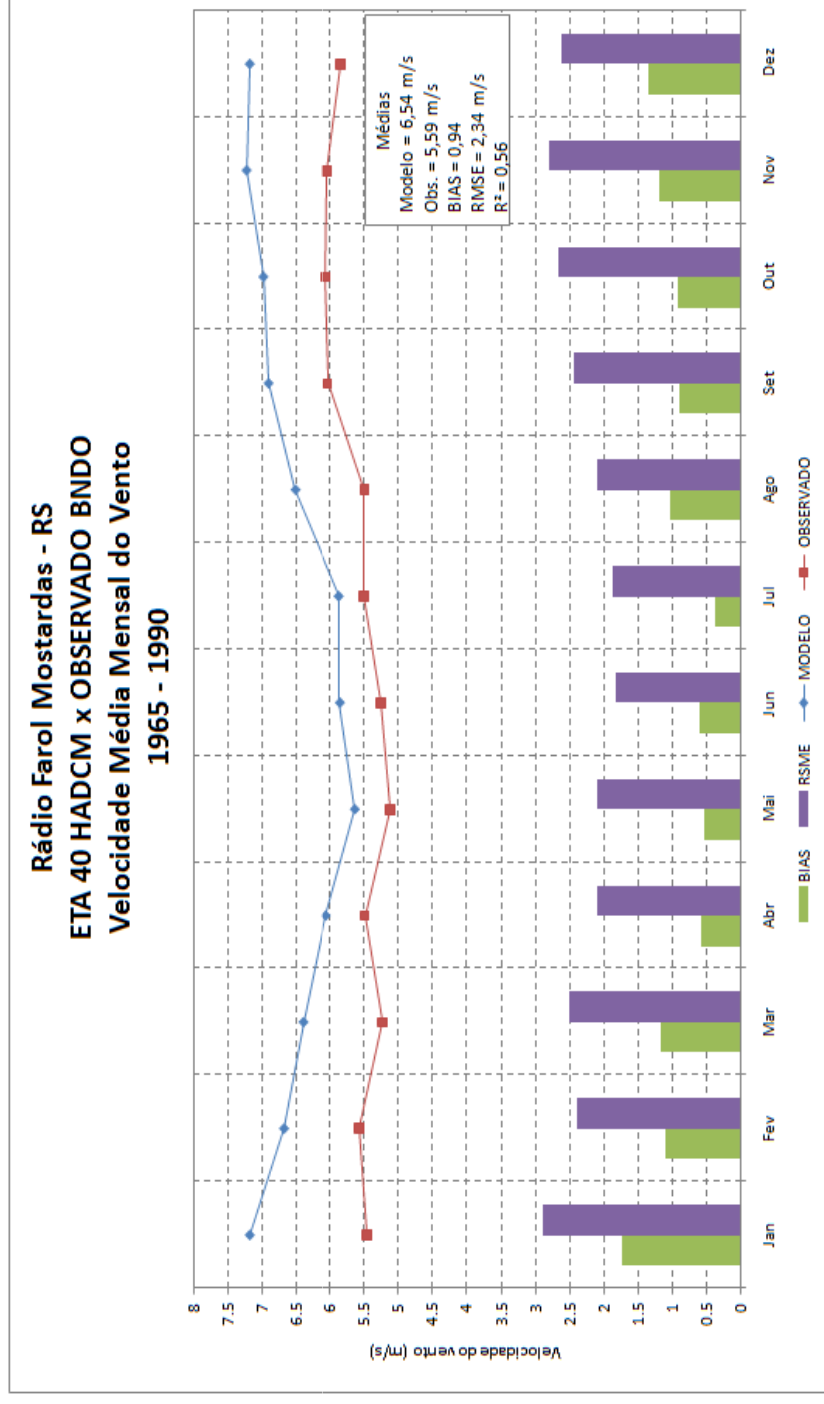


Simulação Numérica do Clima Atual/Passado



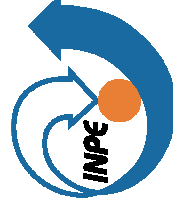
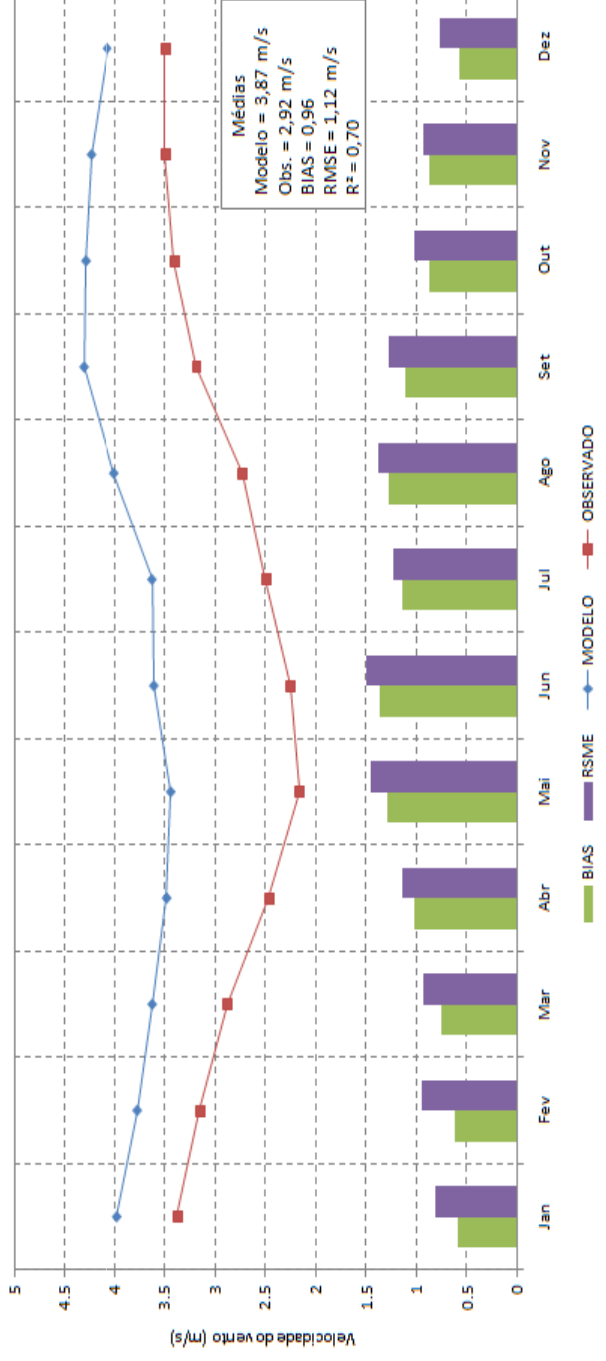
Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

Simulação Numérica do Clima Atual/Passado



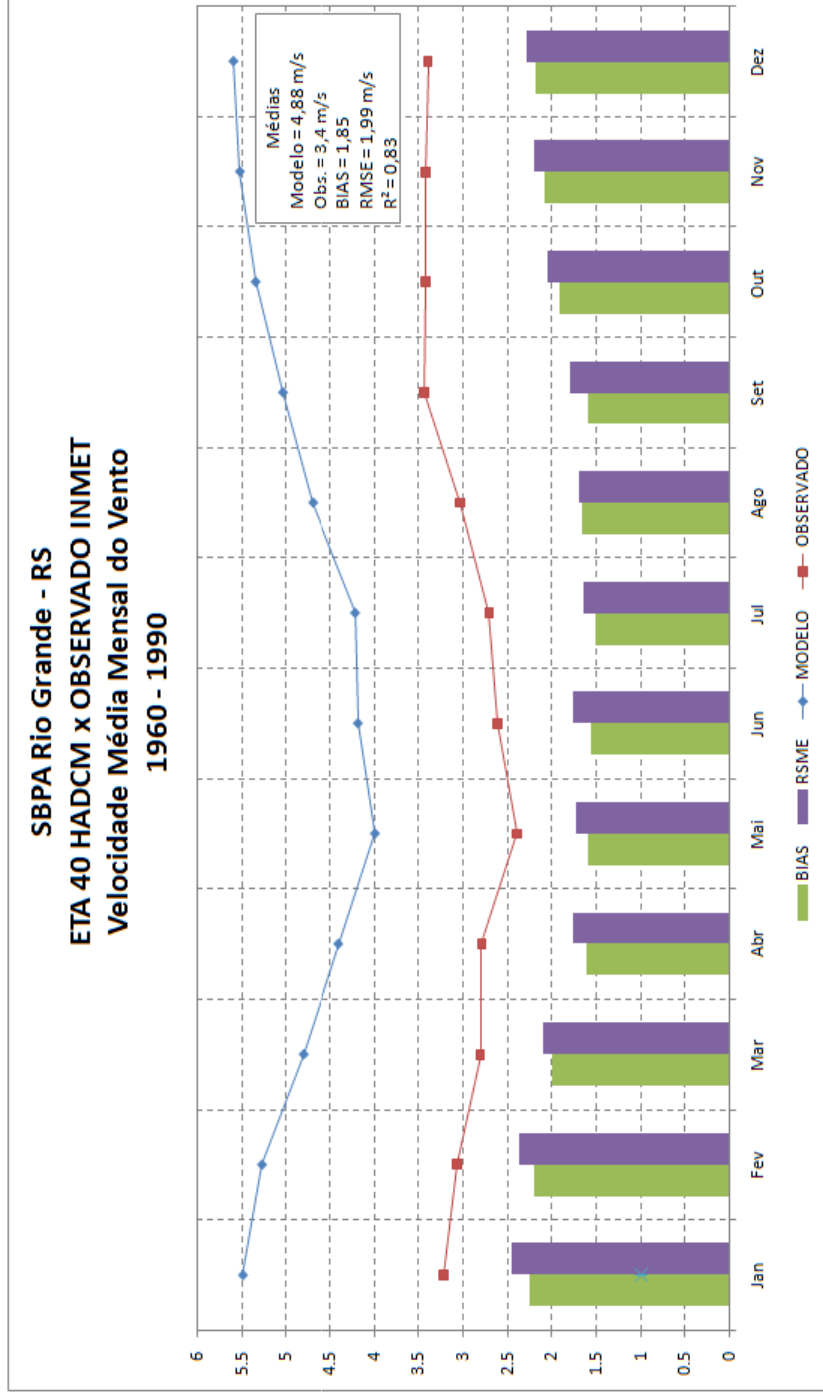
Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

SBPA Porto Alegre - RS
ETA 40 HADCM x OBSERVADO ICEA
Velocidade Média Mensal do Vento
1960 - 1990

