

Webinar Fontes Renováveis Variáveis

Contribuições para modelagem das fontes renováveis
variáveis no planejamento e operação do SIN



Modelagem da complementariedade hidro- eólica no Brasil. Uma abordagem a partir de funções cópula

Leandro Ávila.

Dr. Ing. Recursos Hídricos

leandroavilarangel@gmail.com

GT METODOLOGIA

28/10/2020

Coordenação: CCEE

Assessoria Técnica:



Contextualização

80% da matriz energética → Combustíveis fósseis

13% da população global carece de energia elétrica

Desafios de suprimento e transformação energética
para o ano 2050



Contextualização

Transição energética é definida por uma agenda ambiental.



Mudança da base de geração.



Uso de energias renováveis.

Intermitência (forma, escala, intensidade)

Contextualização

Fontes renováveis → Variáveis
hidrometeorológicas.

Reconhecer comportamento estocástico.

Variabilidade espacial e temporal.
Dependência



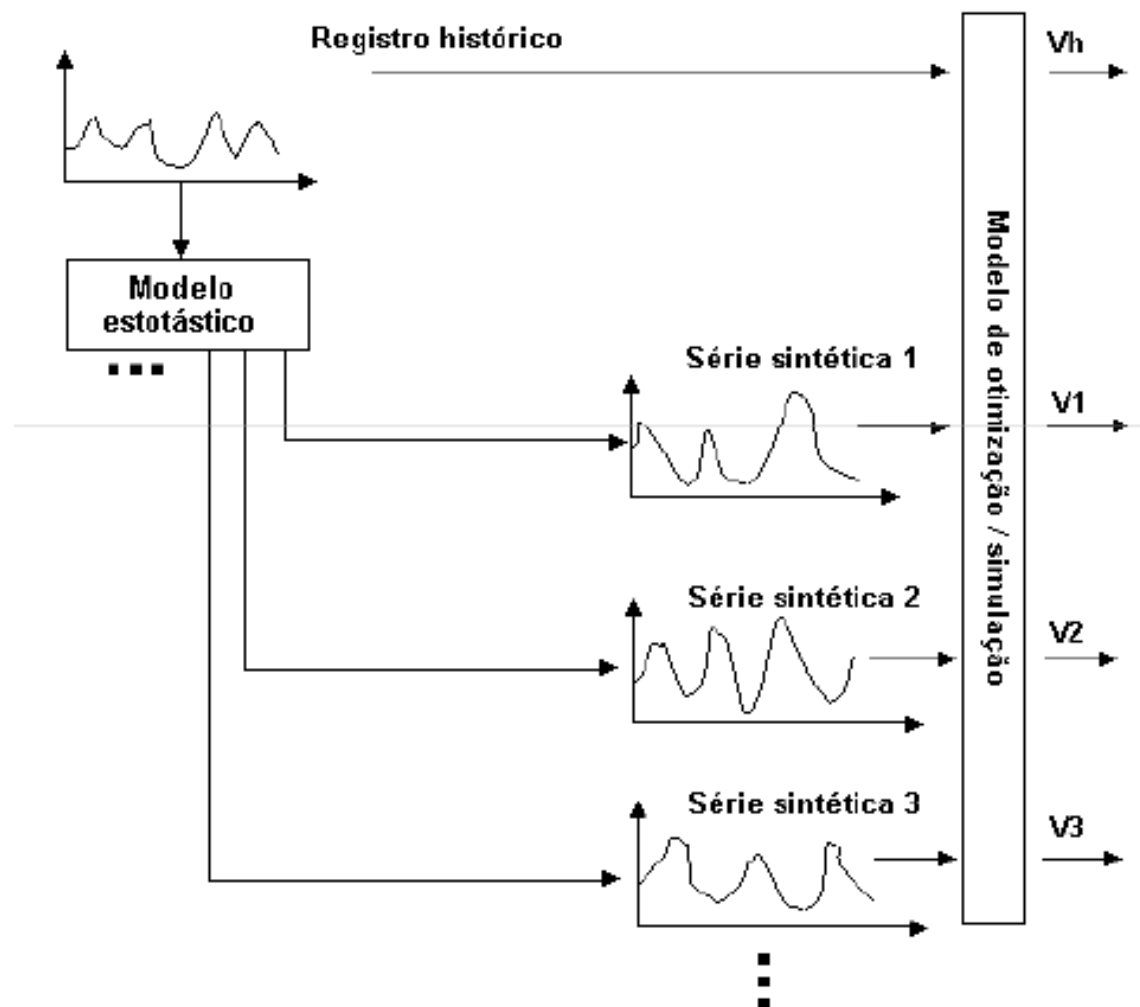
Contextualização

Representação de variáveis estocásticas

Modelos autorregressivos para geração de séries sintéticas de vazão (e.g PAR(p))

- Modelo linear
- Assume normalidade dos dados.

Estender modelagem para casos não lineares e inserir dependência com outras variáveis.

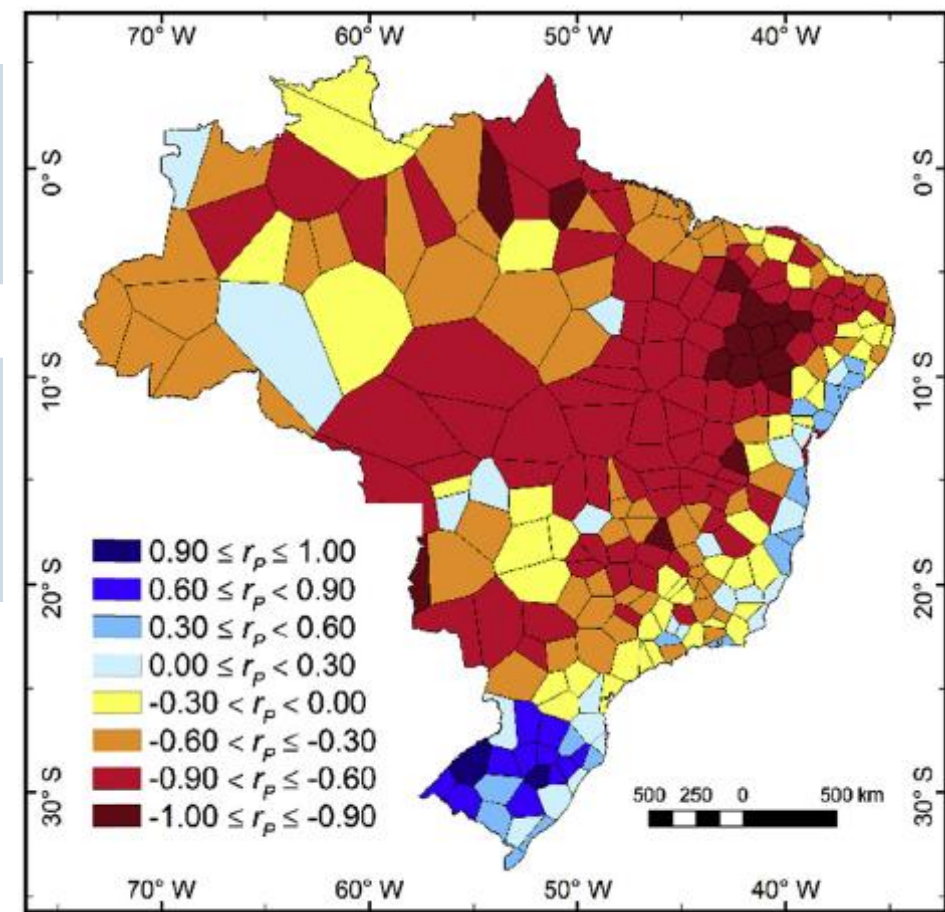


Contextualização

Existe uma dependência entre regimes mensais de vazão e vento em diferentes regiões do Brasil.

