

**Nº 177282**

**Correção em tempo real dos parâmetros para operação da  
reservação e distribuição de água**

**Leonardo Fonseca Larrubia  
Chang Chiann  
Olga Satomi Yoshida**

*Palestra apresentada no WORKSHOP  
TRM TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E  
METROLÓGICAS, 4., 2021., São Paulo*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

# Correção em tempo real dos parâmetros para operação da reservação e distribuição de água

Leonardo Fonseca Larrubia<sup>1</sup>, Chang Chiann<sup>1</sup> e Olga Satomi Yoshida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IME-USP - Instituto de Matemática e Estatística

<sup>2</sup>IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Abril de 2021

Durante o desenvolvimento deste trabalho o autor recebeu auxílio financeiro da FAPESP (Processo nº 2018/26592-5)



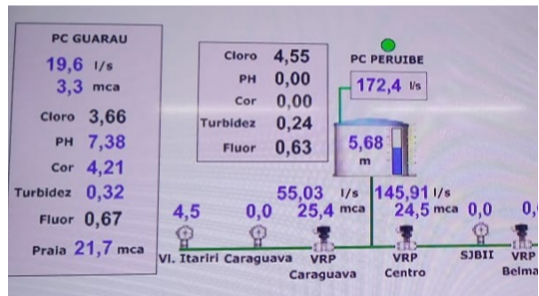
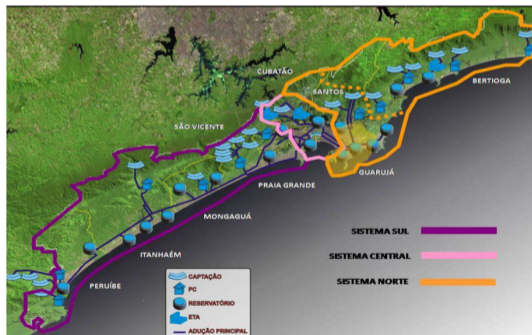
## Motivação

- Indústria 4.0: fusão do mundo físico, digital e biológico, o uso de internet das coisas (IoT), de inteligência artificial e de *Big Data*;
- Indústria da água: presença de uma enorme infraestrutura de sensores, dispositivos de comunicação, redes de telemetria, soluções SCADA e etc;
- Importância previsões da demanda de água em determinadas regiões para o ajuste de sua produção;
- A demanda de água possui um perfil característico e bastante reprodutivo;
- Porém, não se verifica automação total do controle operacional dos sistemas adutores de água;
- **Objetivo geral:** Propor uma solução de análise de séries temporais para a indústria da água que possa auxiliar o operador nas tomadas de decisões.



## Material

- Séries temporais fornecidas pela Sabesp da Baixada Santista;
- Foram geradas pelo sistema de adução e distribuição de água referentes ao reservatório de Peruíbe localizado na cidade de mesmo nome;



## Descrição das séries

- Amostragem temporal é a cada hora, indo das 1:00 do dia 1<sup>o</sup> de janeiro de 2017 até às 23:00 do dia 31 de dezembro de 2018 (N=17519).
- Ao todo são 8 séries de sensores e 1 série “calculada”.

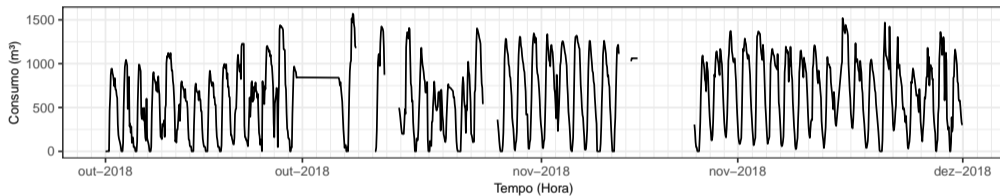
Série temporal	Medida	Valor máximo	Valor mínimo
Vazão de entrada no reservatório Peruíbe	Litros por segundo (l/s)	300,0	0
Nível do reservatório Peruíbe	Metros (m)	7,8	0
Consumo	Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )	1.800,0	0
Vazão de saída para o Norte de Peruíbe	Litros por segundo (l/s)	250,0	0
Vazão de saída para o Sul de Peruíbe	Litros por segundo (l/s)	250,0	0
Pressão a montante ao Norte de Peruíbe	Metros de coluna de água (mca)	70,0	0
Pressão a montante ao Sul de Peruíbe	Metros de coluna de água (mca)	70,0	0
Pressão a jusante ao Norte de Peruíbe	Metros de coluna de água (mca)	70,0	0
Pressão a jusante ao Sul de Peruíbe	Metros de coluna de água (mca)	70,0	0