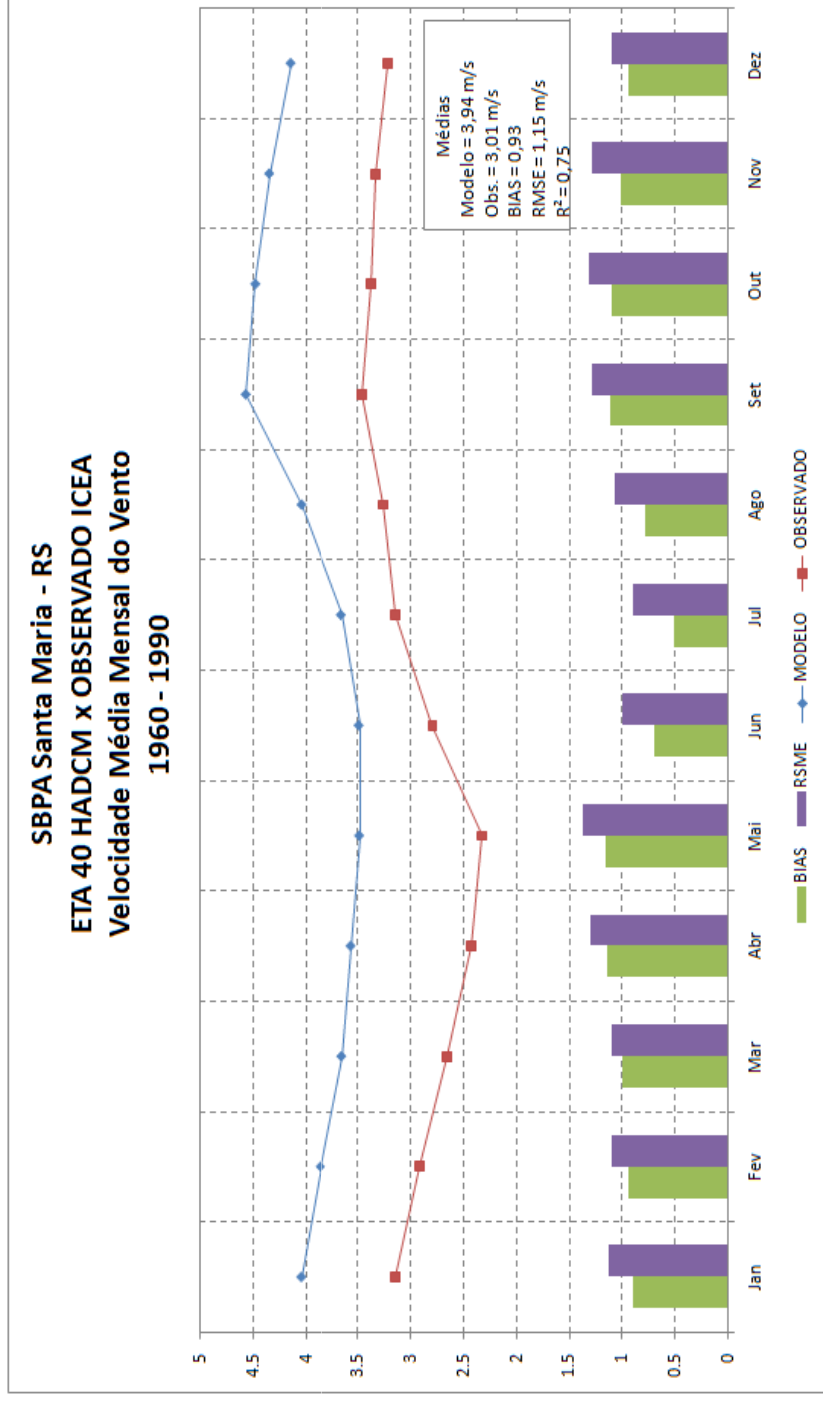


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenários de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

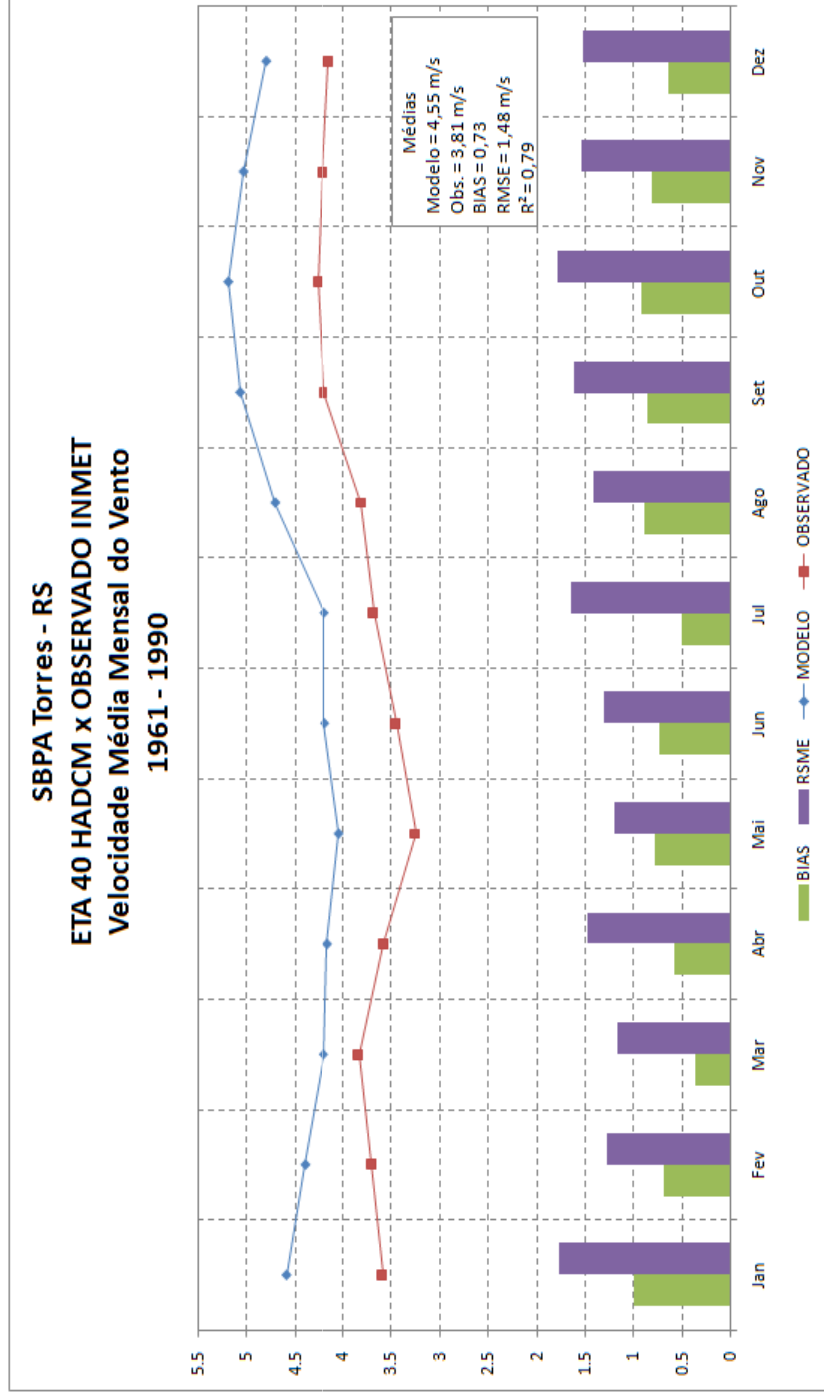
Simulação Numérica do Clima Atual/Passado



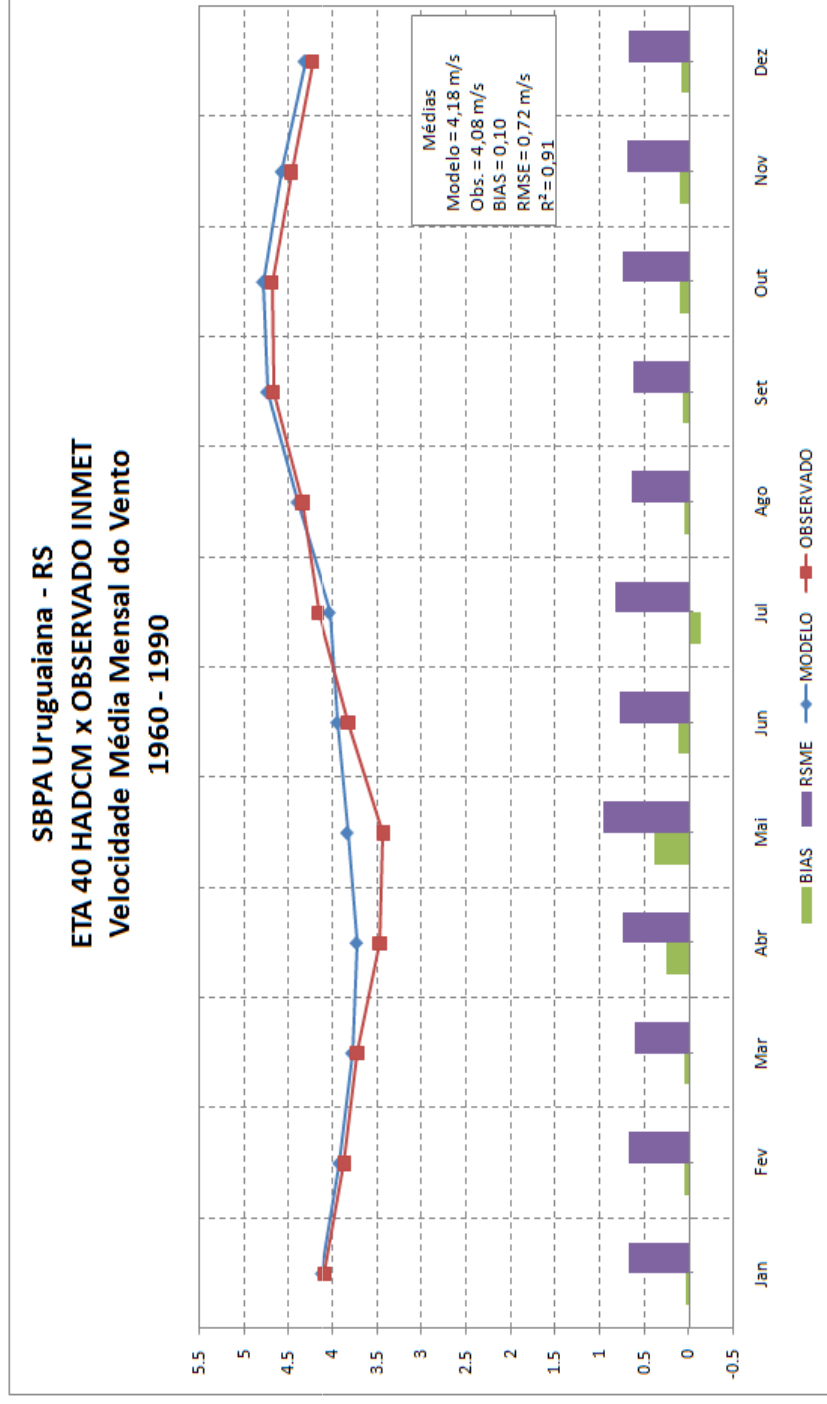
Simulação Numérica do Clima Atual/Passado



Simulação Numérica do Clima Atual/Passado



Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

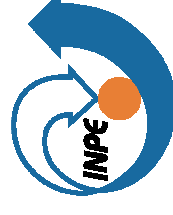


Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

	Chuí	Mostardas	Rio Grande	Porto Alegre	Torres	Santa Maria	Uruguaiana
R ²	0.8	0.56	0.83	0.7	0.79	0.75	0.91
R	0.89	0.75	0.91	0.84	0.89	0.87	0.95

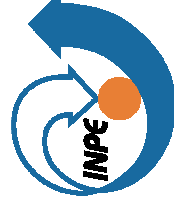


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.



