

REVISTA BRASILEIRA DE

Engenharia

DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS



LANÇAMENTO

EDIÇÃO Nº 1 - DEZEMBRO/2025 - BRASIL



IBAPE
INSTITUTO BRASILEIRO
DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA

**Rumo aos
70 Anos:**
A História do IBAPE
e da Engenharia de
Avaliações e Perícias

IBAPE Solidário
Um compromisso
com a sociedade

XXIII Cobreap
Conheça os Artigos
Técnicos Premiados



AMBIENTAL

Impactos da indução eletromagnética
e depleção de nutrientes na soja



AVALIAÇÃO

Modelo para cálculo de depreciação
física de imóveis



PERÍCIA

Mensuração de
responsabilidades em
causalidade múltipla em casos
de anomalias construtivas:
fundamentos, métodos e
aplicações práticas



CERTIFIQUE-SE

Certificação Profissional em Engenharia de Avaliações

Cada vez mais exigida por empresas da Europa e Estados Unidos, a Certificação Profissional é muitas vezes necessária no ato da contratação de um profissional ou para especificar a titulação requerida por uma pessoa para exercer determinada função ou elaborar serviço.

Dada a importância dos setores da vida econômica e social que recorrem às Avaliações e Perícias de Engenharia, o IBAPE pretende distinguir, na atribuição deste Certificado, as qualidades profissionais e humanas, pautada nos seguintes pilares:



Formação
acadêmica e
processo



Competência
e experiência
profissional



Capacidade técnica
nas atividades e em
outras que lhe sejam
correlatas



Doutrina
profissional e
conduta ética e
deontológica



Sumário

Editorial	04
HISTÓRIA	05
Rumo aos 70 anos: A história do IBAPE e da Engenharia de Avaliações e Perícias	
IBAPE NACIONAL	06
IBAPE SOLIDÁRIO	09
EVENTOS	11
Valuation 20 - São Paulo/SP	
VIII Seminário Nacional de Engenharia de Avaliações e Perícias - Maceió/AL	
Congresso UPAV - Quito/Equador	
XVIII Cobreap - João Pessoa/PB	
TRABALHOS TÉCNICOS	
AMBIENTAL	23
Impactos da indução eletromagnética e depleção de nutrientes na soja	
PERÍCIA	35
Mensuração de responsabilidades em causalidade múltipla em casos de anomalias construtivas: fundamentos, métodos e aplicações práticas	
AVALIAÇÃO	49
Modelo para cálculo de depreciação física de imóveis	

EXPEDIENTE

DIRETORIA EXECUTIVA 2024/2025

Presidente:
Eng. Civil Luciano Ventura

Vice-Presidente Administrativo e Financeiro:
Eng. Mecânico José Carlos Rocha

Vice-Presidente Técnica:
Eng^a. Civil Andrea Cristina Kluppel M, Soares

Vice-Presidente de Relações Institucionais:
Eng. Civil Tercio Cesar de Queiroz Filho

Vice-Presidente de Comunicações e Marketing:
Eng. Agrônomo Marcelo Rossi de Camargo Lima

Vice-Presidente de Relações com as Filiadas:
Eng. Civil Darkson de Meirelles Fonseca Junior

CONSELHO EDITORIAL

Andrea Cristina Kluppel M. Soares
Antônio Sergio Liporoni
Camila Calegari
Elba Roberta Luciano Souza

Francisco Maia Neto
Léo Saraiva Caldas
Luciano Ventura

Osório Gatto
Silvania Miranda do Amaral
Wilson Lang

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS
Edição nº 1 - Dezembro/2025 - Brasil - Versão Digital
Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias (IBAPE)
Telefone: (11) 3115-3784 | E-mail: secretaria@ibape-nacional.com.br
Site: www.ibape-nacional.com.br

Coordenação: Maria do Carmo Marcon
Jornalista Responsável: Joana Serra
Arte e Diagramação: MW Marketing
Imagens e Gráficos: Acervo IBAPE e Freepik

Editorial



Eng. Luciano Ventura
Presidente IBAPE Nacional
Gestão 2024/2025

Avançamos de forma sólida graças ao esforço conjunto da diretoria do IBAPE Nacional, dos conselheiros, dos presidentes das filiadas e do engajamento crescente de nossos associados em todo o Brasil. À medida que nos aproximamos do encerramento da gestão 2024–2025, é com imenso orgulho e um profundo senso de dever cumprido que compartilhamos algumas das muitas conquistas alcançadas — todas fruto de uma construção coletiva, pautada pela confiança, compromisso e colaboração.