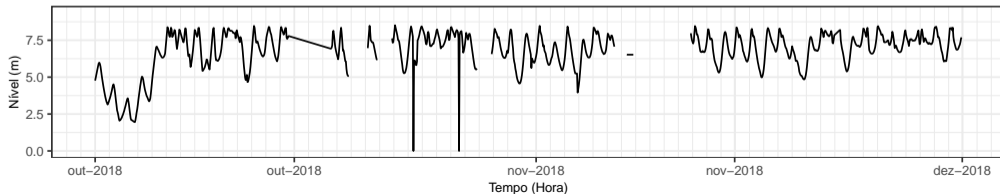
## Material

Observa-se problemas de dados faltantes e de anomalias nas séries.

- Série de consumo:



- Série de nível:



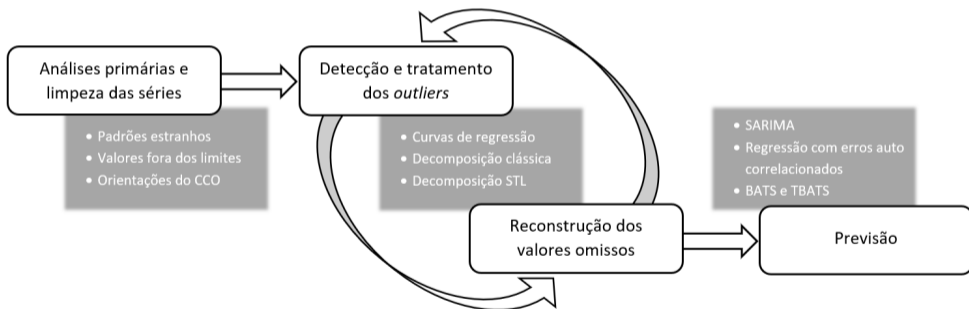
## Objetivos

Propomos uma solução de análise de séries temporais para a indústria da água que busca cumprir 3 metas:

- 1ª Meta:** Desenvolver um procedimento para indicar a qualidade dos dados enviados ao Centro de Controle Operacional (CCO);
- 2ª Meta:** Propor métodos de preenchimento dos vazios das séries temporais;
- 3ª Meta:** Buscar por modelos previsionais com boa acurácia que antecipem os valores das séries temporais, em tempo real.



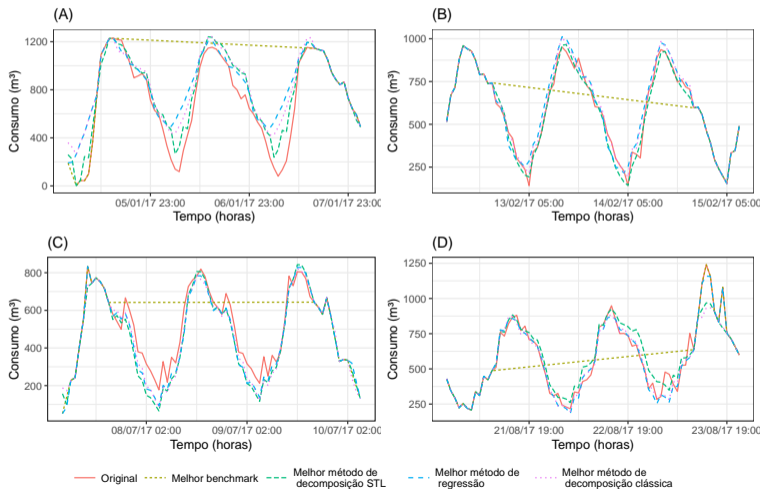
## Esquema metodológico



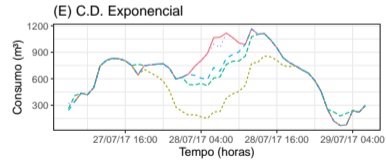
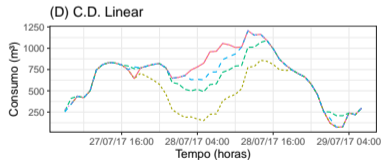
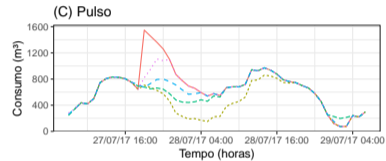
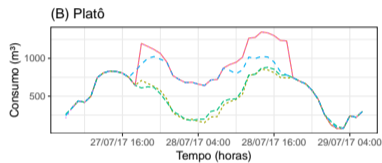
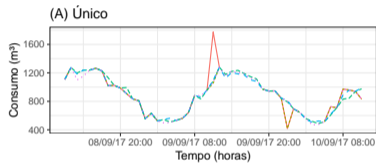


