PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS EPIDEMIOLÓGICAS COM ESTRUTURAS HIERÁRQUICAS E APRENDIZADO DE MÁQUINA

LVIII SBPO

Prof. Dr. Ramon Gomes da Silva - ramon.gsilva@pucpr.br
Programa de Pós-Graduação e Engenharia de Produção e Sistemas - PUC/PR

Prof. Dr. Matheus Henrique Dal Molin Ribeiro - mribeiro@utfpr.edu.br
Programa de Pós-Graduação e Engenharia de Produção e Sistemas Multicampi- UTFPR



LVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional

AGENDA

- Biografias
- Contextualização
- Séries Hierárquicas
- Previsão Hierárquica
- Caixa de Ferramentas
- Hands-on

LVIII SBPO
Belo Horizonte - MG | 2026
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE **PESQUISA OPERACIONAL**





RAMON G. DA SILVA

ramon.gsilva@pucpr.br

- Bacharel em Engenharia de Produção
  Universidade do Estado do Pará - UEPA
- Graduação Sanduíche em Eng. Industrial
  University of Southern Indiana - USI
- Mestre em Pesquisa Operacional
  Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
- Doutor em Machine Learning e Data Science
  Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
- Professor e Pesquisador
  PPG em Eng. de Produção e Sistemas - PPGEPS / PUCPR
- Vice-Líder do Grupo de Pesquisa em Otimização e Análise Temporal (GOAT)