Vivenciamos marcos históricos: recorde de novas filiações, ampliação do número de patrocinadores, maior capilaridade na realização de eventos técnicos e científicos, consolidação das finanças da entidade e uma aproximação institucional inédita com o Judiciário, universidades, órgãos de controle e entidades públicas e privadas. Destaca-se, ainda, a participação cada vez mais ativa do IBAPE Nacional junto ao Sistema CONFEA/CREA/ MÚTUA e ao CAU, fortalecendo o reconhecimento da perícia e das avaliações no campo da engenharia e da arquitetura.

Projetamos, também, o nome do IBAPE Nacional internacionalmente, consolidando seu papel de liderança na produção e difusão de conhecimento técnico especializado em avaliações e perícias.



*Primeiras Revistas do IBAPE de 1981 e 1982

Nesse espírito de inovação e resgate de legados, temos a satisfação de apresentar a nova **Revista Brasileira de Engenharia de Avaliações e Perícias**, publicação oficial do IBAPE Nacional. Este relançamento retoma a tradição iniciada pela antiga ABRAP, que, por muitos anos, foi referência com a **Revista Brasileira de Avaliações & Perícias**, publicada mensalmente entre 1989 e 2004, com distribuição em todo o Brasil, nas Américas, Europa e África — à época, a única publicação do gênero em toda a América Latina.

Nosso objetivo é que esta nova revista, em formato digital e com linguagem técnica de excelência, possa futuramente ser também traduzida e amplamente compartilhada com a comunidade internacional, contribuindo ainda mais para a valorização da perícia e da engenharia de avaliações no Brasil e no mundo.

Que esta publicação se firme como mais um instrumento a serviço da excelência técnica, do pensamento crítico e da valorização profissional, promovendo pontes entre a prática pericial, a pesquisa acadêmica e as exigências contemporâneas de um mundo em transformação.

**Seguimos juntos, mais fortes
e unidos do que nunca!**

HISTÓRIA

Rumo aos 70 Anos: A História do IBAPE e da Engenharia de Avaliações e Perícias

70 ANOS

A trajetória do IBAPE está intrinsecamente vinculada à formação e ao desenvolvimento da Engenharia de Avaliações como campo científico e profissional no Brasil. Embora a avaliação de bens já fosse praticada de forma empírica desde o século XIX, a consolidação dessa especialidade ocorreu de maneira progressiva ao longo do século XX, acompanhando o processo de urbanização, a institucionalização do Estado brasileiro e a crescente complexidade das relações econômicas e jurídicas.

A origem da Engenharia de Avaliações no país é comumente associada ao ano de 1918, quando o engenheiro Vitor da Silva Freire publicou artigo pioneiro sobre a avaliação racional de terrenos, introduzindo critérios técnicos e científicos inspirados em experiências internacionais. Nas décadas de 1920 e 1930, o tema adquiriu maior densidade intelectual por meio de estudos e publicações de engenheiros como Anhaia Melo, Berini Lysandro Pereira e Ernani Nogueira, que contribuíram para a difusão de métodos mais objetivos e sistematizados de avaliação.

Um marco relevante desse processo ocorreu em 1941, com a publicação da obra “Avaliação de Terrenos”, de Luís Carlos Berrini, considerada à época a mais importante referência em língua portuguesa sobre o tema. Na sequência, Alberto de Zagottis reforçou a relevância do método estatístico como fundamento do processo avaliatório científico, antecipando uma diretriz metodológica que se tornaria central nas décadas seguintes. Esse movimento culminou, em 1952, com o exame, pela ABNT, do Anteprojeto de Normas para Avaliação de Imóveis, elaborado pelo engenheiro Augusto Luís Duprat, representando o início da normatização técnica da atividade no Brasil.