## EXEMPLO: SÉRIE DE CONSUMO

## Exemplo: série de consumo - alguns trechos de testes de preenchimentos de vazios



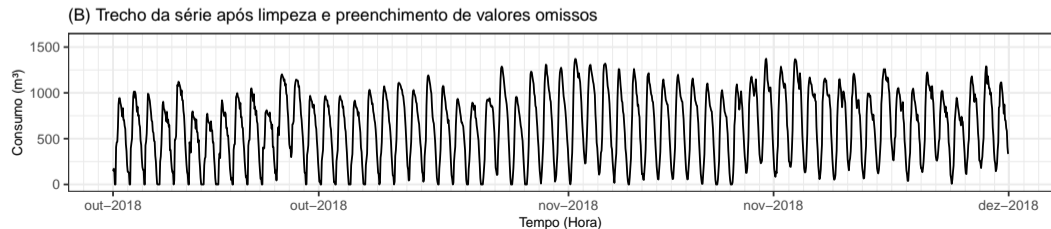
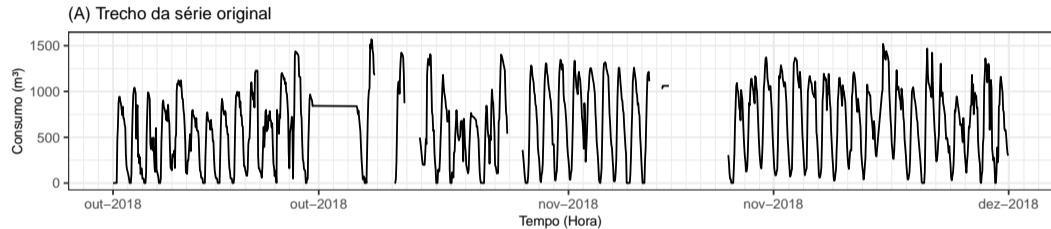
## Exemplo: série de consumo - alguns trechos de testes de detecção



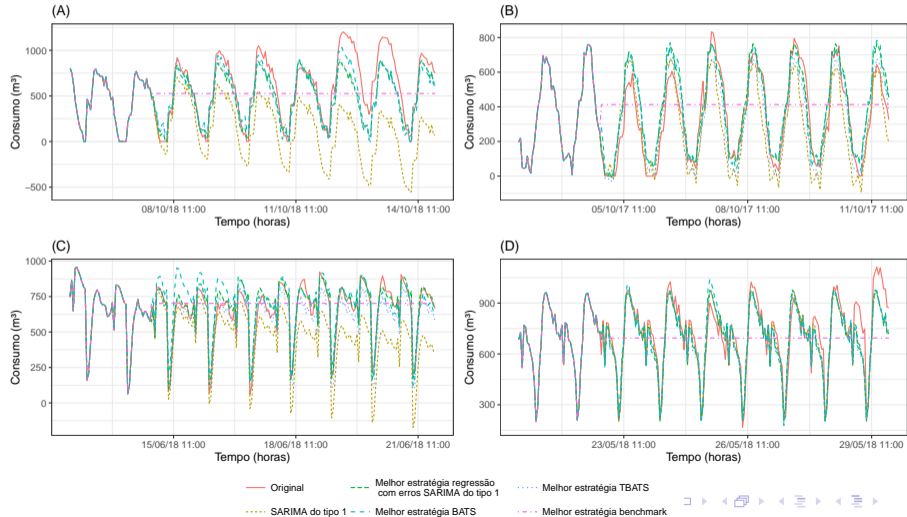
— Série com Outlier    - - - Original    - - - Corte = 2    - - - Corte = 3    - - - Corte = 5



