



UFC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANA MARCIA BARRETO MOTA DA COSTA

**ANÁLISE E PREVISÃO DE PREÇO DO LEITE COM APLICAÇÃO DE MODELO
DE REGRESSÃO PARA TENDÊNCIA E COMPORTAMENTO SAZONAL**

FORTALEZA

2025

ANA MARCIA BARRETO MOTA DA COSTA

ANÁLISE E PREVISÃO DE PREÇO DO LEITE COM APLICAÇÃO DE MODELO DE
REGRESSÃO PARA TENDÊNCIA E COMPORTAMENTO SAZONAL

Monografia submetida ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C87a Costa, Ana Marcia Barreto Mota da.

Análise e previsão de preço do leite com aplicação de modelo de regressão para tendência e comportamento sazonal / Ana Marcia Barreto Mota da Costa. – 2025.

33 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva.

1. Previsão. 2. Preço. 3. Leite. I. Título.

CDD 630

ANA MARCIA BARRETO MOTA DA COSTA

**ANÁLISE E PREVISÃO DE PREÇO DO LEITE COM APLICAÇÃO DE MODELO DE
REGRESSÃO PARA TENDÊNCIA E COMPORTAMENTO SAZONAL**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma. Área de concentração: Economia Agrícola.

Aprovada em: 28/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cícero Francisco de Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Ivan de Oliveira Holanda Filho
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Ao meu Senhor e salvador Jesus Cristo.
A minha mãe, Ana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de todas as coisas. Sou grata por Seu amor, por ter morrido em meu lugar, pelos meus pecados. Por meio de Jesus, fui resgatada da condenação e recebi a promessa da vida eterna, como está escrito: “*Na verdade, na verdade vos digo que quem ouve a minha palavra, e crê naquele que me enviou, tem a vida eterna, e não entrará em condenação, mas passou da morte para a vida.*” João 5:24.

Agradeço por Deus me colocar exatamente onde preciso estar e suprir todas as minhas necessidades. Foi Ele, inclusive, quem me direcionou a procurar o professor Vitor Hugo para orientar este trabalho de conclusão de curso. O trabalho é recompensador, a família é maravilhosa, mas a vida eterna é o maior de todos os tesouros.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará pelas aulas, pelos conteúdos ministrados e por todo o corpo docente. Agradeço também pelo apoio financeiro, especialmente a Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE) e a Divisão de Gestão de Benefícios e Moradia (DIBEM) pela bolsa de auxílio-moradia e demais auxílios concedidos.

Ao Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva, expresso minha profunda gratidão pela excelente orientação, pela disposição em ajudar, esclarecer dúvidas e acompanhar com dedicação cada etapa deste trabalho. Agradeço também aos participantes da banca examinadora, Prof. Dr. Cícero Francisco de Lima e Ms. Ivan de Oliveira Holanda Filho, pelo tempo dedicado, pelas valiosas contribuições e sugestões. Por fim, agradeço aos colegas da turma de graduação, pelos conselhos, apoio e amizade durante essa jornada.

“Como se atribui a Hipócrates, ‘o leite é um alimento muito próximo da perfeição’”
(EMBRAPA, 2013).

RESUMO

A cadeia primária do leite no Brasil enfrenta diversos desafios, especialmente no que diz respeito à produção e comercialização. Entre os principais entraves, destacam-se a instabilidade do mercado e a carência de informações sistematizadas sobre a dinâmica dos preços ao longo do tempo. Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo preditivo por meio da regressão linear simples e, posteriormente, aprimorá-lo utilizando a regressão múltipla, com o propósito de comparar o desempenho de ambos na previsão dos preços. Para isso, foram utilizados dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), abrangendo o período de dezembro de 2004 a abril de 2025. Os resultados indicaram que o modelo de regressão múltipla, ao incorporar variáveis sazonais, apresentou melhor desempenho preditivo, com acurácia de aproximadamente 68%.

Palavras-chave: Previsão; preço; leite.

ABSTRACT

The primary dairy supply chain in Brazil faces several challenges, especially regarding production and commercialization. Among the main obstacles are market instability and the lack of systematized information on price dynamics over time. In light of this scenario, the present study aimed to develop a predictive model using simple linear regression and, subsequently, to enhance it through multiple regression, with the purpose of comparing the performance of both in forecasting prices. For this, data from the Center for Advanced Studies in Applied Economics (CEPEA) were used, covering the period from December 2004 to April 2025. The results indicated that the multiple regression model, by incorporating seasonal variables, showed better predictive performance, with an accuracy of approximately 68%.

Keywords: Forecasting; price; milk.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Série histórica contendo os preços nominais e reais do leite	25
Gráfico 2	- Preços R\$/saca com base em abril de 2024	26
Gráfico 3	- Modelo com tendência. Previsão e valor observado para o preço do leite (dados de teste).	28
Gráfico 4	- Modelo com tendência e variáveis sazonais. Previsão e valor observado para o preço do leite (dados de teste).	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Estatísticas descritivas do preço	25
Tabela 2	- Resultados do modelo apenas com a variável tendência	27
Tabela 3	- Valores de erro calculados no conjunto de treino	28
Tabela 4	- Resultados do modelo de regressão com tendência e sazonalidade	29
Tabela 5	- Valores de erro calculados no conjunto de teste	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UHT	Ultra-high Temperature
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HZ	Holandês-Zebu
AGF	Aquisição do Governo Federal
EGF	Empréstimo do Governo Federal
PMLS	Programa Mais Leite Saudável
PNQL	Programa Nacional de Qualidade do Leite
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
MAE	Mean Absoluto Error
MSE	Mean Squared Error
RMSE	Root Mean Squared Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$	Reais
%	Porcentagem
R ²	Coeficiente de Determinação
ln	Logaritmo Natural ou Neperiano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Comportamento dos Preços no Setor Agropecuário	16
3	METODOLOGIA	20
3.1	Modelo de regressão linear para estimativa de tendência	20
3.2	Medidas de ajuste e desempenho preditivo	22
3.3	Dados e aspectos computacionais	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Análise descritiva dos dados	24
4.2	Análise dos modelos de regressão e previsões	26
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Compreender a dinâmica dos preços agropecuários é uma tarefa complexa. Ainda assim, os benefícios de entender e antecipar a formação dos preços superam os múltiplos fatores que dificultam essa missão. Este trabalho discute alguns dos principais desafios que comprometem o desempenho da produção leiteira, muitos deles decorrentes da sazonalidade, como: oscilação dos custos de produção, variações climáticas, flutuações na oferta e demanda, além de fatores políticos. Como explicam Hott, Siqueira e Carvalho (2022), a análise de séries temporais é uma ferramenta essencial para investigar o comportamento dos preços ao longo do tempo, permitindo identificar tendências, flutuações sazonais e padrões de oscilação que impactam diretamente a remuneração do produtor. A própria volatilidade e sazonalidade dos preços do leite já justificam, por si sós, a adoção de métodos estatísticos que auxiliem na compreensão da complexidade dessas variações. Avaliar o grau de previsibilidade dos preços é uma etapa fundamental para o planejamento e a tomada de decisões no setor.

