

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ECONOMIA**

Vinícius Goulart Magalhães

**Análise do impacto na agricultura decorrente do Desastre Ambiental de Mariana (MG)  
aplicando o Método de Amortecimento Exponencial Com Análise de Eventos**

JUIZ DE FORA – MG  
2021

Vinícius Goulart Magalhães

**Análise do impacto na agricultura decorrente do Desastre Ambiental de Mariana (MG)  
aplicando o Método de Amortecimento Exponencial Com Análise de Eventos**

Monografia apresenta à Faculdade de Ciências  
Econômicas da Universidade Federal de Juiz  
de Fora, como requisito a aprovação na  
disciplina de Monografia II.

Orientador: Alexandre Zanini

Magalhães, Vinícius Goulart.

Análise do impacto na agricultura decorrente do Desastre Ambiental de Mariana(MG) aplicando o Método de Amortecimento Exponencial Com Análise de Eventos / Vinícius Goulart Magalhães.

--2021.

43 f.

Orientador: Alexandre Zanini

Trabalho de Conclusão de Curso(graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2021.

1. Desastre Ambiental. 2. Agricultura . 3. Método de Amortecimento Exponencial. 4. Análise de eventos. 5. Economia Ambiental . I. Zanini, Alexandre

## RESUMO

O desastre ambiental de Mariana(MG) é enquadrado entre os maiores rompimentos de barragens de rejeitos de mineração já registrados mundialmente. A agricultura é um setor fundamental da economia local e foi afetada drasticamente pelo rompimento da barragem. Este trabalho trata o impacto na agricultura decorrente do desastre ambiental de Mariana(MG), usando o método de amortecimento exponencial com análise de eventos. São apresentados conceitos de economia ambiental e gestão de risco. Os resultados mostraram impacto significativo nas variáveis agrícolas analisadas.

**Palavras chave:** Desastre ambiental; Mariana(MG); Agricultura; Método de Amortecimento Exponencial; Análise de eventos; Gestão de risco; Economia Ambiental.

## ABSTRACT

The environmental disaster in Mariana (MG) is ranked among the largest mining tailings dam failures ever recorded worldwide. Agriculture is a key sector of the local economy and was drastically affected by the dam failure. This work deals with the impact on agriculture resulting from the environmental disaster in Mariana (MG), using the exponential damping method with event analysis. Concepts of environmental economics and risk management are presented. The results showed a significant impact on the agricultural variables analyzed.

**Keywords:** Environmental disaster; Mariana(MG); Agriculture; Exponential Damping Method; Event Analysis; Risk Management; Environmental Economics

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CFEM - Compensação financeira pela exploração de recursos minerais

BRF - Barragem de Rejeitos de Fundão

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

GIAIA- Grupo Independente para Avaliação do Impacto Ambiental

ICMS- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

MAE- Método de Amortecimento Exponencial

SIDRA- Sistema IBGE de Recuperação Automática

PIM – Programa de Indenização Mediada

ACV- Avaliação do Ciclo de Vida

## QUADROS

Quadro 1: Classificações de desastres.....	14
--	----

## TABELAS

Tabela 1: Parâmetros e Hiperparâmetros área colhida.....	26
Tabela 2: Equações de previsão variável área colhida.....	26
Tabela 3: Estatísticas de testes para fidedignidade estatística área colhida.....	26
Tabela 4: Poder de Explicação área colhida(percentual).....	28
Tabela 5: Previsões 2020-2022 área colhida em hectares.....	28
Tabela 6: Parâmetros e Hiperparâmetros área plantada.....	30
Tabela 7: Equações de previsão variável área plantada.....	30
Tabela 8: Estatísticas de testes para fidedignidade estatística área plantada.....	31
Tabela 9: Poder de explicação área plantada(percentual).....	33
Tabela 10: Previsões 2020-2022 área plantada em hectares.....	34



## FIGURAS

Figura 1: Função de Autocorrelação dos Erros área colhida.....	27
Figura 2: Previsão da variável área colhida em hectares para o município de Mariana(MG) para o período de 2020 a 2022.....	29
Figura 3: Função de Autocorrelação dos Erros área plantada.....	32
Figura 4: Previsão da variável área plantada em hectares para o município de Mariana(MG) para o período de 2020 a 2022.....	35

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	DESASTRE AMBIENTAL .....	9
2.1	ECONOMIA AMBIENTAL.....	9
2.2	GESTÃO DE RISCO .....	11
2.2.1	Conceitos ecológicos.....	11
2.2.2	CONCEITOS GEOLÓGICOS .....	14
3	METODOLOGIA .....	16
3.1	MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL .....	16
3.1.1	Descrição e atualização paramétrica .....	16
3.1.2	Equações de previsão .....	23
4	RESULTADOS E BASE DE DADOS .....	24
4.1	Base de Dados .....	24
4.2	RESULTADOS .....	24
5	CONCLUSÕES.....	36
6	REFERÊNCIAS .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

A ruptura da barragem de rejeitos do Fundão, desastre ambiental ocorrido em 5 de novembro de 2015, é enquadrado entre os maiores rompimentos de barragens de rejeitos de mineração já registrados mundialmente. A barragem de Fundão estava localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, em Mariana – MG, tinha-se como finalidade a acumulação de rejeitos da mineração de ferro do complexo minerário Germano, sob responsabilidade da empresa Samarco Mineração e BHP Billiton. (Viana, 2016)

O desastre atingiu escala excepcional, essa escala foi atingida em grande maioria por conta da localização da barragem. A entrada de rejeitos através do Rio Gualaxo do Norte persistiu semanas após o rompimento. (Viana, 2016)

Registra-se mais de 34 milhões de metros cúbicos de lama, alcançando cerca de 700km de extensão, atingindo em sua totalidade 39 municípios. Estima-se uma perda de R\$ 1,2 bilhão e mais de 320 mil pessoas afetadas pelo desastre de alguma forma. Toda estrutura comercial das áreas atingidas foi comprometida em questão do evento ocorrido. Ao nível econômico os principais setores impactados foram o setor de pesca e agricultura. (Viana, 2016)

Até 2020 nenhum responsável pelo desastre foi punido. A cidade de Mariana só teve sua retomada de emprego e renda a partir de 2018, por conta de ações da empresa Vale S.A. e repasses por parte da Fundação Renova. (Brasil de Fato, 2020)

A prefeitura de Mariana anunciou uma perda de 28% de sua arrecadação, destacam-se como principais impostos o ICMS e o CFEM. Todos os impostos arrecadados pelo município antes da queda da barragem correspondiam a cerca de 54% da receita da cidade. O prefeito do município de Mariana em 2019 recorreu à justiça para reaver da BHP Billiton a quantia pecuniária de R\$ 1,2 bilhão que seriam referentes aos gastos extras após o rompimento da barragem. (Brasil de Fato, 2020).

Segundo Coelho *et al.* (2016), a região Sudeste teve que lidar com um forte período de estiagem, somada à tragédia ambiental supracitada. Ocorreu uma crise hídrica que impactou negativamente as atividades agrícolas, que era até então um dos pilares principais da economia afetada.

Além disso, o Grupo Independente para Avaliação do Impacto Ambiental (GIAIA) realizou um relatório a respeito da contaminação da água. Foram encontradas a concentração em níveis elevados de manganês, arsênio e chumbo e também foram encontrados alumínio e ferro na lama formada pelos rejeitos. Além disso, foram constatadas a redução da quantidade de oxigênio dissolvido da água (GIAIA, 2015)

Viana (2017) destaca a agricultura como uma das principais atividades da região, visto que em alguns domicílios era fonte de renda principal, e em outros era uma fonte de subsistência, assim como o setor da pesca. A população atingida foi praticamente impossibilitada de dar continuidade a suas atividades principais, alicerces primordiais para a economia da região.

Conforme a Samarco(2016), foram disponibilizados auxílios financeiros emergenciais para as famílias que tiveram a perda do meio de subsistência. Entretanto, Lemm *et al*(2016) apresentam problemas na distribuição dos cartões de auxílio e registraram arbitrariedades na concessão do benefício. Em determinadas localidades a Samarco só distribuiu cestas básicas apenas uma vez.

Segundo dados do Ministério Público, apenas 5,5% das 700 mil famílias afetadas recebem o Auxílio Financeiro Emergencial mensal no valor de um salário mínimo da Fundação Renova (Viana, 2017)

A Fundação Renova, criada em 2 de março de 2016, é a principal entidade responsável pelo gerenciamento das medidas emergenciais referentes ao rompimento da barragem de Fundão. A Fundação Renova propôs o Programa de Indenização Mediada (PIM), que deveria ser destinado aos aquicultores e pescadores que não foram ressarcidos de maneira eficiente pelo auxílio emergencial. (Viana, 2017).

Apesar dos esforços apresentados pela Samarco e mais recentemente pela Fundação Renova, destaca-se não só as falhas em monitoramento de tais medidas de contenção de impacto, mas também falta de prioridade na comunicação e disponibilidade de informação completa. As adversidades anteriormente citadas neste parágrafo possuem a característica de refrear estratégias de remediação de impacto (Viana, 2017)

Feitas estas considerações, atenta-se que o objetivo principal desse trabalho é monitorar o impacto do evento sob variáveis do setor agrícola, proveniente da queda da barragem de Mariana. Em adição aos argumentos apresentados, o trabalho se fundamenta através da baixa existência de trabalhos específicos durante esse período de tempo, a respeito do impacto de evento sob variáveis do setor agrícola decorrentes deste incidente.

Outra questão interessante que pode ser explorada em um futuro trabalho, seria o quão válido é permitir uma indústria como a Samarco, que possui um risco de causar um desastre e ser reincidente em desastres ambientais, operar na região específica.