## Exemplo: série de consumo - antes e depois



## Exemplo: série de consumo - algumas previsões



## RESULTADOS GERAIS

## Resultados gerais - omissos

Série temporal	Tipo	ME	MAE	MAPE	RMSE
<b>Método selecionado</b>					
Vazão de entrada no reservatório Peruíbe	Curvas de regressão	-0,127	6,63	3,9	10,11
Nível do reservatório Peruíbe	Curvas de regressão	0,039	0,35	5,3	0,45
Consumo	Regressão + Decomposição Clássica	-4,299	58,82	13,3	93,16
Vazão de saída para o Norte de Peruíbe	Decomposição STL	-0,562	8,23	519,9	14,88
Vazão de saída para o Sul de Peruíbe	Curvas de regressão	-0,439	12,35	90,2	18,48
Pressão a montante ao Norte de Peruíbe	Curvas de regressão	0,087	1,19	3,9	1,93
Pressão a montante ao Sul de Peruíbe	Curvas de regressão	0,004	1,08	2,9	2,17
Pressão a jusante ao Norte de Peruíbe	Curvas de regressão	-0,073	1,07	6,9	1,79
Pressão a jusante ao Sul de Peruíbe	Curvas de regressão	-0,022	1,15	7,4	1,95
<b>Método benchmark</b>					
Vazão de entrada no reservatório Peruíbe	Interpolação	-0,348	6,60	3,7	10,17
Nível do reservatório Peruíbe	Interpolação	0,030	0,44	7,0	0,55
Consumo	Interpolação	-22,044	191,41	45,6	234,91
Vazão de saída para o Norte de Peruíbe	Interpolação	0,316	23,96	630,4	33,12
Vazão de saída para o Sul de Peruíbe	Interpolação	-3,867	36,28	327,4	44,57
Pressão a montante ao Norte de Peruíbe	Interpolação	-0,166	2,72	7,6	3,76
Pressão a montante ao Sul de Peruíbe	Interpolação	-0,007	1,85	4,8	3,11
Pressão a jusante ao Norte de Peruíbe	Interpolação	0,073	3,11	20,4	3,75
Pressão a jusante ao Sul de Peruíbe	Interpolação	-0,146	2,88	18,8	3,54

## Resultados gerais - previsão

Série temporal	Tipo de procedimento de previsão	ME	MAE	MAPE	RMSE
<b>Método selecionado</b>					
Vazão de entrada no reservatório Peruíbe	TBATS	0,517	15,06	9,3	23,07
Nível do reservatório Peruíbe	BATS	-0,056	0,67	10,7	0,92
Consumo	Regressão com erros SARIMA	-3,366	70,74	-	97,11
Vazão de saída para o Norte de Peruíbe	Regressão com erros SARIMA	2,237	13,41	-	20,42
Vazão de saída para o Sul de Peruíbe	Regressão com erros SARIMA	-0,010	17,69	-	25,16
Pressão a montante ao Norte de Peruíbe	BATS	-0,247	1,65	4,0	2,25
Pressão a montante ao Sul de Peruíbe	Regressão com erros SARIMA	-0,320	1,09	2,5	1,60
Pressão a jusante ao Norte de Peruíbe	Regressão com erros SARIMA	-0,061	0,91	5,8	1,41
Pressão a jusante ao Sul de Peruíbe	Regressão com erros SARIMA	-0,055	1,15	7,2	1,78
<b>Método benchmark</b>					
Vazão de entrada no reservatório Peruíbe	Últ. Obs.	-1,927	15,79	9,6	24,31
Nível do reservatório Peruíbe	Média	-0,278	0,81	12,3	1,10
Consumo	Média	2,005	216,29	-	261,01
Vazão de saída para o Norte de Peruíbe	Média	-2,195	32,70	1.278,7	40,86
Vazão de saída para o Sul de Peruíbe	Média	0,541	39,21	-	47,10
Pressão a montante ao Norte de Peruíbe	Mediana	-0,714	3,01	7,1	3,67
Pressão a montante ao Sul de Peruíbe	Mediana	-0,193	1,78	4,1	2,27
Pressão a jusante ao Norte de Peruíbe	Média	-0,051	3,76	25,3	4,33
Pressão a jusante ao Sul de Peruíbe	Média	-0,161	3,32	22,4	3,97





## Conclusão

- As metas foram cumpridas satisfatoriamente:
  - 1ª Meta: Desenvolver um procedimento para indicar a qualidade dos dados enviados ao CCO;
  - 2ª Meta: Propor métodos de preenchimento dos vazios das séries temporais;
  - 3ª Meta: Buscar por modelos previsionais com boa acurácia que antecipem os valores das séries temporais, em tempo real.
- As metodologias podem ser aplicadas em qualquer sistema de distribuição de água de outros municípios do país, podendo ainda ser extrapoladas para outras áreas de aplicação que envolvam análises de séries temporais.
- As metodologias também servem para o monitoramento das condições de instalações fabris e/ou maquinários.
- O próximo passo seria partir para uma abordagem multivariada e modelar o consumo demandado de todos os reservatórios do sistema da Sabesp da Baixada Santista de forma conjunta e incluir nas análises outras séries como covariáveis.