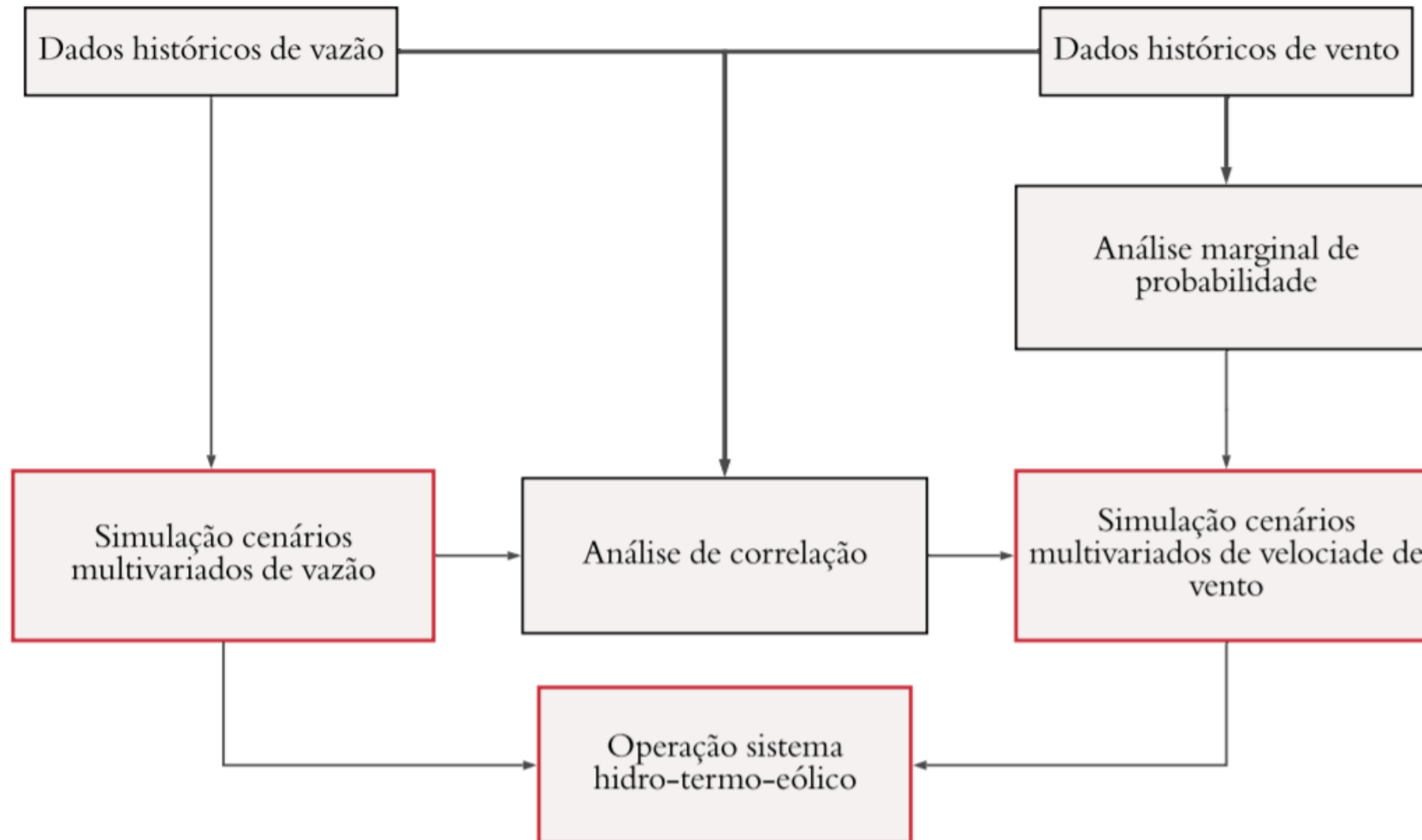
A modelagem espaço-temporal permite integrar a operação das fontes hídrica e eólica.

Avaliar a complementariedade hidro-eólica no planejamento de médio prazo a partir da modelagem conjunta de cenários mensais de vazão e velocidade de vento



Fonte: Cantão et al. (2017)

Metodologia



Contextualização

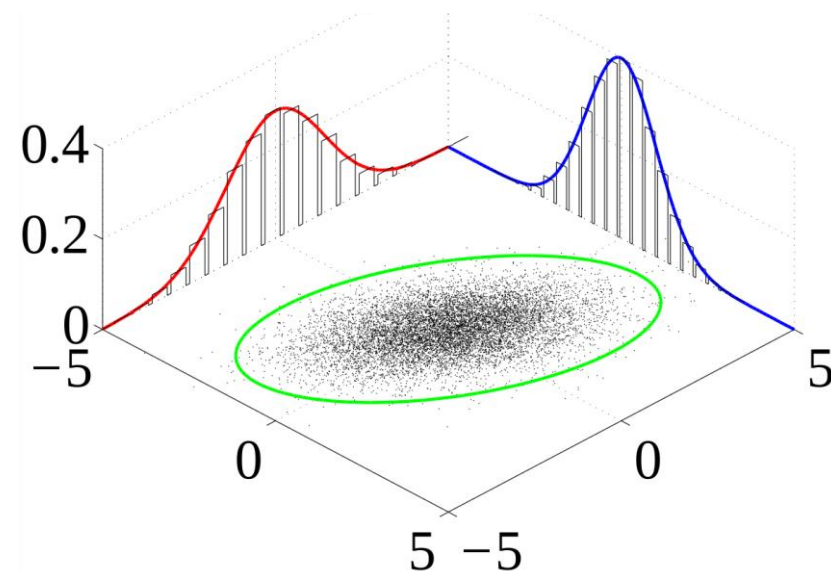
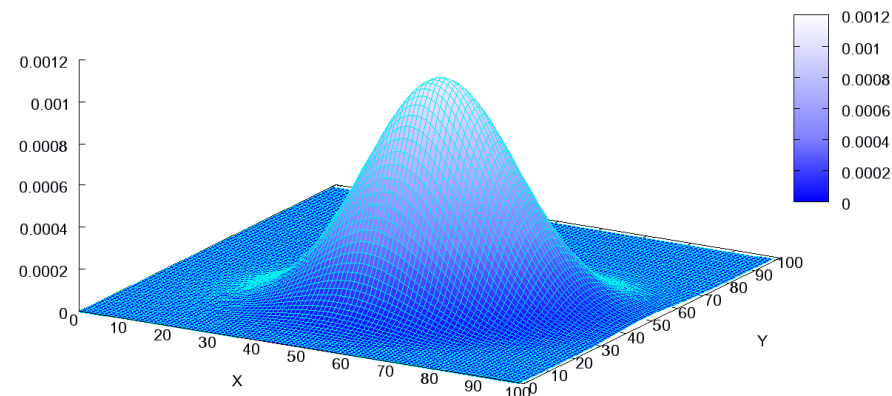
Modelagem multivariada usando distribuições de probabilidade

Distribuição conjunta e condicional

$$F_{X,Y}(x, y) = P(X \leq x, Y \leq y) \quad f_{Y|X}(y|x) = \frac{f_{X,Y}(x, y)}{f_X(x)}$$

$$f_{X,Y}(x, y) = \frac{\partial^2 F_{X,Y}(x, y)}{\partial x \partial y}$$

- Distribuições marginais.
- Estruturas de dependência.
- Limitações para casos N dimensionais

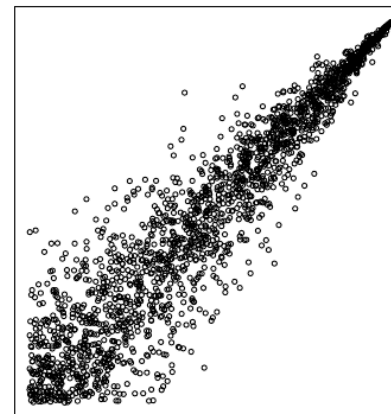
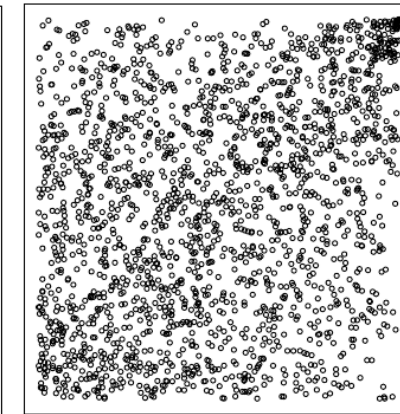
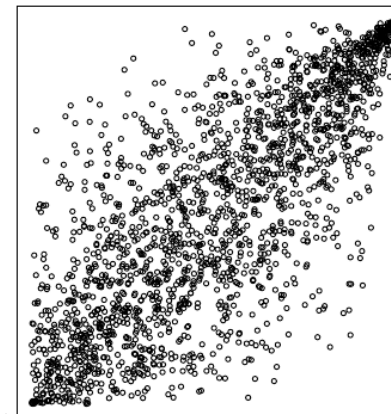
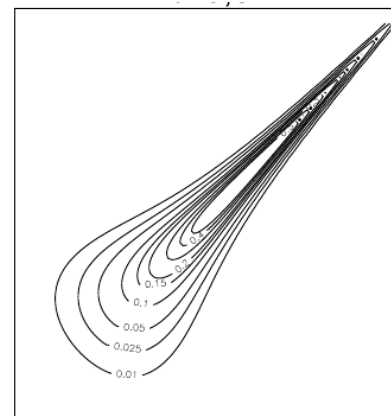
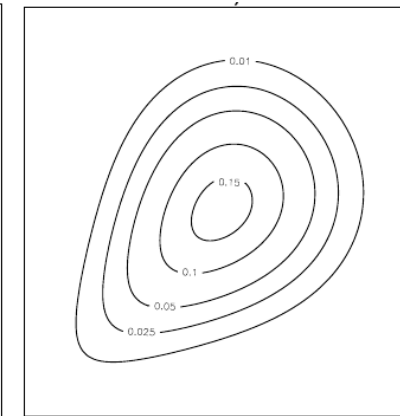
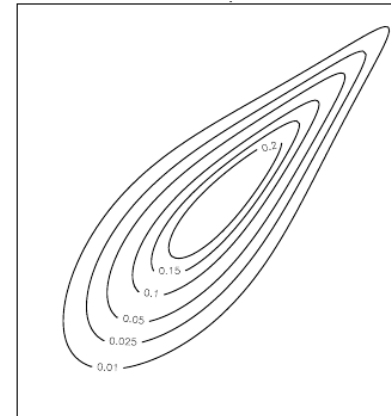
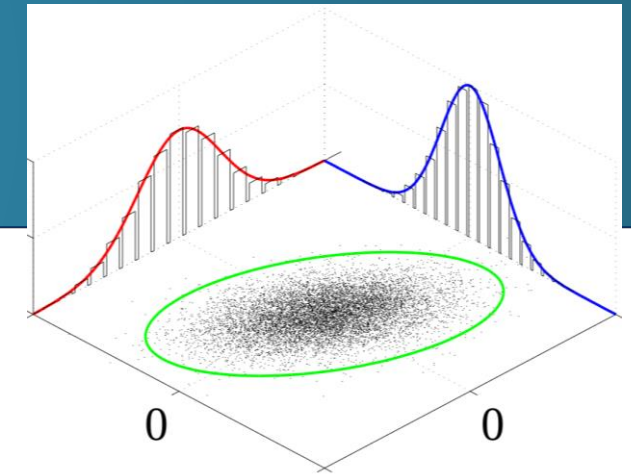
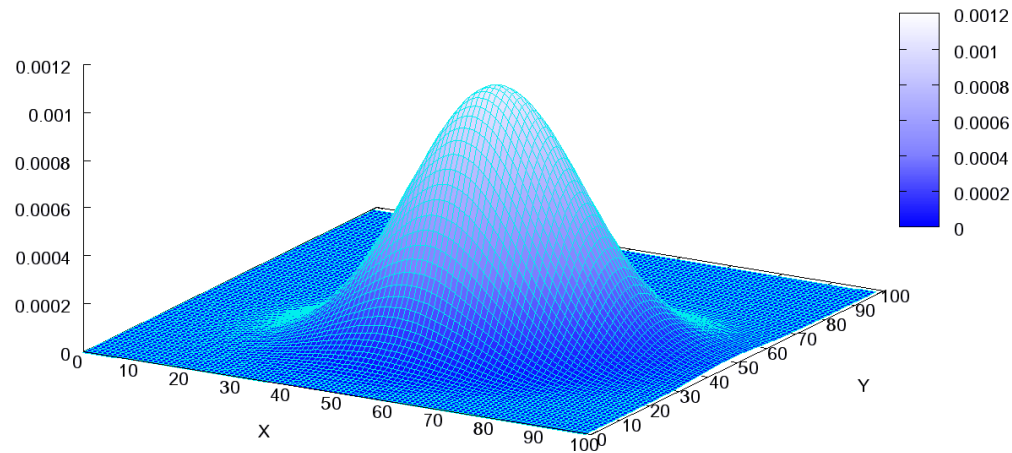