Tendo como base a análise estatística aplicada a séries de tempo, mais especificamente o Método de Amortecimento Exponencial com análise de eventos, propõe-se a estimação de um modelo onde seja possível medir o impacto do desastre ambiental em algumas variáveis

do setor agrícola. Para estimar os modelos será utilizado o *software Forecast Pro for Windows (FPW)*.

A base de dados a ser utilizada será composta por dados disponibilizados pela Pesquisa Agrícola Municipal(PA) realizada pelo IBGE e disponibilizada na plataforma Sistema IBGE de Recuperação Automática(SIDRA).

A análise a ser realizada apresentará como base a estimação das equações com e sem análise de intervenção, através de uma variável *dummy*. Serão realizadas projeções estatísticas para verificar o nível de crescimento em três cenários. O principal objetivo é comparar os três cenários, procurando verificar o impacto do evento sobre o setor agrícola do município de Mariana (MG).

Possuindo estas três projeções, é possível comparar o nível cujo o setor se encontraria caso não houvesse o desastre, com o nível que ele se encontra com a ocorrência do desastre e caso o efeito do desastre persista no tempo.

Essas informações, de projeção das variáveis agrícolas sem e com a ocorrência do evento, são importantes, pois possuem a característica de, por exemplo, poder fornecer aos formuladores de política o nível de investimento que deve ser realizado para que esse município afetado atinja o mesmo nível no setor agrícola sem a ocorrência do desastre.

Feitas estas considerações, atenta-se que este trabalho, além desta Introdução está organizado em mais três capítulos. No capítulo 2, desastre ambiental, são explicados os conceitos de economia ambiental e gestões de risco. No capítulo 3 apresenta-se o Método de Amortecimento Exponencial (MAE). Posteriormente é apresentada a análise de dados com os resultados. Por fim, pode-se encontrar as conclusões.

## 2 DESASTRE AMBIENTAL

Este capítulo divide-se em duas seções respectivamente sobre conceitos de economia ambiental e gestão de risco. Tais seções apresentam conceitos básicos a respeito da temática de desastre ambiental e economia ambiental. Estes conceitos apresentam a diferenciação da economia básica para a economia ambiental e noções sobre gestão de desastres e áreas de risco.

### 2.1 Economia Ambiental

Vieira (2016) define a economia ambiental de maneira sucinta, como a administração dos recursos escassos, argumentando que nesta área são os recursos naturais. Segundo a autora, o grande desafio presente neste campo de estudo é lidar com um bem natural, público, seguindo as regras da economia.

Nesta área é possível estudar e desenvolver raciocínios a respeito de bens muitas vezes sem preço de mercado. Além disso, é uma área que vem recebendo grande notoriedade por conta dos problemas ambientais como o efeito estufa e recentes tragédias como o caso apresentado neste estudo. (Vieira, 2016)

Vieira (2016) cita que a economia ambiental surgiu na década de 1960, quando os movimentos relacionados ao uso de recursos naturais se intensificaram. É um ramo da economia neoclássica que acrescenta os recursos naturais como fator de produção onde a função de produção é definida como:

$$Y = F(K + T + R_n) \quad (2.1)$$

Onde a variável Y é o produto final, a variável K representa o capital, a variável T o trabalho. Por fim, a variável R<sub>n</sub> que não esteve presente até este momento da história, representa os recursos naturais.

De acordo com Vieira (2016), em tempos remotos, a matéria e energia consumidas pela sociedade geravam resíduos que eram totalmente absorvidos pelo ambiente. Dessa maneira a autora define que a forma de vida do homem antigamente, como na época da colonização era baseada no consumo de baixa escala e na adequada geração de resíduos. Como as sociedades foram se desenvolvendo, e em decorrência disso a perseguição global pelo crescimento econômico, esse empenho gerou os fenômenos já conhecidos como a Revolução Industrial.

Esse desenvolvimento consolidou a nova forma de vida dos agentes presentes na economia, com a utilização de grandes volumes de recursos naturais que não são absorvidos

inteiramente pelo meio ambiente. A falta de capacidade de absorção com o desgaste gerado por  $n$  fatores geram os desastres ambientais. (Vieira, 2016)

Segundo Vieira (2016), a população mundial também aumentou, sendo que o primeiro momento define-se como “mundo vazio”, onde a população mundial não era tão abundante e a natureza conseguia absorver os resíduos gerados pela sociedade em sua integridade. No segundo momento, tem-se o conceito de “mundo cheio” com uma população mundial abundante, onde a escala de exploração é alta e o meio ambiente não possui a capacidade de absorver o intenso número de resíduos gerados pela sociedade.

Segundo Vieira (2016), pode-se notar a escassez de oferta em relação aos recursos naturais. A autora propõe a reflexão a respeito da utilização de tais recursos naturais e se essa curva de oferta do meio ambiente está sendo respeitada.

Essa reflexão proposta pela autora supracitada pode ser transferida para o caso da mineração, e perguntas interessantes podem ser levantadas em decorrência dessa reflexão como, por exemplo, o quão válido é permitir a permanência de uma empresa, levando-se em consideração que a mesma possui riscos de degradação ambiental e conseqüentemente um desastre ambiental iminente, em decorrência da degradação contínua.

## 2.2 Gestão de Risco

Este tópico divide-se entre conceitos ecológicos e conceitos geológicos, esta divisão fundamenta-se através de uma comparação entre as duas áreas supracitadas. Ao efetivar esta comparação é possível evidenciar semelhanças entre os conceitos e exibir instrumentos não só teóricos, mas também práticos que poderiam impedir ou reduzir o impacto do desastre de Mariana, evitando-se por conseguinte as perdas no âmbito econômico, social e ambiental.

### 2.2.1 Conceitos ecológicos

Segundo Saccaro Júnior e Coelho Filho (2016), o conceito de resiliência é o ponto de convergência da apropriação do campo e do gerenciamento urbano. A resiliência é um conceito ecológico definido como a capacidade de um sistema recuperar o equilíbrio após ter sofrido uma perturbação, onde o novo equilíbrio não deve ser necessariamente idêntico ao original, mas sim que seja funcional.

A funcionalidade citada é definida como a aptidão de manter a maioria dos processos da sociedade em ativa. Para que seja possível preservar a estrutura de maneira diversificada, com o intuito de habilitar a defesa contra impactos futuros, e criar um novo equilíbrio pelo menos tão resiliente quanto o anterior. (Saccaro Júnior e Coelho Filho 2016)

Tais alterações ambientais, que em casos mais severos, se não previstas ou analisadas, podem se transformar em tragédias que não só impedem o desenvolvimento econômico, mas também possui a capacidade de revertê-lo. Para combater a fragilidade supracitada o arcabouço teórico apresentado por Saccaro Júnior e Coelho Filho(2016) apresenta três alicerces cardiais que seriam:

A) Planejamento: Deve existir para que seja possível evitar um círculo vicioso de geração de risco.

B) Legislação: Para que seja possível proporcionar a flexibilidade necessária com a finalidade de combater os contratemplos.

C) Financiamento: Hipoteticamente a ausência do financiamento acarretaria inviabilização das ações cabíveis para o tratamento das adversidades. Entretanto, um financiamento sem controle pode elevar não só os riscos já existentes, mas também os impactos.

Saccaro Junior e Coelho Filho(2016) destacam a desigualdade social como um fator agravante para a redução da resiliência. Em casos mais extremos e nocivos como o já



conhecido aspecto da pobreza, a população que é submetida a essa condição se torna vulnerável a eventos extremos, como o caso do rompimento da barragem em Mariana. Esta vulnerabilidade é responsável por causar direta ou indiretamente uma menor eficiência energética, maior impacto em ecossistemas e menor capacidade de organização do ecossistema.

De acordo com Saccaro Junior e Coelho Filho (2016) existem diversas categorias de risco que podem determinar a ocorrência de desastres. Entretanto, o mais interessante a ser citado é o risco tecnológico, que é o principal responsável por causar o rompimento de barragens. Tal risco tecnológico é elevado quando acrescentado a um relevo natural, fatores esses que estão presentes na tragédia em Mariana, Minas Gerais.

Os autores Saccaro Junior e Coelho Filho (2016), analisam de maneira detalhada o caso de Mariana, informando sua baixa resiliência local. A Samarco, até a data do desastre, não havia instalado nenhum sistema de aviso eficiente para as comunidades próximas. Os órgãos que licenciaram o projeto de mineração, também não contavam com uma estrutura de fiscalização capacitada de fiscalizar e monitorar, a rotina presente na rotina de mineração e os níveis de segurança necessários.

As análises de qualidade realizadas na água, após o desastre, demonstraram substâncias na água que não estavam presentes nos relatórios realizados pela Samarco, portanto, as autoridades licitantes e competentes não possuíam ciência da prática supracitada (IBAMA, 2015).

No entanto, os agentes licitantes e competentes deveriam realizar análises na própria mineradora, com o intuito de verificar a veracidade das informações presentes nos relatórios, para que os riscos presentes sejam detectados e remediados de forma imediata, pois essa liberação de lama tóxica impossibilitou processos bióticos e físico-químicos inviabilizando os múltiplos usos de água da cidade (agricultura, indústria e abastecimento domiciliar) e também pelos ecossistemas. (Saccaro Júnior e Coelho Filho, 2016)

Outro risco presente no município que ficou mais evidente com a tragédia de Mariana foi a dependência com a atividade mineradora. Como supracitado no capítulo de introdução, grande parte do PIB do município era decorrente desse setor. Nota-se na época a paralisação das atividades econômicas e o agravamento da pobreza e ausência de recursos, o que caracteriza esse caso como uma falta de resiliência. No caso de Mariana seria interessante procurar aumentar o grau de diversidade econômica, dado que é necessário buscar a reconstrução, mas também aprender com o passado. (Saccaro Júnior e Coelho Filho, 2016)

A busca por resiliência é, portanto, fundamental para tornar o tecido urbano e rural adaptável, preparado para desastres. Em um cenário onde é possível esperar o melhor cenário, mas que também seja possível possuir um nível de proteção contra desastres ambientais. (Sacarro Júnior e Coelho Filho, 2016)

Segundo Sacarro Júnior e Coelho Filho (2016), os dados a respeito dos desastres naturais anteriores são de suma importância. Entretanto, os autores expõem o raciocínio que somente os dados não promovem a diferença se não forem acompanhados de ações como o aumento da capacidade de suportar choques e aproveitamento de oportunidades de crescimento.