O ambiente institucional favorável propiciou, em 1954, a realização da 3ª Convenção Pan-Americana de Avaliações, em São Paulo, organizada pelo engenheiro Hélio de Caires e sua equipe. Na sequência, foram criados diversos institutos regionais voltados à avaliação e à perícia, nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Pernambuco, Rio Grande do Sul e Paraná. É nesse contexto de amadurecimento técnico, associativo e institucional que, em 1957, foi fundado o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE, com a missão de congregar profissionais, promover a excelência técnica e afirmar a Engenharia de Avaliações e Perícias como especialidade autônoma e essencial à sociedade.

Durante a década de 1960, em consonância com o acelerado desenvolvimento econômico e urbano do país, a Engenharia de Avaliações ganhou novo impulso. Destacaram-se profissionais que contribuíram de forma decisiva para a consolidação

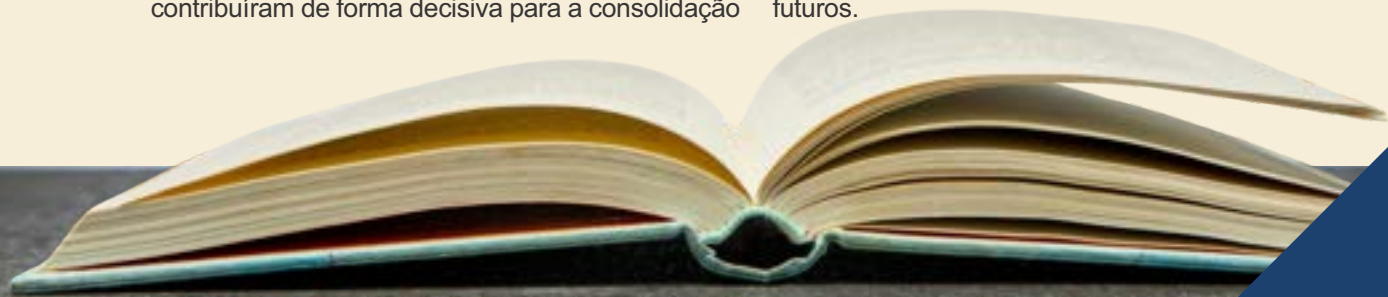
da especialidade, como Joaquim da Rocha Medeiros Jr., Ernesto Whitaker, Nelson Pereira Alonso, Eurico Ribeiro, Domingos de Saboya, Ênio Azabuja, Murílio Pessoa, Rubens Bezerra, Guilherme Gonçalves e Francisco Alves Gomes Jr., entre outros. O IBAPE acompanhou esse movimento, ampliando sua atuação institucional, técnica e científica.

A década de 1970 representou novo salto qualitativo para a especialidade. Em 1974, a Editora Pini publicou a obra “Engenharia de Avaliações”, coordenada por José Carlos Pellegrino, que se tornou referência obrigatória e simbolizou a consolidação da moderna técnica científica de avaliações no Brasil. No mesmo período, passaram a ser realizados regularmente os Congressos Brasileiros de Engenharia de Avaliações e Perícias (COBREAPs), iniciados em São Paulo em 1974 e posteriormente sediados em cidades como Curitiba, Rio de Janeiro, Porto Alegre e Recife, fortalecendo o intercâmbio técnico e científico em âmbito nacional.

Paralelamente, a Engenharia de Avaliações avançou no meio acadêmico. Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por iniciativa de Ibá Ilha Moreira Filho, foi criada a primeira disciplina de Engenharia de Avaliações e Perícias em curso de graduação em engenharia. A incorporação sistemática de métodos estatísticos e do uso de recursos computacionais representou uma transformação significativa na prática avaliatória, elevando o grau de precisão, confiabilidade e fundamentação técnica dos laudos.

Nas décadas seguintes, o IBAPE consolidou sua estrutura nacional, com a criação e o fortalecimento dos IBAPES estaduais, participação ativa na elaboração e revisão das normas técnicas da ABNT, interlocução permanente com o Poder Judiciário, órgãos de controle, mercado imobiliário e setor financeiro, além de intensa atuação na capacitação e certificação profissional. Já no século XXI, o Instituto ampliou seu escopo de atuação para temas como arbitragem, dispute boards, grandes obras de infraestrutura e contratos complexos, mantendo como pilares a independência técnica, a ética profissional e o rigor metodológico.