Funções cópula

Uma cópula é uma função de distribuição multivariada definida no domínio $[0,1]^d$ com distribuições marginais uniformes

$$F(\mathbf{x}) = F(x_1, \dots, x_d) = C(u_1, \dots, u_d), \quad \mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$$

Onde $u_i = F_i(x_i)$, $i = 1, \dots, d$ tal que $u_i \sim U(0,1)$



Funções cópula | Vine cópula

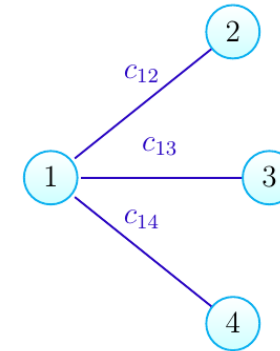
Decompor uma função de densidade multivariada em um conjunto de funções marginais e cópulas bivariadas condicionadas e não condicionadas.

$$f_{123}(x_1, x_2, x_3) = f_1(x_1) \cdot f_{2|1}(x_2|x_1) \cdot f_{3|12}(x_3|x_1, x_2).$$

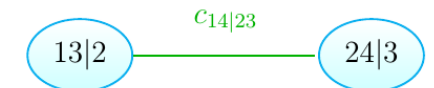
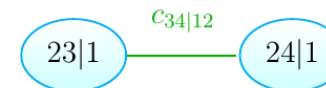
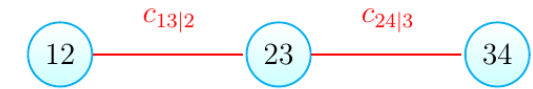
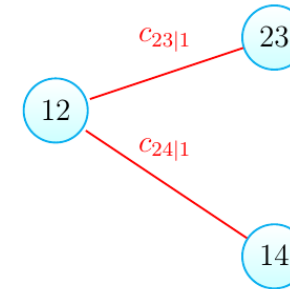
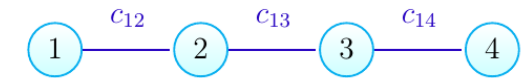
$$\begin{aligned} f_{123}(x_1, x_2, x_3) &= f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \\ &\quad \cdot c_{12}(F_1(x_1), F_2(x_2)) \cdot c_{13}(F_3(x_3|x_1)) \\ &\quad \cdot c_{23|1}(F_{2|1}(x_2|x_1), F_{3|1}(x_3|x_1)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{123}(x_1, x_2, x_3) &= f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \\ &\quad \cdot c_{12}(F_1(x_1), F_2(x_2)) \cdot c_{13}(F_3(x_3, x_1)) \\ &\quad \cdot c_{13|2}(F_{1|2}(x_1|x_2), F_{3|2}(x_3|x_2)). \end{aligned}$$

C-Vine



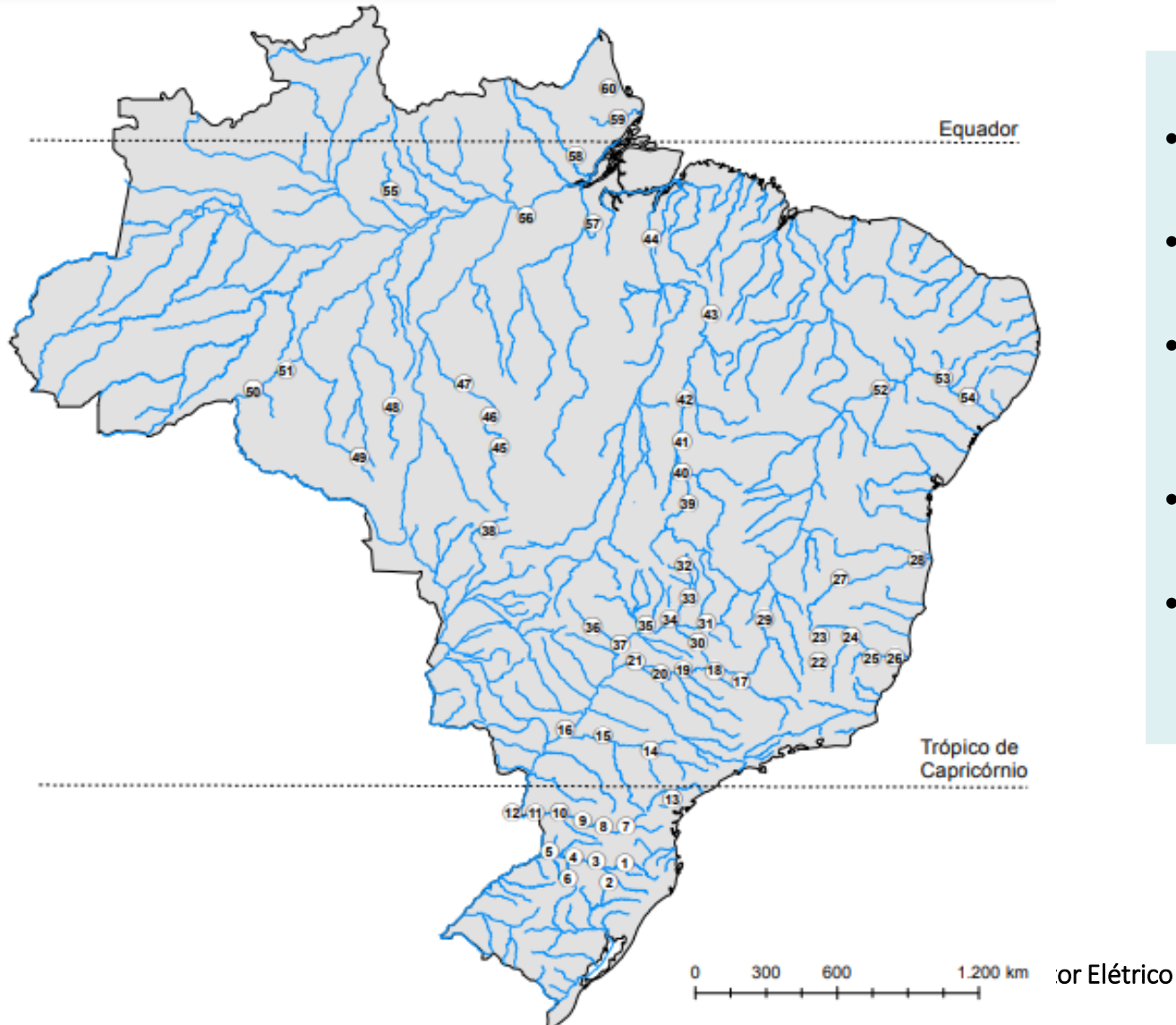
D-Vine



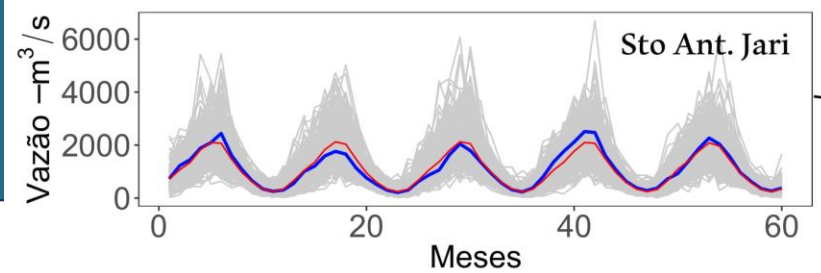
$$\begin{aligned} f_{1234} &= f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \\ &\quad \cdot c_{12} \cdot c_{13} \cdot c_{14} \\ &\quad \cdot c_{23|1} \cdot c_{24|1} \\ &\quad \cdot c_{34|12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{1234} &= f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \\ &\quad \cdot c_{12} \cdot c_{13} \cdot c_{14} \\ &\quad \cdot c_{13|2} \cdot c_{24|3} \\ &\quad \cdot c_{14|23} \end{aligned}$$