Saccaro Júnior e Coelho Filho (2016) citam as seguintes medidas como imprescindíveis para criação e desenvolvimento de resiliência:

A) Incentivar investimentos públicos e privados em tecnologias voltadas para o setor ambiental de gerenciamento de riscos e desastres;

B) Promover a cooperação entre entidades privadas, governamentais e acadêmicas voltadas ao desenvolvimento científico;

C) Fortalecer a capacidade técnica e científica para produzir e consolidar o conhecimento existente;

D) Compartilhar informações e experiências entre o governo, sociedade civil, setor privado, e academia;

E) Aprimorar mecanismos que permitam monitorar os locais de risco, ou seja, indicadores.

Além disso, o Brasil já possui a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma ferramenta idealizada para apoio de tomada de decisões com múltiplas variáveis especialmente relacionadas com materiais e energia. A ACV possui um potencial imensurável se utilizada corretamente, não só para nortear ações em prol da busca de resiliência, mas também para confirmar a fidedignidade de mudanças imprescindíveis em toda estrutura atual. (Sacarro Júnior e Coelho Filho, 2016)

Segundo Coelho et al (2015), a utilização da ACV fortalece os já citados anteriormente argumentos e reflexões a respeito da resiliência. Além disso, porta a capacidade de indicar melhorias ao nível estrutural de maneira quantitativa e qualitativa. Também podem ser verificadas indicações ao nível governamental, indicando possíveis falhas e travamentos existentes do arcabouço institucional e legislativo.

### 2.2.2 Conceitos geológicos

Segundo Parizzi (2014), o risco geológico é definido como possibilidade de um processo geológico ou fenômeno causar óbitos, lesões. E outras perdas tanto no âmbito econômico quanto no social e ambiental, como foi o caso de Mariana.

A vulnerabilidade, segundo a autora supracitada, é definida como um indicador que mensura o grau de perda de um dado elemento ou grupo de risco, dentro de uma área afetada por algum processo derivado de um risco geológico.

De acordo com Marcelino (2008), os desastres possuem duas classificações possíveis, sendo elas os grupos naturais ou humanos. Contudo, segundo o Parizzi (2014) também tem-se o grupo de desastres mistos. No quadro 01 abaixo pode-se visualizar um resumo das classificações de desastres.

Quadro 01: Classificações de desastres

Desastres Naturais	Derivados diretamente de um fenômeno natural de grande intensidade.
Desastres Humanos	Originados de ações ou omissões humanas, a queda da barragem de Mariana é classificada nesta categoria.
Desastres Mistos	União das duas categorias supracitadas, onde as ações ou omissões humanas potencializam um fenômeno natural.

Fonte: Marcelino, E.V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos básicos** (2008)

Segundo Parizzi (2014), a intensidade dos desastres depende em grande escala do grau de vulnerabilidade dos cenários. Tal definição apresenta raciocínio semelhante com a resiliência citada anteriormente nesta seção. Uma área mais vulnerável, ou menos resiliente, apresenta mais riscos e exposição a possíveis perdas decorrentes de potenciais desastres.

A Carta de Risco é um instrumento interessante para a distribuição de risco, classificação e possíveis medidas de segurança. O cadastramento do risco é a etapa onde são projetadas as possíveis regiões sujeitas a risco, com indicação de grau de risco e possíveis danos, que devem ser acompanhadas de esboços e fotografias locais. O zoneamento de risco é a próxima etapa presente na formulação da carta risco, esse estágio compreende a delimitação das zonas de grau de risco geológico, estabelecendo as classes de risco (Cerri e Amaral, 1998).

De acordo com Cerri e Amaral (1998), as Cartas de Risco possuem quatro domínios que são o risco alto, risco moderado, risco baixo e risco inexistente. As cartas supracitadas devem acompanhar um relatório técnico e as documentações cabíveis. Além disso, é necessário acompanhar um mapa de delimitação de domínios para nortear os formuladores de política a respeito de soluções geológicas com intuito de prevenir futuros acidentes.

A equipe de prevenção de acidentes deve realizar os procedimentos necessários, baseando-se em três principais metas, que seriam a eliminação ou redução dos riscos, evitar a propagação ou agravamento do risco já existente e convivência com os riscos atuais. (Cerri e Amaral 1998)

### 3 METODOLOGIA

O capítulo fundamenta-se na exposição da metodologia. Na primeira subseção desempenha-se descrição e atualização paramétrica, a segunda subseção apresenta as equações de previsão.

#### 3.1 MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL

Esta seção foi retirada integralmente do trabalho de Zanini (2012). Nesta seção apresenta-se a descrição e atualizações dos parâmetros utilizados no trabalho, e também a formulação das equações de previsão.

##### 3.1.1 Descrição e atualização paramétrica

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma dada variável, ordenadas segundo o parâmetro de tempo, geralmente em intervalos equidistantes, e que apresentam uma “dependência serial” (correlação) entre eles. O objetivo da análise, então, é estimar uma equação matemática que expresse a correlação dos dados históricos de forma que se possa projetá-los para um horizonte futuro.

Feitas estas considerações, salienta-se que uma breve descrição do método de amortecimento exponencial será feita a partir deste momento. Para este fim, imagine-se que o conjunto de observações  $Z_1, Z_2, \dots, Z_T$  seja uma série temporal de tamanho “T”.

Suponha-se agora que esta série represente um produto de determinada empresa cuja demanda mensal não apresenta uma variação significativa no seu nível ao longo do tempo, ou seja, não ocorrem mudanças no nível de venda com o tempo ou, se ocorre, são variações pouco significativas. Então, para este produto, a equação de previsão pode ser representada por:

$$Z_t = a(T) + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Onde:

$Z_t$  = venda no período  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ );

$a(T)$  = parâmetro representativo do nível médio das vendas no instante  $T$ ;

$\varepsilon_t$  = erro de previsão e  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

É importante observar que, dada as características deste produto (nível de venda mais ou menos constante), a estimativa ( $\hat{a}(T)$ ) para o parâmetro “a” na equação (3.1) fornece exatamente uma previsão para o produto em questão. Sendo assim, salienta-se que este parâmetro pode ser estimado de diversas maneiras possíveis. Dentro de uma lógica “autoprojetiva”, poder-se-ia estimá-lo, por exemplo, através do **modelo ingênuo** (ou *naive*) e que utiliza como previsor o último dado conforme indicado pela equação (3.2) abaixo:

$$\hat{Z}_T(\tau) = Z_T \quad (3.2)$$

Onde:

$\hat{Z}_T(\tau)$ : previsão para  $Z_T$ ,  $\tau$  passos-à-frente (ou previsão de  $Z_{T+\tau}$  feita no instante T);

$Z_T$ : último dado disponível

$\tau$ : horizonte de previsão

Outras maneiras poderiam também ser utilizadas para estimar o parâmetro “a” na equação (3.1). Poderiam ser utilizadas uma **média** ou uma **média móvel** dos dados históricos (equações (3.3) e (3.4) respectivamente).

$$\hat{a}(T) = \bar{Z}_T = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T Z_i \quad (3.3)$$

$$\hat{a}(T) = MM(N) = M_T = \frac{Z_T + Z_{T-1} + Z_{T-N+1}}{N} \quad (3.4)^1$$

Onde:

MM(N): média móvel de tamanho N.

É importante observar que, tanto na média quanto na média móvel, existe uma desvantagem que diz respeito ao fato de que todos os dados entram com o mesmo “peso”, ou seja,  $1/N$ . O método de amortecimento exponencial vem suprir esta “deficiência”, ou seja, neste método, é possível dar pesos diferenciados de acordo com a “idade” da informação. A seguir é desenvolvida esta idéia.

O objetivo consiste em montar um “sistema” o qual possa reestimar os parâmetros do modelo a cada período de tempo incorporando a informação mais recente. Sabe-se que, ao final do período T, tem-se duas informações básicas disponíveis:

- 1 - A estimativa de “a” feita no final do período anterior  $\hat{a}(T-1)$ ;
- 2 - O último dado disponível  $Z(T)$ ;

---

<sup>1</sup>É fácil verificar que  $M_T = M_{T-1} + \frac{Z_T - Z_{T-N}}{N}$ .

Desta forma, o que se quer é utilizar estas informações para calcular uma estimativa atualizada do nível de venda:  $\hat{a}(T)$ . A proposta para a solução do sistema é fazer uma modificação na estimativa velha ( $\hat{a}(T-1)$ ) do nível por uma fração do erro de previsão resultante do uso desta estimativa para o dado mais recente. Sabendo que o erro de previsão no último período pode ser definido como  $\epsilon(T) = Z(T) - \hat{a}(T-1)$ , a formulação matemática para esta proposta está representada na equação abaixo:

$$\hat{a}(T) = \hat{a}(T-1) + \alpha*[Z(T) - \hat{a}(T-1)] \quad (3.5)$$

$$\hat{a}(T) = \alpha*Z(T) + (1 - \alpha)*\hat{a}(T-1) \quad (3.6)$$

Para simplificar a notação, define-se que  $\hat{a}(T) \equiv S_T$ . Desta forma, reescrevendo a equação (3.6) acima tem-se que:

$$S_T = \alpha*Z_T + (1 - \alpha)*S_{T-1} \quad (3.7)^2$$

Onde:

$S_T$  = valor amortecido da série;

$\alpha$  = constante de amortecimento ou hiperparâmetro (número entre 0 e 1).