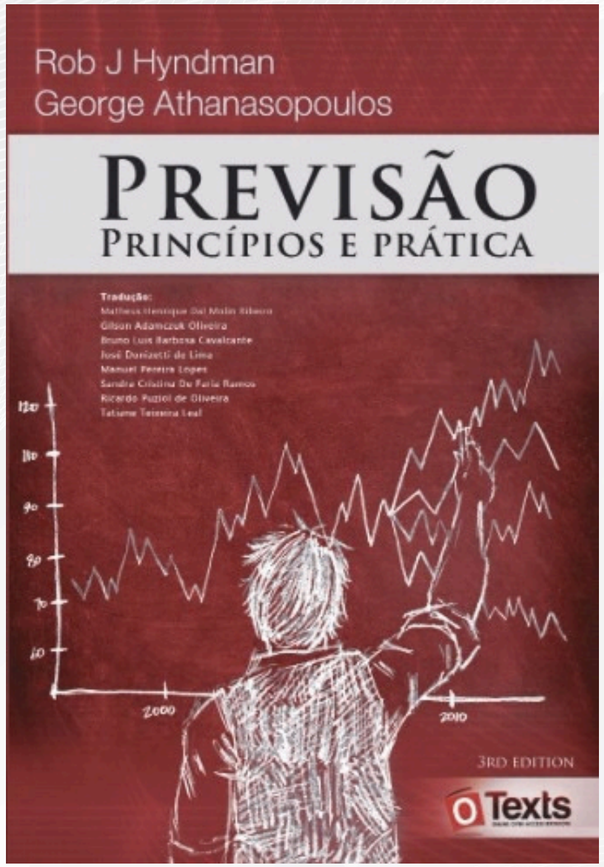


MATHEUS H. D. M. RIBEIRO

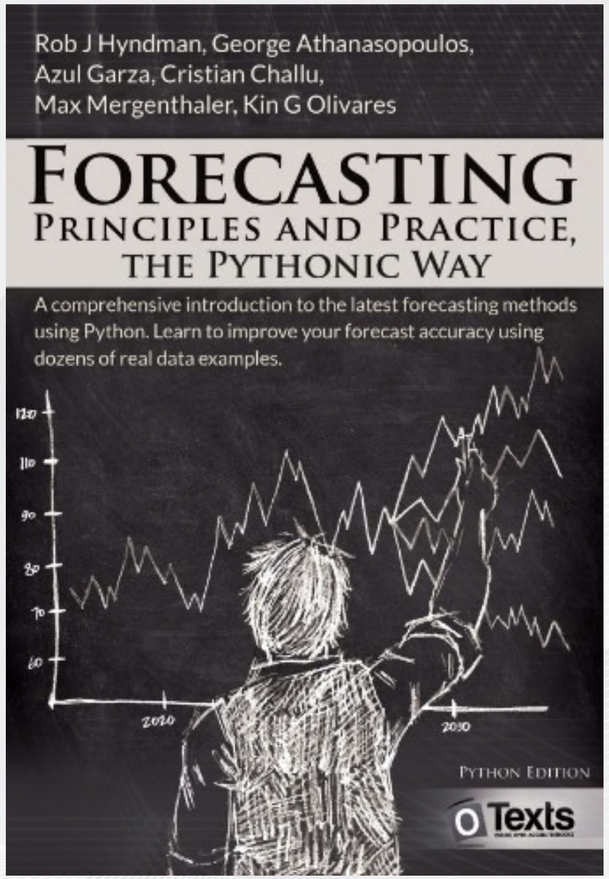
mribeiro@utfpr.edu.br

- Licenciado em Matemática
  Universidade Tec. Federal do Paraná - UTFPR
- Mestre em Bioestatística
  Universidade Estadual de Maringá - UEM
- Doutor em Eng. de Produção e Sistemas
  Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
- Professor, Pesquisador e Coordenador
  PPG em Eng. de Produção e Sistemas - PPGEPS Multicampi/ UTFPR
- Bolsista Produtividade em Pesquisa Fundação Araucária - Paraná
- Líder do Grupo de Pesquisa em Otimização e Análise Temporal (GOAT)

REFERÊNCIAS BÁSICAS



https://otexts.com/fpppg/



https://otexts.com/fpppy/

O QUE VEM À MENTE QUANDO PENSA EM "PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS"?

PollEv.com/matheushenriquedalmolinribeiro018

PREVER PARA APOIAR DECISÕES

Em problemas epidemiológicos, a previsão não é um fim em si mesma: ela subsidia o planejamento de recursos e ações de saúde pública.

Gestão Hospitalar e Vacinação	Alocação de Recursos e Políticas Públicas	Alertas e Vigilância Epidemiológica
• Antecipar internações, demanda por leitos de UTI e insumos críticos. • Planejar cobertura vacinal antes dos picos sazonais.	• Detectar surtos antes que se tornem emergências de saúde pública. • Acompanhar tendências de doenças transmissíveis.	• Distribuir agentes de saúde e medicamentos com base em projeções. • Subsidiar decisões de controle e medidas de resposta.

QUANDO AS PREVISÕES NÃO FECHAM



Três decisores, três horizontes

Diretoria

Previsão do total nacional, para definir o orçamento anual;

Equipes regionais

Previsão por região, para planejar logística;

Gerentes Locais

Previsão por unidades, para escala de pessoal e estoque local

O mesmo vale para a saúde pública: Ministério, secretarias estaduais e gestores municipais olham a mesma epidemia em níveis distintos.

Conflito

A soma das previsões das unidades de uma região não coincide com a previsão feita diretamente para aquela região. Três relatórios corretos, três números incompatíveis.

Solução

Métodos que garantem previsões coerentes — exatamente o que as Séries Temporais Hierárquicas (STH) fazem: previsões que respeitam a estrutura de agregação por construção.

O QUE UMA SÉRIE TEMPORAL PODE CONTER?

Estacionaridade

Previsão do total nacional, para definir o orçamento anual;

Tendência

Direção geral de longo prazo - crescimento ou declínio sistemático (estocástico ou determinístico)

Sazonalidade

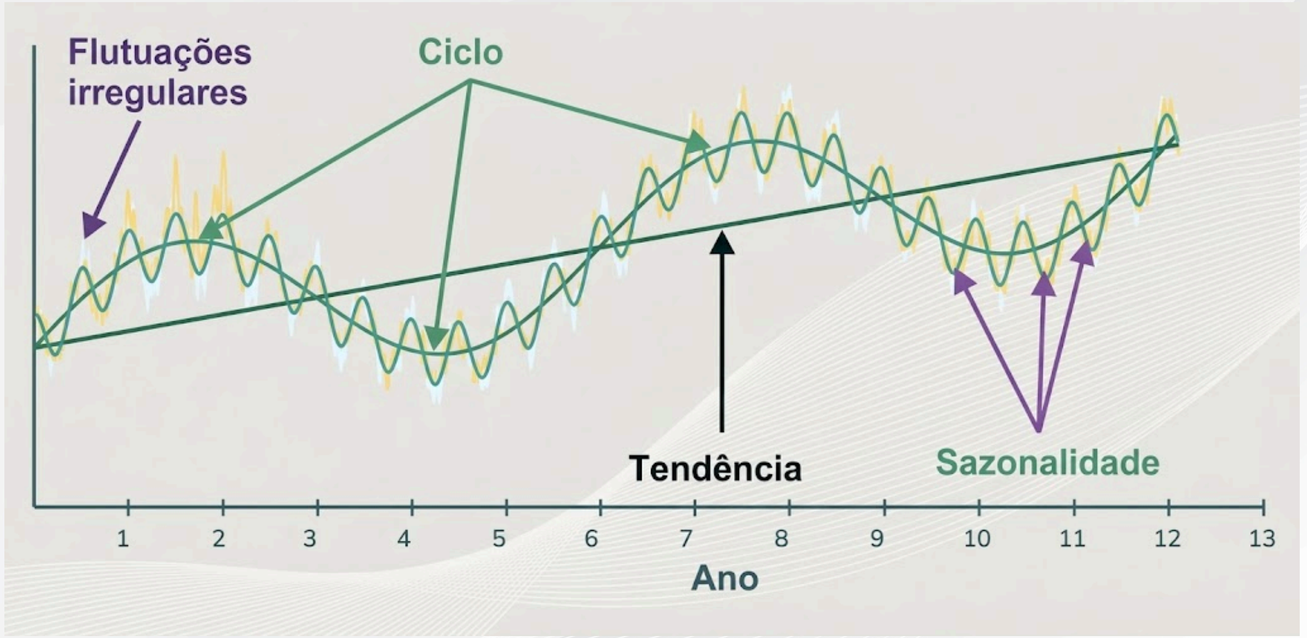
Padrões recorrentes em intervalos fixos (semana, mês, ano epidemiológico

Ciclicidade

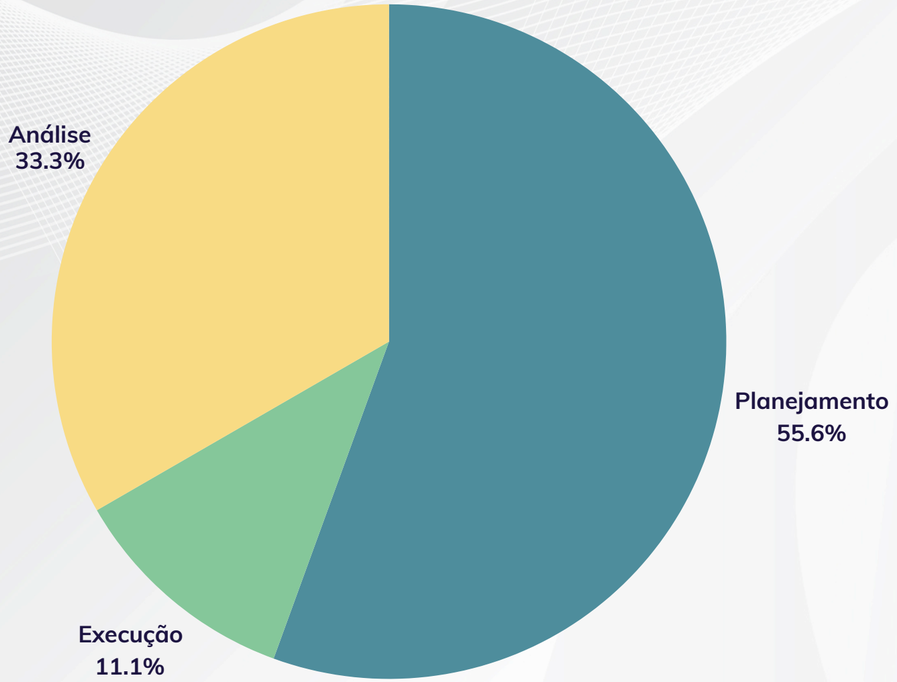
Padrões recorrentes em intervalos não regulares (2 anos, 5 anos, ...)

Componente Irregular

Variação devido fatores imprevisíveis, sem repetição de padrão ou fatores aleatórios não considerados;



O QUE PREVER?



Um único elemento será previsto ou um conjunto de elementos?

Serão previstos elementos para uma localidade, região ou ambiente geral?

Qual a granularidade dos dados?

Qual o horizonte de previsão necessário no domínio da aplicação?

É necessária a atualização das previsões com que frequência?

DESAFIOS NA PREVISÃO DE DADOS EPIDEMIOLÓGICOS

Atraso de Notificação e Sub-notificação

- Casos são notificados dias ou semanas após o evento
- Dados oficiais subestimam casos reais, especialmente em regiões com baixa cobertura laboratorial

Sazonalidade Múltipla

- Dengue tem padrão anual; influenza tem padrão semanal + anual; interação dificulta modelos simples. Epidemias são eventos raros e abruptos; modelos treinados em períodos endêmicos falham.

Heterogeneidade Espacial

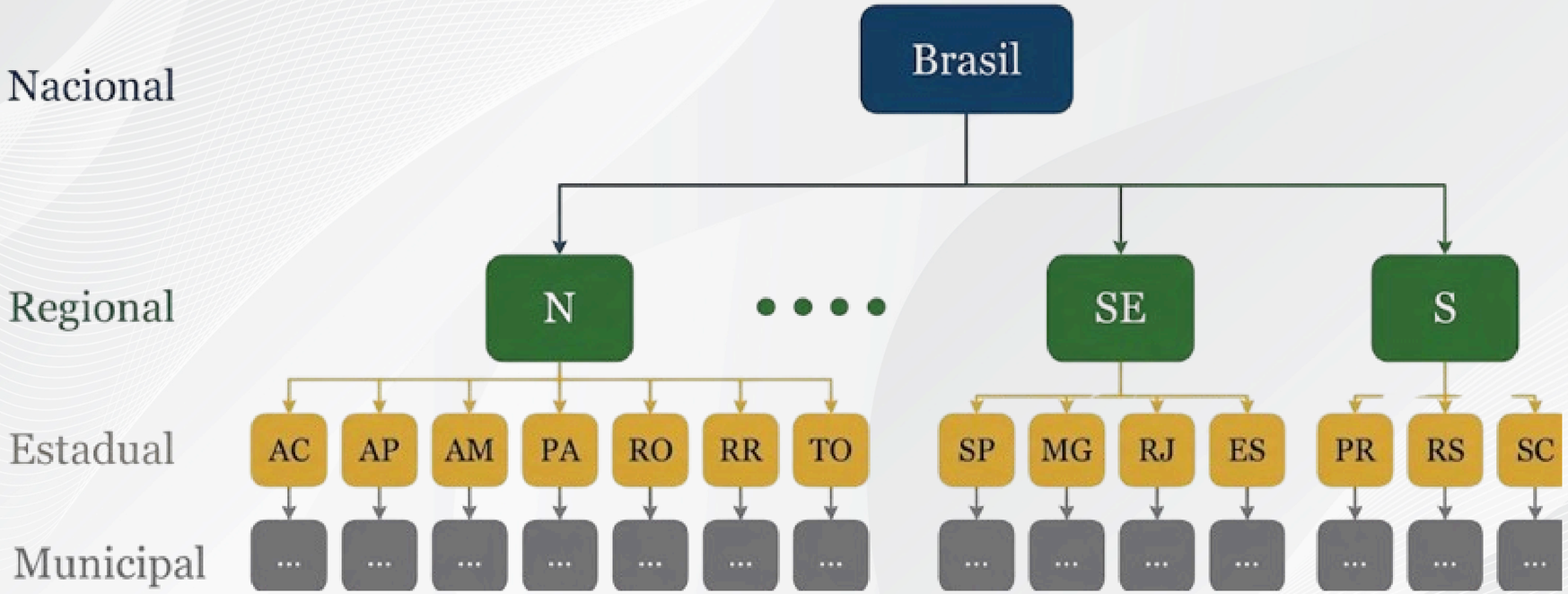
- Doenças se propagam de forma heterogênea entre municípios, estados e regiões;

Dependência Hierárquica



Brasil > Região > UF > Município: previsões inconsistentes entre níveis são um problema real

ESTRUTURA HIERÁRQUICA



Os níveis não são independentes: há relações de agregação. Prever cada nível separadamente é possível — mas costuma produzir incoerência entre os relatórios entregues a cada decisor. Daí a necessidade de tratar previsão e hierarquia conjuntamente.

O QUE SÃO SÉRIES HIERÁRQUICAS?

Conjunto de séries temporais com uma estrutura aninhada (árvore), em que previsões coerentes respeitam as relações de agregação.

Produto



Organizacional



Epidemiológica



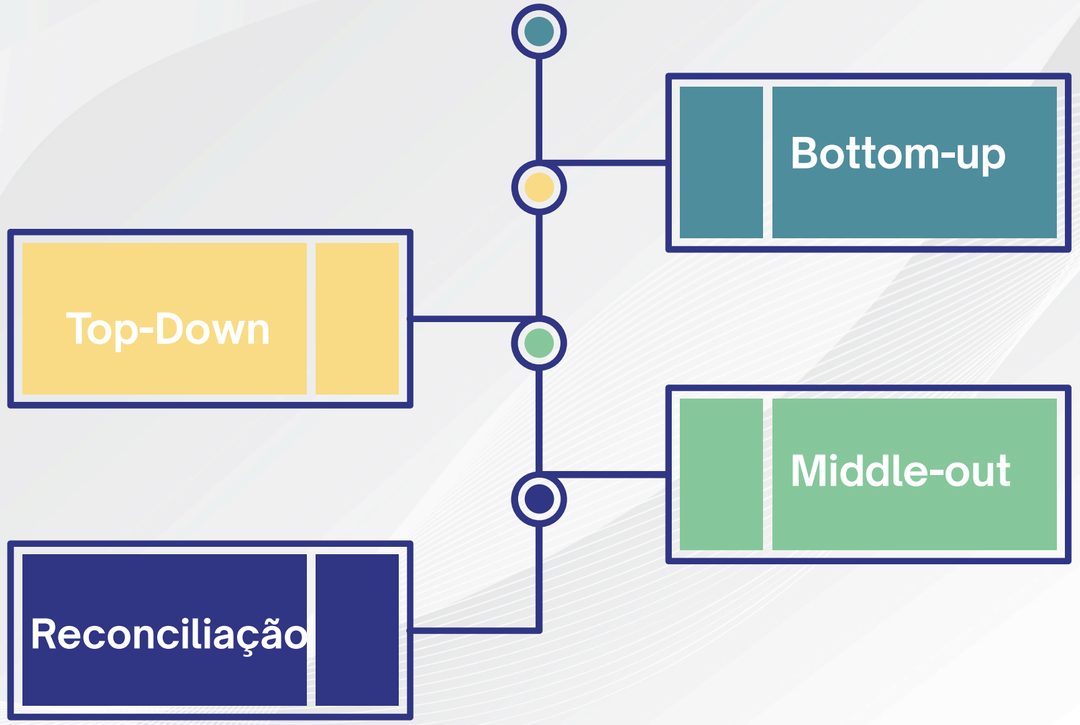
ESTRATÉGIAS PARA PREVISÃO HIERÁRQUICA

- **Abordagens de Nível Único**

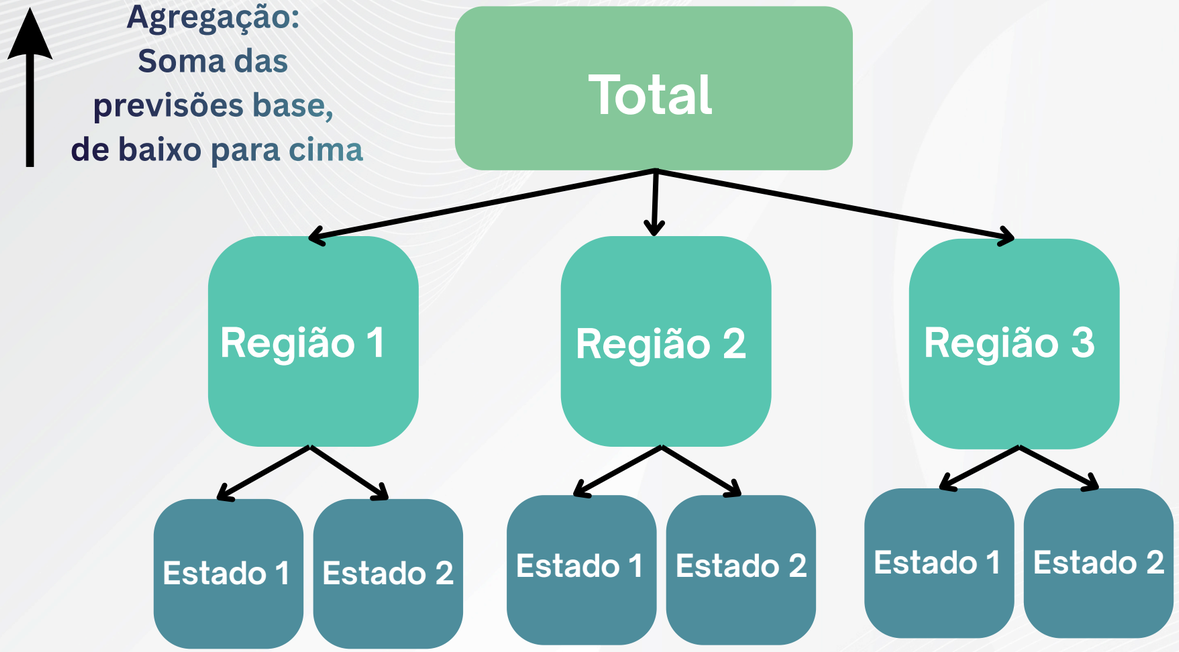
Estratégias que envolvem a seleção de um nível de agregação e a geração de previsões para esse nível. Em seguida, essas previsões eram agregadas para níveis superiores ou desagregadas para níveis inferiores.

- **Abordagens de Reconciliação**

Uma estratégia com fundamento em análise de regressão, a qual combina de forma “ótima” e ajusta previsões base para cada nível ao longo da hierarquia.



ESTRATÉGIA BOTTOM-UP



Como funciona

- Prever apenas as séries do nível mais baixo (as folhas — lojas, municípios) e somar essas previsões para obter os níveis superiores.

Prós

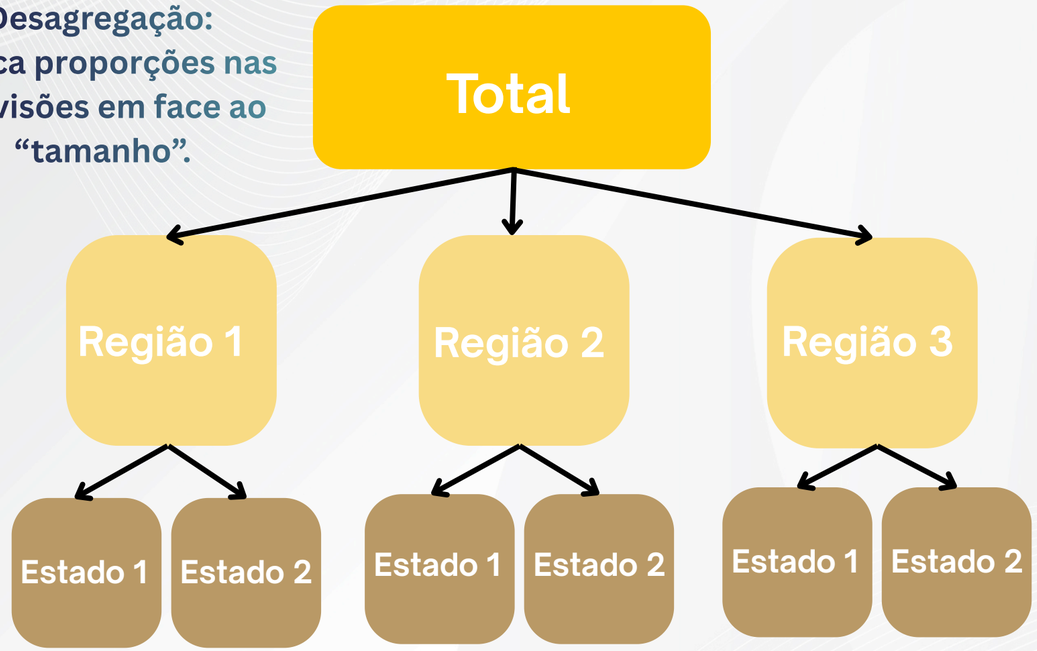
•Simples e popular.
•Garante coerência por construção.
•Preserva a dinâmica individual de cada unidade.