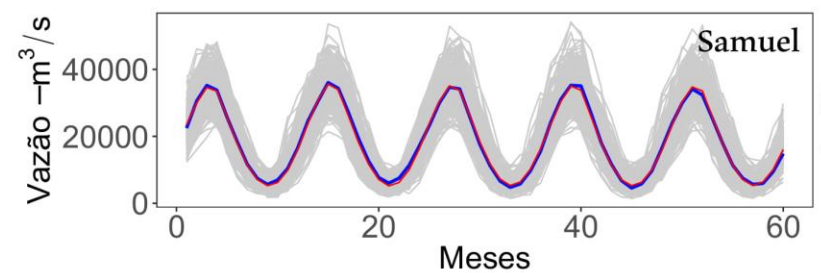
Modelagem de cenários vazão



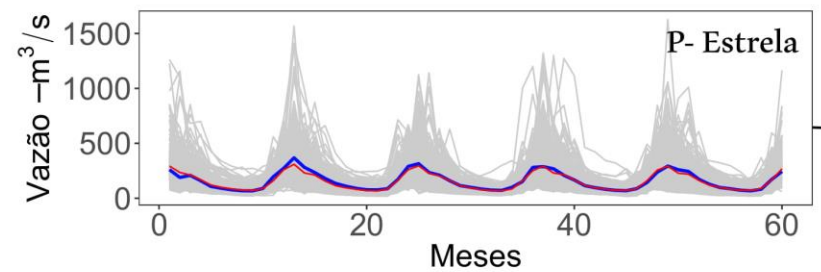
- Modelagem temporal de cada série (Fourier-PARMA).
- Análise espacial com series de resíduos.
- Construção distribuição de probabilidade multivariada.
- Simulação de novos resíduos
- Geração de cenários de vazão



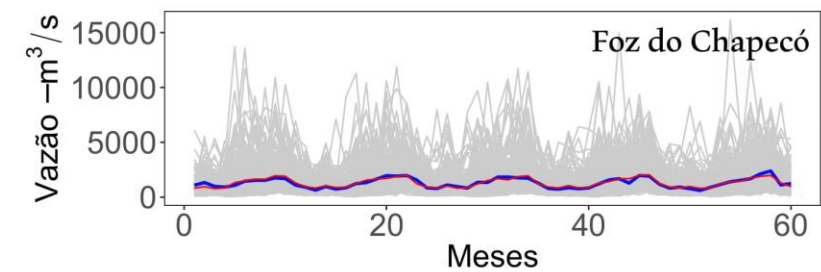
— Cenários — Média dos cenários — Média histórica



— Cenários — Média dos cenários — Média histórica



— Cenários — Média dos cenários — Média histórica



— Cenários — Média dos cenários — Média histórica



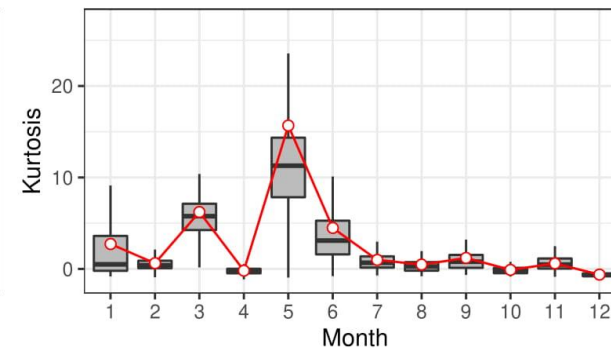
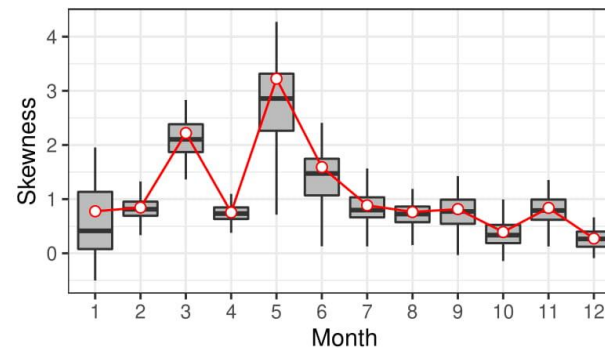
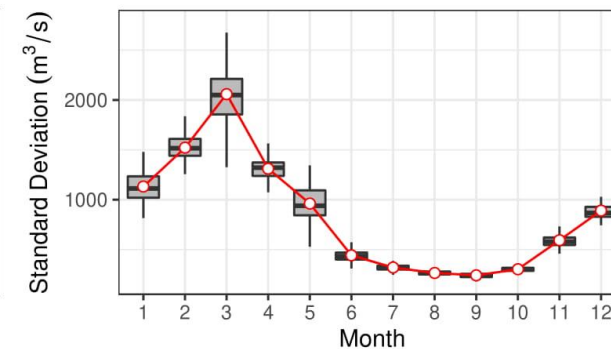
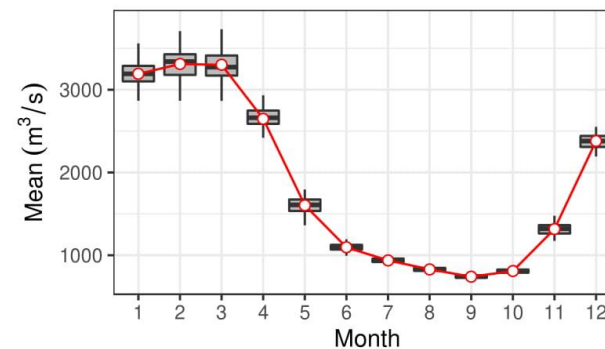
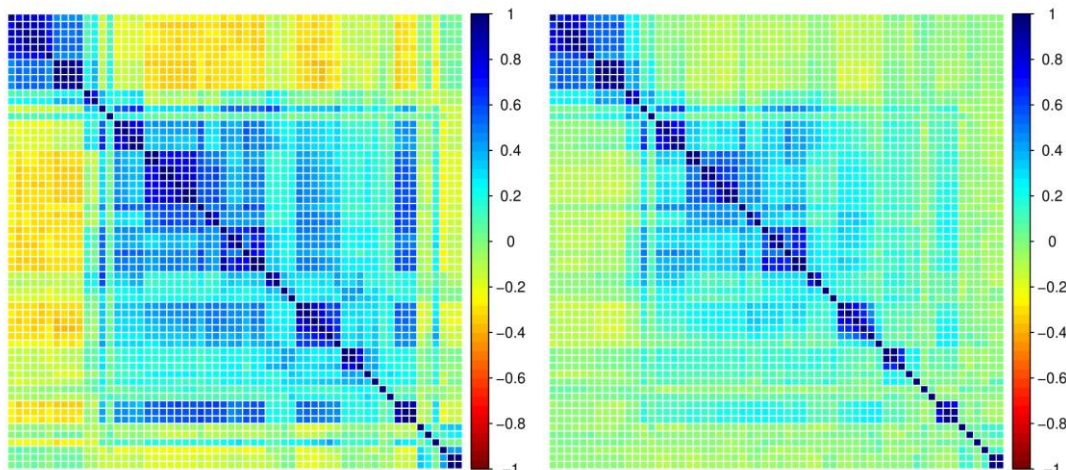
Modelagem de cenários vazão

Observado

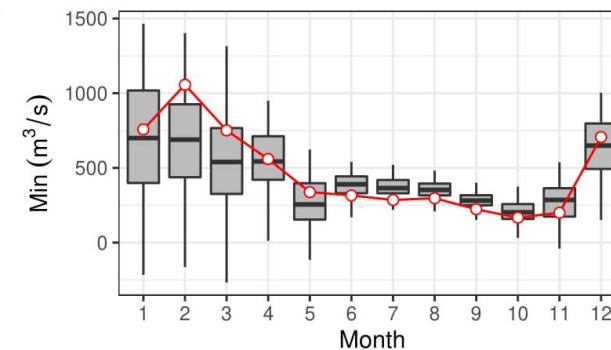
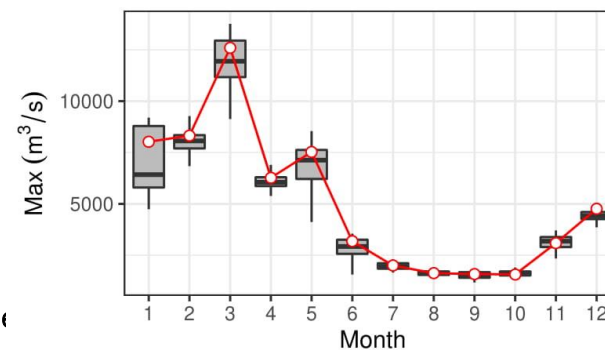
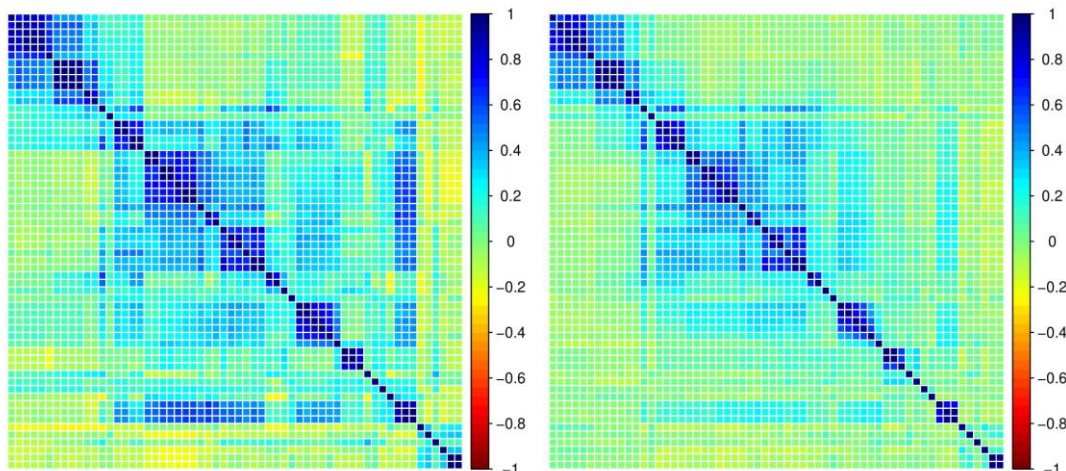
Simulado