A proximidade dos 70 anos do IBAPE, a serem celebrados em 2027, sintetiza essa longa e consistente trajetória. Mais do que uma efeméride institucional, trata-se do reconhecimento de um legado construído desde os primórdios da Engenharia de Avaliações no Brasil. Sete décadas após sua fundação, o IBAPE permanece como referência nacional incontornável, reafirmando seu compromisso com a excelência técnica, a segurança jurídica e o desenvolvimento do país, projetando-se de forma sólida para os desafios futuros.



Gestão 2024/2025

24/25



ORGANOGRAMA DIRETORIA EXECUTIVA GESTÃO 2024 | 2025



LUCIANO VENTURA

Presidente



JOSÉ CARLOS ROCHA
Vice-Presidente
Administrativo - Financeiro



ANDREA KLUPPEL
Vice-Presidente
Técnica



**TERCIO CESAR DE
QUEIROZ FILHO**
Vice-Presidente de
Relações Institucionais



**MARCELO ROSSI DE
CAMARGO LIMA**
Vice-Presidente
Comunicações e Marketing



**DARKSON MEIRELLES
FONSECA JR.**
Vice-Presidente de
Relações com as Filiais



ORGANOGRAMA DIRETORIA ADJUNTA GESTÃO 2024 | 2025



ALEXANDRE MODESTO CORDEIRO
Diretor de Articulação com
Órgãos e Entidades Públicas



AGNALDO CALVI BENVENHO
Diretor de Certificação



ANTONIO BELIN SETIN JR.
Diretor Administrativo



ANA CAROLINA VALÉRIO
DIRETORA DE EVENTOS



CARLOS AUGUSTO ARANTES
Diretor de Relações Internacionais



CAMILA MOREIRA CALLEGARI
Diretora de Projetos Especiais



ARTHUR GUERRA PAIVA AVELAR
Diretor de Captação de Recursos



EDSON LUIZ HALUCH
Diretor Jurídico



**FLÁVIA ZOÉGA
ANDREATTÁ PUJADAS**
Diretora de Normas e Publicações



FABIANA ALBANO
Diretora de Relações com os
Sistemas CONFEA/CREA/MUTUA



**ELBA ROBERTA LUCIANO
SOUZAI**
Diretora de Marketing



**EMERSON MEIRELLES DE
CARVALHO**
Diretor de Gestão com as Entidades
Filiais



EDUARDOROTTMANN
Diretor Tesoureiro



IGOR ALMEIDA FASSARELLA
Diretor de Ensino



JOSÉ EDUARDO GHIDI
Diretor de Assessoria Parlamentar



LUIZ FERNANDO DE MELLO
Diretor de Valoração Profissional



SILVANIA MIRANDA DO AMARAL
Diretora de Convênios Institucionais



SIMONE FEIGELSON
Diretora de Relações com o
Sistema Cau/BR



ORGANOGRAMA CONSELHO FISCAL GESTÃO 2024 | 2025



**JOSÉ OCTÁVIO DE
AZEVEDO ARAGON**
Membro Efetivo



**JOÃO AUGUSTO BARÃO
MICHELOTTO**
Membro Efetivo



**MARCELO SUAREZ
SALDANHA**
Membro Efetivo



ANA JATAHY
Membro Suplente



**LUCIANO DE CAMARGO
ORLANDO**
Membro Suplente



**MARCELO ANTÔNIO
CARREIRA CAVALCANTI**
Membro Suplente

Galeria de Presidentes



Amarílio Mattos
Engenheiro Químico
2022 a 2023 - BA



Clémenceau Chiabi Saliba Jr
Engenheiro Civil - MG
2020 a 2021 - MG



Wilson Lang
Engenheiro Civil
2018 a 2019 - DF



Frederico Lima Coelho
Eng. Civil e Eletricista
2016 a 2017 - MG



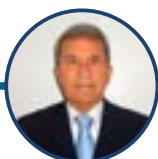
Arival Guimarães Cidade
Engenheiro Civil
2014 a 2015 - BA