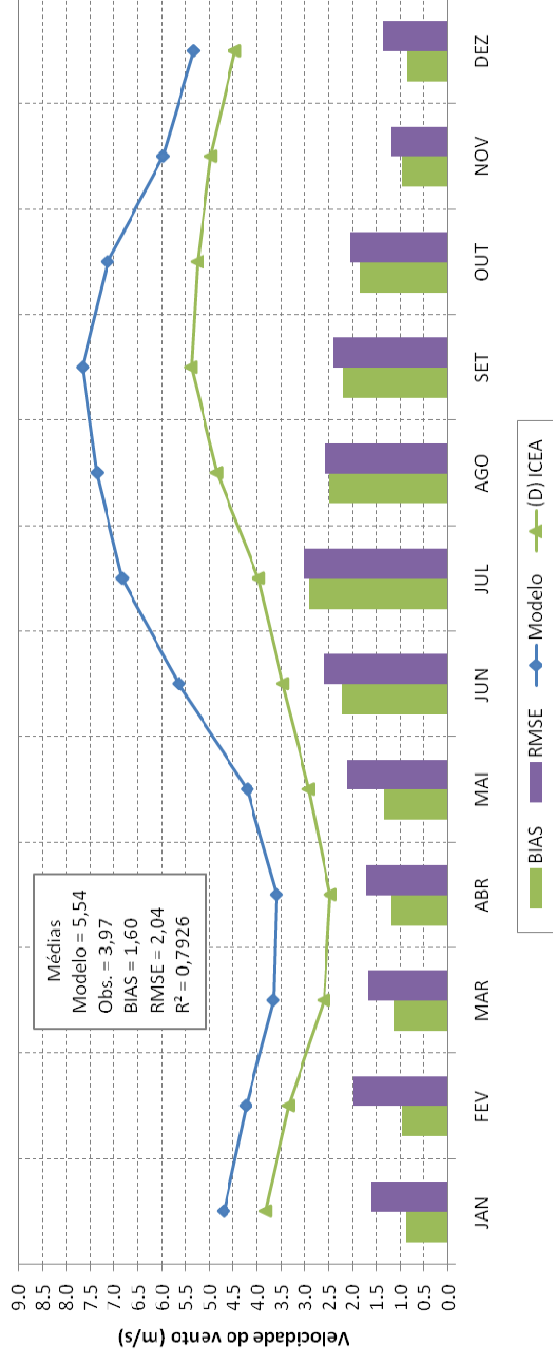
Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

Estação	Proprietário	Localização	
		Latitude	Longitude
Fortaleza	INMET	03° 45' S	38° 34' W
Fortaleza	ICEA	03° 45' 34"	38° 31' 57" W
Mossoró	INMET	05° 12' S	37° 18' W
Mossoró	ICEA	05° 11' 46"	37° 21' 43"
Natal	INMET	05° 55' S	35° 12' W
Natal	ICEA	05° 54' 30" S	35° 14' 57"
São Luiz	INMET	02° 32' S	44° 13' W



Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

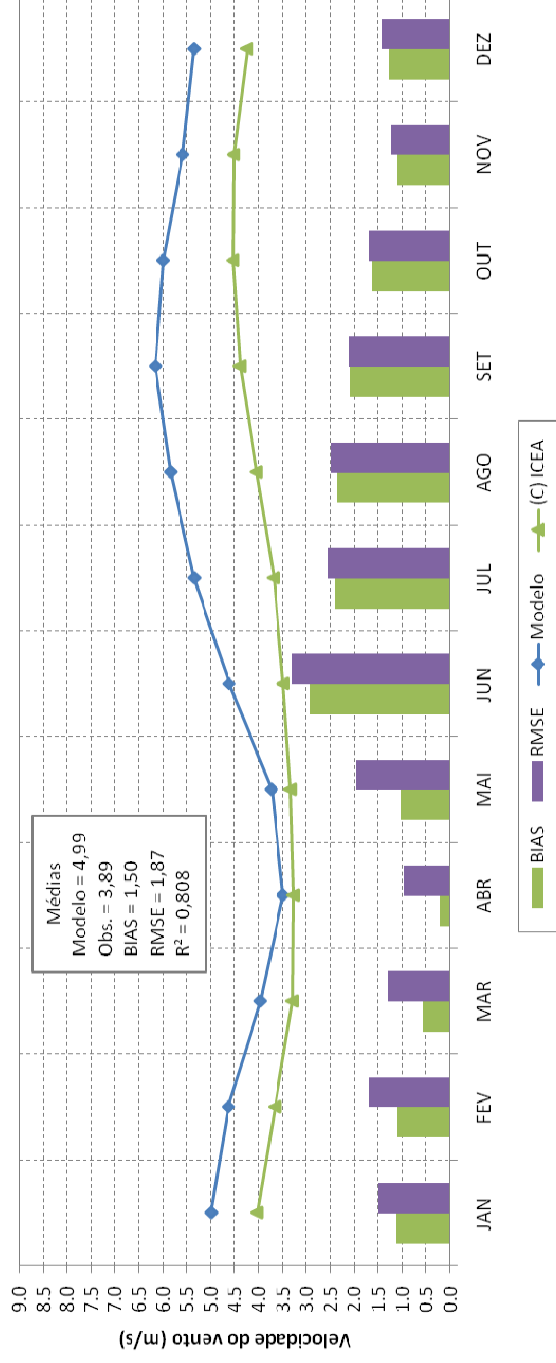
Fortaleza - CE
ETA 40 HADCM x Observado (ICEA)
Velocidade Média Mensal do vento
1960-1990



Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenários de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

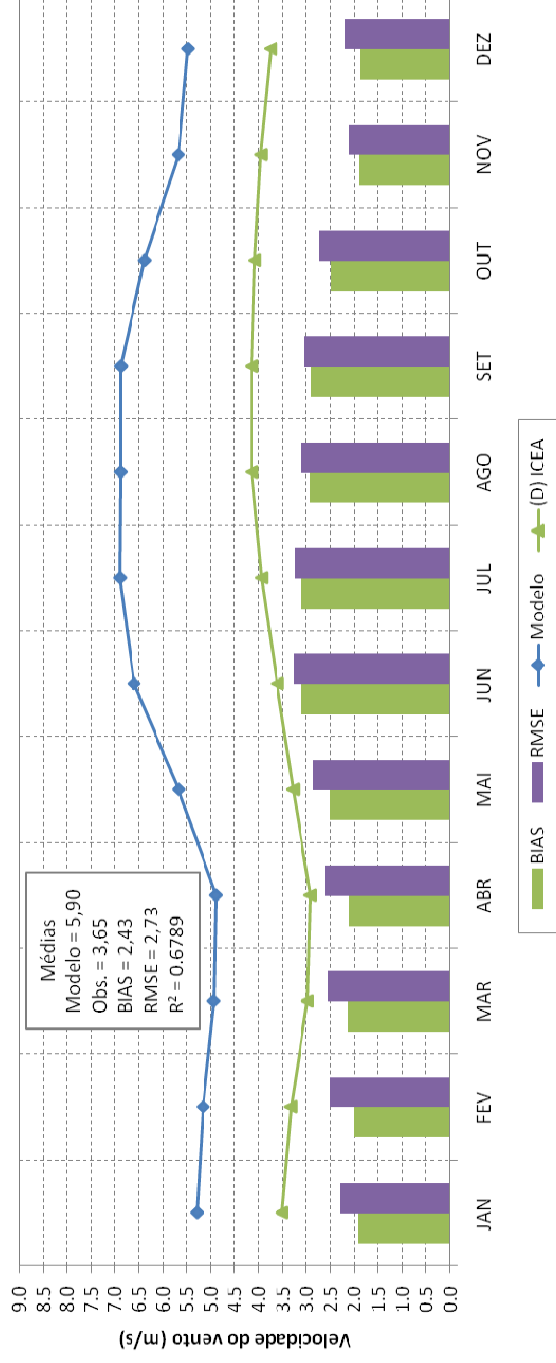
Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

Mossoró - RN
ETA 40 HADCM x Observado (ICEA)
Velocidade Média Mensal do vento
1960-1990

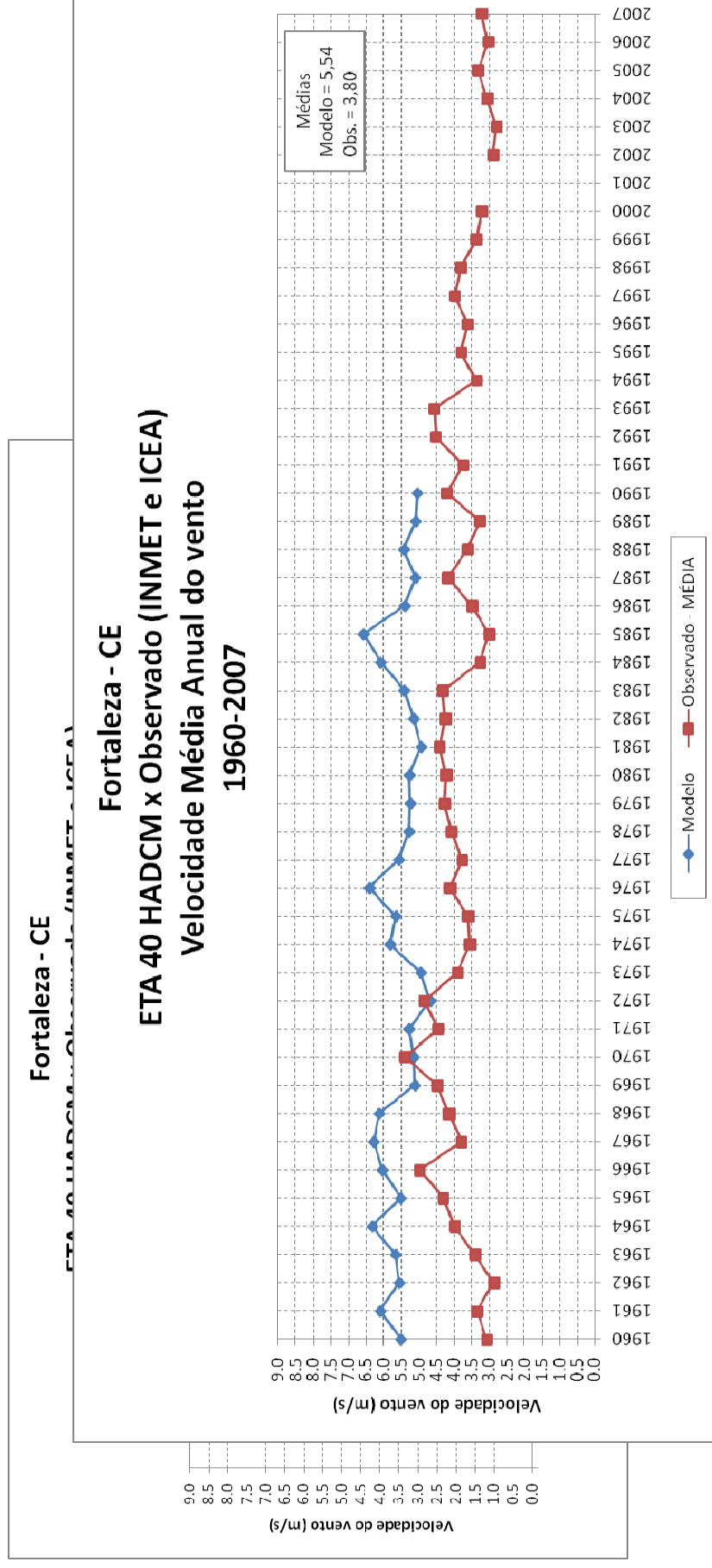


Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

Natal - RN
ETA 40 HADCM x Observado (ICEA)
Velocidade Média Mensal do vento
1960-1990