Usina Sobradinho

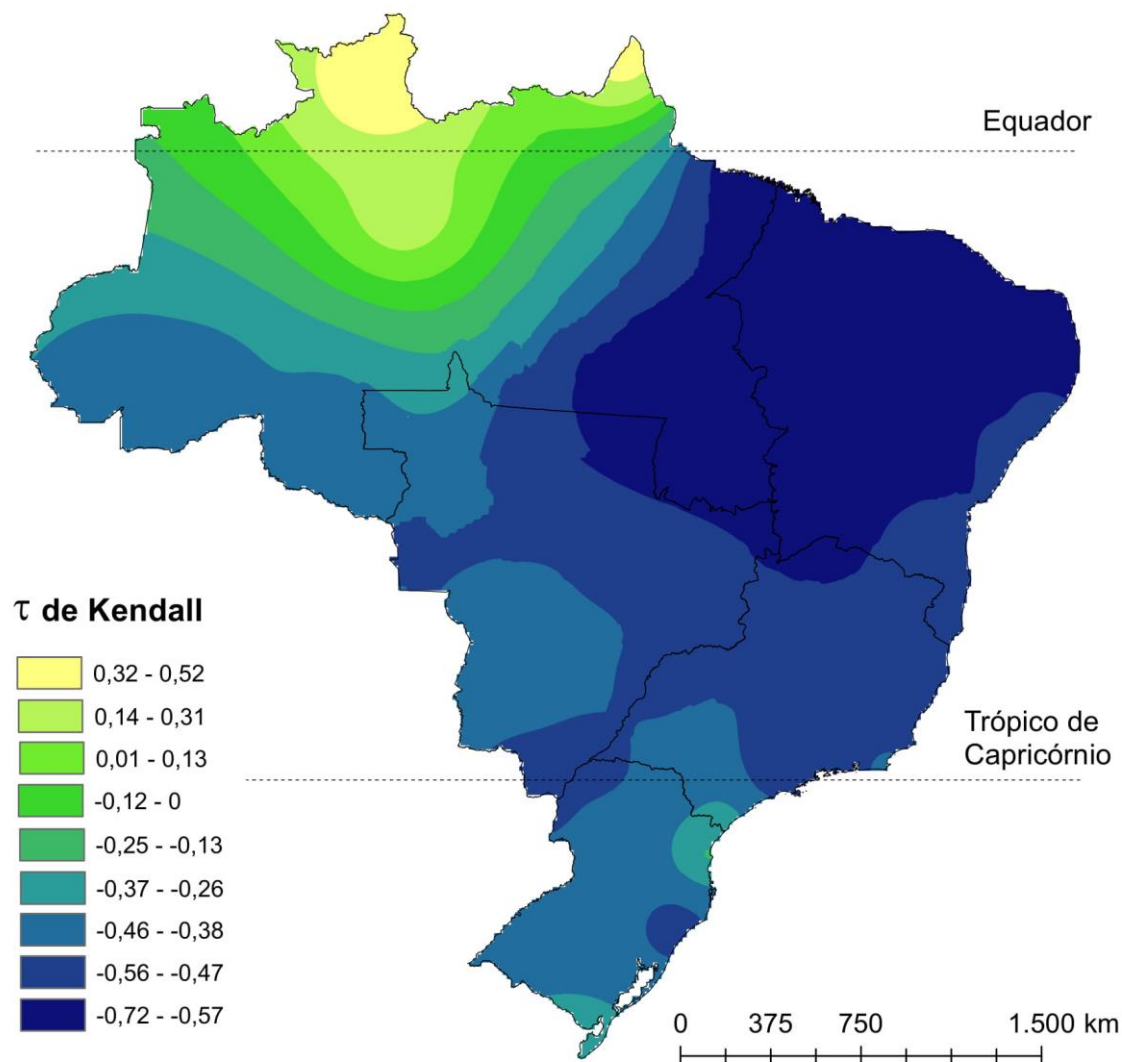
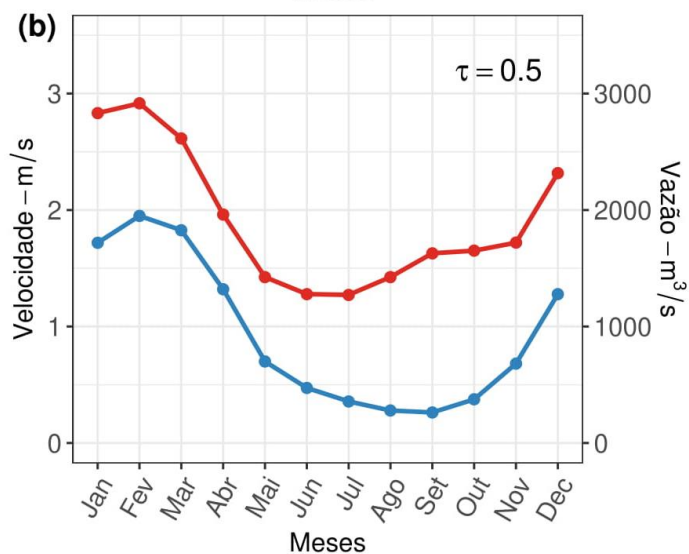
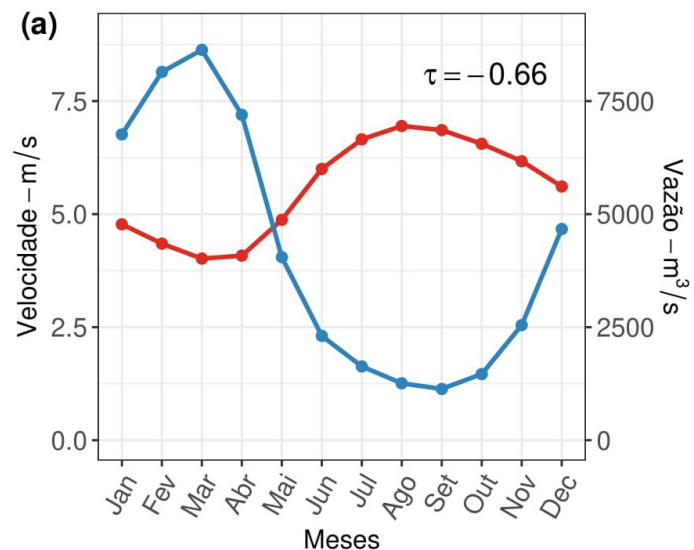
Abril