Ressalta-se que esta formulação (3.7) indica a idéia básica do método de amortecimento exponencial e indica que para se fazer uma atualização automática do parâmetro “a”, que representa o nível de vendas na equação (3.1), será feita uma combinação convexa<sup>3</sup>, onde é dado um peso  $\alpha$  para o “presente” (último dado) e um peso  $(1 - \alpha)$  para o “passado” (estimativa anterior para o nível e que pode ser obtida de várias formas como, por exemplo, uma média, uma média móvel, dentre outras)<sup>4</sup>.

Em síntese, no método de amortecimento exponencial é possível dar pesos diferenciados para a “idade” da informação. Isto é, para séries mais “nervosas” (maior variância) pode se dar um peso maior para informações mais recentes, ao passo que para séries mais “comportadas” (menor variância) pode se ponderar de forma igual tanto dados presentes quanto dados passados. Uma extensão deste modelo pode ser feita quando se inclui

<sup>2</sup>A equação (3.7) é também conhecida como Modelo de Brown.

<sup>3</sup>A soma é igual a 1.

<sup>4</sup>Para mais detalhes, ver MONTGOMERY & JOHSON (1990). Como um exemplo, imagine que se esteja trabalhando com dados mensais no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2005. Neste caso, a equação (3.6) informa que a atualização do parâmetro de nível (portanto a previsão para o dado de janeiro de 2006, dado que o modelo para as vendas é constante) será feita dando-se um peso  $\alpha$  para o dado de dezembro e um peso  $(1 - \alpha)$  para a última estimativa feita para o dado de dezembro de 2005 (feita obviamente em novembro de 2005).

parâmetros de tendência e sazonalidade para modelar o comportamento de determinada série temporal. Obviamente, são elaborados também procedimentos de atualização destes parâmetros mas sempre conservando a idéia de dar pesos diferenciados para “presente” e “passado”, ou seja, fazendo-se:

$$\alpha * \textit{Presente} + (1-\alpha) * \textit{Passado}$$

Como dito anteriormente, a equação (3.1) pode ser utilizada para modelar o comportamento de uma série que apresente um comportamento mais ou menos constante, ou seja, sem grandes variações no nível. Entretanto, este modelo torna-se inadequado na presença de alterações do nível da série, ou seja, na presença de um componente de tendência.

Para uma série que apresente oscilações no nível com o tempo, atenta-se que um modelo mais adequado é aquele representado na equação (3.8) a seguir<sup>5</sup>:

$$Z_t = (a_1(T) + a_2(T) * t) + \varepsilon_t \quad (3.8)$$

Onde:

$a_1(T)$ : parâmetro de nível no instante T;

$a_2(T)$ : parâmetro de tendência no instante T;

t: variável tempo (t = 1, 2, ..., T sendo T é a quantidade de dados existentes);

$\varepsilon_t$  é o erro de previsão e  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

É importante salientar que um sistema de atualização paramétrica similar ao evidenciado na equação (3.7) será aplicado sobre os parâmetros da equação (3.8). Este modelo é conhecido como **Modelo de Holt-2Parâmetros**. A atualização dos parâmetros pode ser feita de acordo com as equações (3.9) e (3.10) a seguir:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha * Z_T + (1 - \alpha) * \left[ \hat{a}_1(T-1) + \hat{a}_2(T-1) \right] \quad (3.9)$$

$$\hat{a}_2(T) = \beta * \left[ \hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1) \right] + (1 - \beta) * \left[ \hat{a}_2(T-1) \right] \quad 3.10)$$

Pode-se observar que as equações acima contêm a mesma idéia de se ponderar “presente” e “passado” para se fazer a atualização dos parâmetros. Entretanto, vê-se que são usadas duas constantes de amortecimento ( $\alpha$  e  $\beta$ ), uma para o parâmetro de nível ( $a_1$ ) e outra para o parâmetro de tendência ( $a_2$ ).

---

<sup>5</sup>Verifique que, diferentemente da equação (3.1), existem agora dois parâmetros e por isto é feita a diferença entre  $a_1$  e  $a_2$ .



Na equação (3.9), observa-se que a atualização do parâmetro de nível é feita dando um peso  $\alpha$  para o dado real mais recente e um peso  $(1 - \alpha)$  para a última estimativa feita para o nível que é composta por:  $\hat{a}_1(T-1)$ , estimativa feita para o nível no instante anterior (T-1), mais  $\hat{a}_2(T-1)$ , que é a estimativa feita para a tendência também no instante anterior (T-1). Ora, “nível mais tendência (taxa de crescimento)” dá exatamente uma estimativa de um novo nível, sendo que (T-1) indica que este cálculo foi feito no instante anterior. Em resumo, na atualização do parâmetro de nível, dá-se um peso para o último dado (que fornece uma representação real e atualizada, portanto, “presente ou recente” para o nível) e um outro peso para um valor estimado para este nível quando se estava no momento anterior (portanto, “passado”).

Já na equação (3.10), atualização do parâmetro de tendência, vê-se que é dado um peso  $\beta$  para a diferença entre a nova estimativa do nível (calculada na equação 3.9) e a última estimativa do nível (feita no instante anterior T-1). Ora, variação de nível é exatamente o que caracteriza um componente de tendência ou taxa de crescimento. Se é dado um peso  $\beta$  para esta estimativa “presente” do parâmetro de tendência, é dado um peso  $(1 - \beta)$  para a última estimativa da tendência feita no instante anterior (T-1).

Percebe-se que, como o objetivo proposto visa desenvolver um modelo autoprojeto ou univariado, é necessário que todos os “fatores” componentes de uma série sejam estimados ou “modelados”. Até o presente momento, foi possível abordar a estimativa de dois parâmetros (nível e tendência). Entretanto, imagine-se ainda que possa existir um certo comportamento periódico das vendas, ou seja, dependendo da época do ano, existe um incremento ou decréscimo nas vendas. Em séries temporais, este comportamento é o que se denomina exatamente por “sazonalidade”, ou seja, um movimento periódico (cíclico) da série no decorrer do tempo. O que se quer dizer é que a série de vendas do produto em questão pode ainda apresentar um comportamento sazonal, ou seja, uma “influência” provocada por determinados períodos do ano sobre seu nível (incluindo obviamente a variação deste nível). Neste caso, o modelo mais adequado pode<sup>6</sup> ser o expresso na equação (3.11):

$$Z_t = (a_1(T) + a_2(T) * t) * \rho_t + \varepsilon_t \quad (3.11)$$

$a_1(T)$ : parâmetro de nível no instante T;

---

<sup>6</sup>É dito “pode” pois a equação apresenta uma sazonalidade multiplicativa, entretanto, pode-se encontrar também uma sazonalidade aditiva.

$a_2(T)$ : parâmetro de tendência no instante T;

t: variável tempo ( $t = 1, 2, \dots, T$  sendo T é a quantidade de dados existentes);

$\rho_t$ : fator sazonal referente ao período t;

$\varepsilon_t$  é o erro de previsão e  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

Este modelo é conhecido como **Modelo de Holt-Winters**. Pode-se observar que na equação (3.11) foi incluído um novo parâmetro para “captar” o efeito da sazonalidade sobre as vendas<sup>7</sup>. Atenta-se que um procedimento de atualização paramétrica similar ao exposto na equação (3.7) será utilizado para atualizar seqüencialmente os parâmetros deste modelo. Este procedimento pode ser visualizado nas equações (3.12) a (3.14) a seguir:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha * \frac{Z_T}{\hat{\rho}_t(T-1)} + (1-\alpha) * \left[ \hat{a}_1(T-1) + \hat{a}_2(T-1) \right] \quad (3.12)^8$$

$$\hat{a}_2(T) = \beta * \left[ \hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1) \right] + (1-\beta) * \left[ \hat{a}_2(T-1) \right] \quad (3.13)^9$$

$$\hat{\rho}_t(T) = \gamma * \frac{Z_T}{\hat{a}_1(T)} + (1-\gamma) * \left[ \hat{\rho}_t(T-1) \right] \quad (3.14)$$

Pela equação (3.12) acima, vê-se que o nível estimado é função da última observação, do fator sazonal estimado no instante anterior (mesmo mês do ano anterior) e estimativas anteriores do nível e tendência. Vê-se que o termo  $\frac{Z_T}{\hat{\rho}_t(T-1)}$  representa a observação no

instante T dessazonalizada. Já pela equação (3.13), observa-se que a taxa de crescimento (tendência) estimada é função dos níveis estimados em T e T-1 e da taxa de crescimento estimada anteriormente<sup>10</sup>. Por fim, pela equação (3.14), vê-se novamente a idéia básica do método de amortecimento exponencial de atualizar os parâmetros do modelo atribuindo pesos diferenciados à “idade da informação”, ou seja, ponderando “presente” e “passado” de forma

---

<sup>7</sup>Existem uma restrição de normalização que faz com que  $\sum_{i=1}^L \rho_i = L$ , onde L é o comprimento do período sazonal. Isto é, caso se esteja trabalhando com dados mensais e um parâmetro de sazonalidade multiplicativo, a soma dos fatores sazonais precisa ser igual a 12 (obviamente pois existem 12 meses em um ano).

<sup>8</sup>Onde  $\hat{\rho}_t$  é o fator sazonal correspondente ao período (mês, trimestre, etc) t.

<sup>9</sup>Trata-se da mesma equação (3.10).

<sup>10</sup>Como visto anteriormente, a constante de amortecimento ( $\beta$ ) é diferente daquela ( $\alpha$ ) usada para atualização do nível.

diferenciada. Esta equação indica que o fator sazonal correspondente ao período  $T$  é função do fator sazonal correspondente ao mesmo período no ano anterior e também da última observação. Logo, observa-se que o fator sazonal correspondente a um certo “mês”, por exemplo, só é atualizado uma vez por ano, ao se receber o dado referente àquele “mês”. Pode-se observar também que existem três constantes de amortecimento ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ), uma para cada parâmetro (nível, tendência e sazonalidade) a ser atualizado.

Em relação às constantes de amortecimento, é importante ressaltar que existem procedimentos de otimização implementados nos *softwares* que permitem a determinação dos valores destas. Importante registrar, também, que existe apenas um valor para cada uma das constantes de amortecimento e este valor é encontrado utilizando o histórico de dados sob análise. Portanto, a constante de amortecimento pode ser definida como uma quantidade fixa que é utilizada para fazer a atualização seqüencial dos parâmetros. Este conceito caracteriza o modelo obtido através do método de amortecimento exponencial como um modelo com “validade local”, ou seja, a cada instante de tempo, a cada dado real que chega, é feita uma atualização dos parâmetros do modelo com base nas equações descritas anteriormente, sendo que os fatores responsáveis por esta atualização são exatamente as constantes de amortecimento ou hiperparâmetros.

Em determinadas situações, faz-se mister intervir nos valores projetados por um modelo do tipo Holt (equação 3.8). No modelo de Holt, vê-se que são estimados dois parâmetros, um para o nível e outro para a tendência. Dependendo da “magnitude” do parâmetro de tendência, pode-se gerar previsões “explosivas” (muito altas) no horizonte de previsão. Uma maneira de se corrigir este problema, é realizar o que se denomina de *damped trend*. Neste procedimento, inclui-se mais um hiperparâmetro no modelo conforme a equação 3.15 a seguir. Esta equação já representa a equação de previsão. Vê-se que a função deste hiperparâmetro é reduzir a tendência no horizonte de previsão.

$$Z_t = \hat{a}_1(T) + \sum_{j=1}^{\tau} \varphi^{j-1} * \hat{a}_2(T) * \tau + \varepsilon_t \quad (3.15)$$

### 3.1.2 Equações de previsão

É importante entender que, na seção anterior, foram apresentados os modelos de amortecimento exponencial e as conseguintes equações de atualização paramétrica. Desta forma, é importante que se tenha em mente a forma da equação que gerará as previsões. Para cada um dos casos (vendas constantes, vendas com tendência e vendas com tendência e sazonalidade), a equação de previsão é apresentada a seguir:

$$\hat{Z}_t(\tau) = \hat{a}_1(T) + \varepsilon_t \quad (3.16)$$

$$\hat{Z}_t(\tau) = \hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T) * \tau + \varepsilon_t \quad (3.17)^{11}$$

$$\hat{Z}_t(\tau) = \left( \hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T) * \tau \right) * \rho_{p(T+\tau)}^{\wedge(T)} + \varepsilon_t \quad (3.18)^{12}$$

Onde:

$\hat{a}_1(T)$  = estimativa do parâmetro de nível atualizado no instante T

$\hat{a}_2(T)$  = estimativa do parâmetro de tendência atualizado no instante T

$\rho_{p(T+\tau)}^{\wedge(T)}$  = estimativa do parâmetro de sazonalidade referente ao mês T+ $\tau$ , atualizado até o instante T.

$\tau$  = horizonte de previsão

O procedimento de *damped trend* pode ser também aplicado ao modelo de Holt-Winters. Portanto, a introdução do parâmetro  $\phi$  (equação 3.15) pode ser também feita na equação 3.18.

<sup>11</sup>Notação para quando há deslocamento de origem. Caso contrário faz-se (T+ $\tau$ ).

<sup>12</sup>Idem.

## 4 RESULTADOS E BASE DE DADOS

Neste capítulo apresenta-se a base de dados utilizada. Em sequência, são apresentados os resultados obtidos na execução do trabalho.

### 4.1 Base de Dados

Os dados utilizados neste trabalho referentes ao setor agrícola são oriundos da Pesquisa Agrícola Municipal(PA). Tal pesquisa é realizada pelo IBGE e disponibilizada na plataforma do Sistema IBGE de Recuperação Automática(SIDRA). A Plataforma supracitada apresenta dados referentes a área agrícola entre 1974 e 2019.

O trabalho abordou as variáveis *área plantada* e *área colhida*. A análise ocorreu apenas nestas duas variáveis, visto que as demais variáveis presentes na Pesquisa Agrícola Municipal, ou não apresentam valores disponíveis, ou estão em formato de percentual do total geral.

A periodicidade de todas as variáveis e seus respectivos dados são disponibilizados pela plataforma a nível anual, entre os anos de 1974 a 2019 sendo atualizados por último em Outubro de 2020(SIDRA). Entretanto, a variável *área plantada*, seja em nível de hectares ou percentual geral só apresenta dados a partir de 1988.

### 4.2 Resultados

O propósito final do trabalho é observar o efeito do evento do desastre ambiental de Mariana(MG) e realizar previsões para cenários distintos de 2020 a 2022. Para alcançar o objetivo supracitado, são utilizados três cenários. Em primeira instância é realizada a estimação do modelo sem considerar a modelagem de eventos. No segundo momento, utiliza-se a modelagem de eventos para verificar o efeito sobre os parâmetros do modelo. Em terceiro e último momento, aplica-se a modelagem de eventos no horizonte de previsão.

Com o objetivo de estruturar as previsões, são criados três cenários:

- a) Cenário I: Sem modelagem de eventos;
- b) Cenário II: Com modelagem de eventos, capta o efeito dos eventos na série histórica, mas sem a aplicação destes eventos no futuro;

- c) Cenário III: Com modelagem de eventos e come ventos no futuro, isto é, o efeito dos eventos é aplicado considerando a permanência do efeito desastre em 2019 até 2022.

Para gerar as previsões estimou-se o modelo de Holt<sup>13</sup>, em sua estrutura encontram-se parâmetros de nível e tendência. Para os cenários II e III inclui-se o parâmetro multiplicativo do efeito evento.

Em primeira instância analisa-se a variável *área colhida*. A tabela 1 apresenta informações a respeito dos parâmetros e hiperparâmetros dos modelos. É importante salientar que, de acordo com as informações apresentadas no capítulo 3, tem-se que no MAE são estimados diversos parâmetros através dos hiperparâmetros que são utilizados na equação de atualização paramétrica<sup>14</sup>.

Na tabela 1 são expostos apenas os últimos valores estimados em dezembro de 2019, data correspondente ao último dado disponível. Através desta tabela pode-se visualizar o efeito multiplicador do evento, desastre ambiental de Mariana(MG). Focando no cenário II e III é possível visualizar que o efeito evento altera o valor dos parâmetros. Verifica-se por exemplo, um decréscimo nos valores do parâmetro tendência nos cenários II e III se comparados com o cenário I. Para os hiperparâmetros de nível dos cenários II e III que são idênticos, nota-se que são levemente superiores ao hiperparâmetro nível do cenário I. No entanto, a lógica da ponderação se mantém, isto é, ao se atualizar os parâmetros de nível, dá-se um peso maior para o presente do que para o passado.

O contrário acontece ao se atualizar os parâmetros de tendência e evento, onde dá-se um peso menor para o presente, em relação ao passado. É importante observar que os valores dos parâmetros e hiperparâmetros para os cenários II e III são idênticos, isso acontece pois não existe uma mudança nos dados históricos, apenas a adição de uma variável para captar o efeito do evento. Assim como já supracitado, o cenário II capta o efeito evento na série histórica, sem a aplicação destes eventos no futuro. Já no cenário III o efeito evento é captado e aplicado no horizonte de previsão.

---

<sup>13</sup> Equação 3.8 do capítulo 3.

<sup>14</sup> Equações 3.9 e 3.10 do capítulo 3.

Tabela 1: Parâmetros e Hiperparâmetros *área colhida*

Cenários	Parâmetros			Hiperparâmetros		
	Nível	Tendência	Evento	Nível	Tendência	Evento
I	267,47	-0,00082434	-	0,98422	0,00001	-
II	279,20	-0,016563	0,95846	0,98658	0,00001	0,16144
III	279,20	-0,016563	0,95846	0,98658	0,00001	0,16144

Fonte: Elaboração do autor

As equações de previsão da variável *área colhida* são apresentadas a seguir na tabela 2, tendo como base os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 2: Equações de previsão variável *área colhida*

Cenários	Equações de previsão
I	$Z_t = (267,47 + 0,98422 * \tau)$
II	$Z_t = (279,20 + 0,98658 * \tau) * 1$
III	$Z_t = (279,22 + 0,98658 * \tau) * 0,95846$

Fonte: Elaboração do autor

Ao observar a equação de previsão no cenário III verifica-se que o evento apresenta fator multiplicativo menor que 1, isto é, impacta negativamente a variável *área colhida*. O fator de impacto do evento é igual a 0,95846. Este fator apresenta uma redução de aproximadamente 4% de hectares.

Em relação a fidedignidade estatística dos modelos foi utilizado o teste de Ljung-Box ou Portmanteau sobre a estrutura de correlação dos resíduos dos modelos. É possível verificar na tabela 3, que o modelo aceita a hipótese de nula de erro descorrelatado<sup>15</sup>.