Simulação Numérica do Clima Atual/Passado



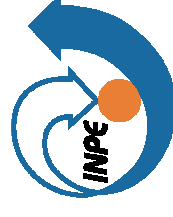
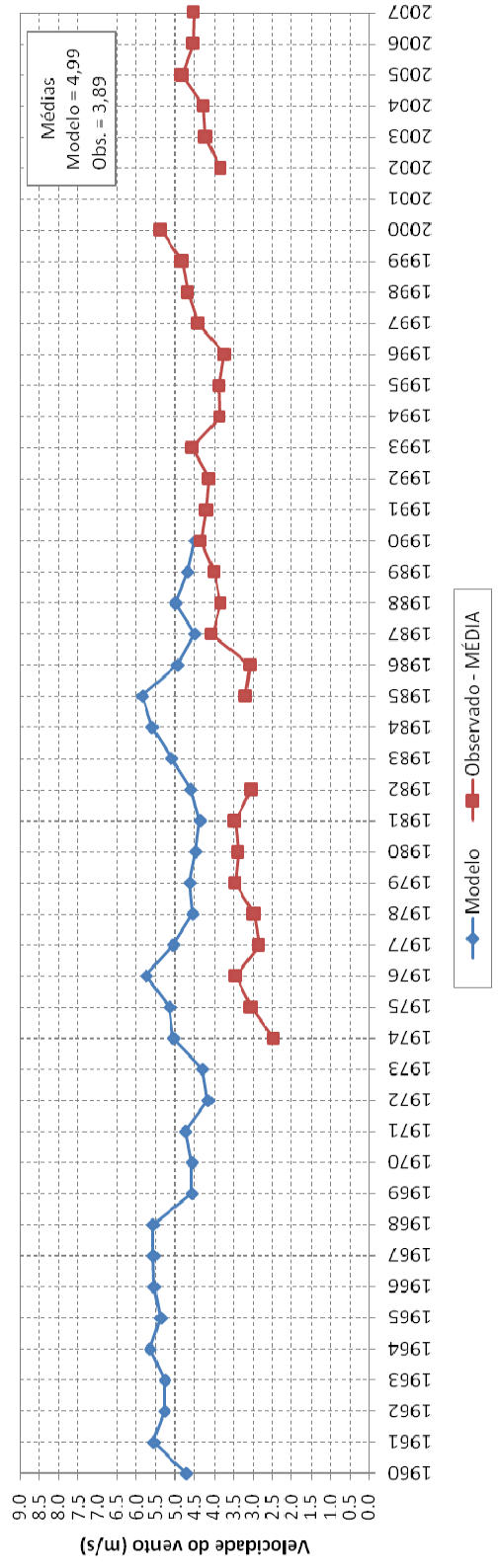
Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

Mossoró - RN
ETA 40 HADCM x Observado (INMET e ICEA)

Mossoró - RN
ETA 40 HADCM x Observado (INMET e ICEA)
Velocidade Média Anual do vento
1960-2007

Velocidade do vento (m/s)

9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0

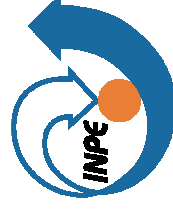
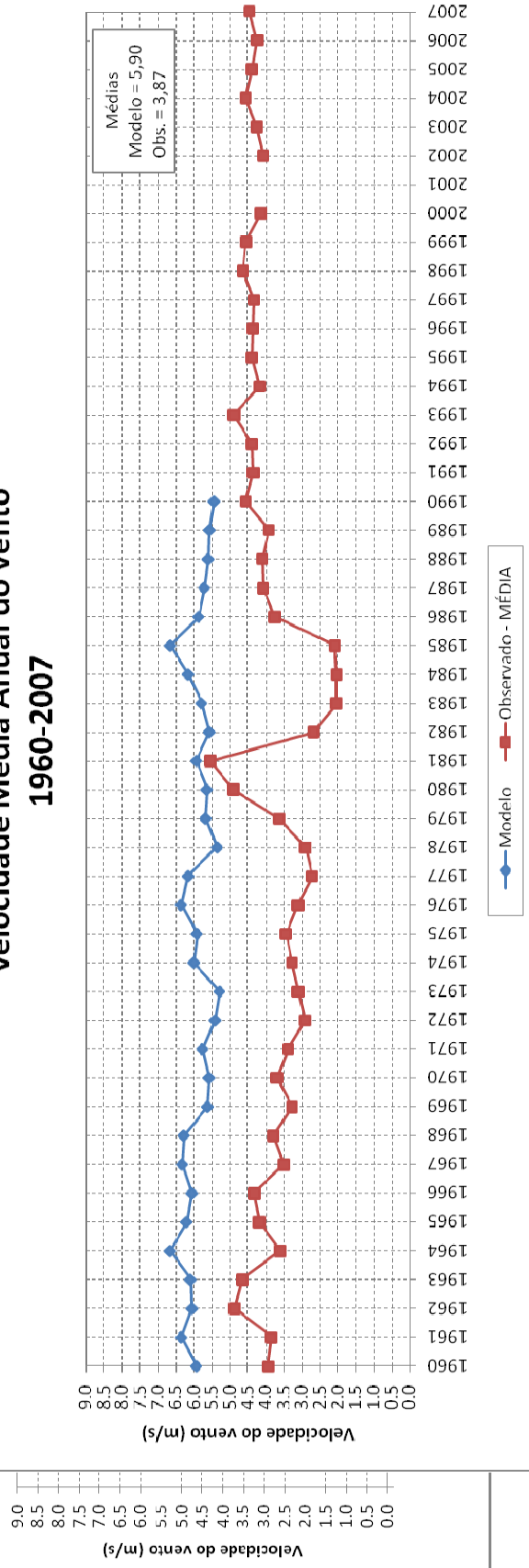


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenários de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

Simulação Numérica do Clima Atual/Passado

Natal - RN

Natal - RN
ETA 40 HADCM x Observado (INMET e ICEA)
Velocidade Média Anual do vento
1960-2007



Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

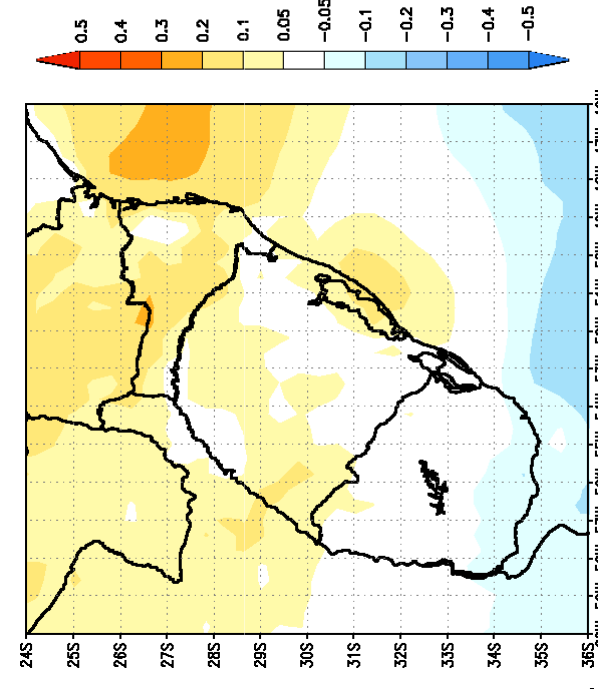
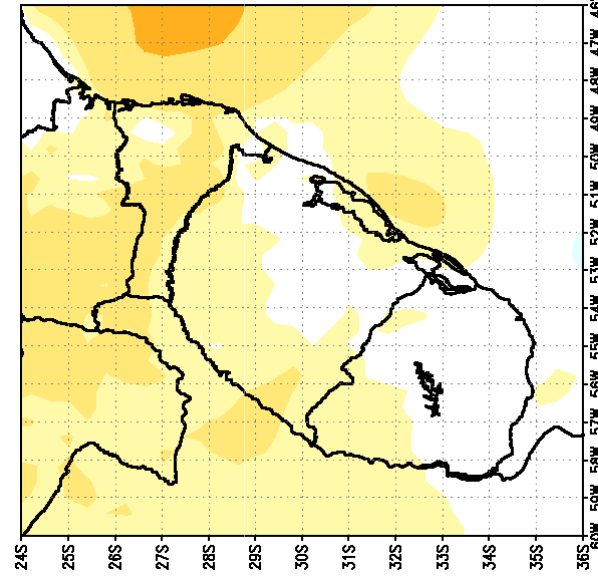
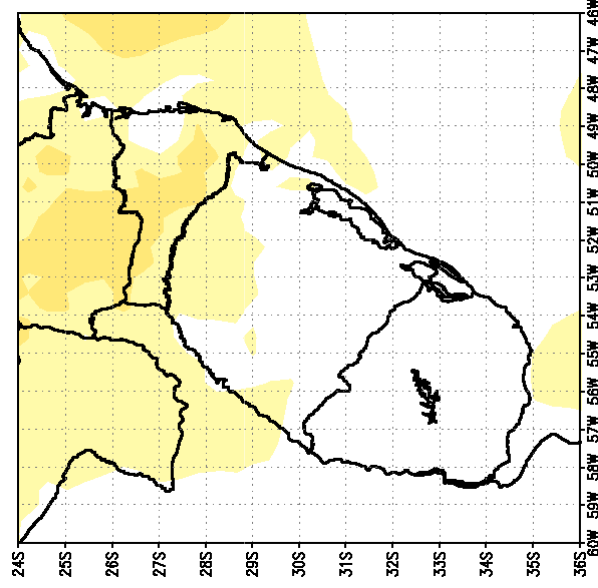
Simulações com modelagem numérica

- Cenário futuro – A1B (IPCC):
 - É o meio termo entre os seis cenários, sendo o B1 (+ otimista) e o A1F1 (+ pessimista);
 - Considera um uso equilibrado das fontes fósseis e não fósseis, no qual não há forte dependência de um tipo específico de fonte de energia.