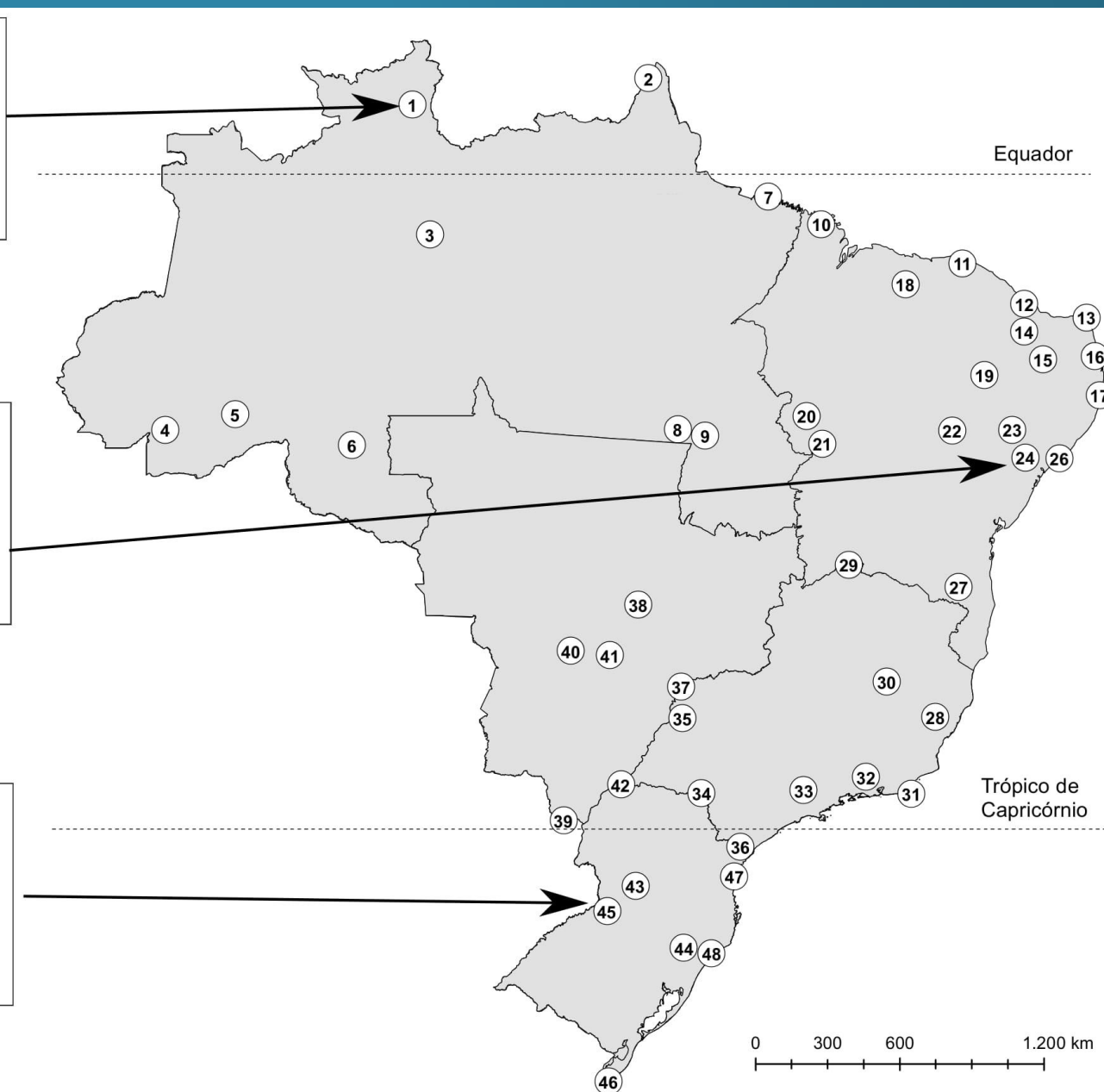
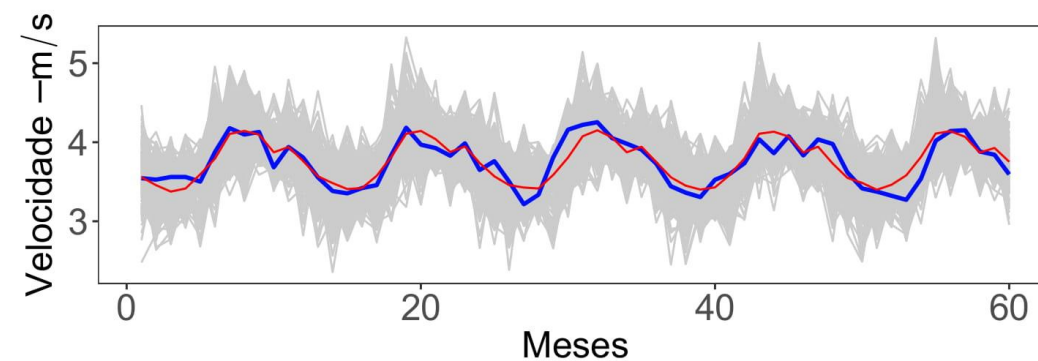
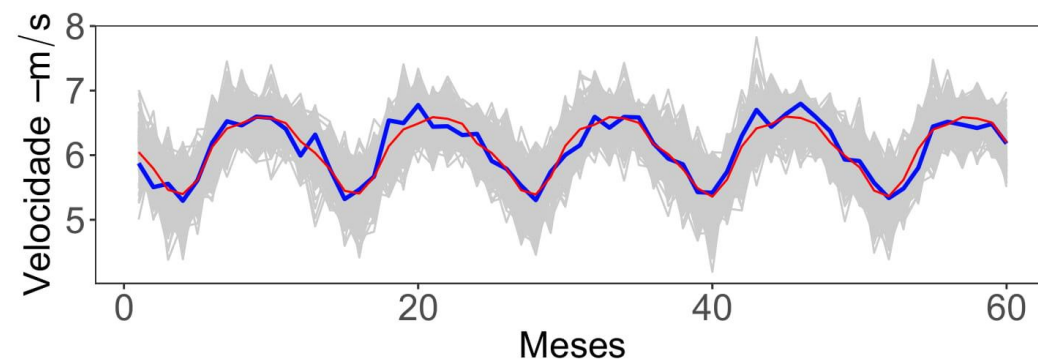
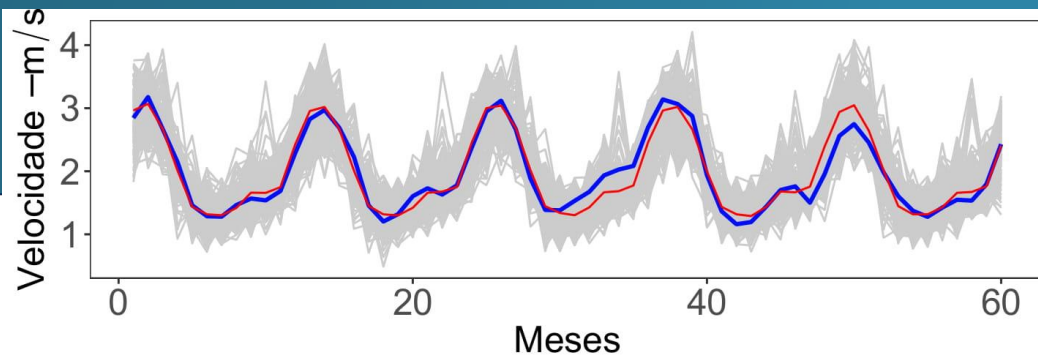


Agosto



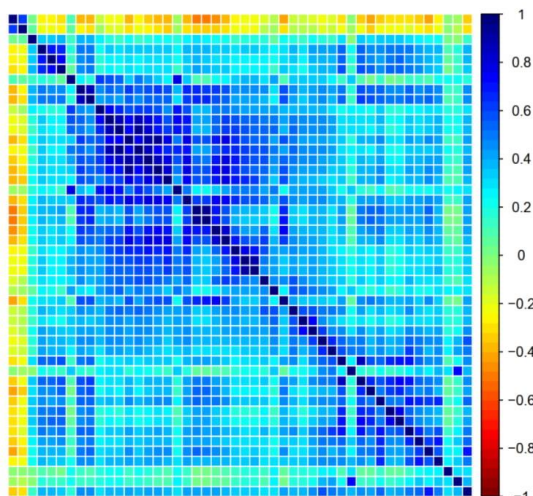
Análise de dependência hidro-eólica



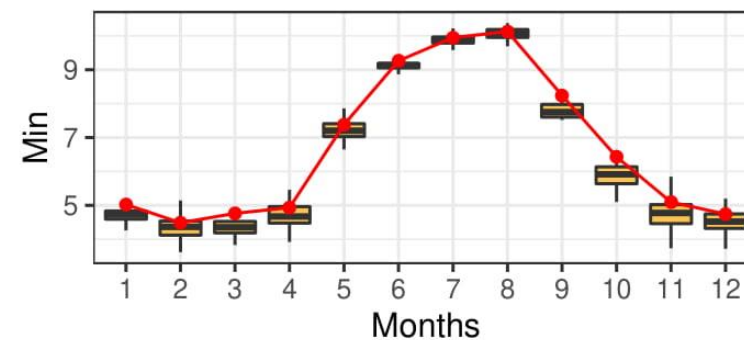
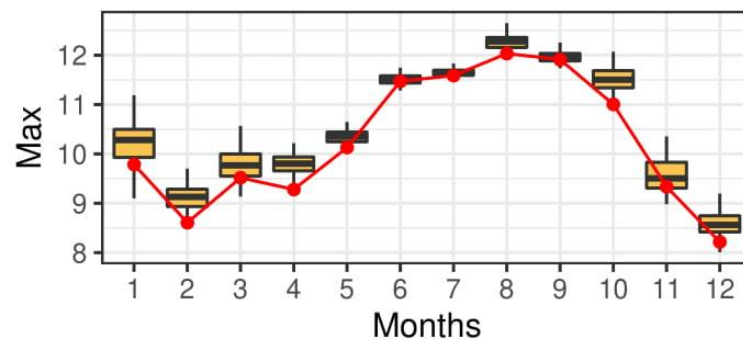
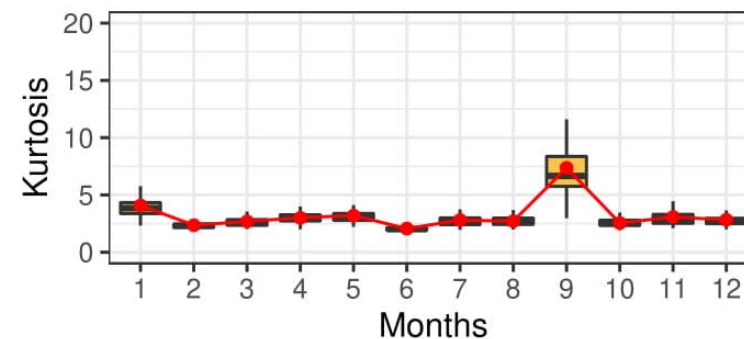
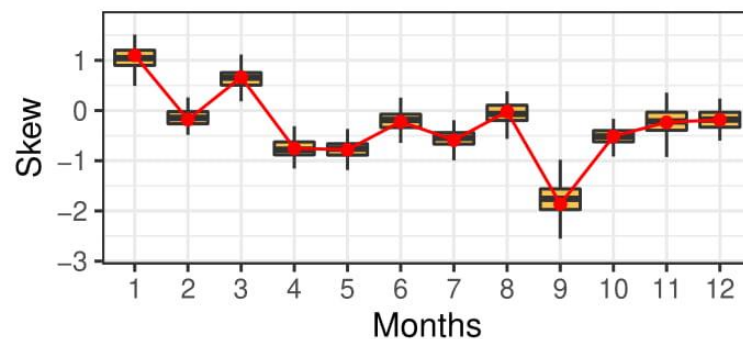
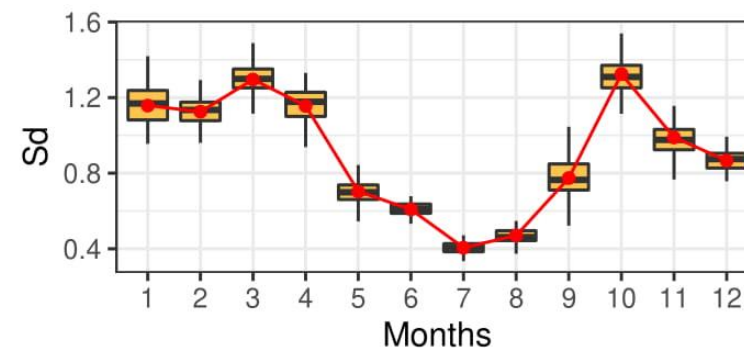
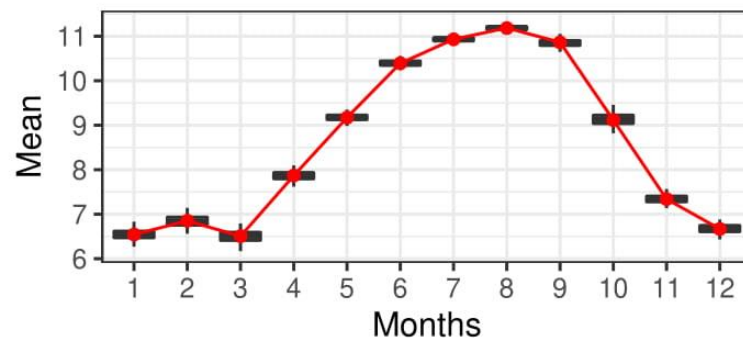
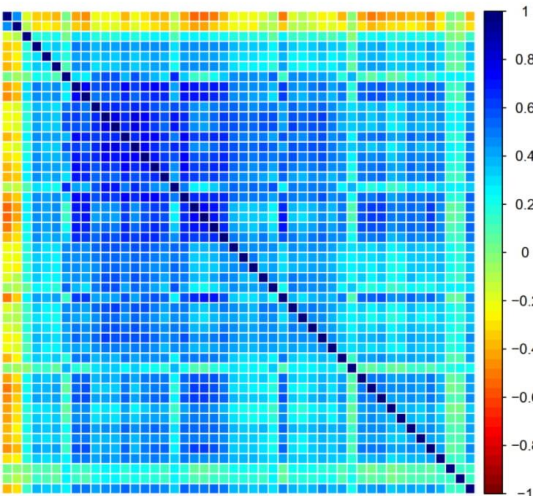