Nesse sentido, o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo analisar e modelar dados de uma série temporal dos preços do leite, no período de dezembro de 2004 a abril de 2025, com o intuito de verificar a existência e a significância de componentes de tendência e sazonalidade no comportamento desse preço ao longo do tempo. A relevância de estudos dessa natureza reside na necessidade de desenvolver ferramentas que apoiem os tomadores de decisão do setor, considerando que o leite é um alimento essencial para a dieta humana e integra um segmento estratégico da economia, tanto pela produção de leite UHT, quanto pela fabricação de derivados e subprodutos, como queijos e laticínios.

A hipótese da pesquisa é que os componentes de tendência e sazonalidade são relevantes para a previsão do comportamento oscilatório dos preços do leite, e que sua inclusão em modelos de regressão torna as estimativas mais precisas e coerentes com a realidade da produção primária da cadeia, marcada por variações sazonais e estruturais. Ao considerar esses elementos nos modelos estatísticos, aumenta-se a capacidade preditiva e a aplicabilidade prática das análises, permitindo que produtores e demais agentes tomem decisões mais estratégicas e seguras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A importância da cadeia leiteira no Brasil é visível pela sua colocação no ranking entre os 5 maiores países produtores de leite do mundo, uma produção de aproximadamente 34 bilhões de litros por ano, com produção presente em 98% dos municípios brasileiros e empregando perto de 4 milhões de pessoas segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2025). Em termos econômicos, trata-se de uma das maiores cadeias do agronegócio nacional, com um faturamento de R\$66,30 bilhões em 2004, conforme estimativas de Cônsoli e Neves (2006).

Segundo o art. 475 do Decreto nº 30.691/1952, com redação dada pelo Decreto nº 1.812/1996, entende-se por leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas. Segundo o Dicionário Online de Português (2025), o leite é definido como alimento completo que assegura a subsistência na primeira fase da vida dos mamíferos, graças à sua riqueza em gorduras, proteínas, lactose, vitaminas e sais minerais. Haraguchi, Abreu e Paula (2006) destacam que as proteínas do soro do leite possuem alto valor nutricional e efeitos benéficos à saúde e ao desempenho físico, sendo ricas em aminoácidos essenciais, especialmente os de cadeia ramificada, além de conterem cálcio e compostos bioativos. Estudos indicam que essas proteínas apresentam benefícios para a prática esportiva como estímulo à síntese muscular, redução de gordura corporal e melhorias para a saúde em geral, pelos efeitos antioxidantes, hipotensivos e de controle do colesterol.

Leite de qualidade deve apresentar sabor agradável, alto valor nutritivo, ausência de contaminantes (como antibióticos, pesticidas e resíduos exógenos) e baixa contagem de células somáticas. Para garantir essas características, é fundamental adotar boas práticas de produção, conforme exigido pela legislação e pelos padrões da indústria, assegurando que o leite seja proveniente de animais saudáveis, criados sob manejo adequado do ponto de vista sanitário, social e ambiental. Tais cuidados contribuem para a segurança alimentar e a saúde do consumidor final.

Apesar da reconhecida importância econômica, social e nutricional do leite, a cadeia produtiva enfrenta diversos desafios que comprometem sua estabilidade e crescimento sustentável. Entre os principais entraves estão a volatilidade dos preços, a sazonalidade da produção e os efeitos das políticas públicas sobre a competitividade regional. Compreender essas limitações é essencial para propor soluções que fortaleçam o setor.

2.1 Comportamento dos Preços no Setor Agropecuário

No trabalho realizado por Viana *et al.* (2010), foi analisado o comportamento dos preços históricos do leite no Rio Grande do Sul, com ênfase na identificação de tendência, sazonalidade e ciclos dos preços reais pagos ao produtor. Os autores verificaram que, a partir de 1995, houve um aumento na sazonalidade dos preços, atribuído à abertura comercial do país e à redução significativa do controle governamental sobre o setor, como a extinção de instrumentos reguladores, tais como preços mínimos, Aquisição do Governo Federal (AGF) e Empréstimo do Governo Federal (EGF). Esses mecanismos, presentes nas décadas de 1970 e 1980, atuavam como elementos de estabilidade, amenizando as flutuações sazonais.

Entre os anos de 1973 e 1990, o leite, por representar uma parcela importante da cesta básica, estava submetido a políticas protecionistas que garantiam certa previsibilidade de preços ao produtor. Nesse período, os preços mais elevados eram observados na entressafra, especialmente no mês de julho, quando a oferta diminui devido à escassez de alimentos no inverno. Por outro lado, os menores preços ocorriam nos meses de safra, em especial em janeiro, período de maior produção.

No entanto, com o avanço das reformas econômicas pós-Plano Real e o aumento das importações, especialmente de países do Mercosul, o mercado passou a ser mais suscetível a oscilações externas, resultando em maior instabilidade de preços. Apesar disso, manteve-se o padrão sazonal, em que os preços mais altos ao produtor continuam sendo praticados nos meses de inverno, e os mais baixos, nos meses de verão.

O termo sazonalidade é abordado por Cavalheiro (2003) com base em um levantamento feito por diversos autores, como Pino *et al.* (1994, apud Cavalheiro, 2023), Pierce (1980, apud Cavalheiro, 2023) e Wallis e Thomas (1971, apud Cavalheiro, 2023). Estes últimos a definem como “o conjunto dos movimentos ou flutuações com período igual ou inferior a um ano, sistemáticos, mas não necessariamente regulares” (Wallis e Thomas, 1971, apud Cavalheiro, 2003).

A respeito disso, é válido compreender como diferentes sistemas de produção lidam com a sazonalidade e a volatilidade dos preços. De acordo com a EMBRAPA (2005), os sistemas produtivos leiteiros no Brasil podem ser classificados em três principais tipos: extensivo, semiextensivo e intensivo. O sistema extensivo é o mais utilizado no país, devido à elevada extensão de terras dedicada à pecuária. Apresenta produtividade média por vaca ordenhada inferior a 1.200 litros de leite por ano e caracteriza-se pela alimentação exclusivamente a pasto, suplementado apenas com sal comum. Todavia, a produção

corresponde a 30% do volume nacional. Os rebanhos são constituídos de animais mestiços com alto grau de sangue de raças zebuínas (< ½ HZ) e as vacas são ordenhadas uma vez ao dia, com o bezerro ao pé.