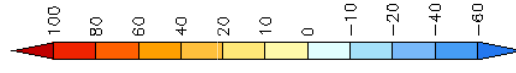
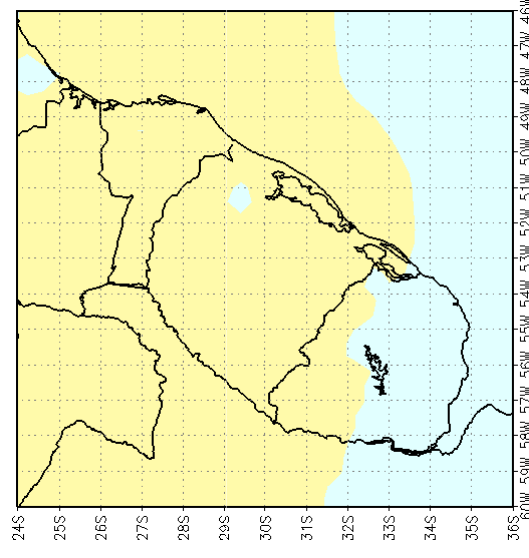
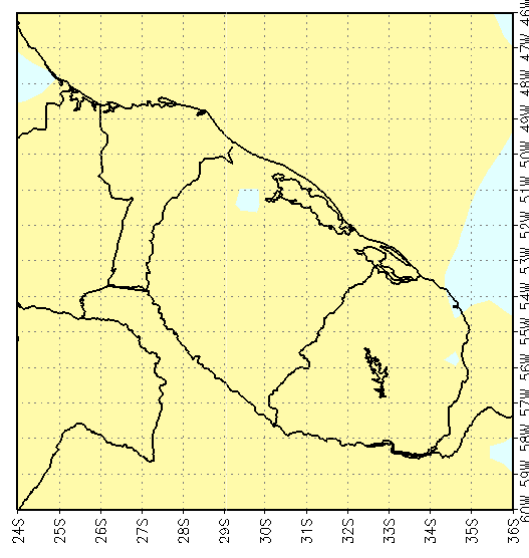
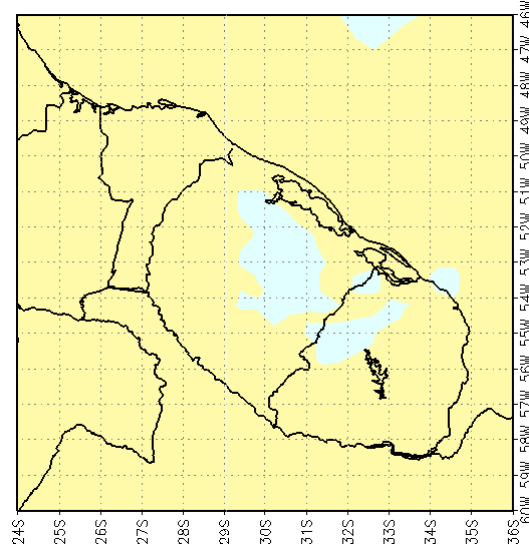
Resultados – Região Sul

Magnitude do vento (%)



Resultados – Região Sul

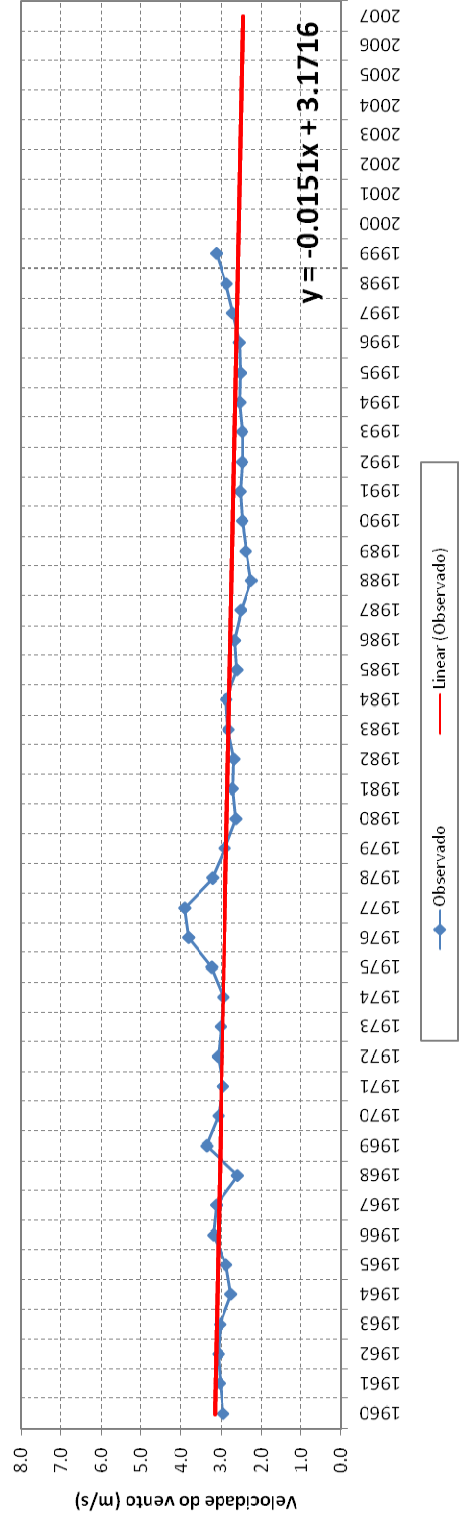
Densidade de potência (%)



Séries Temporais

Dados de superfície

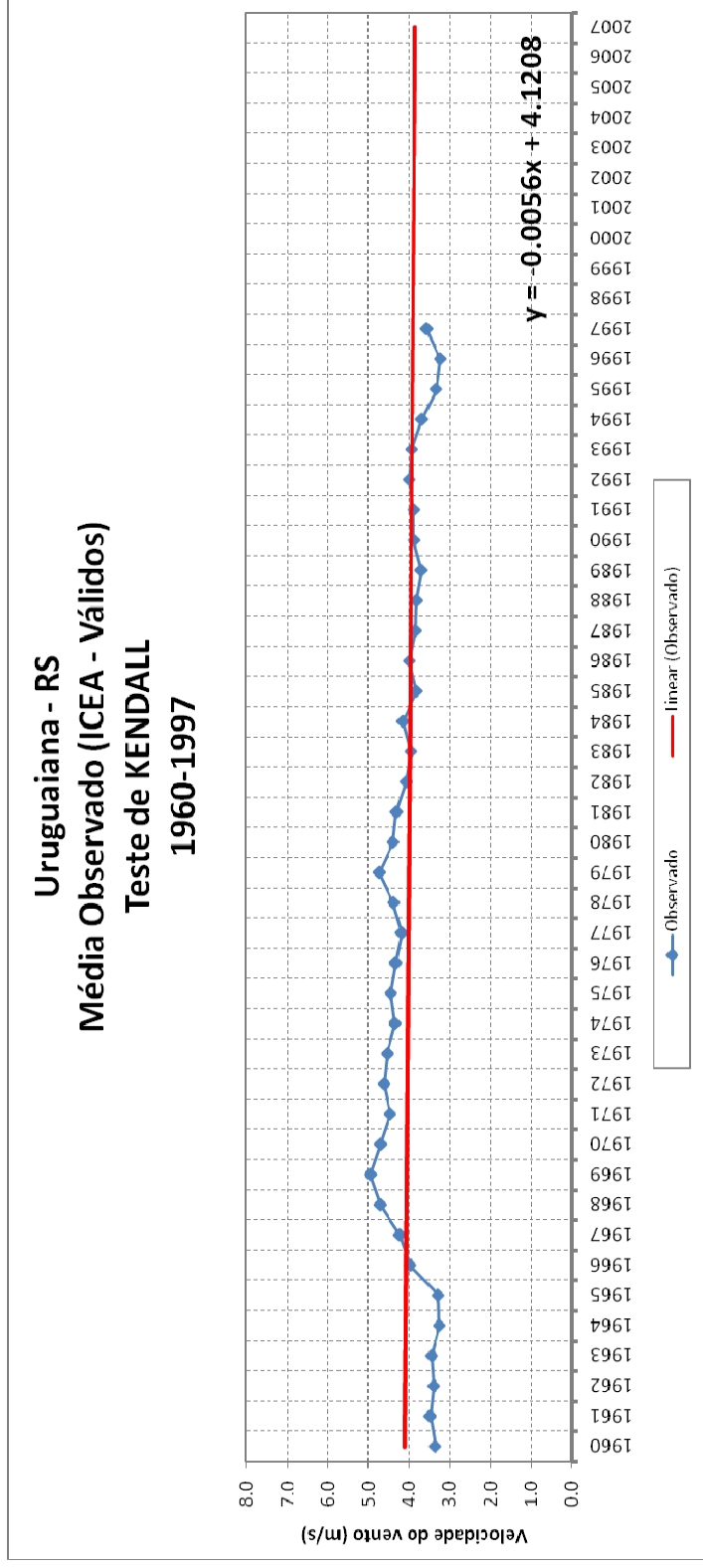
Porto Alegre - RS
Média Observado (ICEA - Válidos)
Teste de KENDALL
1960-1999



Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

Séries Temporais

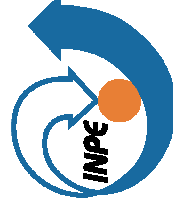
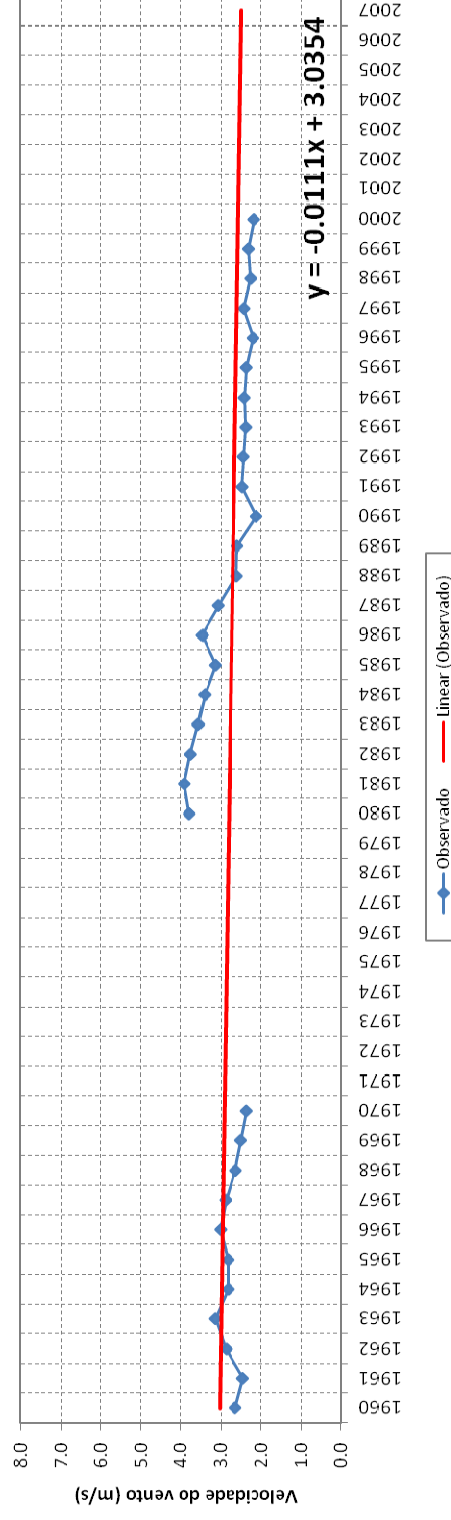
Dados de superfície



Séries Temporais

Dados de superfície

Santa Maria - RS
Média Observado (ICEA - Válidos)
Teste de KENDALL
1960-2000

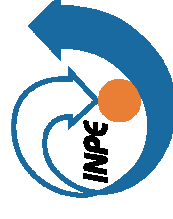
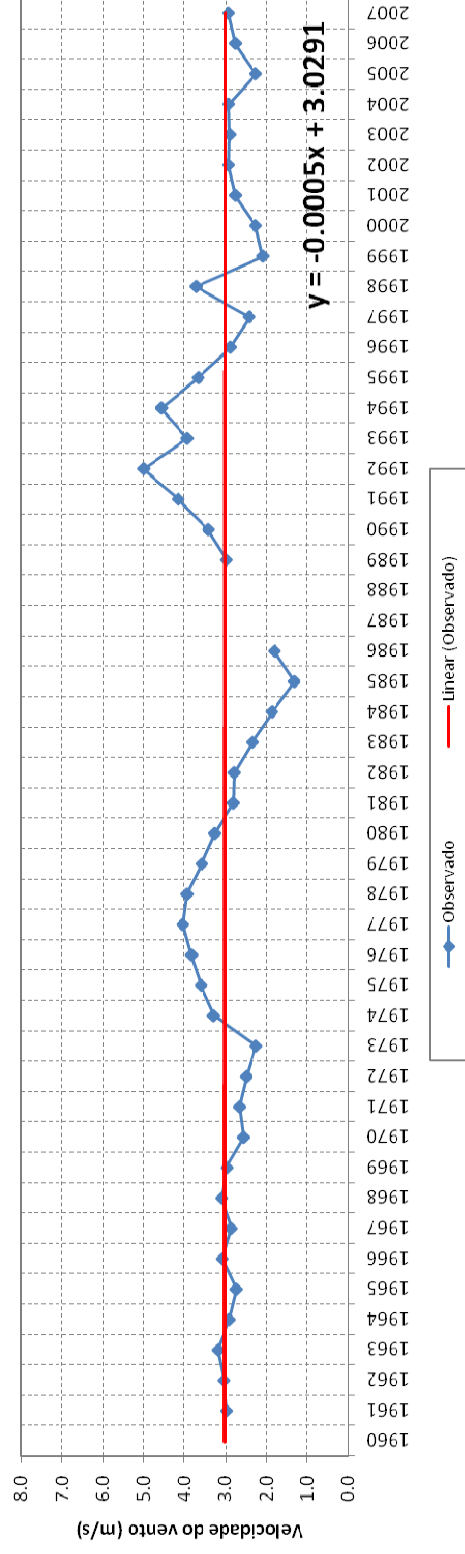


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

Séries Temporais

Dados de superfície

Torres - RS
Média Observado (INMET - Válidos)
Teste de KENDALL
1961-2007

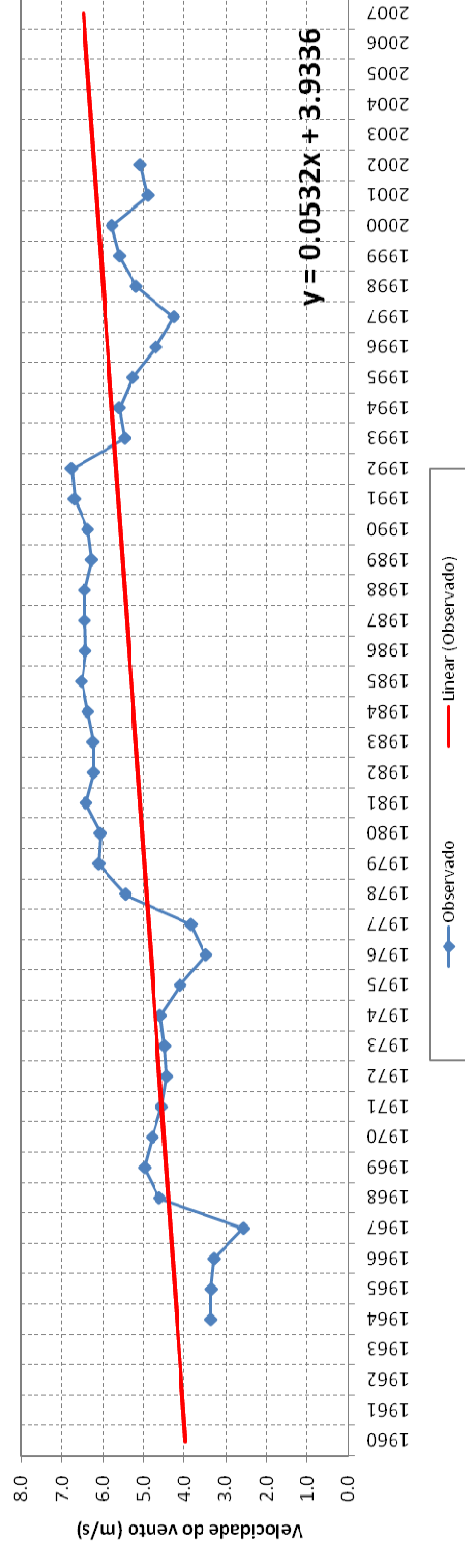


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

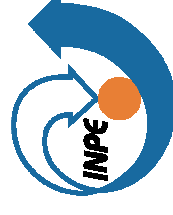
Séries Temporais

Dados de superfície

Chui - RS
Média Observado (INMET - Válidos)
Teste de KENDALL
1965-2002

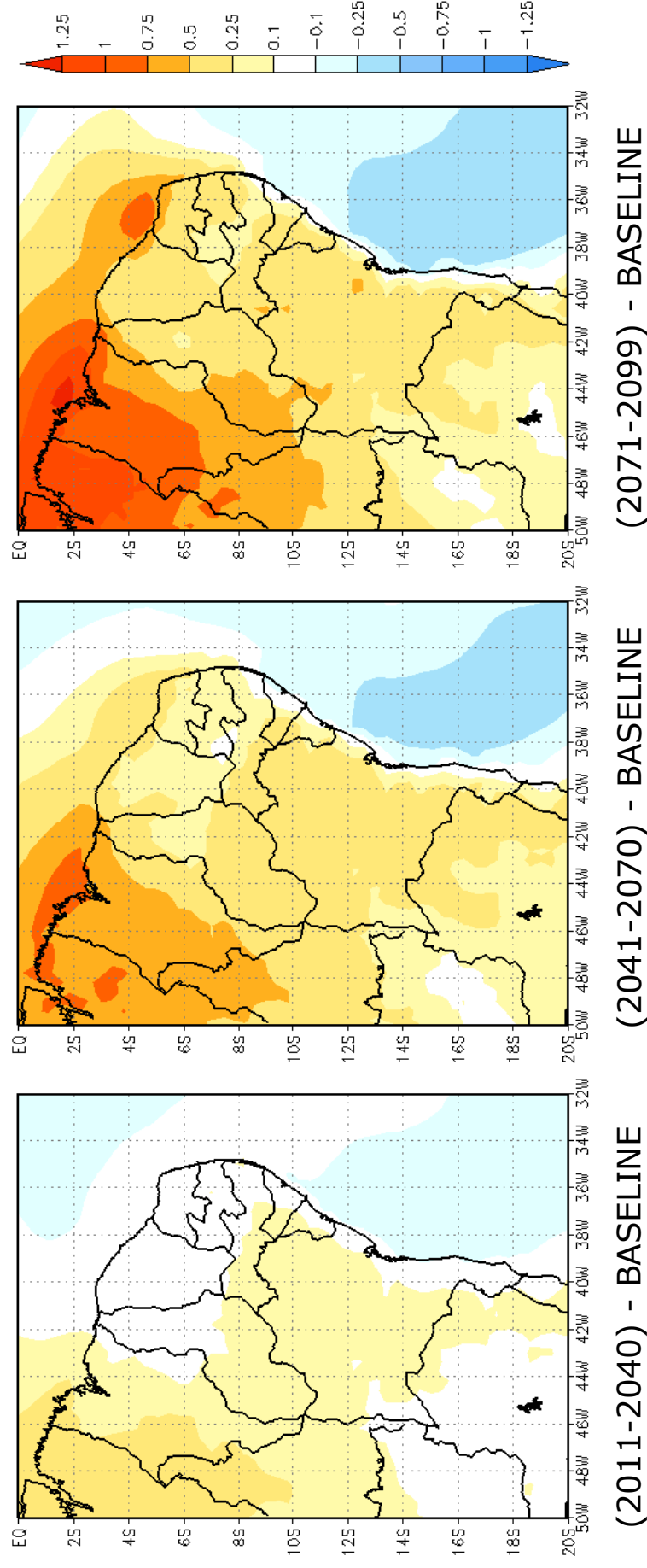


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.



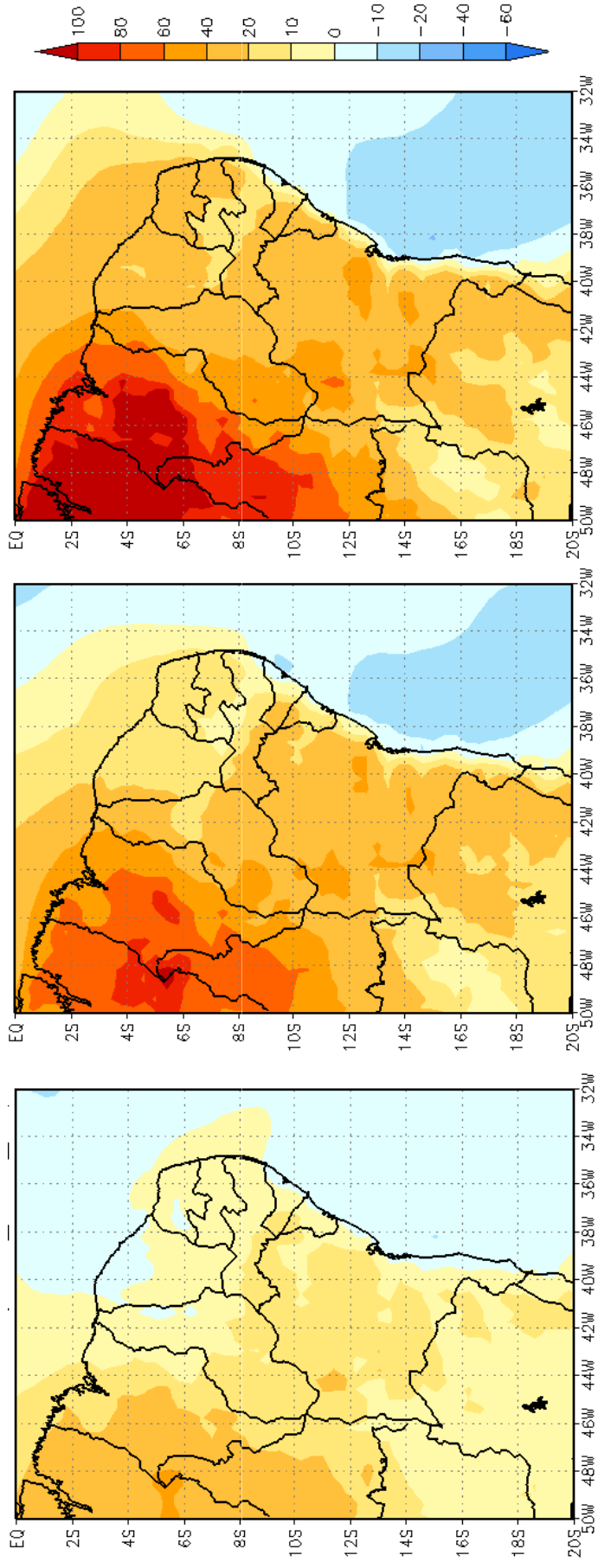
Resultados – Região Nordeste

Magnitude do vento (%)



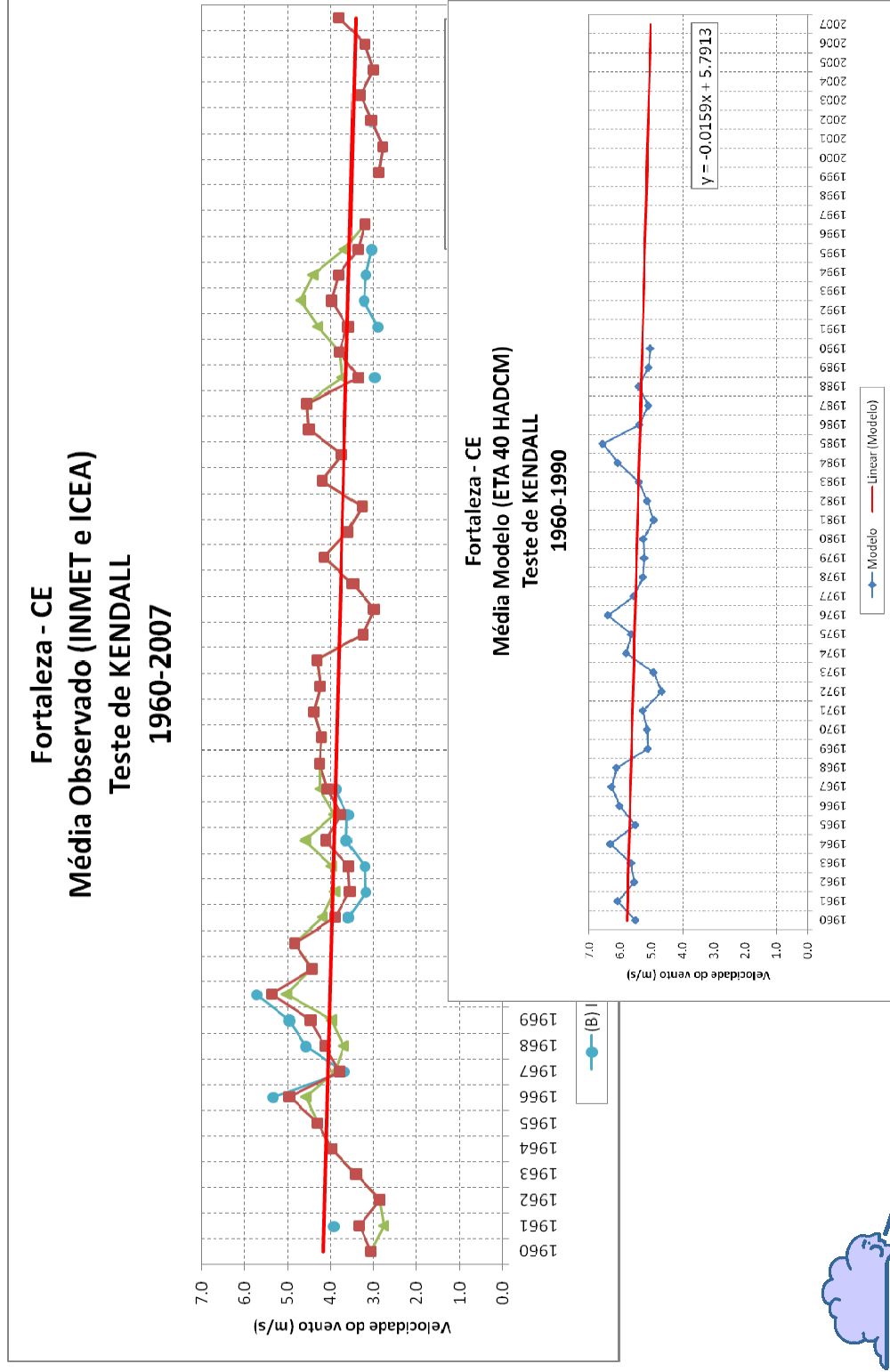
Resultados – Região Nordeste

Densidade de potência (%)



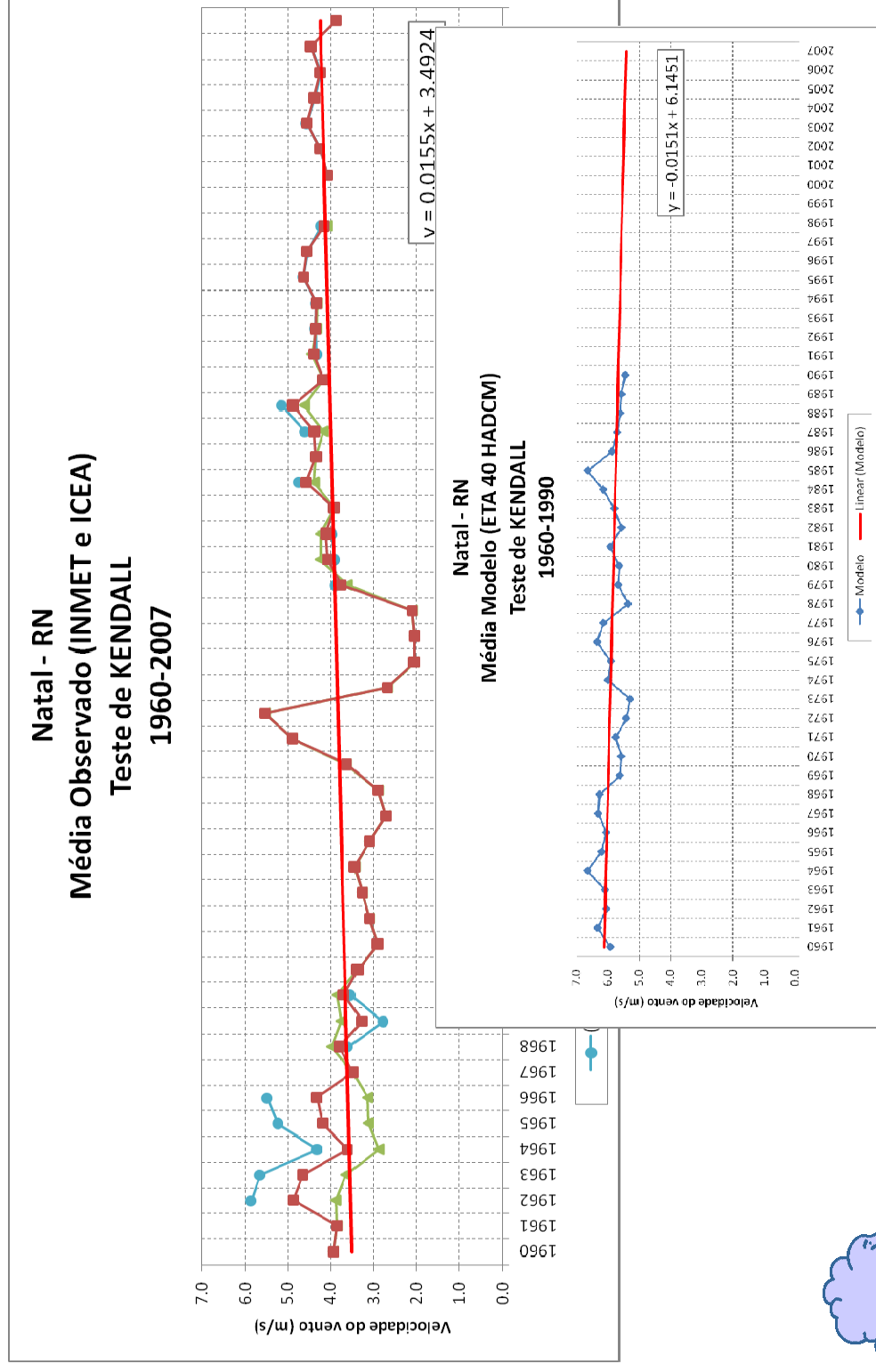
Séries Temporais

Dados de superfície

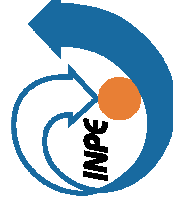


Séries Temporais

Dados de superfície

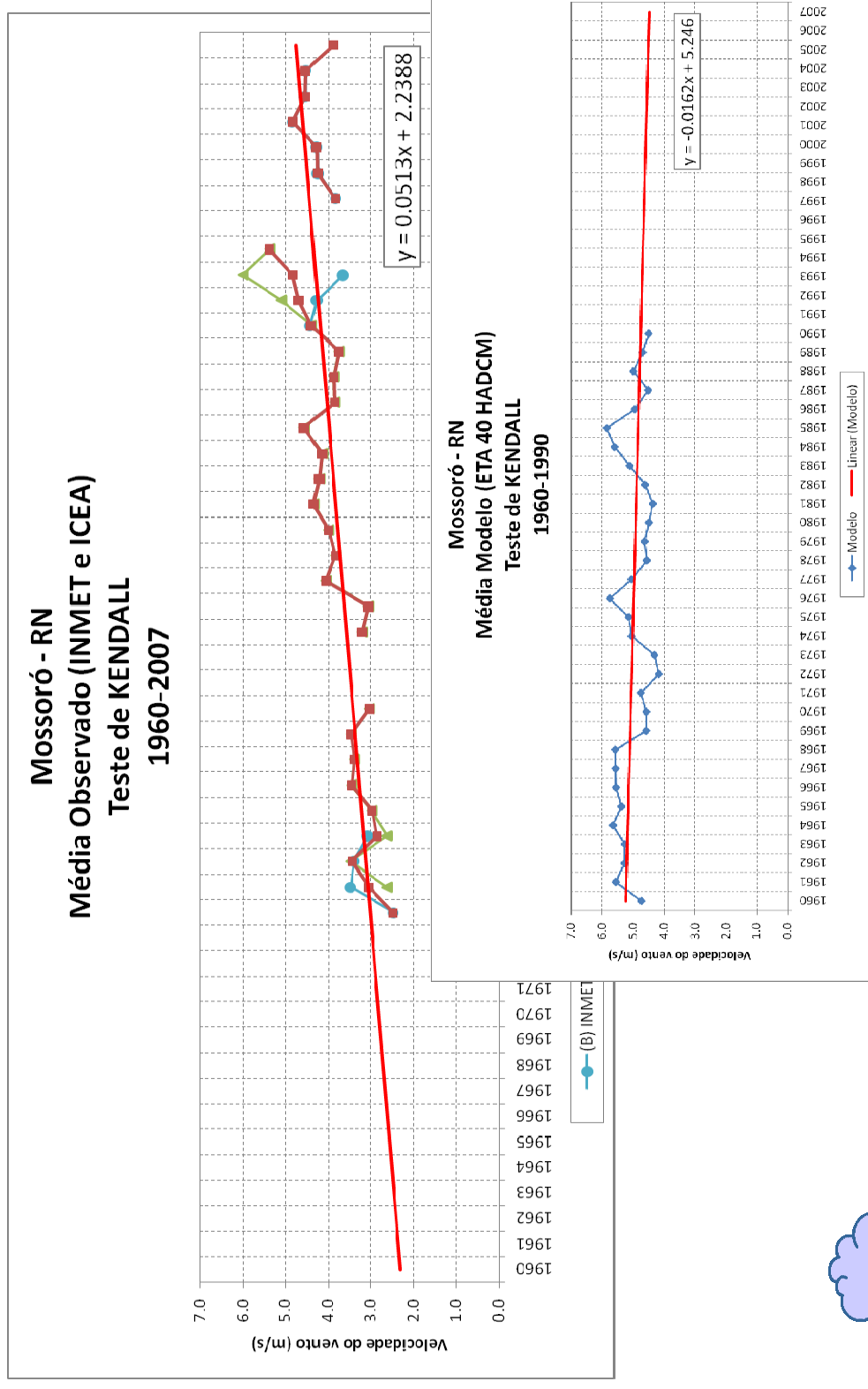


Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenários de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.



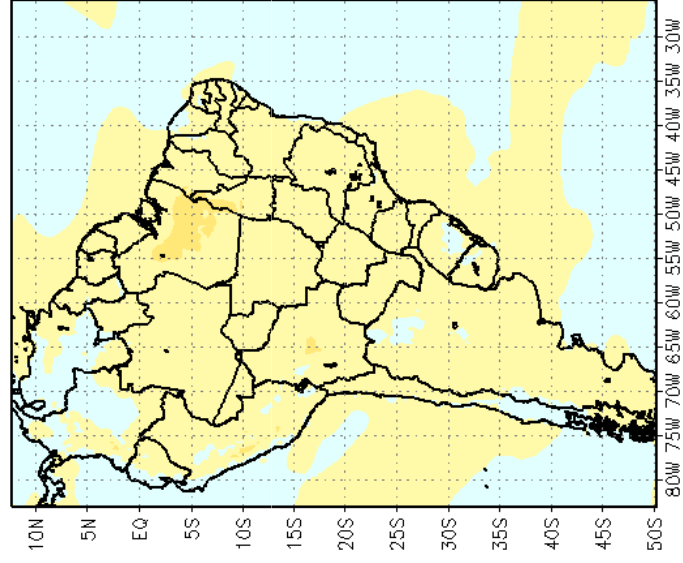
Séries Temporais

Dados de superfície

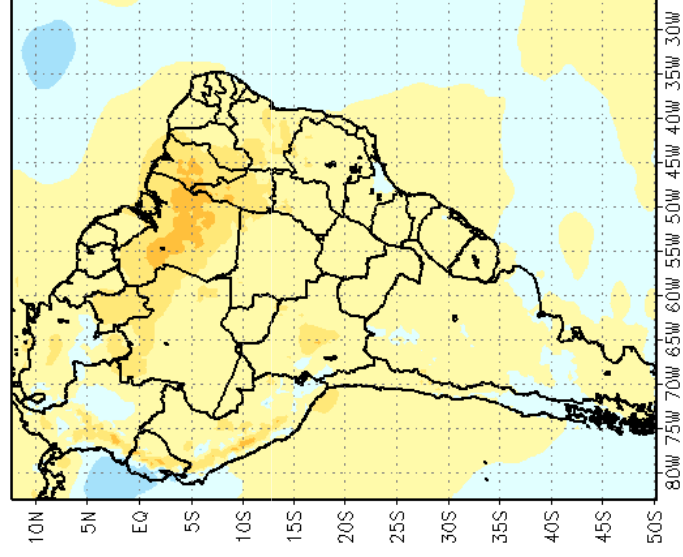


Resultados – América do Sul

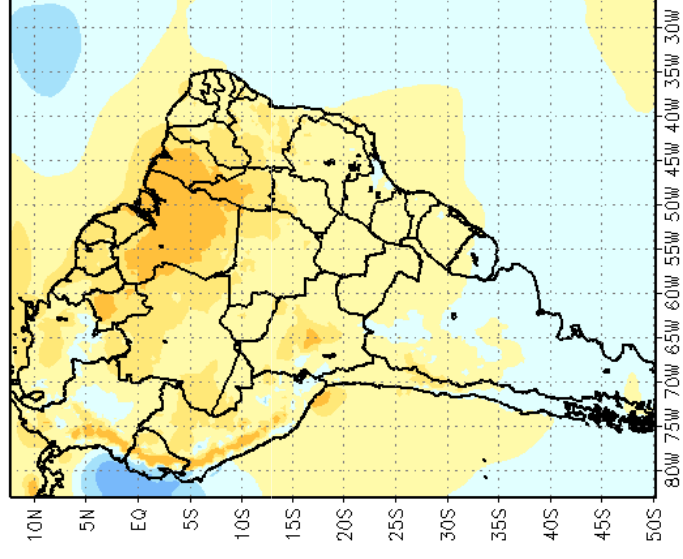
Magnitude do vento (%)



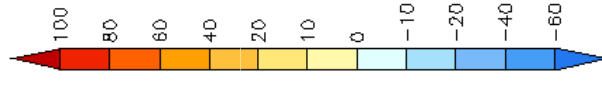
(2011-2040) - BASELINE



(2041-2070) - BASELINE

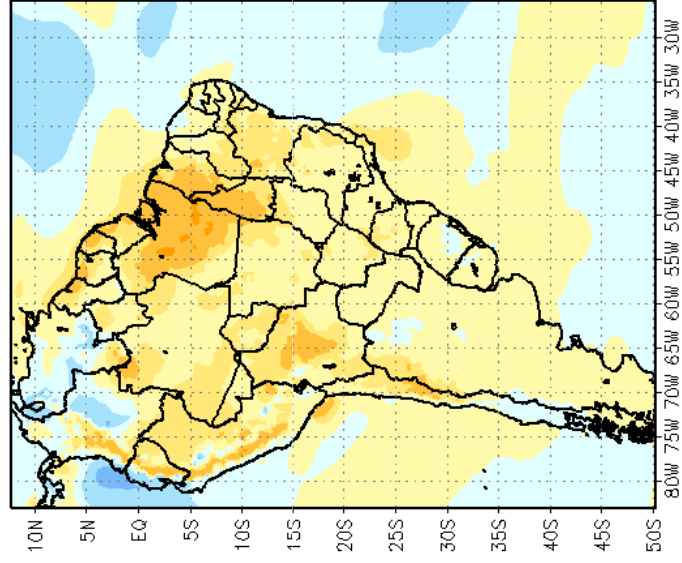


(2071-2099) - BASELINE

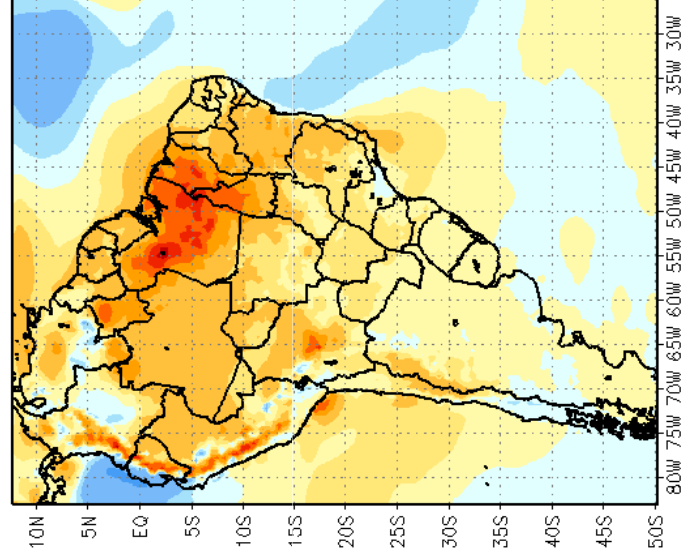


Resultados - América do Sul

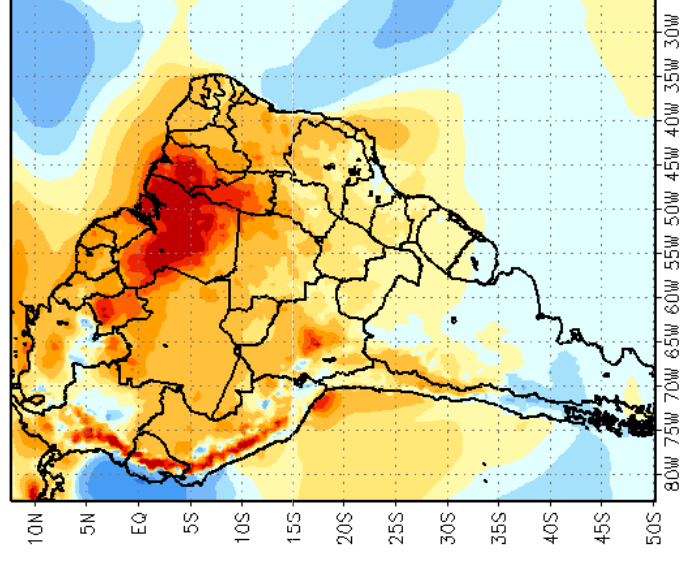
Densidade de potência (%)



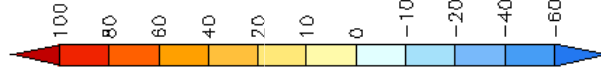
(2011-2040) - BASELINE



(2041-2070) - BASELINE



(2071-2099) - BASELINE



Continuidade da pesquisa

- Aplicação da metodologia para todo o território brasileiro
- Desenvolvimento de modelo dinâmico de camada limite
- Desenvolvimento de uma metodologia similar para a avaliação dos recursos de energia solar.





Obrigado.....

- Contatos:
 - Enio Bueno Pereira – enio.pereira@cptec.inpe.br
 - Fernando – fernando.martins@cptec.inpe.br
- Website
 - www.cptec.inpe.br/sonda/



Entrenamiento em Modelado Numérico de Escenarios de CambiosClimáticos
Cachoeira Paulista, 30/08 – 04/09/2009.