Contras

•Perde a informação dos níveis agregados, que são menos ruidosos e podem ter padrões mais claros.
•Se o nível mais baixo for muito ruidoso, as previsões agregadas serão ruins.

ESTRATÉGIA TOP-DOWN

Desagregação:
Aplica proporções nas previsões em face ao "tamanho".



Como funciona

- Prever apenas o nível superior (total) e desagregar essa previsão para os níveis inferiores utilizando estratégias de proporção

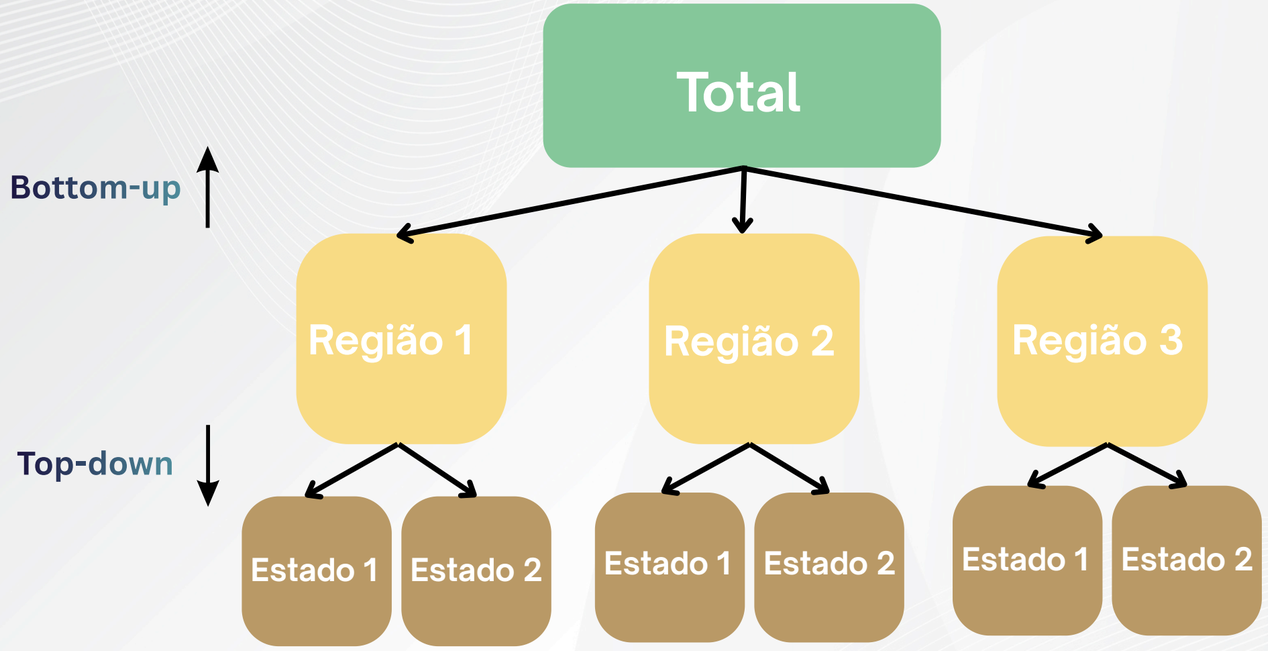
Prós

- Usa o sinal mais "forte", o total.
- Robusto quando as séries da base são esparsas ou ruidosas

Contras

•Perde a dinâmica individual dos níveis inferiores.
•Proporções podem ser instáveis, sobretudo com valores nulos.

ESTRATÉGIA MIDDLE-OUT



Como funciona

- Um nível intermediário é escolhido, em geral, sendo aquele que os dados são “estáveis” e granularidade útil

Emprega-se a estratégia **bottom-up** para agregar do nível intermediário até o topo

Emprega-se a estratégia **top-down** para agregar do nível intermediário até o topo

No contexto epidemiológico, a UF costuma ser o nível intermediário natural: agrega o ruído municipal sem perder a heterogeneidade regional

RECONCILIAÇÃO ÓTIMA

- Uma vez definida a hierarquia temporal, diferentes estratégias de reconciliação podem ser aplicadas. Conceitualmente, a reconciliação consiste em projetar o vetor de previsões base, no subespaço definido por uma matriz de somas.

- Os métodos de agregação e desagregação garantem consistência, mas podem introduzir vieses e perda de precisão. A alternativa é prever todos os níveis e depois ajustá-los conjuntamente.

- **Previsões base para todos os níveis**

  Aqui são geradas as previsões para cada série, de forma independente utilizando um modelo escolhido.

- **Matriz de Variância e covariância para os erros**

  É a matriz que apresenta a variabilidade e estabilidade dos erros de previsão

- **Reconciliação ótima**

  Etapa em que as previsões geradas nas etapas anteriores são combinadas e estimadas

- **Previsões Coerentes**

  Previsões que respeitem a estrutura de agregação da hierarquia

RECONCILIAÇÃO ÓTIMA

- Por que escolher um nível para prever, ao invés de prever os níveis independentemente e então agrupar os resultados?
- Os métodos apresentados até aqui satisfazem a consistência das previsões, porém introduzem vieses no processo de agregação ou desagregação

A ideia!

Usar uma estratégia para combinar as previsões de modo a minimizar a variação das previsões.

Previsões coerentes são dadas por

$$\tilde{y}_h = SG\hat{y}_h$$

Para obter as previsões coerentes, assume-se que. A matriz de variância-covariância das previsões coerentes é dada por

$$V_h = SGW_hG'S'$$

O objetivo é encontrar a matriz G que **minimize o traço de** V_h . Dessa maneira:

$$G = \left(S'W_h^{-1}S\right)^{-1}S'W_h^{-1}$$

Portanto, as previsões coerentes serão

$$\tilde{y}_h = S\left(S'W_h^{-1}S\right)^{-1}S'W_h^{-1}\hat{y}_h$$

CAIXA DE FERRAMENTAS

Nixtlaverse: Ecossistema de Forecasting em Python

StatsForecast

- ARIMA, ETS, Theta
- Modelos estatísticos clássicos

MLForecast

- LightGBM, XGBoost, Ridge
- Feature engineering

NIXTLA

https://nixtlaverse.nixtla.io

NeuralForecast

- LSTM, NHITS, NBEATS, TFT
- Redes neurais para séries

HierarchicalForecast

- ARIMA, ETS, Theta
- Modelos estatísticos clássicos

HANDS-ON

Hora de por a mão na massa

01 Acesse e baixe os dados

ramongss.com > Talks > Card Palestra > Dataset

02 Crie um Jupyter Notebook *(pré-requisito: Conta Google)*

https://colab.research.google.com

03 Subir dados no Google Colab e executar

```
import pandas as pd
data = pd.read_csv('data-dengue.csv')
data.head(5)
```

REFERÊNCIAS

Athanasopoulos, G., Hyndman, R. J., Kourentzes, N., & Panagiotelis, A. (2024). Forecast reconciliation: A review. International Journal of Forecasting, 40(2), 430-456.

Girolimetto, D., & Di Fonzo, T. (2026). Cross-temporal forecast reconciliation: insights on sequential, iterative, and optimal approaches. Statistical Methods & Applications, 35(1), 161-180.

Hyndman, R.J., Athanasopoulos, G., Garza, A., Challu, C., Mergenthaler, M., & Olivares, K.G. (2026). Forecasting: Principles and Practice, the Pythonic Way. OTexts: Melbourne, Australia. Available at: OTexts.com/fpppy. Accessed on 23 September 2026.

Da Silva, R. G., Ribeiro, M. H. D. M., & Ribeiro, V. H. A. (2026). Improving Wind Speed Forecasts Through Multi-Stage Signal Decomposition and Hierarchical Time Series. IEEE Access.

AGRADECIMENTO



CNPq

SCIENTIA, VITA ET FIDES
PUCPR
GRUPO MARISTA

ARAUCÁRIA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA O PARANÁ

PPGEPS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

OBRIGADO

Dúvidas?

RAMON G. DA SILVA
ramon.gsilva@pucpr.br

MATHEUS H. RIBEIRO
mribeiro@utfpr.edu.br