O sistema semiextensivo tem produtividade média por vaca ordenhada de 1.200 a 2.000 litros de leite, caracterizando-se pela alimentação à base de pasto e suplementação com volumosos diversos. O uso de concentrado varia com o nível de produção do rebanho, sendo mais comuns os concentrados comerciais ou ingredientes simples como milho, caroço de algodão e farelo de trigo, para vacas no primeiro terço de lactação. Os suplementos alimentares são de volumosos de baixa qualidade, utilizando-se, também, de resíduos agrícolas e agroindustriais encontrados na região (EMBRAPA, 2005).

Por sua vez, o sistema intensivo ou de confinamento, apresenta no Brasil, produtividade média por vaca ordenhada superior a 4.500 litros de leite. Caracteriza-se pela alimentação exclusivamente no cocho, baseada em alimentos conservados, geralmente silagem de milho e fenos de alfafa ou gramíneas de alta qualidade. O uso de concentrados é comum em todas as categorias de animais, com predominância das rações comerciais, mas em muitas propriedades a mistura é feita na fazenda. A utilização de subprodutos de boa qualidade na formulação das rações é prática adotada, particularmente, nas fazendas próximas de agroindústrias processadoras de grãos. Os rebanhos são constituídos principalmente por animais puros de raças taurinas, mas há também produtores com animais mestiços de alto grau de sangue Holandês. As vacas em lactação são geralmente manejadas em regime de confinamento parcial ou total e algumas, dependendo do nível de produção, são ordenhadas três vezes ao dia (EMBRAPA, 2005).

Diante dessa diversidade de produção, verifica-se que os desafios impostos pela sazonalidade e pela volatilidade dos preços de mercado são enfrentados, também de forma distinta pelos pecuaristas, com maior intensidade, por aqueles que adotam sistemas menos intensivos de produção. Isso ocorre devido à maior vulnerabilidade desses sistemas a fatores externos, a saber, climáticos: irregularidade da precipitação pluviométrica e elevada evapotranspiração real, afetando diretamente a disponibilidade natural das pastagens. Tais elementos impactam diretamente a oferta de alimento para os animais e, consequentemente, a produtividade do rebanho e a regularidade do fornecimento de leite.

Isso justifica a crescente adoção de ferramentas e modelos preditivos, que possibilitam a antecipação de variações e tendências de mercado. Modelos de previsão baseados em séries temporais com uso de machine learning (aprendizado de máquina) têm sido amplamente utilizados para auxiliar os produtores na tomada de decisão, contribuindo para a

minimização de perdas e o aproveitamento de períodos de maior rentabilidade. A regressão linear é uma ferramenta de modelagem preditiva que apresenta boa capacidade explicativa, fácil implementação e elevada interpretabilidade, especialmente em estudos que envolvem séries temporais com comportamento sazonal. Esse tipo de modelo permite identificar de forma clara a relação entre o preço do leite e variáveis explicativas relevantes, sendo amplamente utilizado em pesquisas econômicas e de mercado. Apesar da existência de técnicas mais sofisticadas para análise de séries temporais, como os modelos ARIMA e suas variações, a regressão linear continua sendo uma alternativa válida em contextos nos quais há padrões sazonais ou tendências identificáveis, sobretudo quando se busca compreender o impacto de múltiplas variáveis.

Um exemplo é o trabalho de Barreto *et al.* (2022), que avaliou a relação entre parâmetros microbiológicos da qualidade do leite, como o estrato sólido total, a contagem de células somáticas e a contagem bacteriana total e o preço do leite cru pago ao produtor, utilizando modelos de regressão para identificar os fatores com maior influência nos valores praticados. Ademais, a utilização da linguagem Python tem se destacado por viabilizar a construção e a replicação de modelos preditivos de forma acessível e flexível, especialmente no contexto acadêmico.

Santos, Rosado, *et al.* (2014) corroboram a perspectiva das variáveis ao demonstrarem que a sazonalidade impacta diretamente a receita e os custos da produção leiteira, reforçando a importância do planejamento e gestão eficiente. Leite e Waquil (2007) também apontam que entender o comportamento dos preços é uma importante ferramenta ao planejamento da atividade agropecuária, não apenas para identificar mercados com maior ou menor potencial ao longo do tempo, mas como forma de visualizar alternativas para viabilizá-los. Necessidade cada vez mais importante frente ao aumento da competitividade do setor.

Bassotto *et al.* (2025) investigaram como as variações do preço do leite influenciam o desempenho econômico e interferem na decisão dos produtores. Observou-se que a volatilidade aumenta o risco do negócio, dificultando a gestão, pelo crescimento de incertezas, como aponta Costa *et al.* (2020). Os autores apontam que as propriedades de Minas Gerais com baixo risco foram as que apresentaram maior produção diária de leite, 111,72% superior às das propriedades com nível de risco alto e muito alto, respectivamente. Pode-se ponderar que diante da alta volatilidade do mercado, as empresas rurais tendem a ser conservadoras na adoção de estratégias de investimento. Essa precaução, embora compreensível, pode limitar a capacidade de adaptação do setor frente a mudanças mais abruptas no cenário econômico.

Um dos fundamentos econômicos que regem o comportamento dos preços é explicado pela lei clássica de oferta e demanda, desenvolvida a partir das ideias de Adam Smith no século XVIII. Em sua principal obra, *A Riqueza das Nações*, Smith aponta que os preços de um bem tendem a subir quando a demanda excede a oferta e a cair quando há excesso de oferta em relação à demanda. Em outras palavras, os preços se ajustam de forma a equilibrar o mercado.

As tecnologias podem influenciar diretamente a oferta e a demanda do leite, associadas a diversos outros fatores, podendo beneficiar ou prejudicar o mercado como um todo. Dentre as várias tecnologias de produção existentes, destaca-se o Programa Balde Cheio, voltado para sistemas intensivos, desenvolvido pela Embrapa. Trata-se de uma tecnologia social voltada à capacitação técnica, que, segundo a EMBRAPA (2018), promoveu aumentos de produtividade de até cinco vezes em relação à média nacional registrada em 2016.

Outro exemplo é o Programa Mais Leite Saudável (PMLS), criado em 2015 pelo Decreto nº 8.533/201512, que impulsiona a cadeia produtiva do leite por meio da assistência técnica e de diversos projetos complementares. De acordo com o MAPA (2025), em quase uma década de existência, o programa já beneficiou mais de 185 mil produtores com ações voltadas à melhoria da produtividade, da qualidade do leite e da rentabilidade.

O Programa Nacional de Qualidade do Leite (PNQL), por sua vez, foi instituído pelo Decreto 9.013, de 29 de março de 2017 - Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Sua missão é promover a qualidade do leite no Brasil, assegurar a segurança alimentar da população, agregar valor aos produtos lácteos, reduzir perdas e ampliar a competitividade do setor no mercado nacional e internacional.

Outra tecnologia de produção é o sistema Compost Barn, voltado para sistemas intensivos. Conforme explica a EMBRAPA (2025), esse modelo visa à mitigação das mudanças climáticas por meio da redução das emissões de gases de efeito estufa, além de proporcionar ganhos significativos na produtividade, como resultado da melhoria no conforto animal.