Modelagem de cenários de vento

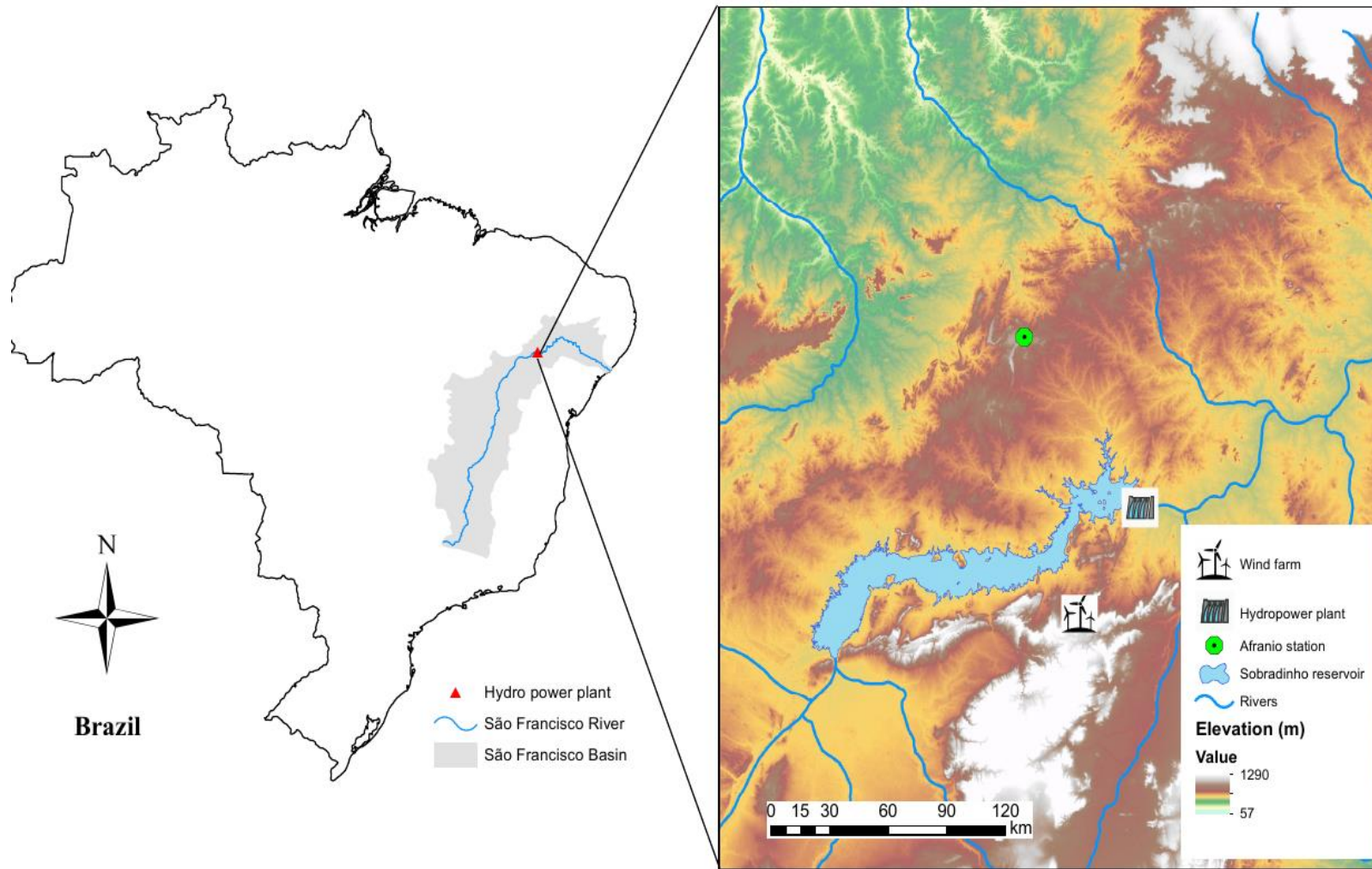
Observado



Simulado



Estudo de caso



Usina Sobradinho:

Potência instalada: 1050 MW

Volume útil: 15.278 hm³

Volume mínimo: 4.250 hm³

Complexo Pedra Branca

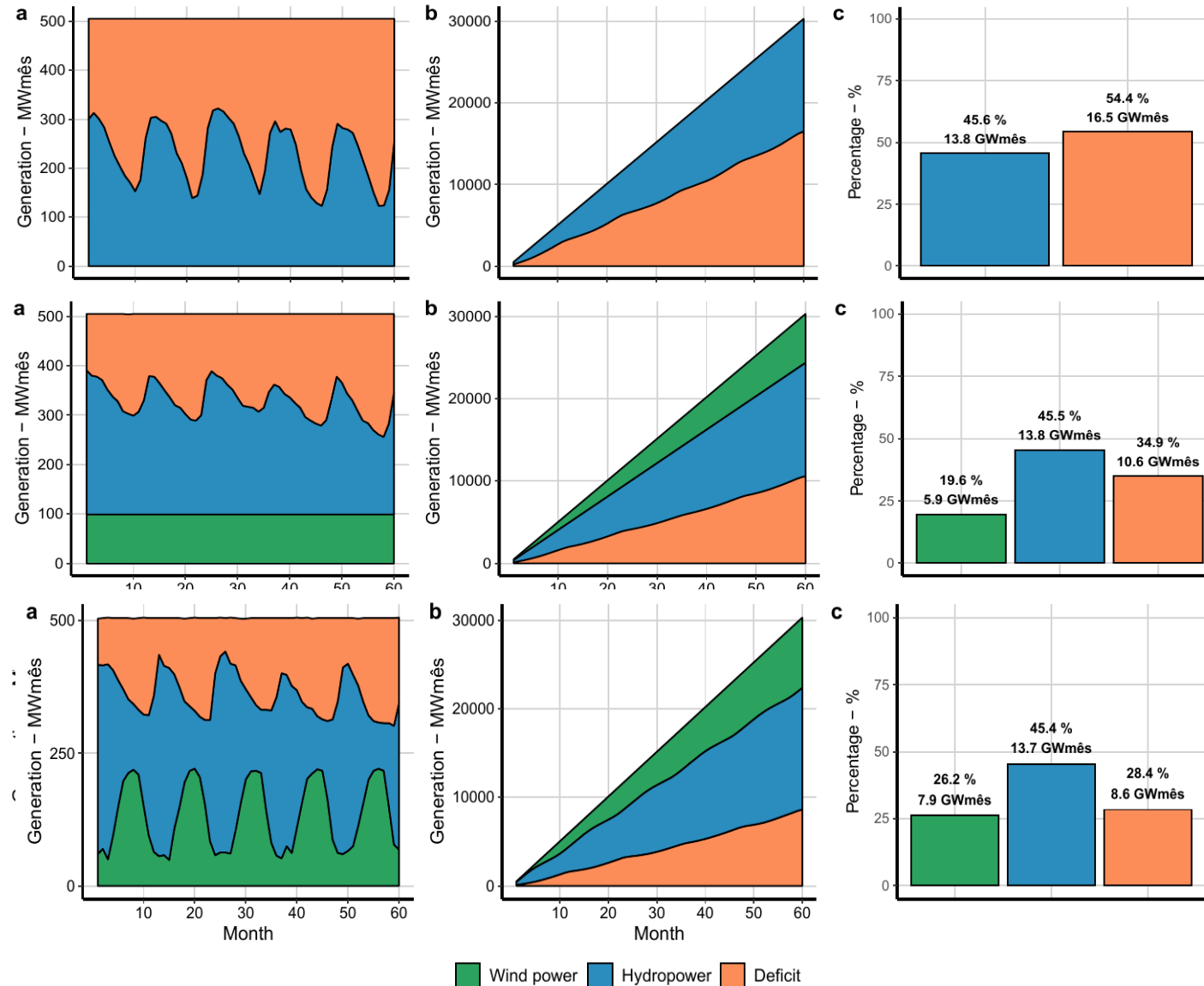
Potência instalada: 247,45 MW

Garantia física: 99,10 MW

Demanda constante:

Garantia Física Sobradinho

Estudo de caso



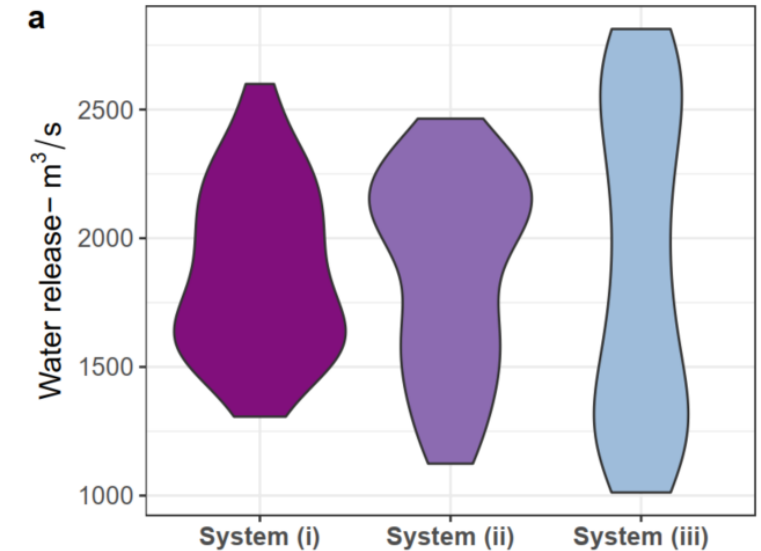
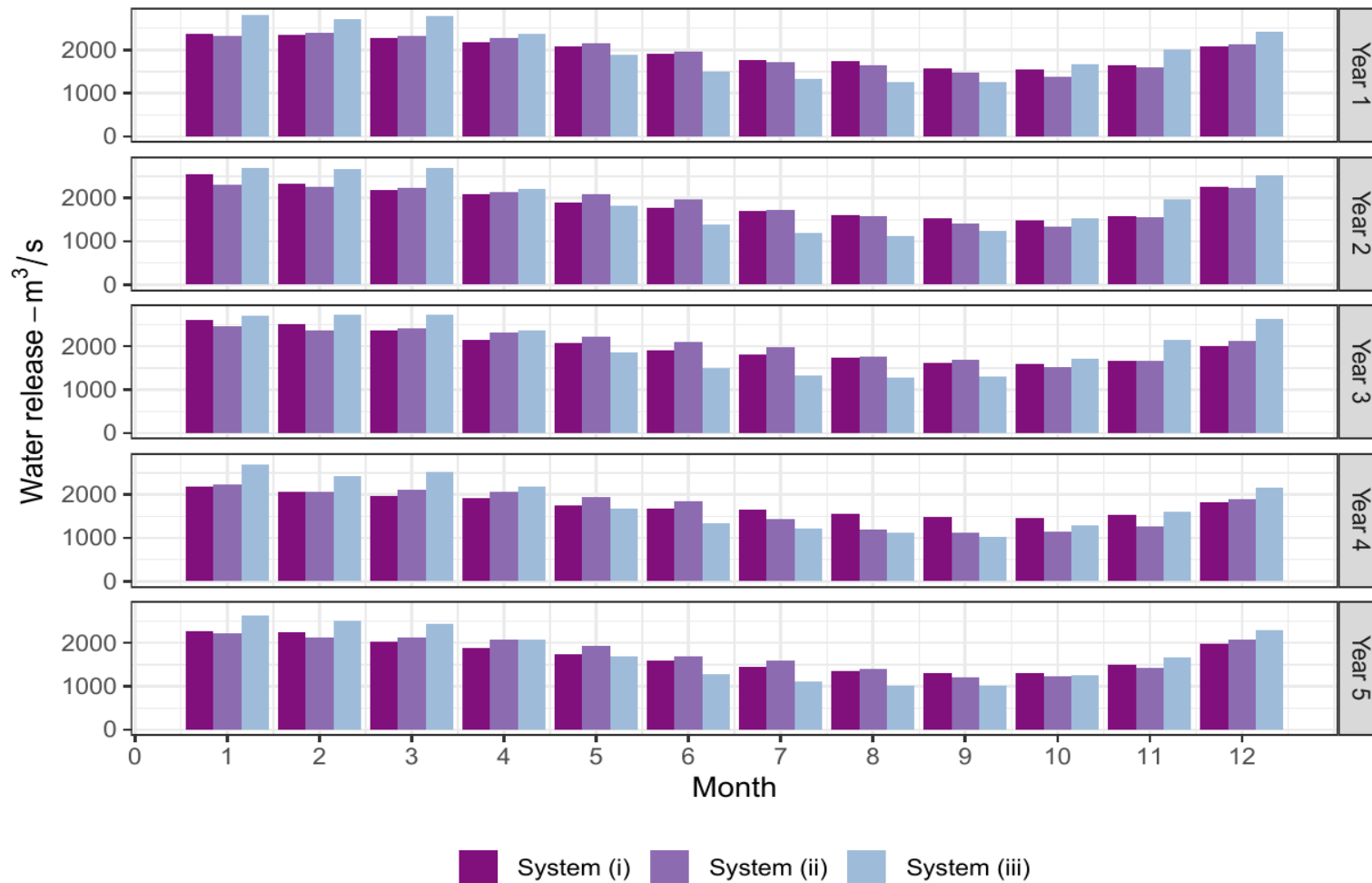
Sistema hidrotérmico

Sistema hidro-termo-eólico (Garantia física)

Sistema hidro-termo-eólico (Cenários sintéticos)

Estudo de caso

Foi observada uma maior flexibilidade na operação do reservatório no Sistema (iii)



Conclusões e estudos futuros

- Sistemas elétricos com alta dependência hídrica estão cada vez mais limitados.
 - Reservatórios devem complementar a geração de fontes intermitentes.
 - Estudar dependência de variáveis hidrometeorológicas.
 - Cópulas permitem a modelagem satisfatória de cenários mensais vento-vazão.
-
- Estudo da complementariedade hidro-eólica no curto prazo.
 - Avaliar a complementaridade hidro-eólica no SEB.
 - Integrar outras FER na modelagem multivariada.

Artigos publicados

Journals:

- Leandro Ávila, Miriam Mine R, Kaviski Eloy, Daniel Detzel, Heinz Fill, Marcelo Bessa, Guilherme Pereira: **Complementarity modeling of monthly streamflow and wind speed regimes based on a copula-entropy approach**: A Brazilian case study. Applied Energy, v. 259, p. 114127, 2020. DOI: [10.1016/j.apenergy.2019.1141271](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.1141271)
- Leandro Ávila, Miriam Mine R, Eloy Kaviski. **Probabilistic long-term reservoir operation employing copulas and implicit stochastic optimization**. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Assess 34, 931–947 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01826-9>
- Leandro Avila, Miriam Moro Mine, Eloy Kaviski, Daniel Detzel: **Evaluation of hydro-wind complementarity in the medium-term planning of electrical power systems by joint simulation of periodic streamflow and wind speed time series: A Brazilian case study**. Submitted to Renewable Energy (Major Revision)

Congressos:

- Leandro Ávila, Miriam Mine R, Eloy Kaviski, Daniel Detzel. Entropy-copula model for monthly streamflow simulation. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, Foz do Iguaçu. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019.
- Leandro Ávila, Miriam Mine R, Eloy Kaviski, Daniel Detzel. Spatial R-vine model for monthly streamflow simulation In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, Foz do Iguaçu. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019.
- Leandro Avila Rangel, Moro Mine, Eloy Kaviski: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA BIVARIADA DE CHEIAS PARA ESTIMAÇÃO DE RISCO HIDROLÓGICO BASEADO NA MODELAGEM DE FUNÇÕES CÓPULA. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis; 01/2017
- Leandro Avila, Miriam Moro Mine, Paula Wessling Da Silva: ANÁLISIS ESPACIAL DE LLUVIA-CAUDAL EN LA CUENCA ALTA DEL RIO IVAÍ A PARTIR DE MODELOS COPULA. CONAGUA 2017, Cordoba, Argentina; 09/2017

MUITO OBRIGADO
leandroavilarangel@gmail.com



Coordenação do GT Metodologia
gtmet.cpamp@ccee.org.br

Assessoria Técnica:

