

Impacto econômico dos eventos climáticos extremos de agosto e setembro de 2026 em Pelotas

Evidências com documentos fiscais de alta frequência, contrafactuais e cenários prospectivos

Mensagem central

Pelotas enfrentou uma sequência de choques climáticos em agosto e setembro de 2026. Nos três eventos de agosto (06, 17 e 27/08), a atividade formal documentada ficou, em conjunto, cerca de **R\$ 30,0 milhões abaixo do contrafactual** nos dias dos eventos. Em 21/09, a queda foi ainda mais intensa: **36,6% abaixo do esperado**, diferença de aproximadamente **R\$ 25,3 milhões**. A nota também propõe um protocolo prospectivo que combina alertas meteorológicos oficiais com previsão econômica ARIMA e cenários de estresse.

Responsável técnico:	Rodrigo Nobre Fernandez
Vínculo:	Professor do Departamento de Economia - Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Finalidade:	Subsidiar a avaliação municipal dos efeitos econômicos imediatos de eventos climáticos extremos e estruturar um protocolo prospectivo de monitoramento.
Base principal:	Receita Estadual/SEFAZ-RS - NF-e e NFC-e.
Data:	14 de outubro de 2026
Contato:	rodrigonobrefernandez@gmail.com

Este documento é uma nota técnica independente. Os resultados representam estimativas contrafactuais e não

devem ser interpretados como perda de PIB, arrecadação observada ou dano patrimonial diretamente mensurado.

Resumo executivo

Os eventos climáticos extremos de agosto e setembro de 2026 produziram rupturas mensuráveis na atividade econômica formalmente documentada em Pelotas. A análise principal permanece concentrada no episódio de 21/09, para o qual são aplicadas quatro estratégias empíricas complementares, mas o relatório passa também a incorporar uma estimativa inicial do efeito agregado dos eventos de 06, 17 e 27/08. O objetivo é distinguir choques isolados de uma sequência de interrupções e transformar a metodologia em instrumento replicável de monitoramento municipal.

Indicador		Estimativa	Leitura para a gestão municipal
Eventos de agosto		-12,9% agregado	R\$ 30,0 mi abaixo do contrafactual nos dias 06, 17 e 27/08.
Queda em 21/09		-36,6%	R\$ 25,3 mi abaixo do contrafactual histórico.
ARIMA		-40,4%	Robustez temporal, usando somente dados anteriores ao evento.
Controle sintético		-33,8%	Robustez espacial; Pelotas versus combinação ponderada de municípios.
DiD regional		-30,6%	Efeito médio do núcleo Pelotas–Rio Grande–Cerrito; estatisticamente impreciso.
Déficit 21–27/09		R\$ 7,4 mi	Evidência de recuperação/postergação de parte das transações.
Informalidade		R\$ 29,8–36,7 mi	Faixa de sensibilidade; não é perda observada.
ICMS simulado		R\$ 0,99 mi	Exercício fiscal contrafactual; não é perda direta da Prefeitura.

Como interpretar os números

O resultado de R\$ 25,3 milhões mede **transações formalmente documentadas abaixo do esperado**. Não equivale a perda de PIB. A faixa com informalidade é uma simulação condicionada a hipóteses. A estimativa de ICMS é um exercício fiscal e não representa receita municipal efetivamente perdida.

Sumário

Resumo executivo	1
1 Contexto, objetivo e pergunta de avaliação	4
2 Dados e indicador de atividade econômica	4
3 Estratégia principal: construção do contrafactual	4
4 Resultado principal: atividade econômica documentada	5
5 Efeito acumulado dos eventos climáticos de agosto	7
6 Robustez temporal: ARIMA e backtest	9
7 Robustez regional: diferenças-em-diferenças	11
8 Robustez espacial: controle sintético	12
9 Extensão metodológica: intensidade meteorológica	15
10 Cenários de sensibilidade para a informalidade	17
11 Simulação fiscal: possível impacto sobre o ICMS	18
12 Aplicação prospectiva: como projetar o impacto de um novo evento	21
12.1 Linha de base econômica	21
12.2 Cenários de estresse condicionais ao alerta meteorológico	21
12.3 Índice prospectivo de severidade	22
12.4 Protocolo operacional recomendado	22
13 Implicações para a gestão municipal	23
13.1 Prioridades sugeridas para monitoramento	23
13.2 O que esta nota permite afirmar	23
13.3 O que esta nota não permite afirmar	23
14 Limitações, interpretação e próximos passos	23
15 Conclusões e implicações para a gestão municipal	24

1 Contexto, objetivo e pergunta de avaliação

Os eventos climáticos extremos podem produzir efeitos que ultrapassam os danos diretamente observáveis sobre infraestrutura, residências e serviços públicos. Interrupções de energia, falhas nas telecomunicações, dificuldades de mobilidade e a suspensão temporária do funcionamento de estabelecimentos tendem a afetar imediatamente a atividade econômica. No entanto, a mensuração destes efeitos não é trivial, visto que os indicadores tradicionais de produto, renda e emprego são divulgados com defasagem e, de modo geral, em frequência incompatível com choques de curta duração.

Os documentos fiscais eletrônicos oferecem uma alternativa relevante neste contexto. Por possuírem frequência diária e ampla cobertura das transações formais, permitem acompanhar a trajetória da atividade econômica em torno de um evento específico. Este estudo utiliza os dados abertos da Receita Estadual do Rio Grande do Sul para estimar o impacto econômico de curto prazo de uma sequência de eventos climáticos extremos que atingiu Pelotas em agosto e setembro de 2026, com aprofundamento metodológico no temporal de 21 de setembro.

Cabe destacar que a interpretação dos resultados deve ser realizada com cautela. As NF-e e NFC-e registram transações fiscais, mas não representam diretamente o Produto Interno Bruto municipal nem uma medida de destruição de riqueza. Assim, pretende-se estimar a diferença entre o valor efetivamente registrado e um cenário contrafactual no qual a economia de Pelotas teria seguido seu comportamento esperado na ausência do evento climático.

Esta distinção é importante, pois uma venda que deixa de ocorrer em determinado dia pode apenas ser transferida para os dias seguintes. Deste modo, diferencia-se a ruptura observada no dia do evento do déficit acumulado ao longo da semana. Adicionalmente, discute-se a parcela da atividade econômica que não aparece integralmente nos registros fiscais, incorporando-se a informalidade por meio de uma análise de sensibilidade.

2 Dados e indicador de atividade econômica

A principal fonte de dados é a base *DFe Totais Município*, disponibilizada pela Receita Estadual/SEFAZ-RS no portal Receita Dados. Os arquivos possuem frequência diária e contêm informações por município sobre quantidade e valor de diferentes modelos de documentos fiscais eletrônicos. A variável de resultado utilizada é a soma diária do valor das NF-e e NFC-e emitidas em Pelotas. Foram utilizados arquivos anuais de 2022 a 2026.

A utilização conjunta de NF-e e NFC-e busca captar duas dimensões complementares da atividade econômica: transações empresariais de maior valor e uma parcela relevante das operações de varejo e consumo. O uso de dados diários é particularmente importante neste exercício porque permite observar não apenas a ruptura inicial, mas também a velocidade de recuperação da atividade.

Para a extensão referente à informalidade são utilizadas duas referências externas. A primeira é o Índice de Economia Subterrânea (IES), desenvolvido pelo ETCO em parceria com o FGV/IBRE, que estimou a economia subterrânea brasileira em 17,8% do PIB em 2022. A segunda é a PNAD Contínua do IBGE: no segundo trimestre de 2025, a taxa de informalidade do trabalho no Rio Grande do Sul foi de 31,1% da população ocupada.

Cabe ressaltar que essas medidas representam conceitos distintos. O IES procura aproximar produção não reportada, enquanto a PNAD mede a condição de inserção no mercado de trabalho. Por esta razão, a taxa de 31,1% não é interpretada como participação da economia informal no PIB de Pelotas. Ela é utilizada apenas como limite superior em um exercício de sensibilidade.

3 Estratégia principal: construção do contrafactual

A estratégia principal compara Pelotas com o seu próprio comportamento histórico. Neste procedimento, em vez de selecionar outro município como unidade de controle, utiliza-se a trajetória de 2022 a 2025 para estimar o padrão sazonal de datas equivalentes. Posteriormente, combina-se este padrão com o

nível recente da atividade econômica observado em 2026 antes do temporal.

Seja $Y_{t,y}$ o valor diário de NF-e mais NFC-e no dia t do ano y . Para cada ano histórico, define-se um índice sazonal:

$$I_{t,y} = \frac{Y_{t,y}}{\bar{Y}_{d(t),y}}, \quad (1)$$

em que $\bar{Y}_{d(t),y}$ representa o valor médio observado no mesmo dia da semana em uma janela de referência. A média histórica desses índices fornece o padrão relativo esperado para aquela posição do calendário.

O contrafactual de 2026 é então construído como:

$$\hat{Y}_{t,2026} = \bar{Y}_{2026,d(t)} \times \bar{I}_{t,2022:2025}, \quad (2)$$

em que $\bar{Y}_{2026,d(t)}$ corresponde ao nível médio recente de 2026 para aquele dia da semana, calculado antes do evento, e $\bar{I}_{t,2022:2025}$ representa o padrão sazonal médio estimado com os anos anteriores.

Intuitivamente, a trajetória histórica determina a *forma* esperada da série, enquanto os dados pré-evento de 2026 determinam seu *nível*. Deste modo, o contrafactual não corresponde simplesmente à repetição dos valores de 2024 ou 2025 e também não utiliza o valor observado no próprio dia do choque.

O impacto diário é definido por:

$$\Delta_t = Y_{t,2026} - \hat{Y}_{t,2026}, \quad (3)$$

com variação percentual dada por:

$$\% \Delta_t = \left(\frac{Y_{t,2026}}{\hat{Y}_{t,2026}} - 1 \right) \times 100. \quad (4)$$

Por fim, a soma das diferenças diárias ao longo da semana permite avaliar quanto da ruptura inicial foi posteriormente recuperado.

4 Resultado principal: atividade econômica documentada

Em 21 de setembro de 2026, o valor combinado de NF-e e NFC-e emitidas em Pelotas foi de aproximadamente R\$ 43,7 milhões. O contrafactual estimado para aquele dia é de aproximadamente R\$ 69,0 milhões. Deste modo, a diferença é próxima de R\$ 25,3 milhões, equivalente a uma redução de 36,6% em relação ao nível esperado.

Tabela 1: Atividade econômica documentada em Pelotas

Período	Observado	Contrafactual	Diferença
21/09/2026	R\$ 43,7 mi	R\$ 69,0 mi	-R\$ 25,3 mi
21-27/09/2026	R\$ 412,6 mi	R\$ 419,9 mi	-R\$ 7,4 mi

Nota: valores referentes à soma de NF-e e NFC-e. O contrafactual combina o nível recente da atividade econômica de Pelotas em 2026 com o padrão sazonal estimado a partir de 2022-2025.

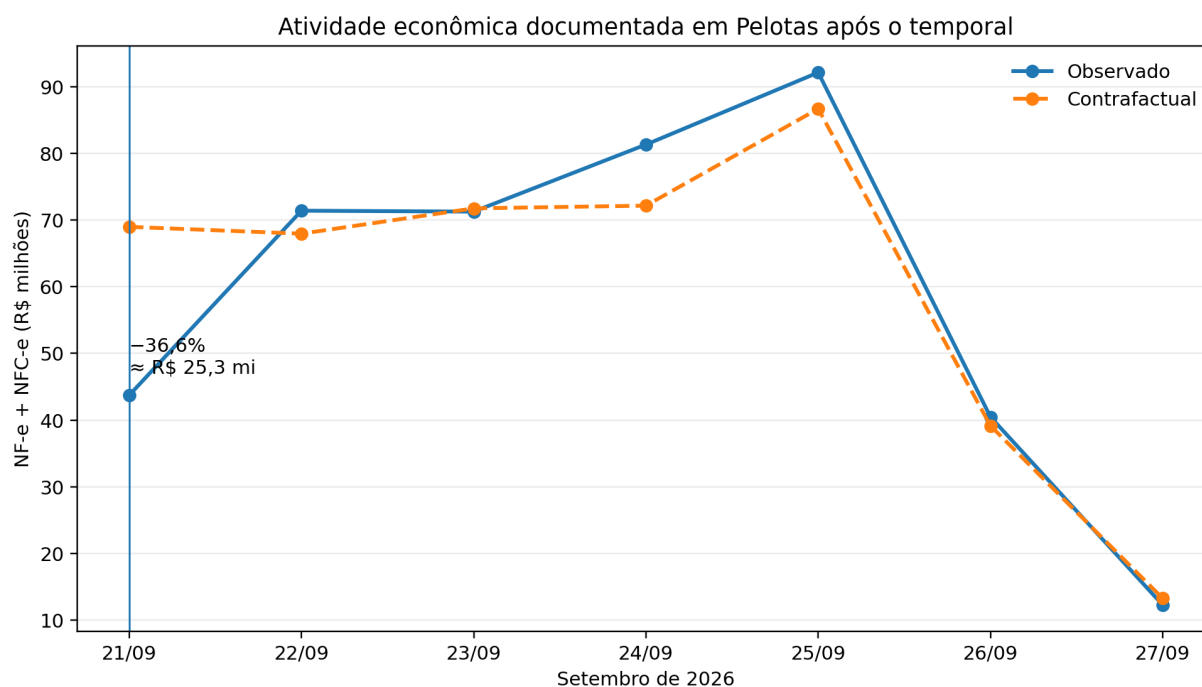


Figura 1: Trajetória da atividade econômica documentada em Pelotas entre 21 e 27 de setembro de 2026: observado e contrafactual.

Cabe destacar que o contraste entre o resultado do primeiro dia e o acumulado semanal é economicamente relevante. A ruptura inicial foi elevada, mas parte relevante da atividade reapareceu nos dias seguintes. Ao final da janela de 21 a 27 de setembro, a diferença acumulada entre observado e contrafactual cai para aproximadamente R\$ 7,4 milhões.

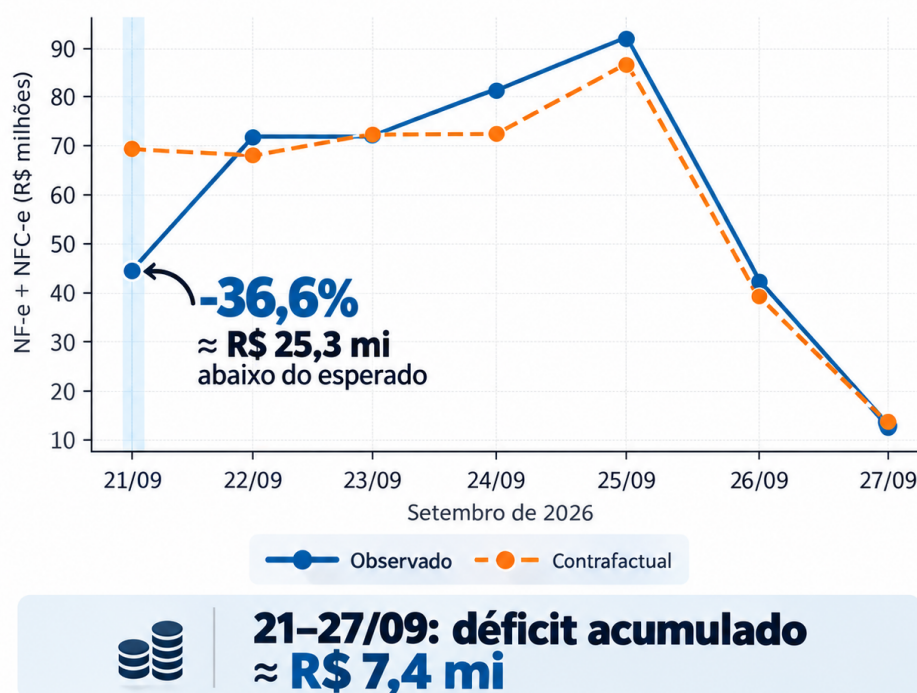
Esta dinâmica sugere que o choque teve pelo menos dois componentes: atividade efetivamente não realizada e atividade apenas postergada. Por esta razão, os R\$ 25,3 milhões estimados para o dia 21 não devem ser interpretados integralmente como perda econômica permanente.

Leitura executiva

O evento provocou uma ruptura aguda no dia 21, seguida de recuperação. Para fins de planejamento, é mais adequado separar **impacto imediato** de **perda residual**. O primeiro informa a intensidade da interrupção; o segundo é mais próximo de uma medida de atividade que não reapareceu dentro da semana observada.

Temporal de 21/09: impacto econômico em Pelotas

NF-e + NFC-e | observado vs. contrafactual



Fonte: Receita Estadual/SEFAZ-RS. Elaboração própria.

Figura 2: Síntese visual do impacto econômico documentado do temporal de 21/09 e da recuperação ao longo da semana.

Adicionalmente, testes com janelas alternativas mantêm o efeito do primeiro dia em intervalo próximo de 34,5% a 36,6% abaixo do esperado, enquanto o resultado acumulado da semana é mais sensível à especificação. Esta diferença é esperada, pois, ao longo de vários dias, consumidores e empresas podem reorganizar compras, pagamentos e produção.

5 Efeito acumulado dos eventos climáticos de agosto

Antes do temporal de setembro, Pelotas havia enfrentado três episódios climáticos relevantes em agosto de 2026: o ciclone extratropical de 06/08, as chuvas intensas com rajadas e granizo de 17/08 e o temporal de granizo iniciado na noite de 27/08. As ocorrências foram documentadas pela Prefeitura e pela Defesa Civil municipal, incluindo rajadas próximas de 90 km/h no evento de 06/08, acumulado de 111,4 mm em 17/08 e 95 mm em 24 horas no episódio de 27-28/08.

Com o objetivo de manter a comparabilidade com a primeira estimativa do episódio de setembro, aplica-se aos três dias de agosto a mesma lógica do contrafactual histórico: o valor realizado é comparado com o comportamento esperado a partir do padrão médio de anos anteriores, respeitando posição no calendário e dia da semana. Esta extensão deve ser interpretada como uma **estimativa inicial agregada dos dias de choque**, e não como mensuração de perda permanente ao longo de todo o mês.

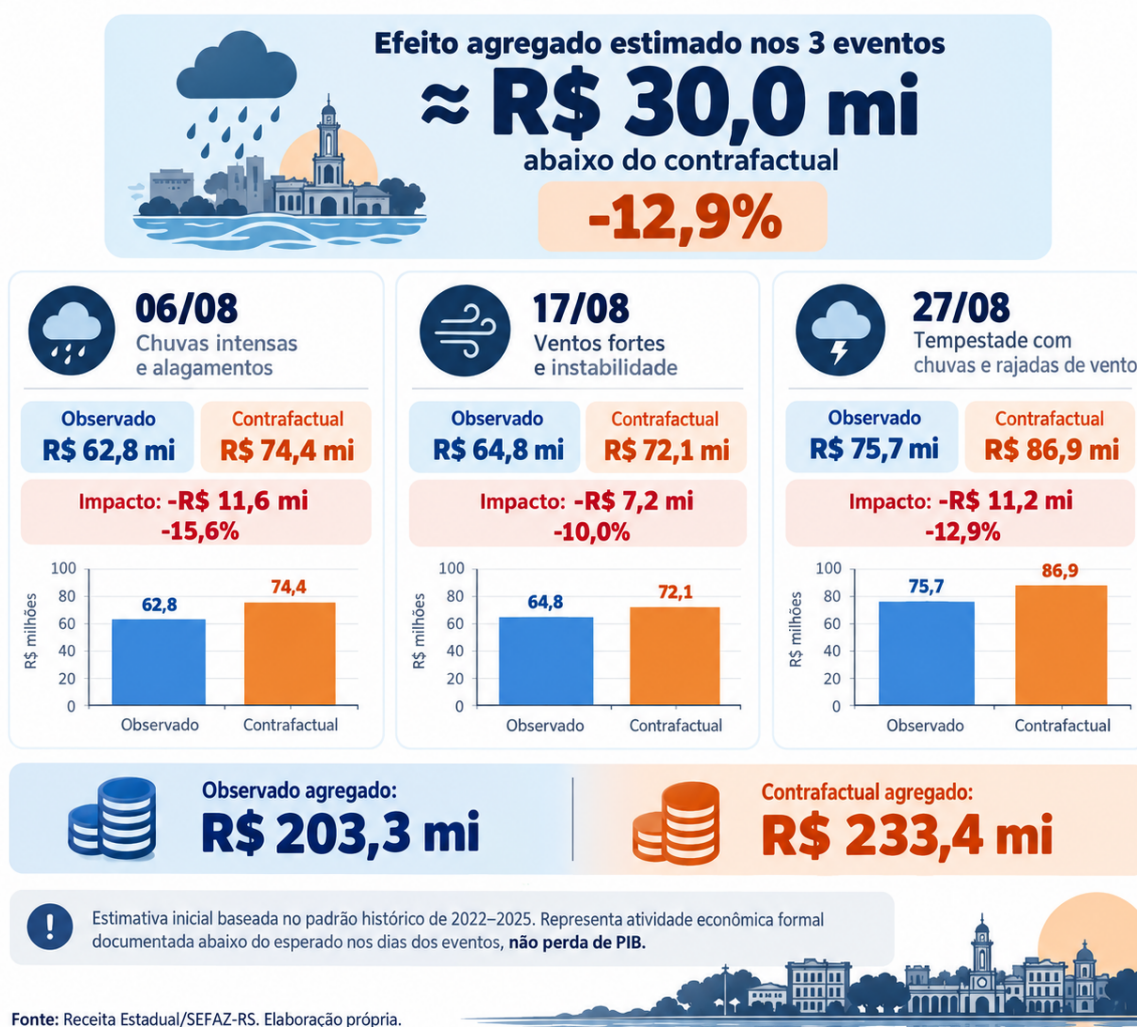
Tabela 2: Eventos climáticos de agosto: observado, contrafactual e impacto estimado

Data	Observado	Contrafactual	Diferença	Variação
06/08/2026	R\$ 62,8 mi	R\$ 74,4 mi	-R\$ 11,6 mi	-15,6%
17/08/2026	R\$ 64,8 mi	R\$ 72,1 mi	-R\$ 7,2 mi	-10,0%
27/08/2026	R\$ 75,7 mi	R\$ 86,9 mi	-R\$ 11,2 mi	-12,9%
Agregado	R\$ 203,3 mi	R\$ 233,4 mi	-R\$ 30,0 mi	-12,9%

Nota: os valores representam a atividade formal documentada nos três dias de evento e seus respectivos contrafactuais. O agregado não deve ser interpretado como perda mensal de PIB nem como prejuízo definitivo, pois parte das transações pode ter sido postergada.

Eventos climáticos de agosto de 2026

impacto econômico agregado em Pelotas | NF-e + NFC-e



Fonte: Receita Estadual/SEFAZ-RS. Elaboração própria.

Figura 3: Síntese visual do efeito agregado dos eventos climáticos de agosto de 2026 em Pelotas.

Os resultados indicam que os três eventos somam aproximadamente R\$ 30,0 milhões de atividade documentada abaixo do contrafactual nos respectivos dias, contra R\$ 25,3 milhões estimados para 21/09 isoladamente. Neste sentido, o episódio de setembro, embora único, possui ordem de grandeza próxima ao efeito agregado dos três eventos de agosto. Considerando apenas os quatro dias de choque analisados (06/08, 17/08, 27/08 e 21/09), a diferença acumulada em relação aos respectivos

contrafactuais alcança aproximadamente **R\$ 55,3 milhões**. Esse valor resume interrupções em dias específicos e não deve ser apresentado como perda econômica permanente.

Leitura executiva

A principal mensagem deixa de ser a ocorrência de um único choque. Em 2026, Pelotas enfrentou uma **sequência de interrupções climáticas** com efeitos econômicos mensuráveis. Isso reforça a necessidade de monitoramento recorrente, e não apenas de avaliações ex post de eventos isolados.

6 Robustez temporal: ARIMA e backtest

Como primeiro teste de robustez, utiliza-se uma estratégia de previsão temporal que não depende da construção do contrafactual histórico descrito anteriormente. Neste sentido, estima-se um modelo apenas com informações disponíveis antes do desastre e pergunta-se qual valor de NF-e mais NFC-e seria previsto para a semana de 21 a 27 de setembro de 2026 caso a dinâmica temporal observada até 20 de setembro permanecesse válida.

A especificação adotada consiste em um ARIMA(1, 1, 1) aplicado ao logaritmo do valor diário das transações, acrescido de regressoras determinísticas para acomodar padrões sazonais e tendência. Em termos gerais:

$$\ln(Y_t) = X_t' \beta + u_t, \quad (5)$$

com

$$(1 - \phi L)(1 - L)u_t = (1 + \theta L)\varepsilon_t. \quad (6)$$

O vetor X_t inclui indicadores para os dias da semana, uma tendência temporal linear e dois pares de termos de Fourier anuais:

$$\sin\left(\frac{2\pi d_t}{365,25}\right), \quad \cos\left(\frac{2\pi d_t}{365,25}\right), \quad (7)$$

e

$$\sin\left(\frac{4\pi d_t}{365,25}\right), \quad \cos\left(\frac{4\pi d_t}{365,25}\right), \quad (8)$$

em que d_t representa a posição do dia no ano. Deste modo, a sazonalidade semanal é controlada por indicadores de dia da semana e a sazonalidade anual por componentes harmônicos, enquanto a estrutura ARIMA modela a dependência serial residual. Optou-se por esta especificação em vez de um SARIMA puramente sazonal porque a série diária combina periodicidade semanal com um ciclo anual que não é múltiplo inteiro da frequência semanal.

A previsão é construída sob a forma *pseudo-out-of-sample*: todas as observações entre 21 e 27 de setembro são excluídas da estimação, de modo que o modelo utiliza apenas informação disponível até 20 de setembro de 2026. Para o dia 21, o ARIMA prevê aproximadamente R\$ 73,3 milhões, enquanto o valor efetivamente registrado foi de R\$ 43,7 milhões. A diferença corresponde a aproximadamente R\$ 29,6 milhões, ou 40,4% abaixo do previsto.

Tabela 3: Robustez temporal: previsão ARIMA e valor realizado

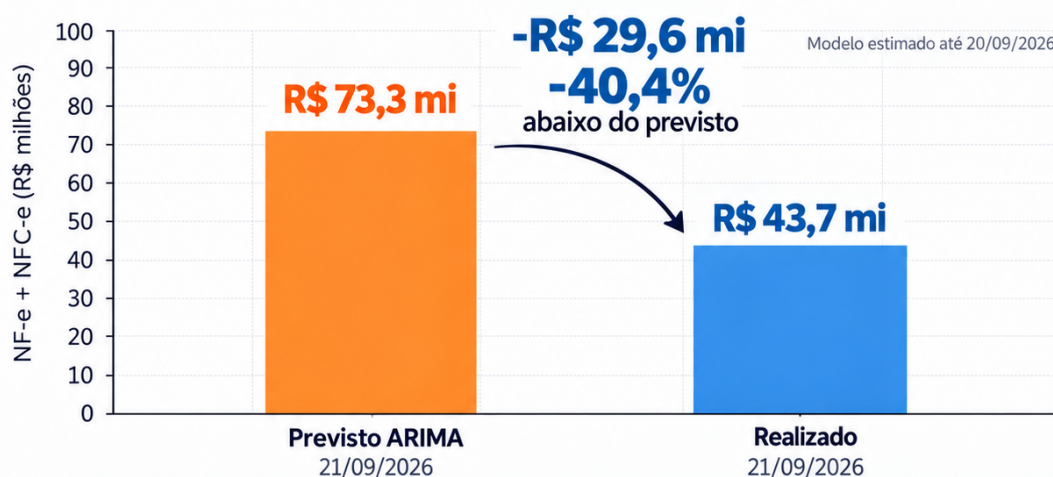
Período	Realizado	Previsto ARIMA	Diferença
21/09/2026	R\$ 43,7 mi	R\$ 73,3 mi	-R\$ 29,6 mi
21-27/09/2026	R\$ 412,6 mi	R\$ 445,0 mi	-R\$ 32,4 mi

Nota: o modelo é estimado somente até 20/09/2026. A diferença do dia 21 equivale a aproximadamente -40,4%; no acumulado semanal, a diferença é de aproximadamente -7,3%.

Teste de robustez com ARIMA

impacto econômico do temporal em Pelotas

previsão pseudo-out-of-sample | NF-e + NFC-e



Backtest das segundas-feiras de 2026

Erro típico: **5,7%** | 21/09: **-41,8%**

Maior surpresa negativa entre as segundas-feiras comuns.



O ARIMA confirma o resultado principal: o choque de 21/09 foi muito acima do erro normal de previsão.

Impacto imediato robusto: ~ -37% a -42%

Fonte: Receita Estadual/SEFAZ-RS. Elaboração própria.

Figura 4: Robustez temporal com ARIMA: previsão pseudo-out-of-sample para 21/09/2026.

Adicionalmente, para avaliar se o erro de previsão observado em 21 de setembro poderia refletir apenas a volatilidade normal da série, foi realizado um *backtest* com pseudo-eventos em segundas-feiras anteriores de 2026. Em cada exercício, os dados posteriores à data de corte são excluídos e o modelo prevê a observação seguinte. Após remover segundas-feiras com calendário excepcional, como Carnaval e feriados nacionais ou locais, o erro absoluto mediano de previsão é de aproximadamente 5,7%. Em 21 de setembro, o erro correspondente é de aproximadamente -41,8%, configurando a maior surpresa negativa entre as segundas-feiras comuns analisadas.

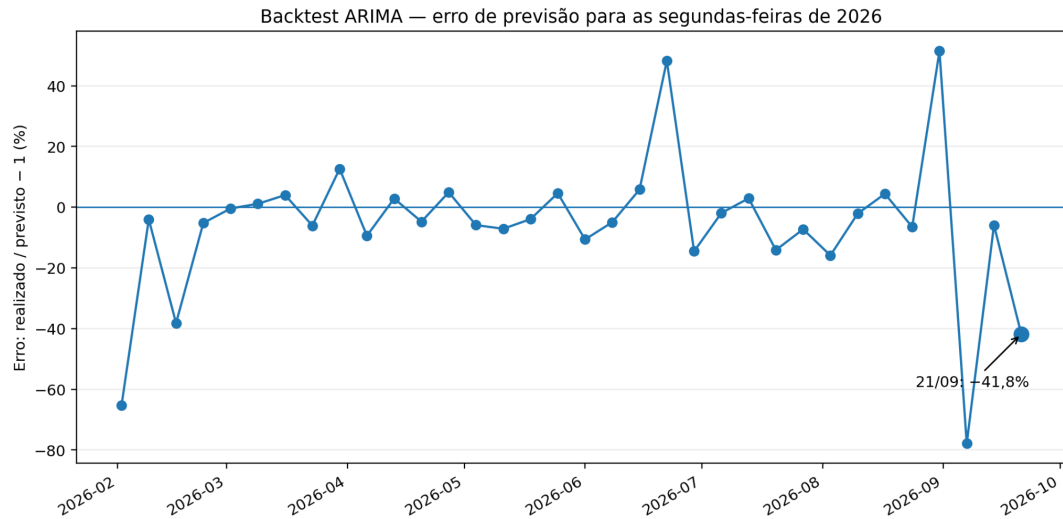


Figura 5: Backtest do ARIMA nas segundas-feiras de 2026.

Cabe destacar que este resultado é particularmente relevante, pois utiliza uma estratégia de previsão distinta daquela empregada no contrafactual histórico. A convergência entre os dois métodos indica uma faixa robusta para o impacto imediato: aproximadamente 37% a 42% abaixo do nível esperado, ou cerca de R\$ 25 a R\$ 30 milhões em transações documentadas no dia do evento. Para a semana inteira, no entanto, a divergência entre os métodos é maior, indicando que a estimativa do efeito acumulado depende mais fortemente da especificação adotada e deve ser interpretada com maior cautela.

7 Robustez regional: diferenças-em-diferenças

Como segundo teste de robustez, explora-se a dimensão espacial do choque por meio de uma estratégia de diferenças-em-diferenças. A Defesa Civil do Rio Grande do Sul registrou danos em 151 municípios após as instabilidades de 20 e 21 de setembro de 2026. Na Metade Sul, foram reportadas rajadas de 113,7 km/h em Rio Grande e 104,1 km/h em Cerrito, enquanto Pelotas registrou vendaval severo, interrupções de serviços essenciais e 336.151 pessoas afetadas. Essas informações oficiais permitem definir um núcleo de municípios fortemente expostos ao evento.

A especificação principal considera como tratados Pelotas, Rio Grande e Cerrito. A escolha dos municípios combina proximidade geográfica com evidência oficial de exposição severa. Para reduzir a influência da sazonalidade intrasemanal, a estimativa do impacto imediato utiliza somente segundas-feiras de 2026. O modelo é:

$$\ln(1 + Y_{it}) = \alpha_i + \lambda_t + \beta (Treated_i \times Event_t) + \varepsilon_{it}, \quad (9)$$

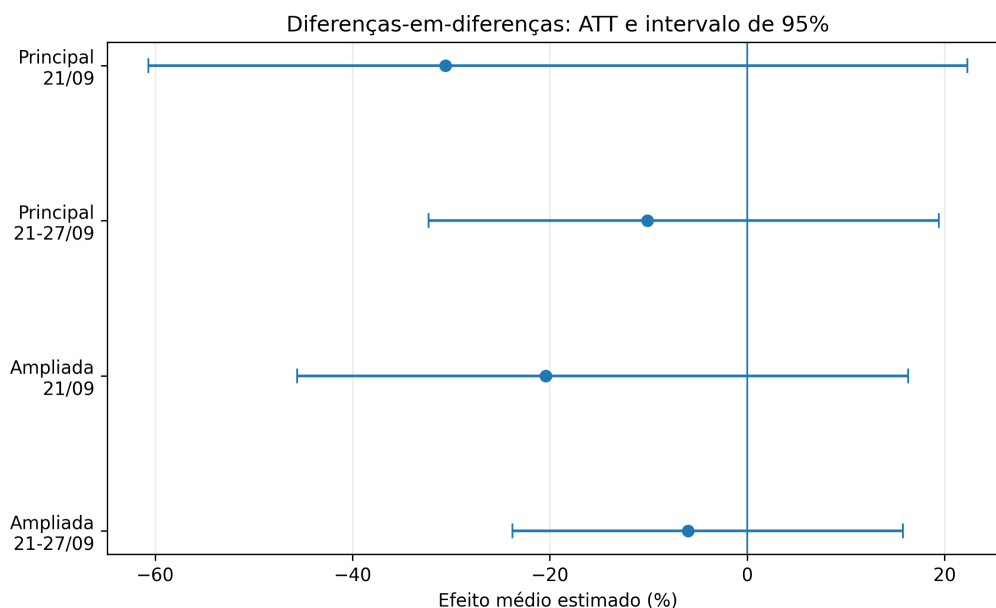
em que α_i representa efeitos fixos de município, λ_t efeitos fixos de data e $Event_t$ identifica 21 de setembro. Os erros-padrão são agrupados no nível municipal. O coeficiente em logaritmo é convertido em percentual por $100[\exp(\hat{\beta}) - 1]$.

Os resultados indicam que, para os três municípios tratados, o efeito médio estimado no dia 21 é de aproximadamente -30,6%. A magnitude é economicamente relevante e possui o mesmo sinal das estimativas para Pelotas obtidas por contrafactual histórico e ARIMA, embora seja estatisticamente imprecisa: o valor- p é 0,206 e o intervalo de 95% é amplo, aproximadamente de -60,7% a +22,3%.

Tabela 4: Diferenças-em-diferenças: efeito médio sobre os municípios tratados

Especificação	Período	ATT	<i>p</i> -valor	IC 95%
Pelotas + Rio Grande + Cerrito	21/09	-30,6%	0,206	[-60,7%; 22,3%]
Pelotas + Rio Grande + Cerrito	21–27/09	-10,1%	0,464	[-32,3%; 19,4%]
Tratamento ampliado	21/09	-20,4%	0,237	[-45,6%; 16,3%]
Tratamento ampliado	21–27/09	-6,0%	0,559	[-23,8%; 15,8%]

Nota: a especificação ampliada acrescenta Hulha Negra e Aceguá ao grupo tratado. O resultado semanal é obtido após agregar as transações de cada município entre segunda-feira e domingo, evitando que diferenças na composição dos dias da semana sejam confundidas com o tratamento.

**Figura 6:** Diferenças-em-diferenças: efeito médio estimado e intervalos de 95%.

A redução do ATT quando o grupo tratado é ampliado mostra-se compatível com heterogeneidade na intensidade do evento. O núcleo Pelotas–Rio Grande–Cerrito apresenta exposição especialmente elevada, enquanto a ampliação para municípios com diferentes graus de impacto dilui o efeito médio.

Cabe destacar, contudo, que a interpretação causal do DiD exige cautela adicional. A Defesa Civil registrou efeitos em grande número de municípios, de modo que localidades utilizadas como controles podem ter sofrido exposição parcial ao mesmo sistema meteorológico. Se o grupo de controle também apresentar queda de atividade em função do evento, a diferença entre tratados e controles será comprimida, produzindo viés em direção a zero. Por esta razão, a presente especificação deve ser interpretada como teste regional de robustez, e não como substituto da estratégia principal.

Neste sentido, a comparação entre os métodos mostra-se informativa, pois cada um responde a uma pergunta distinta. O contrafactual histórico e o ARIMA estimam quanto Pelotas se afastou de sua própria trajetória esperada. O DiD estima quanto os municípios no núcleo mais exposto se afastaram adicionalmente da evolução observada em outros municípios da Metade Sul. A convergência dos sinais e a proximidade da ordem de magnitude reforçam a evidência de uma ruptura econômica relevante no dia do evento, embora a inferência do DiD permaneça limitada pelo pequeno número de unidades tratadas e pela possível contaminação dos controles.

8 Robustez espacial: controle sintético

Como terceira estratégia de robustez, utiliza-se o controle sintético, que oferece uma forma adicional de construir o contrafactual de Pelotas. Diferentemente do contrafactual histórico, que utiliza a própria

trajetória temporal do município, e do ARIMA, que explora a dinâmica univariada da série, o método sintético combina informações de outras localidades para construir uma unidade contrafactual cuja trajetória pré-evento se aproxima da observada em Pelotas.

Como Pelotas apresenta um nível de atividade econômica superior ao de grande parte dos municípios potenciais do donor pool, a implementação utiliza log-desvios em relação à média pré-tratamento. Para cada município i , define-se:

$$Z_{it} = \ln(1 + Y_{it}) - \overline{\ln(1 + Y_i)}_{pre}. \quad (10)$$

Os pesos w_j são escolhidos de modo a minimizar:

$$\sum_{t < T} \left(Z_{Pelotas,t} - \sum_{j=1}^J w_j Z_{jt} \right)^2, \quad (11)$$

sujeito a:

$$w_j \geq 0, \quad \sum_{j=1}^J w_j = 1. \quad (12)$$

A janela principal de ajuste compreende o período de 1º de julho a 20 de setembro de 2026. Para reduzir a influência de municípios muito pequenos e altamente voláteis, o donor pool principal é limitado a municípios com média diária pré-evento de NF-e + NFC-e superior a R\$ 10 milhões. Também são excluídas localidades para as quais há evidência oficial clara de exposição severa ao mesmo sistema meteorológico. Esta filtragem não garante ausência completa de contaminação, dado que a Defesa Civil registrou danos em 151 municípios do Estado; por isso, o controle sintético é interpretado como robustez e não como desenho causal isolado.

Na especificação principal, atribuem-se os maiores pesos a Uruguaiana (32,6%), Sapucaia do Sul (17,0%), Gramado (17,0%), Estância Velha (5,9%) e Passo Fundo (5,1%), além de pesos menores distribuídos entre outros municípios. Deste modo, a combinação sintética reproduz adequadamente a dinâmica pré-evento em termos de log-desvios.

Em 21 de setembro, Pelotas realizou aproximadamente R\$ 43,7 milhões em NF-e + NFC-e, enquanto o controle sintético implica um contrafactual de aproximadamente R\$ 66,1 milhões. O gap correspondente é:

$$\boxed{Gap_{21/09}^{SCM} \approx -33,8\%}. \quad (13)$$

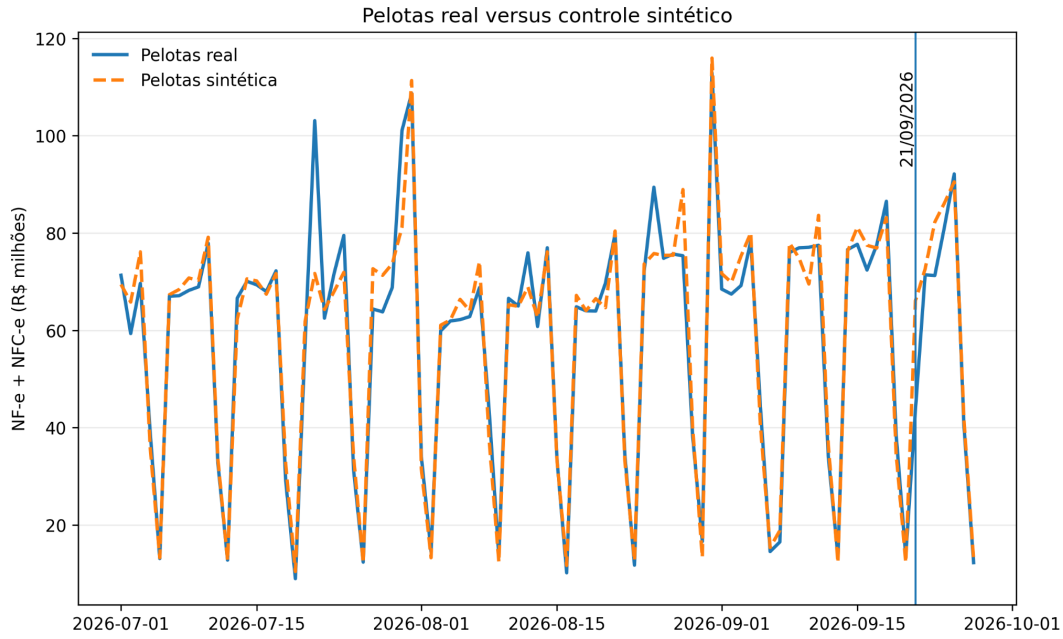


Figura 7: Pelotas real versus Pelotas sintética antes e após o evento.

Este resultado é próximo ao contrafactual histórico (-36,6%) e ao ARIMA (-40,4%), reforçando a conclusão de que o choque imediato foi economicamente grande e não depende de uma única forma funcional de previsão.

No acumulado de 21 a 27 de setembro, o controle sintético estima aproximadamente R\$ 452,4 milhões, contra R\$ 412,6 milhões efetivamente observados, produzindo:

$$\boxed{Gap_{21-27/09}^{SCM} \approx -8,8\%} \quad (14)$$

Novamente, observa-se que a diferença semanal é muito menor do que o choque do primeiro dia, compatível com recuperação e postergação de transações.

Adicionalmente, a inferência é complementada por placebos espaciais. Cada município elegível é tratado ficticiamente em 21 de setembro e recebe seu próprio controle sintético. Após excluir placebos cujo erro quadrático médio pré-tratamento excede em mais de cinco vezes o de Pelotas, restam 57 comparações válidas. Apenas dois desses placebos apresentam uma queda em 21 de setembro mais negativa que a observada em Pelotas, o que corresponde a um pseudo- p unilateral de aproximadamente:

$$\frac{3}{58} \approx 0,052. \quad (15)$$

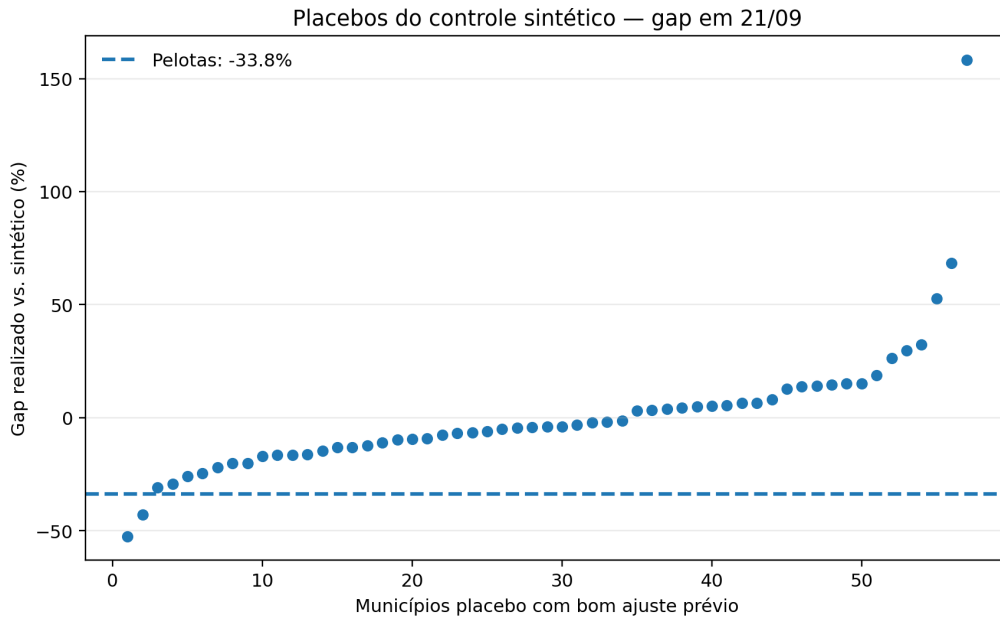


Figura 8: Placebos espaciais do controle sintético: gap em 21/09/2026.

Em termos absolutos, observam-se cinco placebos apresentam gaps maiores, produzindo pseudo- p bilateral próximo de 0,10. Deste modo, o resultado constitui evidência relevante como evidência de robustez, embora não deva ser interpretado como um teste paramétrico convencional a 5%.

Cabe destacar que a especificação também é sensível à composição do donor pool. Alterações no limite mínimo de escala econômica produzem gaps diários aproximadamente entre -22% e -34%. Esta sensibilidade reforça a importância de apresentar o controle sintético como parte de uma triangulação metodológica, e não como estimador único.

Em conjunto, os quatro exercícios principais indicam para uma ruptura imediata na mesma direção:

Histórico: - 36,6%, ARIMA: - 40,4%, SCM: - 33,8%, DiD regional: - 30,6%.

A convergência entre estratégias baseadas em informação temporal, preditiva e cross-sectional aumenta a confiança de que 21 de setembro representou uma quebra economicamente relevante na trajetória normal da atividade registrada em Pelotas.

9 Extensão metodológica: intensidade meteorológica

Uma limitação da especificação binária de DiD consiste em tratar a exposição ao desastre como uma variável discreta, embora a intensidade meteorológica tenha variado substancialmente entre municípios. A Defesa Civil do Rio Grande do Sul informou rajadas de 126,7 km/h em Hulha Negra, 113,7 km/h em Rio Grande e 104,1 km/h em Cerrito. Para Pelotas, a Prefeitura Municipal reportou ventos de aproximadamente 89 km/h no dia do evento. Essas informações sugerem uma extensão natural na qual o tratamento deixa de ser definido apenas como tratado/não tratado e passa a ser representado por uma medida contínua de exposição.

Uma especificação simples seria:

$$\ln(1 + Y_{it}) = \alpha_i + \lambda_t + \beta (Intensity_i \times Post_t) + \varepsilon_{it}, \quad (16)$$

em que $Intensity_i$ representa a intensidade meteorológica observada no município. Nessa formulação, $\beta < 0$ indicaria que municípios submetidos a ventos mais intensos apresentaram quedas proporcionalmente maiores na atividade econômica após o evento.

No entanto, a utilização direta da velocidade máxima do vento como variável de tratamento exige cautela. A cobertura oficial prontamente disponível não apresenta, em uma única tabela pública,

observações comparáveis para todos os municípios da Metade Sul. A Defesa Civil informa os maiores registros, enquanto o SIMAGRO disponibiliza dados observados por estação e orienta que séries históricas ou horárias mais extensas sejam solicitadas diretamente quando necessário. Assim, uma regressão contínua baseada apenas nos poucos municípios com valores publicados produziria falsa precisão.

Como exercício exploratório, a Tabela 5 compara os valores oficiais de rajada disponíveis com a queda de NF-e mais NFC-e em 21 de setembro relativamente à média das quatro segundas-feiras anteriores. O objetivo deste exercício não consiste em estimar causalmente uma elasticidade ao vento, mas verificar se existe evidência descritiva de um gradiente monotônico simples.

Tabela 5: Intensidade do vento e ruptura econômica: evidência exploratória

Município	Rajada máxima	Gap em 21/09
Hulha Negra	126,7 km/h	-32,7%
Rio Grande	113,7 km/h	-54,9%
Cerrito	104,1 km/h	-88,0%
Pelotas	89,0 km/h	-37,1%

Nota: o gap corresponde à diferença percentual entre o valor de NF-e + NFC-e observado em 21/09/2026 e a média das quatro segundas-feiras imediatamente anteriores. Rajadas para Hulha Negra, Rio Grande e Cerrito são reportadas pela Defesa Civil estadual; Pelotas utiliza informação oficial municipal. A tabela possui caráter estritamente exploratório.

Os resultados não exibem uma relação monotônica simples entre rajada máxima e queda econômica. Cerrito apresenta a maior redução relativa apesar de registrar vento inferior ao observado em Hulha Negra e Rio Grande. Esse padrão não invalida a hipótese de dose-resposta; ele mostra que a velocidade do vento, isoladamente, não resume a intensidade econômica do desastre.

Adicionalmente, há pelo menos quatro canais relevantes: duração da interrupção de energia, danos à rede de telecomunicações, restrições de mobilidade e composição setorial da economia local. Municípios menores também podem apresentar maior volatilidade diária nos documentos fiscais, tornando percentuais extremos mais prováveis. Consequentemente, a especificação preferida para uma análise causal de intensidade deve utilizar um índice multidimensional de exposição, por exemplo:

$$Exposure_i = w_1 Wind_i + w_2 Rain_i + w_3 Outage_i + w_4 Damage_i, \quad (17)$$

em que $Wind_i$ representa rajada máxima, $Rain_i$ precipitação, $Outage_i$ duração ou abrangência das interrupções de energia e $Damage_i$ medidas oficiais de danos ou ocorrências¹. Com este indicador, a dinâmica do efeito poderia ser estimada por um estudo de evento contínuo:

$$\ln(1 + Y_{it}) = \alpha_i + \lambda_t + \sum_{k \neq -1} \beta_k (Exposure_i \times \mathbf{1}\{t - T = k\}) + \varepsilon_{it}. \quad (18)$$

Esta formulação possui duas vantagens. Primeiro, evita a arbitrariedade inerente à definição binária de tratamento. Segundo, permite testar se a intensidade do choque econômico aumenta sistematicamente com a intensidade física e operacional do desastre.

No estágio atual, no entanto, a cobertura oficial disponível não é suficiente para estimar essa especificação com a precisão desejável. Por essa razão, o resultado de dose-resposta é apresentado

¹As fontes oficiais utilizadas nesta seção são a Defesa Civil do Rio Grande do Sul: (<https://defesacivil.rs.gov.br/temporais-provocam-quatro-mortes-e-danos-em-151-municipios-do-rio-grande-do-sul>), a Prefeitura de Pelotas e o portal de dados observados do SIMAGRO (<https://simagro.rs.gov.br/tabela-dados-observados>).

como desenho preferencial para uma próxima etapa, enquanto o contrafactual histórico, o ARIMA e o DiD permanecem como evidências empíricas efetivamente estimadas neste estudo.

10 Cenários de sensibilidade para a informalidade

Os documentos fiscais não permitem observar diretamente a atividade informal de Pelotas. Deste modo, a informalidade não pode ser simplesmente somada aos R\$ 25,3 milhões estimados para as transações documentadas. A estratégia adotada nesta seção consiste em uma análise de sensibilidade.

Seja s a participação hipotética da atividade não observada no total econômico relevante e L_F o impacto estimado sobre a atividade documentada. Sob a hipótese de que o choque percentual incidiu de forma semelhante sobre as parcelas documentada e não documentada, o impacto total correspondente é:

$$L_T(s) = \frac{L_F}{1-s}. \quad (19)$$

A parcela adicional associada à atividade não observada é:

$$L_I(s) = L_F \left(\frac{s}{1-s} \right). \quad (20)$$

Aplicando essa relação ao impacto documentado de R\$ 25,3 milhões, obtêm-se os cenários apresentados na Tabela 2.

Tabela 6: Sensibilidade do impacto de 21/09 à atividade não observada

Cenário	Participação s	Impacto ampliado	Parcela adicional
Conservador	15,0%	R\$ 29,8 mi	R\$ 4,5 mi
IES Brasil	17,8%	R\$ 30,8 mi	R\$ 5,5 mi
Intermediário	25,0%	R\$ 33,7 mi	R\$ 8,4 mi
Limite superior	31,1%	R\$ 36,7 mi	R\$ 11,4 mi

O cenário IES utiliza como referência conceitual a estimativa de 17,8% para a economia subterrânea brasileira em 2022. O limite de 31,1% corresponde à taxa de informalidade do trabalho do RS no 2º trimestre de 2025 e não representa participação da economia informal no PIB estadual ou municipal.

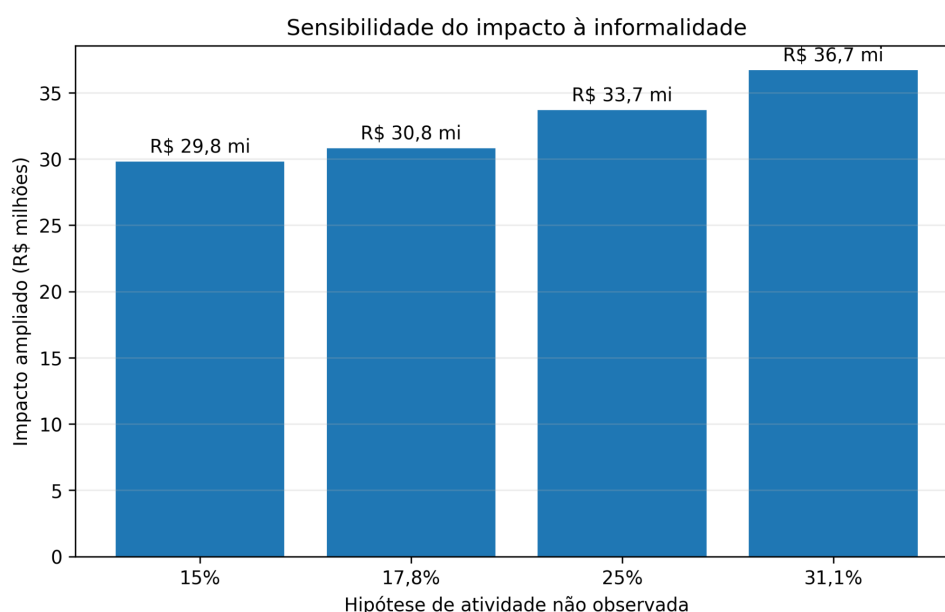


Figura 9: Sensibilidade do impacto econômico ampliado sob diferentes hipóteses de atividade não observada.

A faixa entre R\$ 29,8 milhões e R\$ 36,7 milhões deve ser interpretada como uma ordem de grandeza condicionada às hipóteses adotadas. O resultado diretamente identificado pelos dados fiscais permanece sendo a diferença de aproximadamente R\$ 25,3 milhões nas transações formalmente documentadas.

A informalidade pode reagir de maneira diferente?

Cabe destacar que a hipótese de proporcionalidade entre atividade formal e informal é útil como ponto de partida, mas não é necessariamente realista. Trabalhadores por conta própria, vendedores ambulantes, pequenos prestadores e atividades fortemente dependentes de circulação podem possuir menor capacidade de absorver interrupções ou transferir produção para outro dia. Em outros casos, a informalidade pode apresentar maior flexibilidade operacional.

Uma forma de representar esta incerteza é introduzir um parâmetro λ , definido como a razão entre o choque percentual sofrido pela atividade informal e o choque observado na atividade documentada. O impacto ampliado passa a ser:

$$L_T(s, \lambda) = L_F \left[1 + \lambda \frac{s}{1-s} \right]. \quad (21)$$

Quando $\lambda = 1$, formal e informal respondem proporcionalmente. Valores superiores a 1 representam maior sensibilidade da atividade informal ao choque; valores inferiores a 1 representam maior resiliência. Esta formulação reforça que a inclusão da informalidade aumenta não apenas a magnitude potencial do impacto, mas também a incerteza associada à estimativa.

11 Simulação fiscal: possível impacto sobre o ICMS

A redução das transações documentadas também pode ser traduzida, com cautela, em uma ordem de grandeza para a arrecadação de ICMS associada ao choque. Cabe destacar que não é adequado aplicar diretamente a alíquota legal de 17% sobre o valor das operações, pois a carga efetivamente recolhida depende de créditos tributários, isenções, substituição tributária, Simples Nacional, diferenças de base e defasagens entre fato gerador e arrecadação.

Para obter-se uma referência empírica, utiliza-se a razão entre a arrecadação de ICMS do Rio Grande do Sul no primeiro trimestre de 2026 e o valor total de NF-e mais NFC-e emitidas no Estado no mesmo período. Segundo dados oficiais, a arrecadação de ICMS alcançou aproximadamente R\$ 13,168 bilhões entre janeiro e março de 2026. Nos arquivos de documentos fiscais eletrônicos utilizados neste

estudo, NF-e e NFC-e somaram aproximadamente R\$ 336,681 bilhões no mesmo intervalo. Define-se, portanto, uma taxa efetiva de referência:

$$\tau^{efetiva} = \frac{ICMS_{RS,1T2026}}{NF-e_{RS,1T2026} + NFC-e_{RS,1T2026}} \approx 3,91\%. \quad (22)$$

Esta razão não deve ser interpretada como alíquota tributária legal. Trata-se de um coeficiente empírico de arrecadação por unidade de valor documentado, útil apenas para construir uma simulação fiscal coerente com os dados observados.

Aplicando $\tau^{efetiva} = 3,91\%$ à diferença contrafactual estimada para Pelotas, obtém-se:

$$\widehat{\Delta ICMS}_{21/09} = 25,3 \times 0,0391 \approx R\$0,99 \text{ milhão}. \quad (23)$$

Para o déficit residual acumulado entre 21 e 27 de setembro:

$$\widehat{\Delta ICMS}_{21-27/09} = 7,4 \times 0,0391 \approx R\$0,29 \text{ milhão}. \quad (24)$$

Tabela 7: Simulação de ICMS associada ao choque econômico

Período	Diferença nas transações	Taxa efetiva	ICMS simulado
21/09/2026	R\$ 25,3 mi	3,91%	R\$ 0,99 mi
21-27/09/2026	R\$ 7,4 mi	3,91%	R\$ 0,29 mi

Nota: a taxa de 3,91% corresponde à razão entre a arrecadação de ICMS do RS no 1º trimestre de 2026 e o valor de NF-e + NFC-e emitidas no Estado no mesmo período. O resultado é uma simulação fiscal, não uma medida observada de imposto efetivamente não recolhido.

Temporal de 21/09: simulação do impacto no ICMS

Pelotas | exercício fiscal contrafactual

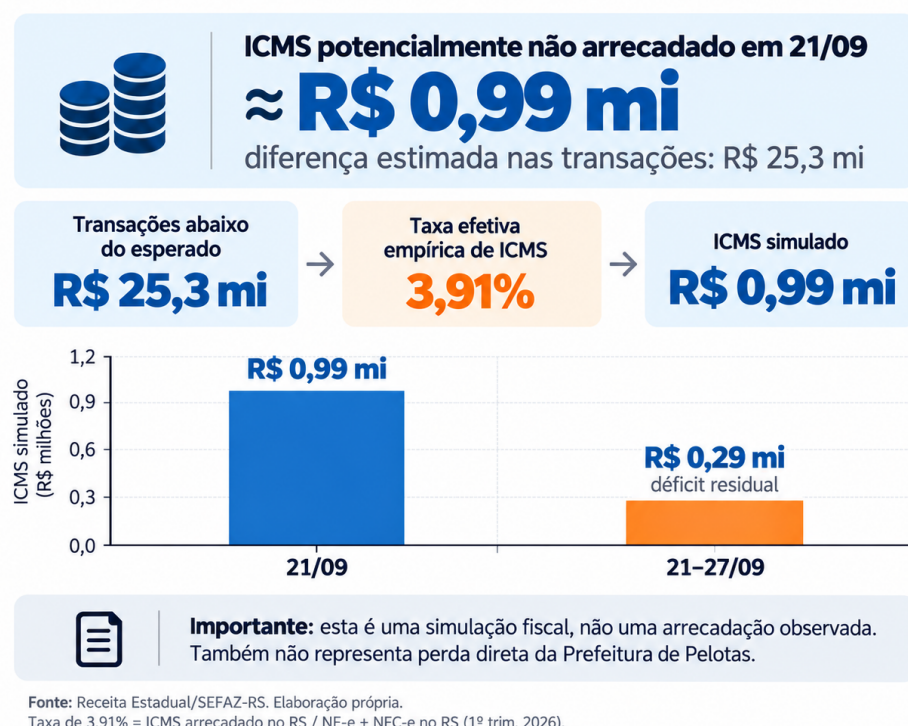


Figura 10: Síntese visual da simulação contrafactual do impacto sobre o ICMS associada à queda das transações documentadas.

Adicionalmente, como exercício de sensibilidade, também podem ser consideradas taxas efetivas alternativas. Com 3%, 4% e 5%, a perda simulada de ICMS no dia 21 seria de aproximadamente R\$ 0,76 milhão, R\$ 1,01 milhão e R\$ 1,27 milhão, respectivamente.

É importante ainda distinguir a arrecadação estadual da receita municipal. A Constituição determina que 25% da arrecadação estadual de ICMS seja destinada aos municípios, mas a distribuição não ocorre de acordo com o imposto gerado dentro de cada município. Ela segue o Índice de Participação dos Municípios (IPM) e demais regras de repartição. Assim, não é correto interpretar 25% dos R\$ 0,99 milhão como perda direta de receita da Prefeitura de Pelotas. A mensuração deste efeito exigiria modelar a formação do valor adicionado fiscal e seus impactos posteriores sobre o IPM.

Da simulação estadual à cota-parte municipal

A simulação de R\$ 0,99 milhão no dia 21 e R\$ 0,29 milhão na semana representa ICMS estadual potencialmente associado ao déficit de transações, não receita municipal. Para 2026, o Índice de Participação dos Municípios (IPM) definitivo de Pelotas é de aproximadamente 1,298442% do montante municipal. Como 25% do ICMS estadual é repartido entre os municípios, a participação equivalente de Pelotas no total estadual é, mecanicamente, de cerca de 0,3246%.

Assim, como exercício estático de ordem de grandeza:

$$R\$0,99 \text{ mi} \times 25\% \times 1,298442\% \approx R\$3,2 \text{ mil}, \quad (25)$$

$$R\$0,29 \text{ mi} \times 25\% \times 1,298442\% \approx R\$0,94 \text{ mil}. \quad (26)$$

Cabe ressaltar que esses valores são **simulações estáticas de repartição**, e não perdas observadas no caixa da Prefeitura. O IPM possui regras próprias de cálculo e defasagens institucionais; portanto, o efeito fiscal efetivo pode ocorrer em outro momento e com magnitude distinta.

Por fim, a extensão para a economia informal não deve ser tributada mecanicamente nesta simulação. Atividades não documentadas podem gerar efeitos indiretos sobre ICMS por meio da compra de insumos ou de transações formais associadas, mas este canal não é identificado pelos dados disponíveis. Por essa razão, a simulação fiscal apresentada aqui utiliza apenas a parcela formal documentada.

12 Aplicação prospectiva: como projetar o impacto de um novo evento

Uma possível evolução operacional desta nota consiste em transformar a metodologia retrospectiva em um sistema prospectivo de apoio à decisão. Neste sentido, é importante separar duas perguntas: **(i) qual a probabilidade ou severidade de um novo evento climático?** e **(ii) qual seria o impacto econômico caso este evento ocorra?** O ARIMA não prevê a ocorrência meteorológica; ele fornece uma trajetória-base de atividade econômica na ausência de choque. A ocorrência e a severidade devem ser informadas por fontes exógenas, como INMET, Defesa Civil, CPPMet/UFPel, Ciex/Furg e dados de infraestrutura.

12.1 Linha de base econômica

Antes da ocorrência de um evento previsto, estima-se a trajetória normal por meio do mesmo ARIMA(1, 1, 1) com controles de dia da semana, tendência e sazonalidade anual. Para uma data futura $t + h$:

$$\hat{Y}_{t+h}^0 = ARIMA(1, 1, 1) + X_{t+h}, \quad (27)$$

em que $\hat{Y}_{t+h}^0$ representa a atividade esperada na ausência de choque climático relevante.

12.2 Cenários de estresse condicionais ao alerta meteorológico

A previsão-base pode, então, ser submetida a cenários de queda condicionados à severidade esperada. Os intervalos abaixo são **hipotéticos e calibrados com a experiência de agosto e setembro de 2026**; não representam probabilidades meteorológicas.

Tabela 8: Estrutura proposta para cenários econômicos prospectivos

Cenário	Condição operacional ilustrativa	Choque inicial	Referência empírica
Fraco	Evento localizado, interrupções curtas e baixa perda de mobilidade	-5% a -12%	Próximo ao episódio de 17/08 (-10,0%)
Moderado	Interrupção parcial de energia, mobilidade e comércio	-12% a -25%	Faixa acima do agregado de agosto (-12,9%)
Crítico	Interrupção ampla e simultânea de infraestrutura e serviços	-30% a -40%	21/09 (-36,6%; ARIMA: -40,4%)

A previsão econômica condicionada ao cenário s pode ser representada por:

$$\hat{Y}_t^s = \hat{Y}_t^0(1 - \delta_s), \quad (28)$$

em que δ_s é o choque percentual associado ao cenário. Para vários dias, é preferível permitir recuperação gradual:

$$\hat{Y}_{t+k}^s = \hat{Y}_{t+k}^0 (1 - \delta_s \rho_k), \quad (29)$$

em que $\rho_0 = 1$ e ρ_k diminui ao longo dos dias conforme um perfil de recuperação calibrado com os eventos observados. Esta dinâmica é importante porque o episódio de 21/09 mostrou uma queda muito forte no primeiro dia, mas recuperação relevante durante a semana.

12.3 Índice prospectivo de severidade

Cabe destacar que a classificação não deve depender apenas da velocidade do vento. Recomenda-se combinar, quando disponíveis:

- precipitação prevista e acumulada;
- rajada máxima prevista;
- possibilidade de granizo e alagamento;
- área e população potencialmente expostas;
- risco de interrupção de energia e telecomunicações;
- restrições de mobilidade, aulas, transporte e serviços públicos;
- nível do alerta emitido por INMET e Defesa Civil.

Deste modo, recomenda-se utilizar a previsão meteorológica oficial como **gatilho exógeno** e traduzir a severidade física esperada em uma faixa de possíveis impactos econômicos. À medida que novos eventos forem observados, os parâmetros podem ser recalibrados e a classificação fraco–moderado–crítico pode migrar de uma regra de cenário para uma função estatística de dose–resposta.

12.4 Protocolo operacional recomendado

Tabela 9: Rotina prospectiva para novos eventos climáticos

Momento	Ação recomendada
D-5 a D-3	Monitorar alertas oficiais; registrar chuva, vento e risco de interrupções; produzir cenário preliminar.
D-2 a D-1	Atualizar o ARIMA e calcular a linha de base de NF-e + NFC-e.
D-1	Classificar o evento em faixa fraca, moderada ou crítica e produzir intervalo de impacto potencial.
D+1	Comparar o realizado inicial com o baseline e substituir parte do cenário por evidência observada.
D+7	Calcular impacto acumulado e distinguir postergação de perda residual.
D+30	Consolidar resultados, infraestrutura afetada, eventual impacto fiscal e lições de resiliência.

Princípio de comunicação

Uma previsão prospectiva deve ser divulgada como **cenário condicionado à ocorrência e à severidade do evento**, nunca como perda certa. A linha de base vem do modelo econômico; a probabilidade do evento vem da meteorologia oficial; e a magnitude do choque é atualizada conforme dados reais se tornam disponíveis.

13 Implicações para a gestão municipal

Os resultados não substituem levantamentos de danos físicos, sociais ou empresariais, mas acrescentam uma dimensão econômica de alta frequência útil ao planejamento. A principal evidência é a combinação de **forte ruptura no primeiro dia com recuperação rápida nos dias subsequentes**. Esse padrão sugere que a gestão de resiliência deve distinguir medidas voltadas à continuidade imediata das operações de ações voltadas a perdas persistentes.

13.1 Prioridades sugeridas para monitoramento

- **Painel municipal de alta frequência:** acompanhar NF-e e NFC-e diariamente após eventos extremos, comparando o realizado com bandas contrafactuais atualizadas.
- **Infraestrutura crítica:** combinar atividade fiscal com duração de interrupções de energia, telecomunicações, mobilidade e abastecimento para identificar canais de transmissão do choque.
- **Recorte territorial e setorial:** quando os dados permitirem, separar comércio, serviços, indústria e áreas do município para identificar segmentos com recuperação mais lenta.
- **Protocolo pré e pós-evento:** produzir cenários em D-3/D-1 e boletins em D+1, D+7 e D+30, distinguindo risco prospectivo, ruptura inicial, recuperação e eventual perda residual.
- **Coordenação fiscal:** tratar estimativas tributárias como cenários de planejamento, sem convertê-las automaticamente em perda de receita municipal sem considerar IPM, valor adicionado fiscal e defasagens institucionais.

13.2 O que esta nota permite afirmar

Conclusão operacional

Há evidência robusta de que o temporal provocou uma queda extraordinária na atividade econômica documentada de Pelotas em 21/09. Métodos distintos situam a ruptura imediata entre aproximadamente **31% e 40%**. A recuperação ao longo da semana indica que uma parcela importante do choque foi temporária, embora permaneça um déficit residual em algumas especificações.

13.3 O que esta nota não permite afirmar

- não mede diretamente perda de PIB municipal;
- não identifica integralmente a economia informal;
- não mede danos patrimoniais, custos públicos de resposta ou perdas de estoque;
- não permite atribuir R\$ 0,99 milhão como perda direta de caixa da Prefeitura;
- não estabelece, isoladamente, uma estimativa causal definitiva para cada setor econômico.

14 Limitações, interpretação e próximos passos

A primeira limitação do exercício é conceitual: documentos fiscais medem transações registradas, e não valor adicionado. Assim, os resultados não devem ser interpretados como perda de PIB municipal. A segunda limitação consiste no fato de que o contrafactual histórico depende da hipótese de que, na ausência do temporal, o padrão sazonal histórico de Pelotas teria permanecido válido em 2026. O ARIMA reduz a dependência dessa hipótese específica, mas continua sendo um modelo de previsão e não, isoladamente, um desenho causal.

O DiD regional adiciona uma comparação espacial, mas sua principal limitação é a possível contaminação do grupo de controle. Como o mesmo sistema meteorológico atingiu diversos municípios, a classificação binária tratado–controle é uma aproximação imperfeita de um tratamento cuja intensidade

variou no espaço. Além disso, apenas três municípios compõem o núcleo tratado na especificação principal, o que limita o poder estatístico e torna a inferência com erros agrupados no município particularmente conservadora.

Uma extensão metodológica relevante consiste em substituir o indicador binário de tratamento por uma medida contínua e exógena de intensidade meteorológica. Velocidade máxima do vento, precipitação acumulada, duração da interrupção de energia ou uma combinação dessas medidas permitiria estimar uma relação dose-resposta:

$$\ln(1 + Y_{it}) = \alpha_i + \lambda_t + \beta (\text{Intensidade}_i \times \text{Post}_t) + \varepsilon_{it}. \quad (30)$$

Este desenho reduz a arbitrariedade na escolha de tratados e controles e utiliza a heterogeneidade física do evento como fonte de variação. Uma alternativa complementar é um controle sintético ou *synthetic difference-in-differences*, construído a partir de municípios pouco expostos que reproduzam melhor a trajetória pré-evento de Pelotas. Para uma única unidade focal como Pelotas, esses métodos podem oferecer um contrafactual espacial mais convincente do que um DiD binário convencional.

Adicionalmente, seria útil estimar um estudo de evento de alta frequência com intensidade contínua, verificando explicitamente pré-tendências e a velocidade de recuperação. Caso existam dados horários de vento, energia ou documentos fiscais, um desenho de série temporal interrompida com múltiplas sazonalidades ou modelos do tipo BSTS/CausalImpact pode complementar os resultados, embora esses métodos continuem dependendo da estabilidade da relação temporal pré-evento.

A análise de intensidade meteorológica indica ainda que uma medida unidimensional, como a rajada máxima de vento, provavelmente é insuficiente para representar o tratamento. A cobertura oficial disponível é incompleta para todos os municípios e a evidência exploratória não revela um gradiente monotônico simples. Uma versão causal mais forte deve combinar vento, chuva, interrupções de energia, mobilidade e registros oficiais de danos em um índice de exposição, idealmente acompanhado de um estudo de evento contínuo.

Outra extensão relevante consiste na análise setorial. Caso seja possível obter uma base que cruze município, data e CNAE, a mesma metodologia pode ser aplicada separadamente a comércio, serviços, indústria e demais atividades, permitindo distinguir setores com maior queda inicial, maior recuperação ou eventual aumento de demanda após o evento.

Cabe destacar, ainda, uma limitação da aplicação prospectiva: que o ARIMA não prevê a ocorrência meteorológica. Ele projeta a atividade econômica normal e serve como linha de base para cenários de estresse. A classificação fraco-moderado-crítico deve ser condicionada a alertas e variáveis físicas observáveis, e os parâmetros de choque precisam ser recalibrados conforme novos eventos sejam incorporados à base histórica.

15 Conclusões e implicações para a gestão municipal

Os resultados referentes aos eventos de agosto e setembro de 2026 indicam que a atividade econômica documentada de Pelotas é sensível a interrupções climáticas recorrentes. Os três eventos de agosto somaram aproximadamente R\$ 30,0 milhões abaixo dos respectivos contrafactuais nos dias de ocorrência, enquanto o temporal de 21 de setembro produziu uma ruptura claramente identificável e de magnitude ainda maior em um único dia. Naquele dia, o valor das transações de NF-e e NFC-e ficou aproximadamente 36,6% abaixo do contrafactual, diferença equivalente a R\$ 25,3 milhões. Nos dias seguintes ocorreu recuperação relevante e o déficit acumulado entre 21 e 27 de setembro diminuiu para aproximadamente R\$ 7,4 milhões, sugerindo que parte das transações foi apenas postergada.

A incorporação da informalidade amplia a ordem de grandeza potencial do choque, mas também aumenta a incerteza. Sob diferentes hipóteses, o impacto ampliado do primeiro dia varia entre aproximadamente R\$ 29,8 milhões e R\$ 36,7 milhões. Esses valores devem ser entendidos como cenários de sensibilidade, e não como perdas observadas.

Os testes de robustez reforçam a interpretação do choque imediato. O ARIMA, estimado apenas

com informações anteriores ao evento, aponta queda de aproximadamente 40,4% em relação à previsão para 21 de setembro. O controle sintético encontra gap de -33,8%, enquanto o DiD regional encontra efeito médio de aproximadamente -30,6% para Pelotas, Rio Grande e Cerrito. A convergência entre contrafactual histórico, ARIMA, controle sintético e DiD é mais informativa do que qualquer estimativa isolada. A extensão por intensidade meteorológica mostra, por sua vez, que a velocidade máxima do vento não resume sozinha a intensidade econômica do desastre, reforçando a necessidade de combinar severidade física e interrupções operacionais.

A principal contribuição deste exercício consiste em distinguir claramente quatro conceitos: transações formalmente documentadas, atividade econômica não observada, produto municipal e arrecadação tributária simulada. O resultado de R\$ 25,3 milhões deriva de um contrafactual aplicado aos registros fiscais; a faixa de R\$ 29,8–36,7 milhões decorre de hipóteses explícitas sobre a atividade não observada; nenhum desses valores corresponde diretamente a perda de PIB.

Em conjunto, os resultados indicam como bases administrativas de alta frequência podem contribuir tanto para avaliações retrospectivas quanto para um sistema prospectivo de apoio à decisão. Neste sentido, a combinação de alertas meteorológicos oficiais, linha de base ARIMA, cenários de estresse e atualização com dados observados pode transformar a metodologia em instrumento permanente de planejamento, resposta emergencial e avaliação de resiliência econômica local.

Síntese para decisão

Para planejamento municipal, a evidência mais defensável é: (i) Pelotas sofreu uma sequência de choques em agosto e setembro; (ii) o episódio de 21/09 apresentou queda imediata robusta próxima de 30–40%; (iii) parte importante das transações pode ser recuperada nos dias seguintes; (iv) alertas meteorológicos podem ser combinados com um baseline ARIMA para produzir cenários prospectivos; e (v) o protocolo deve ser atualizado em D+1, D+7 e D+30 para separar risco, interrupção e perda residual.

Fontes de dados

- Receita Estadual/SEFAZ-RS. *Receita Dados – Documentos Fiscais Eletrônicos*. Disponível em: <https://receitadados.sefaz.rs.gov.br/paineis/documentos-eletronicos/>.
- IBGE. *PNAD Contínua – Taxa de informalidade por Unidade da Federação*. Rio Grande do Sul: 31,1% no 2º trimestre de 2025.
- ETCO; FGV/IBRE. *Índice de Economia Subterrânea*. Referência de 17,8% do PIB brasileiro em 2022.
- Governo do Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim de Conjuntura: arrecadação de ICMS no RS, 2024–2026*. Dados da SEFAZ-RS, 2026.
- Prefeitura Municipal de Pelotas. *Defesa Civil alerta para instabilidade climática no município*. Pelotas, 06 ago. 2026.
- Prefeitura Municipal de Pelotas. *Chuvas de 111 milímetros determinam novo decreto de emergência em Pelotas*. Pelotas, 17 ago. 2026.
- Prefeitura Municipal de Pelotas. *Temporal de granizo mobiliza equipes desde a madrugada*. Pelotas, 28 ago. 2026.
- Prefeitura Municipal de Pelotas. *Temporal severo atinge o município e causa danos*. Pelotas, 21 set. 2026.
- Defesa Civil do Rio Grande do Sul. *Temporais provocam quatro mortes e danos em 151 municípios do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 22 set. 2026.
- Prefeitura Municipal do Rio Grande. *Prefeita assina decreto de situação de emergência*. Rio Grande, 21 set. 2026.

Referências

- [1] RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Fazenda. *Receita Dados: Documentos Fiscais Eletrônicos*. Porto Alegre, 2026.
- [2] IBGE. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: taxa de informalidade*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.
- [3] ETCO; FGV/IBRE. *Índice de Economia Subterrânea*. São Paulo/Rio de Janeiro, 2022–2023.
- [4] RIO GRANDE DO SUL. *Boletim de Conjuntura: arrecadação de ICMS no RS, 2024–2026*. Porto Alegre, 2026.
- [5] PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. *Defesa Civil alerta para instabilidade climática no município*. Pelotas, 06 ago. 2026.
- [6] PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. *Chuvas de 111 milímetros determinam novo decreto de emergência em Pelotas*. Pelotas, 17 ago. 2026.
- [7] PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. *Temporal de granizo mobiliza equipes desde a madrugada*. Pelotas, 28 ago. 2026.
- [8] PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. *Temporal severo atinge o município e causa danos*. Pelotas, 21 set. 2026.
- [9] RIO GRANDE DO SUL. Defesa Civil. *Temporais provocam quatro mortes e danos em 151 municípios do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 22 set. 2026.
- [10] PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO GRANDE. *Prefeita assina decreto de situação de emergência*. Rio Grande, 21 set. 2026.