Vale ressaltar, no entanto, que em uma perspectiva mais ampla, o avanço tecnológico tende a beneficiar propriedades e estados já altamente produtivos, o que pode agravar as desigualdades estruturais do setor. Isso porque amplia a distância entre grandes e pequenos produtores, afetando diretamente a dinâmica dos preços. Viana *et al.* (2010) observaram que, entre 1973 e 2007, a produção e oferta de leite aumentaram 228,5%; entretanto, o preço pago ao produtor no Rio Grande do Sul caiu para R\$0,40 por litro em 2006. Moraes e Bender (2017), ao simularem cenários de aumento nos subsídios e redução de impostos, identificaram que as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste foram as mais beneficiadas,

com aumento da competitividade e da produção. Em contrapartida, as regiões Norte e Nordeste sofreram impactos negativos, evidenciando que políticas públicas mal calibradas podem intensificar as desigualdades regionais ao favorecer áreas consolidadas em detrimento daquelas ainda em desenvolvimento.

Dessa forma, considerar o cenário econômico como um todo é essencial para interpretar corretamente as variações de preços e subsidiar modelos de previsão mais realistas e eficazes.

3 METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos desenvolvidos para a análise dos preços da série histórica e para a criação do modelo estatístico da pesquisa.

3.1. Modelo de regressão linear para estimação de tendência

Este é um modelo estatístico que relaciona duas variáveis, y e X , sob a hipótese de um relacionamento linear. É o modelo de regressão linear simples dado por:

$$y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad [1]$$

Nesse modelo, y representa a variável explicada, X a variável explicativa ou preditor e ε é um termo de erro estocástico. Dada uma equação linear, os termos α e β são parâmetros deste modelo e representam, respectivamente, um intercepto e o coeficiente angular. No caso de dados de séries temporais, é possível ajustar um modelo de regressão linear para valores de y em função do tempo, dado por t . Considerando um modelo com dados ordenados temporalmente, é possível definir a seguinte expressão:

$$y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t \quad [2]$$

O modelo apresentado descreve uma relação populacional. A partir dos dados amostrais coletados na pesquisa, utiliza-se um método estatístico para estimar os parâmetros α e β . Essas estimativas são representadas por $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$. Com elas, é possível construir um modelo amostral capaz de fornecer uma estimativa do valor de y_t , indicada por \hat{y}_t . Esse modelo é expresso da seguinte forma:

$$\hat{y}_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta} t \quad [3]$$

A estimativa \hat{y}_t corresponde ao valor esperado para a variável y para cada período

t. A diferença entre o valor observado e o valor estimado é chamada de resíduo, representado por:

$$e_t = y_t - \hat{y}_t \quad [4]$$

A estimação dos parâmetros α e β empregando o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) busca minimizar a soma dos quadrados desses resíduos, ou seja, encontrar os valores de α e β que resultem no menor erro total possível entre os valores estimados e os valores observados da variável dependente.

$$\sum_{t=1}^T e_t^2 = \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{a} - \hat{\beta}t)^2 \quad [5]$$

Resolvido o problema de minimização, os parâmetros do modelo linear podem ser estimados pelas seguintes expressões:

$$\hat{a} = \underline{y} + \hat{\beta}\underline{t} \quad [6]$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{t=1}^T (y_t - \underline{y})(t - \underline{t})}{\sum_{t=1}^T (t - \underline{t})^2} \quad [7]$$

Como alternativa ao modelo linear simples, pode-se utilizar o modelo de tendência exponencial, definido como: $y_t = e^{\alpha + \beta t + \varepsilon_t}$. Que pode ser linearizado por meio da transformação logarítmica natural, resultando na expressão a seguir:

$$\ln y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t \quad [8]$$

O modelo log-linear também pode ser estimado por MQO, assim como foi realizado com a equação [2]. Outra possível extensão é a inclusão de componentes sazonais, por meio de variáveis binárias (*dummies*), a saber:

$$\ln y_t = \alpha + \beta t + \sum_{m=2}^{12} \delta_m D_m + \varepsilon_t \quad [9]$$

No caso de *dummies* mensais, estas são representadas por D_m com $m = 1, \dots, 12$, e possuem coeficientes associados δ_m . É importante observar, no entanto, que a *dummy* referente ao mês de janeiro foi omitida na equação, a fim de evitar multicolinearidade perfeita e permitir a identificação adequada dos coeficientes dos demais meses.

3.2. Medidas de ajuste e desempenho preditivo

Após a estimativa do modelo estatístico, torna-se necessário realizar avaliações do ajuste do modelo e do seu desempenho preditivo. A medida de ajuste mais comumente empregada para modelos lineares é o coeficiente de determinação, R^2 . Essa medida indica a proporção da variabilidade da variável dependente que está sendo explicada pelo modelo.

Os valores do R^2 se encontram no intervalo entre 0 e 1, de forma que valores mais próximos de 1 sugerem que o modelo apresenta bom ajuste aos dados observados, enquanto valores próximos de 0 indicam baixa aderência do modelo aos dados. Matematicamente, o R^2 é definido como:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad [10]$$

Nessa expressão, y_i o valor observado, \hat{y}_i representa o valor previsto, e \bar{y}_i a média dos valores observados. Por sua vez, na avaliação do desempenho preditivo do modelo, dois critérios amplamente utilizados são o Erro Absoluto Médio (Mean Absolute Error - MAE) e o Erro Quadrático Médio (Mean Squared Error - MSE). O MAE mede a média das diferenças absolutas entre os valores previstos e os valores observados, oferecendo uma visão direta sobre a magnitude dos erros sem dar peso a erros maiores ou menores. Matematicamente, o MAE é definido como:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad [11]$$

Onde n é o número de previsões realizadas.

Já o MSE calcula a média dos quadrados das diferenças entre os valores previstos e os observados, penaliza de forma mais severa os grandes erros, tornando-o sensível a outliers e mais apropriado para modelos onde grandes desvios são críticos. Matematicamente, o MSE é definido como:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad [12]$$

Uma vez que o MSE está na escala dos erros quadrados, ele não tem uma interpretação direta. De forma a contornar isso, é bastante comum reportar a raiz quadrada do MSE, denominada Raiz do Erro Quadrático Médio (Root Mean Squared Error - RMSE).

3.3. Dados e aspectos computacionais

Os dados de preço médio do leite líquido pago ao produtor foram obtidos no banco de dados do CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, no intervalo de tempo de dezembro de 2004 a abril de 2025. Segundo o CEPEA, a metodologia utilizada na coleta de dados envolveu a consulta de cooperativas, indústrias de laticínios e produtores. O produto considerado é o leite cru integral refrigerado, negociado entre produtores e indústrias/cooperativas, com preços expressos em Reais por litro (R\$/litro). Os valores são líquidos, ou seja, não incluem frete nem impostos.

As informações referem-se a negócios já efetivados, sendo os preços nomeados conforme o mês de captação, independentemente do momento do pagamento ao produtor. Os dados são coletados nos estados do Rio Grande do Sul, Goiás, Paraná, São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais e Bahia, além de uma média representativa para o contexto nacional.

Uma vez que os preços são nominais, foi adotado um procedimento de correção com base no Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), calculado pelo IBGE, tendo como referência o mês de abril de 2025. Esse procedimento visa eliminar os efeitos da inflação ao longo do período analisado, permitindo a comparação dos preços em termos reais.

Todas as etapas de análise, manipulação e modelagem dos dados foram conduzidas em linguagem Python, utilizando a plataforma Google Colaboratory. As bibliotecas Pandas, Numpy, Matplotlib, Seaborn e Scikit-Learn foram empregadas nas tarefas de importação, processamento, visualização e modelagem dos dados.

A base de dados foi organizada em formato de série temporal mensal, com a criação de uma coluna de datas a partir das informações de ano e mês. Em seguida, foi gerado um gráfico de linha representando a evolução mensal dos preços do leite (em R\$/litro) entre 2004 e 2024. Também foram calculadas estatísticas descritivas mensais do preço real, com o objetivo de identificar padrões sazonais. Para isso, os dados foram agrupados por mês, independentemente do ano, e foram computadas, para cada mês, a média, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo e número de observações.

Para modelar a tendência de crescimento dos preços, aplicou-se o logaritmo natural ao preço real. Isso transforma uma trajetória de crescimento exponencial em um formato linear, como foi apresentado na equação (8). Essa transformação permite o uso de modelos de regressão linear.

Para captar os padrões sazonais nos dados, foram criadas variáveis *dummies* para os meses do ano, com base no índice temporal da série. Esse procedimento é particularmente

relevante em cadeias agropecuárias, em que a dinâmica de oferta e demanda é fortemente influenciada por períodos climáticos, a saber, estiagem prolongada e precipitação, aumentando ou diminuindo a necessidade de suplementação alimentar do gado, modificando os custos de produção ao longo do ano. Foram criadas onze *dummies* mensais, uma vez que o mês de janeiro é adotado como referência.

Para o processo de modelagem e previsão, os dados foram divididos em dois conjuntos: treino e teste. O conjunto de treino foi utilizado para a especificação do modelo, enquanto o de teste serviu para avaliar seu desempenho preditivo. Essa estratégia é amplamente adotada em modelagem de séries temporais e no uso de algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*).

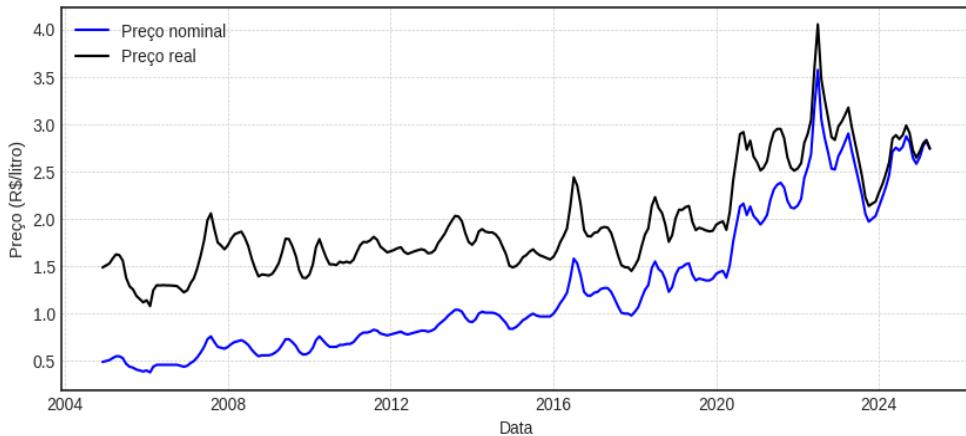
O conjunto de treino foi definido com base na série compreendida entre dezembro de 2004 e abril de 2024. Já o conjunto de dados de teste foi definido pelos últimos 12 meses da série coletada, com fim em abril de 2025.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise descritiva dos dados

O Gráfico 1 apresenta a série de preços nominais e reais corrigidos. A série de preços nominais está plotada pela linha azul, por sua vez, os preços reais são plotados com a linha preta. Observa-se que o preço real ajustado se encontra consistentemente acima do preço nominal, especialmente nos primeiros anos da série. Isso se deve ao efeito acumulado da inflação, que reduz o poder de compra da moeda ao longo do tempo. A partir de 2020, os preços estão mais próximos da base, diminuindo a defasagem entre as duas curvas, até o período de abril de 2025, onde os valores real e nominal são equivalentes.

Gráfico 1 – Série histórica contendo os preços nominais e reais do leite



Fonte: elaborado pelo autor.

Neste gráfico, se observa de forma clara uma tendência crescente no preço. Dada a periodicidade mensal dos dados, foram calculados valores médios para cada mês. O objetivo desse cálculo é observar a ocorrência de flutuações sazonais consistentes. As estatísticas calculadas são apresentadas na Tabela 1, a seguir. O Gráfico 2 também apresenta estas informações em um formato mais didático, de forma a garantir uma melhor visualização dos preços ao longo do ano.

Tabela 1. Estatísticas descritivas do preço.

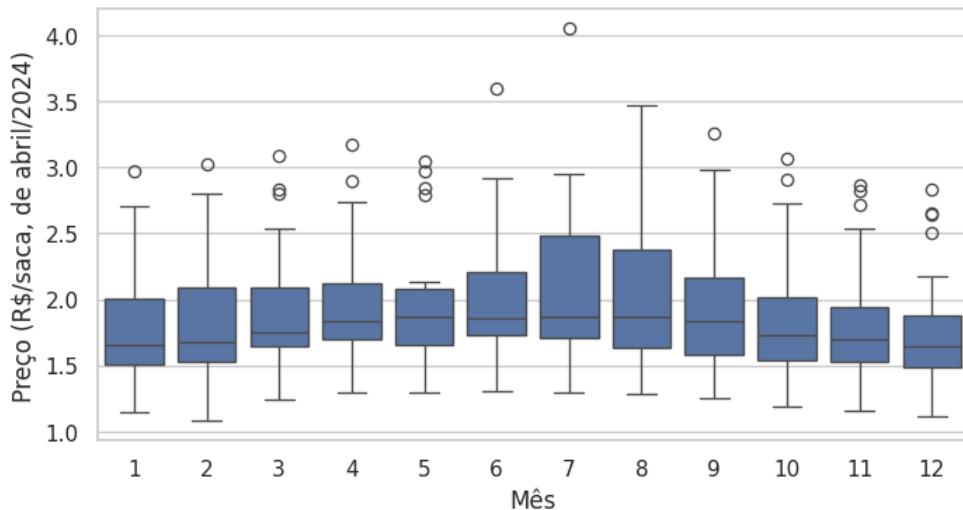
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	máx
mês								
1	21.0	1.832.036	506.768	1.141.257	1.505.271	1.658.209	2.005.093	2.973.941
2	21.0	1.871.206	511.988	1.079.766	1.529.019	1.672.200	2.095.627	3.026.778
3	21.0	1.944.769	510.018	1.244.903	1.644.737	1.751.702	2.094.082	3.093.510
4	21.0	1.993.360	506.100	1.298.762	1.699.803	1.833.125	2.124.137	3.173.233
5	20.0	2.000.729	503.500	1.297.463	1.651.172	1.864.156	2.085.269	3.040.931
6	20.0	2.065.606	574.257	1.300.195	1.728.810	1.854.417	2.206.461	3.595.524
7	20.0	2.100.427	660.368	1.297.730	1.704.135	1.868.422	2.485.888	4.051.380
8	20.0	2.053.153	602.075	1.288.355	1.635.261	1.869.818	2.375.212	3.473.767
9	20.0	1.987.960	585.698	1.254.682	1.584.551	1.838.966	2.168.258	3.255.421
10	20.0	1.898.407	540.002	1.187.420	1.533.555	1.728.748	2.013.895	3.065.991
11	20.0	1.844.748	512.553	1.152.121	1.522.960	1.696.646	1.940.888	2.861.218
12	21.0	1.797.066	489.111	1.119.291	1.486.296	1.646.116	1.873.758	2.832.349

Fonte: elaborado pelo autor.

Observou-se que os meses de maio a agosto apresentaram, em média, os maiores preços reais. Destaca-se que o valor máximo da série foi observado no mês de julho, atingindo

R\$4,05/litro. Todavia, neste período também se observa uma maior volatilidade nos preços, o que se evidencia com o maior desvio padrão (0,66). Essa maior dispersão de preços, se traduz em maior risco aos produtores. Os valores mais estáveis ocorreram em abril e maio, sinalizando menores riscos de preço.

Gráfico 2. Preços R\$/saca com base em abril de 2024



Fonte: elaborado pelo autor.

As evidências apresentadas no Gráfico 2, sinalizam para a existência de sazonalidade no comportamento dos preços ao longo do ano. Com isso, tem-se uma motivação para incorporar variáveis que captem esses efeitos sazonais no processo de modelagem. Conforme apresentado na metodologia, faz-se a estimativa de um modelo que incorpora um conjunto de variáveis binárias para os meses, na tentativa de verificar a significância estatística desse comportamento.

4.2. Análise dos modelos de regressão e previsões

O processo de modelagem foi realizado com base em modelos de regressão linear. A primeira estimativa considera o modelo apenas com uma variável para verificar a hipótese de uma tendência na série, conforme foi apresentado nas equações (2) e (3). Os resultados desta estimativa são sintetizados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Resultados do modelo apenas com a variável tendência.

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Valor p	Intervalo de Confiança

				(p-value)	(95%)
Intercepto	0,2672	0,019	13,954	< 0,01	[0,229; 0,305]
Tendência	0,003	0	20,778	< 0,01	[0,003; 0,003]
R ²	0,651				

Fonte: elaborado pelo autor.

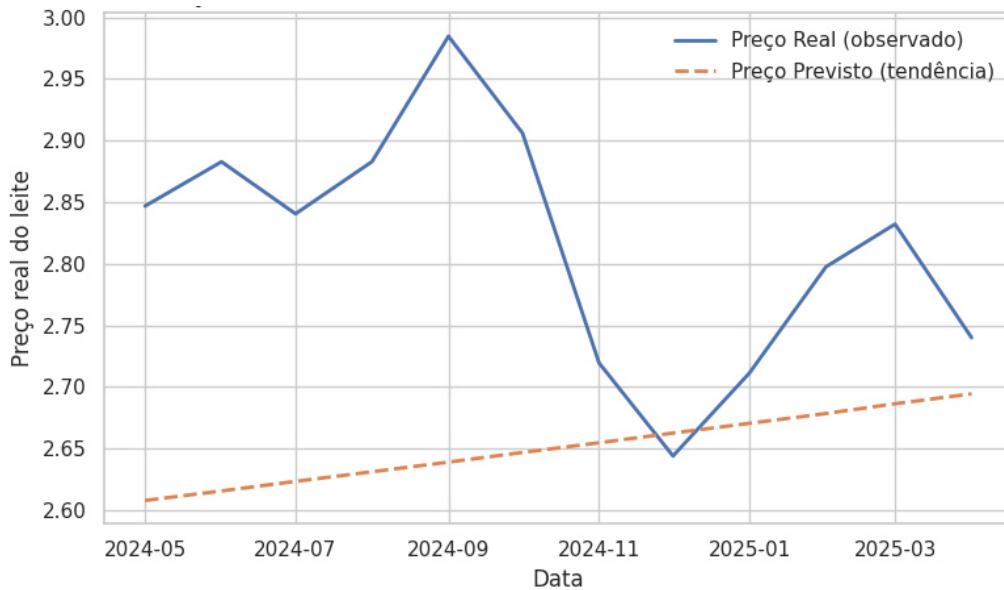
Conforme apresentado na Tabela 2, há uma equação de regressão estimada da seguinte forma:

$$\ln p_t = 0,2672 + 0,003t \quad [13]$$

O coeficiente para a tendência se mostrou estatisticamente significante ao nível de 1%. Esse coeficiente estimado, sinaliza que o preço do leite cresce, em média, cerca de 0,3% ao mês ($e^{0,003} - 1 \times 100 = 0,30$). Indica, portanto, uma tendência positiva de crescimento real no preço do leite ao longo do tempo. Vale ressaltar que este modelo com apenas a tendência linear explica cerca de 65% da variação nos preços reais do leite ao longo do período estudado, estatística apresentada pelo coeficiente de determinação de $R^2 = 0,65$. O valor dessa estatística pode ser considerado alto para um modelo simples, indicando que a tendência capta bem o comportamento de longo prazo da série.

Uma vez que o modelo foi estimado, seu poder preditivo foi verificado por meio da aplicação deste aos dados de teste. Os valores preditos e os valores efetivamente observados são plotados no Gráfico 3. Com a visualização gráfica, é fácil identificar a forma linear dos dados previstos pela linha pontilhada e que esta previsão não representa flutuações sazonais dos preços ao longo do ano.

Gráfico 3. Modelo com tendência. Previsão e valor observado para o preço do leite (dados de teste).



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 3 apresenta as medidas de desempenho preditivo deste modelo. Observa-se que o valor do erro absoluto médio (MAE) foi de 0,1679, o que significa que o modelo erra em torno de R\$ 0,17 por litro na previsão do preço do leite no conjunto de treino. O erro quadrático médio (MSE) foi de 0,0391. A raiz do erro quadrático médio resultou em 0,1977, indicando erro médio de R\$0,20 por litro. Por sua vez, o erro percentual absoluto médio foi de 5,85%.

Tabela 3. Valores de erro calculados no conjunto de treino.

MAE	MSE	RMSE	MAPE
0.1679	0.0391	0.1977	5.85%

Fonte: elaborado pelo autor.

Infelizmente, não há parâmetros adequados para saber se estas medidas de erro são adequadas, pois esse tipo de comparação é sempre relativo. Algumas evidências sobre a adequação do modelo poderão ser verificadas com a estimação de especificações alternativas, o que é feito com o modelo que incorpora as variáveis sazonais.

A estimação de um modelo incorporando o comportamento sazonal dos preços foi realizada. Trata-se de um modelo de regressão linear múltipla, uma vez que incluiu as variáveis *dummies* mensais, e os resultados estão apresentados na Tabela 4. Para verificar a significância dos parâmetros foi adotado o nível de significância de 5%.

Tabela 4. Resultados do modelo de regressão com tendência e sazonalidade

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Valor t	Valor p	Intervalo de Confiança (95%)
Constante	0,2087	0,035	5,927	0,000	[0,139; 0,278]
Mês 2	0,0179	0,045	0,402	0,688	[-0,070; 0,106]
Mês 3	0,0583	0,045	1,309	0,192	[-0,029; 0,146]
Mês 4	0,0852	0,045	1,914	0,057	[-0,003; 0,173]
Mês 5	0,1019	0,045	2,259	0,025	[0,013; 0,191]
Mês 6	0,1263	0,045	2,800	0,006	[0,037; 0,215]
Mês 7	0,1331	0,045	2,950	0,004	[0,044; 0,222]
Mês 8	0,1081	0,045	2,397	0,017	[0,019; 0,197]
Mês 9	0,0693	0,045	1,538	0,126	[-0,020; 0,158]
Mês 10	0,0221	0,045	0,490	0,625	[-0,067; 0,111]
Mês 11	-0,006	0,045	-0,134	0,894	[-0,095; 0,083]
Mês 12	-0,0148	0,045	-0,334	0,739	[-0,103; 0,073]
Tendência	0,003	0,000	21,674	0,000	[0,003; 0,003]
<i>R</i> ² ajustado	0,677				

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados do modelo indicaram um aumento consistente do preço real do leite ao longo do tempo, cujo coeficiente da tendência é equivalente ao estimado no modelo simples, com valor de 0,0030; e $p < 0,05$. Estes resultados também indicam que os meses de maio, junho, julho e agosto apresentaram efeito positivo e significativo sobre os preços, sugerindo um padrão sazonal de alta nesse período. Esses resultados sugerem um período de alta sazonal nos preços durante o meio do ano, possivelmente relacionado a fatores climáticos que afetam a produção leiteira, com reflexos sobre os custos e repasses aos preços.

Uma vez que as *dummies* para os meses de maio, junho, julho e agosto se mostraram significativas, do ponto de vista estatístico, o modelo ajustado para variáveis sazonais potencialmente se torna mais adequado. De maneira geral, os demais meses não apresentaram significância estatística para o modelo de regressão múltipla, sugerindo que o efeito desses meses, isoladamente, não difere de forma robusta do mês de referência (janeiro), ao nível de significância adotado (de 5%).

O valor de R^2 ajustado subiu para 0,677, indicando que o modelo explica aproximadamente 68% da variação dos preços reais. Isso representa um ganho, mesmo que modesto, em relação ao modelo com apenas a tendência linear, reforçando a importância de capturar efeitos sazonais.

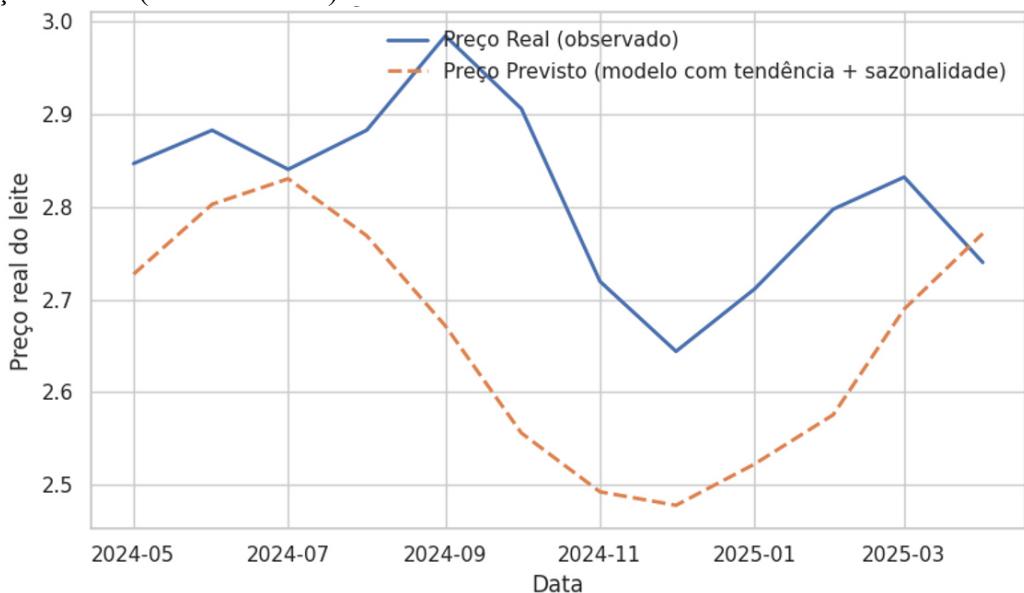
Conforme apresentado na Tabela 4, a equação de regressão com variáveis sazonais

pode ser estimada da seguinte forma:

$$\ln p_t = 0,2087 + 0,0030t + 0,1019D_5 + 0,1263D_6 + 0,1331D_7 + 0,1081D_8 \quad [14]$$

Novamente, este modelo foi aplicado aos dados do conjunto de teste. A trajetória de preços previstos e observados nesta nova predição pode ser visualizada no Gráfico 4. Neste gráfico é possível inferir que o modelo incorpora alguma sensibilidade aos movimentos sazonais, uma vez que a série de preços preditos tem um comportamento distinto da previsão anterior com base no modelo linear.

Gráfico 4. Modelo com tendência e variáveis sazonais. Previsão e valor observado para o preço do leite (dados de teste).



Fonte: elaborado pelo autor.

Da mesma forma que no caso anterior, foram calculadas medidas de erro, para inferir sobre o desempenho preditivo do modelo. Os valores destas métricas, sintetizados na Tabela 5, são todos menores em relação aos apresentados na Tabela 4, indicando que este modelo comete erros menores. Isso confirma que, de fato, o modelo se torna mais preciso para previsão de preço do leite ao considerar as variáveis sazonais no modelo de tendência.

Tabela 5. Valores de erro calculados no conjunto de teste.

MAE	MSE	RMSE	MAPE
0.1638	0.0367	0.1915	5.80%

Fonte: elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da estimativa de um modelo com tendência linear revelaram uma trajetória de crescimento real dos preços ao longo do tempo, com um aumento médio de aproximadamente 0,30% ao mês. Esse modelo, apesar de simples, foi capaz de explicar cerca de 65% da variação nos preços, apresentando desempenho preditivo razoável, ainda que incapaz de capturar oscilações sazonais observadas ao longo do ano.

Uma versão aprimorada do modelo, incorporando variáveis sazonais por meio de *dummies* mensais, se mostrou mais adequada. Os resultados deste modelo validaram a presença da tendência e indicaram que os meses de maio, junho, julho e agosto apresentaram efeitos estatisticamente significativos sobre os preços, sugerindo a existência de um padrão sazonal de alta nesse período. Esse comportamento pode estar associado a fatores climáticos e produtivos que afetam a oferta de leite, como a estiagem e a necessidade de suplementação alimentar, elevando os custos de produção e, consequentemente, repassando aos preços pagos aos produtores.

O modelo com tendência e variáveis sazonais apresentou um ajuste ligeiramente superior, além de melhorar as métricas de desempenho preditivo, como MAE, MSE e MAPE, em relação ao modelo anterior.

Dessa forma, conclui-se que a modelagem da série de preços do leite com componentes de tendência e sazonalidade oferece uma ferramenta estatística útil para compreender o comportamento da variável no tempo e aprimorar sua previsão. Os resultados obtidos podem subsidiar decisões mais informadas por parte de produtores, cooperativas e agentes de mercado, contribuindo para o planejamento e a mitigação de riscos associados à volatilidade dos preços.

Como sugestões para estudos futuros, recomenda-se a inclusão de variáveis explicativas adicionais, como custos de insumos, produtividade, volume de produção, condições climáticas regionais e políticas públicas. Além disso, a aplicação de modelos mais sofisticados, como os modelos baseados na metodologia ARIMA ou algoritmos de aprendizado de máquina, que podem ampliar a capacidade preditiva dos modelos e a compreensão da dinâmica dos preços estudados.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A.G. *et al.* **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. 6p. (Circular Técnica, 85). Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/595700/1/CT85SistprodleiteBrasil.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2025
- BARRETO, V. C. S. *et al.* Regressão linear múltipla aplicada ao preço do leite. **C.Q.D. - Revista Eletrônica Paulista de Matemática**, Bauru, v. 7, 2022.
- BASSOTTO, L. C. *et al.* A variação do preço do leite no desempenho econômico de propriedades leiteiras de Minas Gerais. **Brazilian Business Review**, Espírito Santo, v. 22, p.e20231454, 2025.
- BRASIL. **Decreto nº 30.691, de 29 de março de 1952**. Aprova o novo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. Revogado pelo Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D30691.htm. Acesso em: 30 jul. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Mapa do Leite**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, [202?]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Programa Mais Leite Saudável**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, [s.d.]. Disponível em:
<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/programa-mais-leite-saudavel>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Programa Nacional de Qualidade do Leite - PNQL**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2021. Disponível em:
<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/qualidade-do-leite-pnql>. Acesso em: 31 jul. 2025.
- CARDOSO, G. M. *et al.* **Manejo da cama de compost barn para redução das emissões de gases do efeito estufa**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2025. (Comunicado Técnico, 98). 7 p. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1172300/1/Manejo-da-cama-de-compost-barn.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- CAVALHEIRO, D. **Método de previsão de demanda aplicada ao planejamento da produção de indústrias de alimentos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- CEPEA. **Leite ao Produtor CEPEA/ESALQ (R\$/litro) - líquido**. 2025. Disponível em:
<https://www.cepea.org.br/br/indicador/leite.aspx>. Acesso em: 4 jun. 2025.

CÔNSOLI, M. A.; NEVES, M. F. (Coord.) **Estratégias para o leite no Brasil**. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

COSTA, A. C. G. O.; OLIVEIRA NETO, O. J.; FIGUEIREDO, R. S. Mercado Internacional e Brasileiro de Leite: volatilidade e transmissão de preços. **Revista Alcance**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 82-98, jan./abr. 2020.

DICIO. Dicionário Online de Português. **Leite**. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/leite/>. Acesso em: 21 maio 2025.

EMBRAPA. **Dia Mundial do Leite, uma data para ser muito comemorada**. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23617989/dia-mundial-do-leite-uma-data-para-ser-muito-comemorada>. Acesso em: 15 jul. 2025.

EMBRAPA. **Propriedades que usam tecnologia produzem cinco vezes mais leite que a média nacional**. Portal Embrapa, 27 jul. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/31855020/propriedades-que-usam-tecnologia-produzem-cinco-vezes-mais-leite-que-a-media-nacional>. Acesso em: 19 jul. 2025.

GOMES, A. T. *et al.* Mercado de leite: uma análise dos preços recebidos pelos produtores nos últimos anos. **Revista de Política Agrícola**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 5-12, 2015.

HARAGUCHI, F. K.; ABREU, W. C.; PAULA, H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 479-488, jul. 2006.

HOTT, M. C.; SIQUEIRA, K. B.; CARVALHO, G. R. Análise temporal de preços do leite ao produtor: identificação de padrões e tendências de longo-prazo. **Boletim CB Leite**, Juiz de Fora, v. 3, n. 9, p. 21–24, nov. 2009. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/748378>. Acesso em: 07 jul. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IPCA-E - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo Especial**. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9262-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplio-especial.html#:~:text=Desta%20forma%2C%20o%20IBGE%20informa,foi%20de%201%2C05%25>. Acesso em: 4 jun. 2025.

LEITE, J. G. D. B.; WAQUIL, P. D. Comportamento dos preços dos produtos agrícolas: tendências, sazonalidade e choques. **Cadernos de Economia**, Chapecó, v. 11, n. 20, p. 98, jan./jun. 2007.

MORAES, B. M. M.; BENDER, R. Mercado Brasileiro de Lácteos: análise do impacto de políticas de estímulo à produção. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 55, n. 4, p. 783–800, out. 2017.

NOVO, A. L. M. *et al.* **Relatório 2016: Dados zootécnicos, econômicos e de uso de tecnologia: Projeto Balde Cheio – Minas Gerais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2017. 63 p.

RENHE, I. R. T. O papel do leite na nutrição. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 63, n. 363, p. 36–43, jul./ago. 2008.

SANTOS, A. V. L. *et al.* Análise do comportamento dos preços recebidos pelos produtores de leite no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 52., Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2014.

SMITH, A. **A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas.** Apresentação de Winston Fritsch. Tradução de Luiz João Baraúna. São Paulo: Círculo do Livro, 1996. Volume I.

VIANA, J. G. A. *et al.* Comportamento dos preços históricos do leite no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 451-460, mar. 2010.