Tabela 3: Estatísticas de testes para fidedignidade estatística *área colhida*

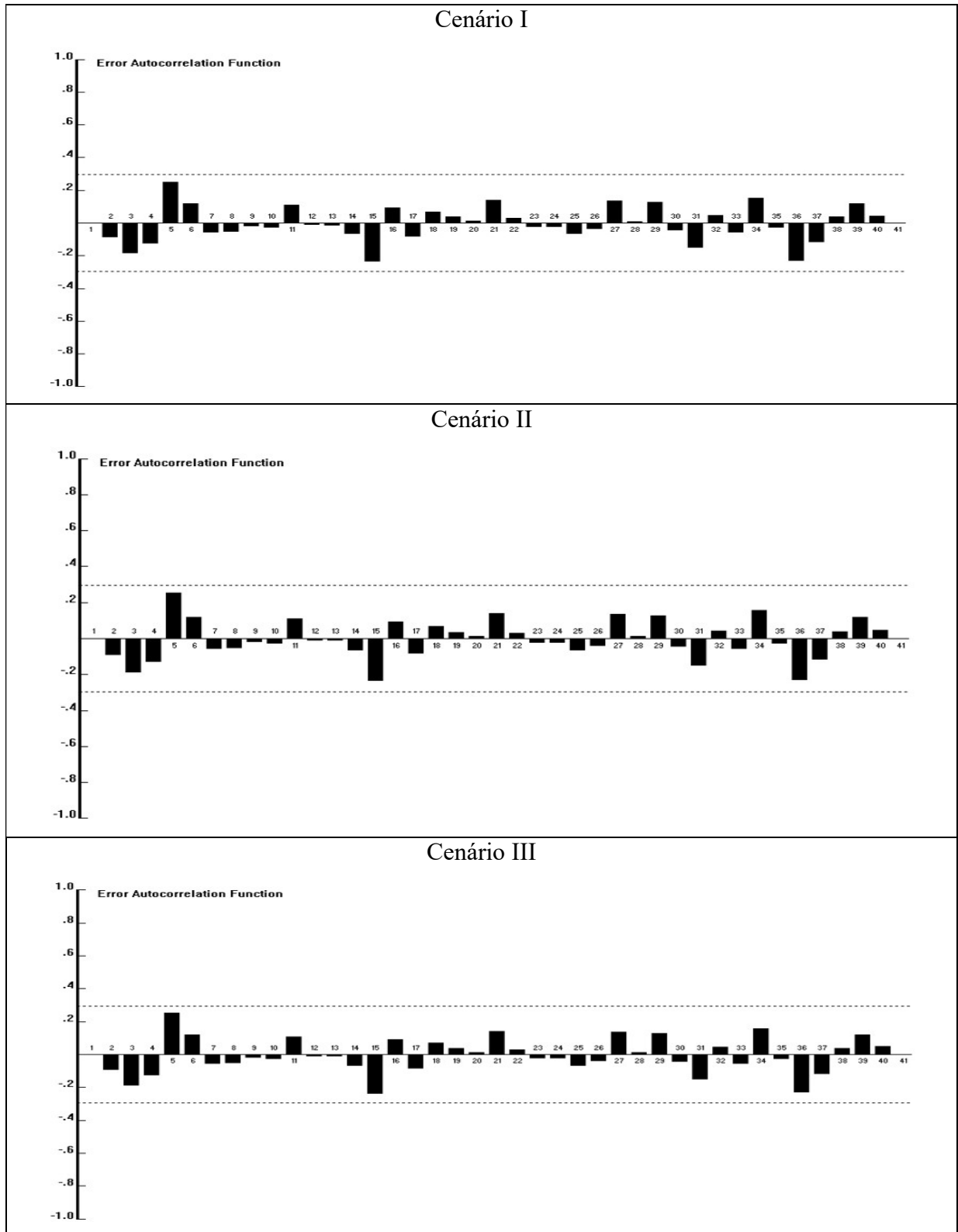
Cenários	Teste de hipótese	P-valor
I	Ljung-Box(18) = 14,6	P=0,3109
II	Ljung-Box(18) = 16,4	P=0,4355
III	Ljung-Box(18) = 16,4	P=0,4355

Fonte: Elaboração do autor

Além disso, na figura 1 apresentada abaixo observa-se que os erros apresentam uma correlação fraca, próxima de zero. Com base nos resultados do teste e nos argumentos supracitados no parágrafo anterior, pode-se afirmar que os modelos estimados são estatisticamente fidedignos.

<sup>15</sup> No FPW aceita-se a hipótese nula quando o p-valor for menor que o Nível de Confiança (NC).

Figura 1: Função de Autocorrelação dos Erros *área colhida*



Fonte: Elaboração do autor

Na tabela 4 visualiza-se o desempenho preditivo dos modelos estimados em todos os cenários. A estatística  $R^2$  ajustado apresenta o poder de explicação do modelo, e a estatística MAPE apresenta o erro médio absoluto percentual do modelo. Os modelos explicam em



média aproximadamente 49% da evolução da variável área colhida no município de Mariana(MG) e possuem um erro médio absoluto percentual em torno de 38%, este é o erro que se comete ao se prever o próximo ano em média. Além disso, observa-se que os cenários II e III apresentam uma queda de qualidade preditiva com um  $R^2$ ajustado menor e MAPE ligeiramente maior em relação ao primeiro cenário.

Tabela 4: Poder de Explicação *área colhida*(percentual)

Cenários	$R^2$ ajustado	MAPE
I	49,17%	38,17%
II	47,99%	38,20%
III	47,99%	38,20%

Fonte: Elaboração do autor

A Tabela 5 abaixo apresenta as previsões em nível anual para o município de Mariana (MG) para os anos de 2020, 2021 e 2022.

Tabela 5: Previsões 2020-2022 *área colhida* em hectares

Cenários	2020	2021	2022
I	267	267	267
II	279	279	279
III	267	267	267

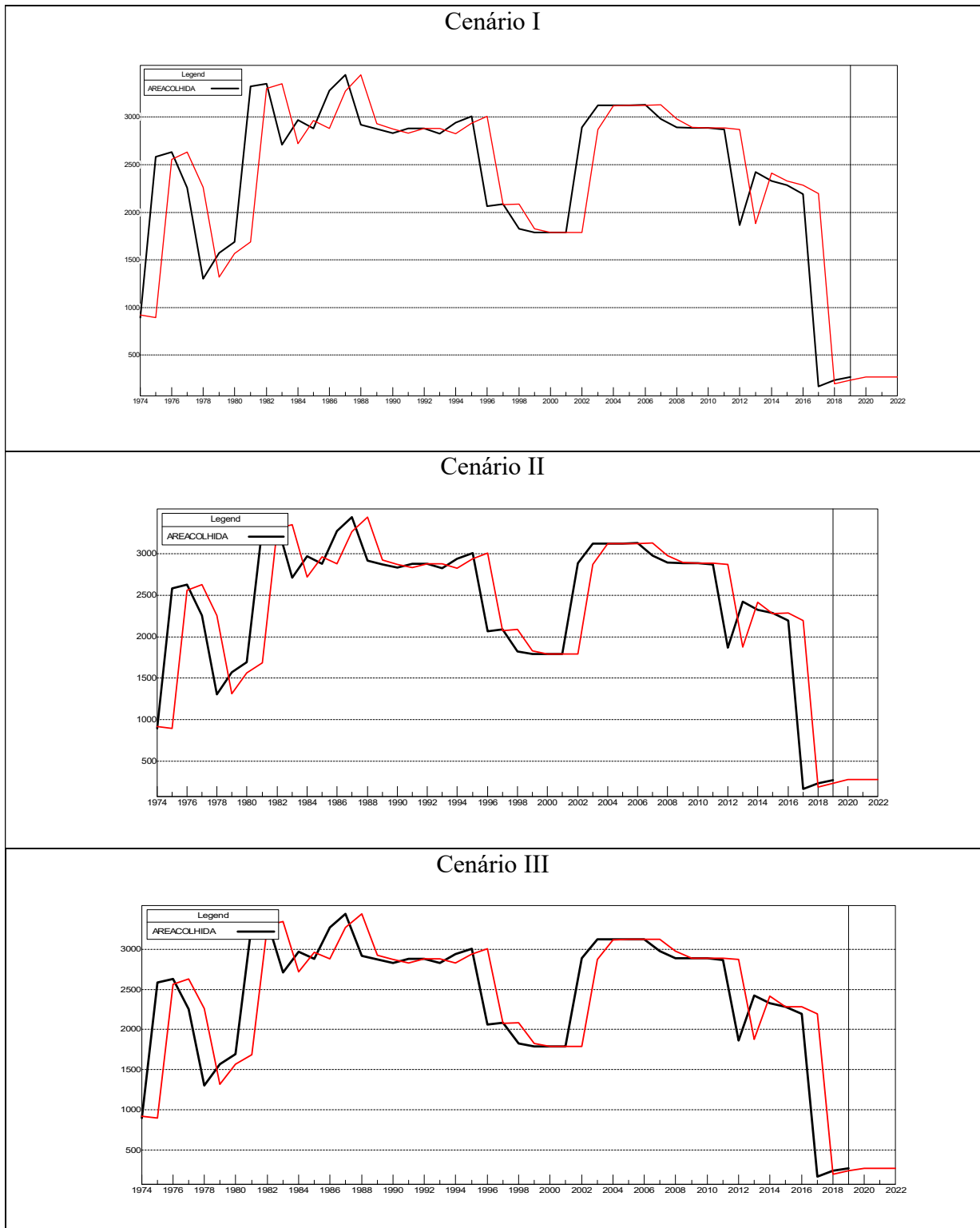
Fonte: Elaboração do autor

Ao analisar a tabela 5 nota-se que as previsões de cada cenário apresentam inércia entre os anos. Verifica-se também que os valores dos cenários I e III são iguais. Para o cenário II tem-se um acréscimo em relação aos dois cenários restantes. Este resultado é coerente com a equação de previsão. Pode-se verificar que, ao introduzir uma variável para captar o efeito do evento, houve um aumento no parâmetro de nível, o que pode ser explicado dado que o efeito do desastre ficou registrado num fator multiplicador. Em sendo assim, ao se fazer a modelagem de eventos, obtém-se um novo valor do parâmetro de nível que é maior.

Além disso, ao visualizar a tabela 4 vê-se que o poder de explicação da variável não é o ideal, o modelo explica menos que 50% da evolução da variável e erra em média 38% ao se prever o próximo ano.

A figura 2 encarrega-se de demonstrar a previsão em nível anual da variável área colhida nos três cenários trabalhados. Ao analisar a figura 2 é possível verificar a queda originada pelo desastre ambiental, todos os três gráficos presentes na figura apresentam um forte decréscimo a partir do ano de 2015.

Figura 2: Previsão da variável *área colhida* em hectares para o município de Mariana(MG) para o período de 2020 a 2022.



Fonte: Elaboração do autor

De maneira análoga a variável *área colhida*, agora será apresentada a análise da variável *área plantada*. A tabela 6 apresenta informações a respeito dos parâmetros e hiperparâmetros dos modelos referentes a variável *área plantada*.

Verifica-se a existência do efeito multiplicador do evento, e assim como para a primeira variável estudada, visualiza-se que o efeito evento também altera o valor dos parâmetros para a variável *área plantada* nos cenários II e III. O parâmetro de tendência dos cenários II e III também apresenta uma queda em relação ao primeiro cenário. Assim como a variável analisada anteriormente, os hiperparâmetros e parâmetros de nível, tendência e evento dos cenários II e III também são idênticos.

A lógica de ponderação analisada na variável *área colhida* para o parâmetro nível se mantém, assim como a lógica para a atualização dos parâmetros tendência e evento. O parâmetro de nível utiliza um peso maior para o presente, já a tendência e evento utilizam um peso menor para o presente em relação ao passado.

Tabela 6: Parâmetros e Hiperparâmetros *área plantada*

Cenários	Parâmetros			Hiperparâmetros		
	Nível	Tendência	Evento	Nível	Tendência	Evento
I	262,61	-49,356	-	0,93351	0,01314	-
II	261,00	-64,625	0,99954	0,92577	0,01095	0,00049
III	261,00	-64,625	0,99954	0,92577	0,01095	0,00049

Fonte: Elaboração do autor

As equações de previsão da variável *área plantada* são apresentadas a seguir na tabela 7, tendo como base os resultados apresentados na tabela 06.

Tabela 7: Equações de previsão variável *área plantada*

Cenários	Equações de previsão
I	$Z_t = (262,61 + 0,93351 * \tau)$
II	$Z_t = (261,00 + 0,92577 * \tau) * 1$
III	$Z_t = (261,00 + 0,92577 * \tau) * 0,99954$

Fonte: Elaboração do autor

Ao analisar a tabela 7, para a variável *área plantada* o evento também apresenta fator multiplicativo menor que 1, impactando negativamente a variável. Este fator apresenta a redução de aproximadamente 1% de hectares.

O teste de Ljung-Box ou Portmanteau também é utilizado para a variável *área plantada* e apresentada na tabela 8 abaixo. O modelo para a variável *área plantada* também aceita a hipótese nula de erro descorrelatado.

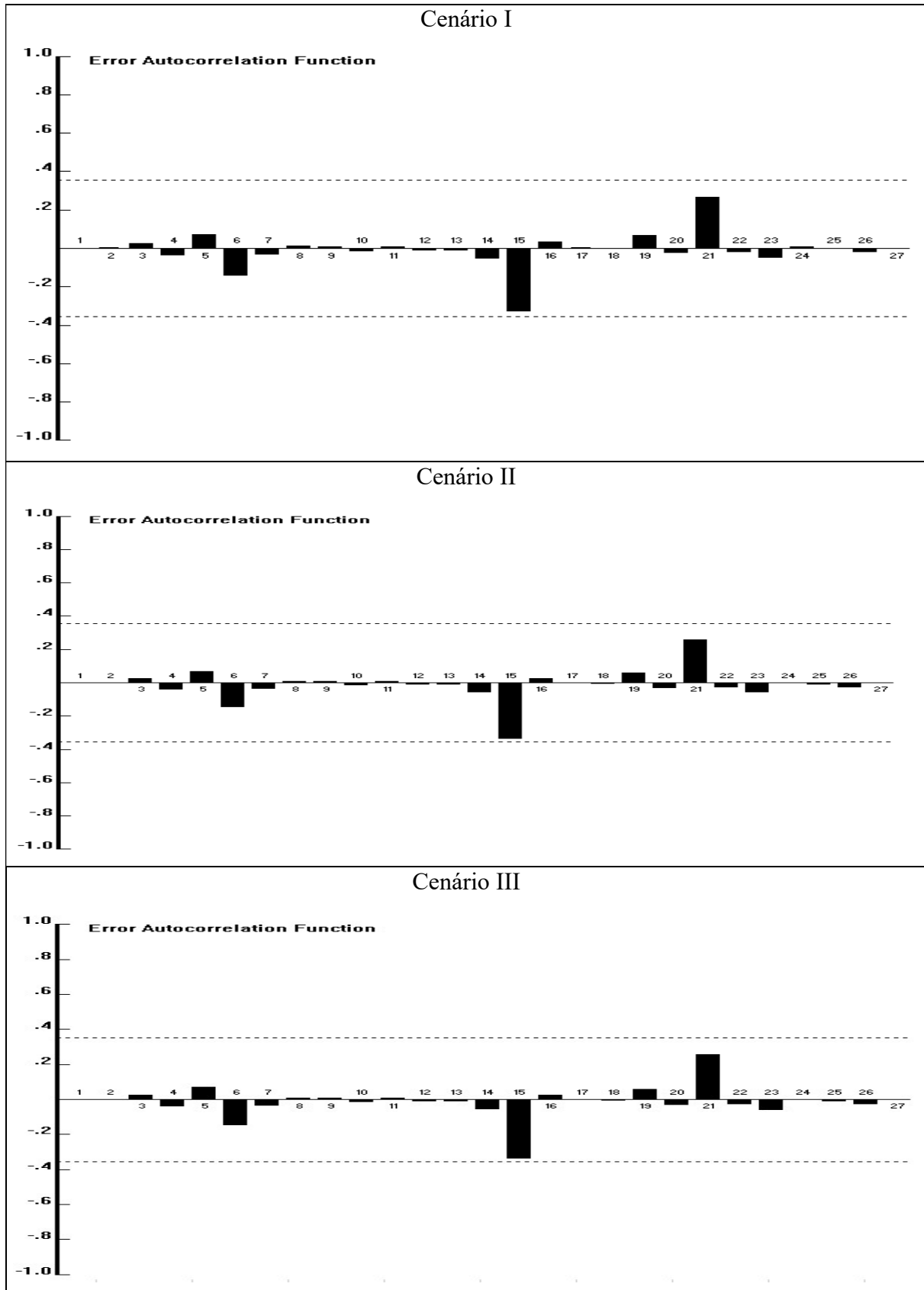
Tabela 8: Estatísticas de testes para fidedignidade estatística *área plantada*

Cenários	Teste de hipótese	P-valor
I	Ljung-Box(18) = 9,056	P=0,04158
II	Ljung-Box(18) = 15,91	P=0,4015
III	Ljung-Box(18) = 15,91	P=0,4015

Fonte: Elaboração do autor

Ao analisar a figura 3 apresentada verifica-se a correlação fraca, próxima de zero, portanto para a variável *área plantada* também observa-se a fidedignidade dos modelos estatísticos.

Figura 3: Função de Autocorrelação dos Erros *área plantada*



Fonte: Elaboração do autor

A tabela 9 apresenta o desempenho preditivo dos modelos estimados em todos cenários. Os modelos explicam em média 62% da evolução da variável *área plantada* e apresentam um erro médio absoluto percentual em torno de 48%. Assim como para a variável analisada anteriormente, os cenários II e III apresentam um  $R^2$  ajustado menor. No entanto, apresentam um pequeno decréscimo da estatística MAPE.

Em relação a variável *área colhida* o modelo apresentou um maior poder de explicação da evolução da variável, mas também apresentou um maior erro médio absoluto percentual.

Tabela 9: Poder de Explicação *área plantada*(percentual)

Cenários	$R^2$ ajustado	MAPE
I	62,49%	48,57%
II	62,02%	48,51%
III	62,02%	48,51%

Fonte: Elaboração do autor

A Tabela 10 apresenta as previsões em nível anual para o município de Mariana (MG) para os anos de 2020, 2021 e 2022. Ao analisar a tabela 10 nota-se que diferente da variável *área colhida* as previsões de cada cenário não apresentam inércia entre os anos. No entanto, verifica-se que os valores dos cenários II e III são iguais. Os cenários II e III apresentam um decréscimo em relação ao cenário I. Portanto, a variável *área plantada* apresenta resultados mais coerentes em relação a variável analisada anteriormente.

Ao visualizar a tabela 10, a variável *área plantada* apresenta o efeito de decréscimo originado pelo evento desastre ambiental nos cenários II e III. No entanto, ao visualizar a tabela 9 tem-se que o poder de explicação da variável também não é o ideal, o modelo explica em torno de 62% da evolução da variável. No entanto, as previsões realizadas possuem um erro médio absoluto percentual em média de 48%, ou seja, o modelo erra em média quase 50%.

Portanto, apesar dos valores previstos serem mais coerentes com os resultados esperados, o modelo para a variável *área plantada* também carece de poder de explicação. A hipótese para tentar explicar tal falha, é a mesma da variável analisada anteriormente, isto é, a falta de dados recentes em relação a área observada no trabalho.

Tabela 10: Previsões 2020-2022 *área plantada* em hectares

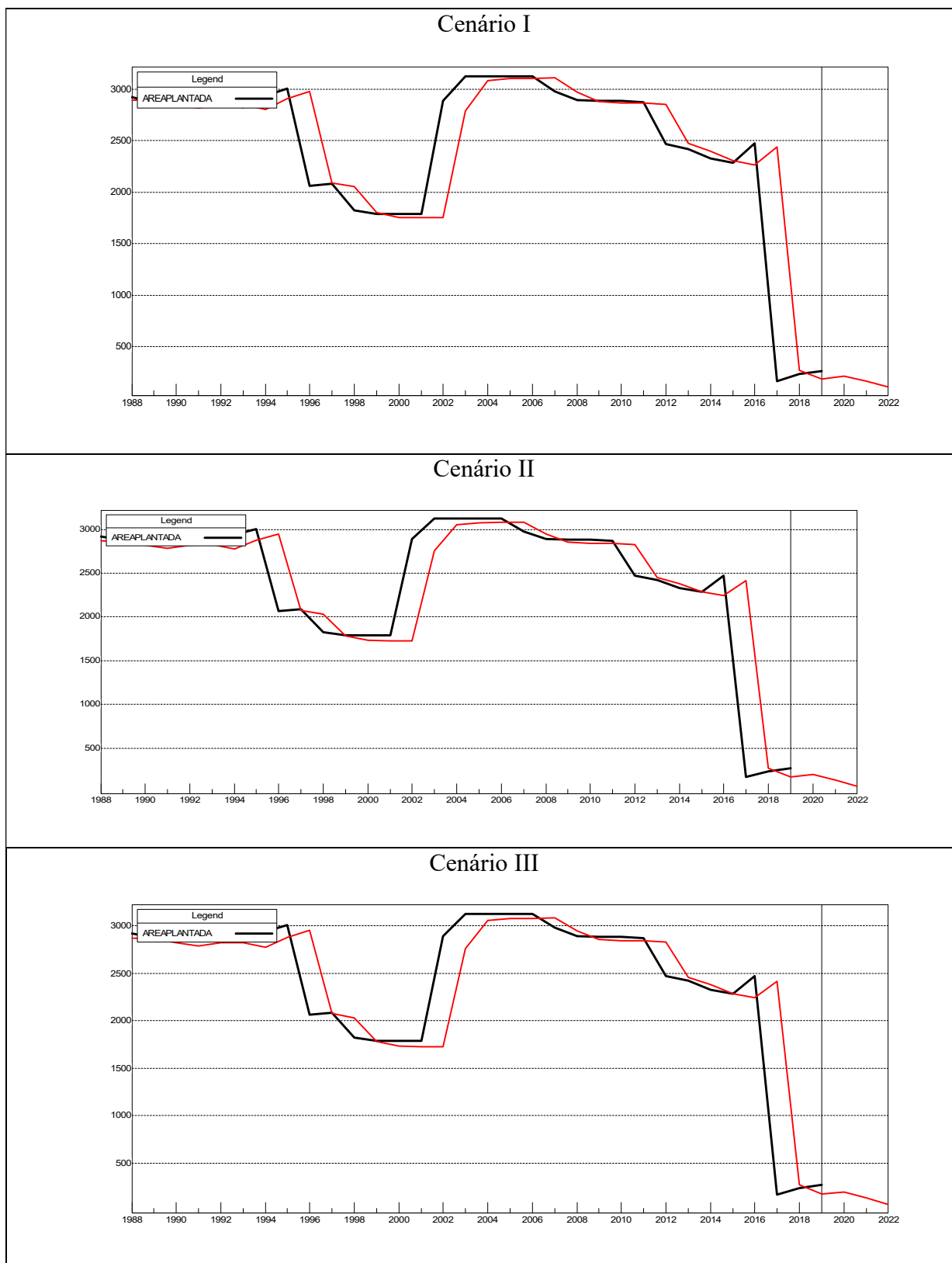
Cenários	2020	2021	2022
I	213	163	114
II	196	131	67
III	196	131	67

Fonte: Elaboração do autor

A figura 4 apresenta a previsão em nível anual da variável *área plantada* nos três cenários trabalhados. Ao analisar a figura 4, também é possível verificar a queda originada pelo desastre ambiental, verificada também na figura 2 analisada anteriormente.

Conclui-se que a variável *área plantada* apresenta resultados de previsões mais concretos em relação ao esperado, sem a inércia ao longo dos anos presente na variável *área colhida* e com decréscimo em relação ao cenário I. A variável *área plantada* apresenta no geral um maior poder de explicação de evolução da variável, em relação a variável estudada em primeira instância. No entanto, também apresenta um maior erro médio absoluto em relação a primeira variável analisada.

Figura 4: Previsão da variável *área plantada* em hectares para o município de Mariana(MG) para o período de 2020 a 2022.



Fonte: Elaboração do autor



## 5 CONCLUSÕES

A realização deste trabalho monográfico permite concluir que o desastre ambiental de Mariana (MG) causou um grande impacto, o que é corroborado ao se visualizar a magnitude do evento nos gráficos de área colhida e área plantada apresentados no trabalho. Além disso, observa-se que os parâmetros de tendência estimados através do MAE para as variáveis em todos os cenários estudados são negativos ou próximos de 0. Isto significa que há uma tendência de queda das variáveis ou uma situação próxima da inércia.

Tendo como base os argumentos e conceitos apresentados no capítulo 2 deste trabalho, tem-se a hipótese onde, caso os responsáveis pelo desastre ambiental de Mariana(MG) trabalhassem com os conceitos de resiliência e vulnerabilidade ambiental, os impactos dos desastres poderiam ser previstos, reduzidos e até impedidos. Tal hipótese tem como pilar as próprias definições dos conceitos. Em síntese, os dois conceitos têm como base adaptar e preparar o tecido ambiental, e mensurar o grau de risco.

Além disso, ainda tendo como base o capítulo 2, seria interessante a adaptabilidade da sociedade em relação as mudanças da utilização de recursos naturais. A sociedade atual encontra-se em um cenário de alta exploração de recursos naturais, o que pode ocasionar casos como o de Mariana(MG). A sociedade exerce uma alta utilização de recursos naturais, mas a capacidade de absorção do meio ambiente permanece a mesma.

Viu-se também que a base de dados disponível no banco de dados do portal SIDRA ainda é muito carente de informações em relação ao período de tempo após o evento. Trata-se de um evento recente.

A indisponibilidade de dados obviamente afeta a estimação dos modelos. Observou-se baixo desempenho preditivo dos modelos estimados. Entretanto, é importante observar que foi possível atingir o objetivo proposto neste trabalho quanto ao estudo e aplicação do Método de Amortecimento Exponencial e verificar sua aplicabilidade na geração de cenários futuros. A partir da análise de eventos, estimou-se um impacto de 4% na área colhida e 1% na área plantada.

Como sugestão de trabalhos futuros, poder-se-ia refazer a análise a partir de uma maior disponibilidade de dados, usando ainda outros métodos de previsão cujos resultados poderiam ser comparados com o deste trabalho monográfico.

## 6 REFERÊNCIAS

- SACARRO JUNIOR, N.L; COELHO FILHO, O. **Cidades Resilientes e o Ambiente Natural: Ecologia Urbana, Adaptação e Gestão de Riscos**. Meio Ambiente e Ecologia Urbana, p. 283-302, IPEA, 2016
- VIANA, J.P, **As Atividades de Pesca e Aquicultura na Bacia do Rio Doce: Subsídios para a mitigação dos impactos socioeconômicos do desastre da Samarco em Mariana, Minas Gerais**, Boletim regional, Urbano e Ambiental, p.104-113, IPEA,2017
- VIANA, J.P, **Os pescadores da Bacia do Rio Doce: Subsídios Para a Mitigação dos Impactos Socioambientais do Desastre da Samarco em Mariana, Minas Gerais**, Nota técnica, IPEA, 2016
- VIANA, J.P, **Teria a Produção da Aquicultura na Bacia do Rio doce Sido Impactada Pelo Rompimento da barragem de Fundão em Mariana (Minas Gerais)?** Boletim Regional, Urbano e Ambiental, p.132-142, IPEA,2020
- COELHO, C.A.S. *et al.* **A seca de 2013 a 2015 na região Sudeste do Brasil. Climanálise – Edição Especial de 30 anos**, p.55-61, 2016. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/%7Erclimanl/revista/pdf/30anos/Coelhoetal.pdf>>
- LEMM – LABORATÓRIO DE ESTUDOS DO MOVIMENTO MIGRATÓRIO; LEIDETEC – LABORATÓRIO DE ESTUDOS DE IDENTIDADES E TECNOCIÊNCIA; GIAIA – GRUPO INDEPENDENTE PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL **Ribeirinhos do Baixo rio Doce** – Relatório preliminar. Jan.-jul. 2016. Mimeografado. Disponível em:<<http://lemm.ufes.br/sites/lemm.ufes.br/files/field/anexo/relatorio.pdf>>
- ZANINI, A. **Métodos Estatísticos de Previsão**. Material didático. 2012
- GIAIA – GRUPO INDEPENDENTE PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL. **Relatório parcial expedição rio Doce**. 2015
- IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Lauda técnico preliminar: impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Brasília: IBAMA, 2015.
- PARIZZI, M. G. **Desastres naturais e induzidos e o Risco Urbano**. Universidade Federal de Minas Gerais, junho, 2014
- CERRI, L.E.; AMARAL, C. **Riscos Geológicos**. 1998. In: Oliveira, A.M dos S., Brito, S.N. (organizadores), Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), 1998, P.301-310.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. 2008. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.

VIEIRA, T. **Economia Ambiental**, Editora e Distribuidora Educacional S.A.,2016

STROPASOLAS, P. **Samarco retoma atividades em Mariana sem dar conta do legado da destruição**, Brasil de Fato,2020. Disponível em:

<https://www.brasildefato.com.br/2020/11/05/samarco-retoma-atividades-em-mariana-sem-dar-conta-do-legado-de-destruicao>

MONTGOMERY, D.C., JOHNSON, L.A., *Forecasting and Time Series Analysis*. New York, McGraw-Hill Book Co., 1990.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal** 1974-2019. Disponível em< <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam>>