Osório Accioly Gatto
Engenheiro Civil
2012 a 2013 - SP



José T. Doubek Lopes
Engenheiro Civil
2011 a 2011 - SP



René Bayma Filho
Engenheiro Civil
2010 a 2010 - MA



Elcio Avelar Maia
Engenheiro Civil
2008 a 2009 - MG



Jorge Sahd Junior
Engenheiro Civil
2006 a 2007 - PR



Octavio Galvão Neto
Engenheiro Civil
2004 a 2005 - SP



Francisco Maia Neto
Engenheiro Civil
2003 a 2003 - MG



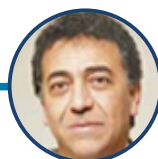
Celso Aprígio G. Neto
Engenheiro Civil
2002 a 2002 - RJ



Radegaz Nasser Junior
Eng.Civil e Seg.Trabalho
2000 a 2001 - ES



Rogério M. Ilha Moreira
Engenheiro Civil
1998 a 1999 - RS



Antônio Sergio Liporoni
Engenheiro Civil
1996 a 1997 - SP



Léo Saraiva Caldas
Engenheiro Civil
1993 a 1995 - SC



Francisco Aristio Morato
Engenheiro
1993 a 1995 - SP



José Tarcísio A. Amorim
Engenheiro Civil
1990 a 1993 - RS



Claudio Walter F. Bock
Engenheiro Químico
1982 a 1992 - SP



Guilherme B. Federman
Engenheiro Civil
1987 a 1990 - MG



José Fonseca Fernandes
Engenheiro Civil
1985 a 1987 - SP



Biagio Sarubbi
Engenheiro Civil
1984 a 1987 - PE



Carlos Paz
Engenheiro Civil
1982 a 1984 - SP



Ibá Ilha Moreira Filho
Engenheiro Mecânico
1981 a 1984 - RS



Eurico Ribeiro
Engenheiro Civil
1978 a 1981 - PR



José Carlos Pellegrino
Engenheiro Civil e Eletricista
1972 a 1974 - SP
1977 a 1981



Glauco D'Alessandro
Engenheiro Civil
1966 a 1967 - SP



Christiano S. das N. Filho
Engenheiro Civil
1962 a 1963 - SP



Sylvio José de A. Pires
Engenheiro Civil
1960 a 1961 - SP
1968 a 1971



Hélio de Caires
Eng. Civil, Mecânico, Eletricista
1957 a 1959 - SP
1964 a 1965
1975 a 1976

I B A P E N A C I O N A L

O, IBAPE
ESTÁ POR
TODO
Brasil

25
FILIADAS

+2600
ASSOCIADOS



NORTE

IBAPE AC
Eng. Luiz Antonio da Silveira Caetano

IBAPE AM
Eng. Mesaque Silva de Oliveira

IBAPE PA
Eng. Érico Gaspar Lisboa

IBAPE RO
Eng. Guilherme Gustavo de O. Lagares

IBAPE TO
Eng. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

NORDESTE

IBAPE AL
Eng. Marcelo Daniel de Barros Melo

IBAPE BA
Eng^a. Maria Teresa M. de Cerqueira Sobral

IBAPE CE
Eng. Jefferson Luiz Alves Marinho

IBAPE MA
Eng. Augusto José Ferreira Filho

IBAPE PB
Eng. Ayrton Lins Falcão

IBAPE PE
Eng. Aílson Alves

IBAPE PI
Eng^a. Mércia Maria Teixeira Bezerra

IBAPE RN
Eng. Cássio Freire

IBAPE SE
Eng. Celso José Gonçalves

CENTRO-OESTE

IBAPE DF
Eng. Gutemberg Rios

IBAPE GO
Eng. Luciano de Camargo Orlando

IBAPE MS
Eng. Luiz Gustavo Volce

IBAPE MT
Eng. Ivan Corrêa Gonçalves

SUDESTE

IBAPE ES
Eng. Lúcio de Oliveira Bastos

IBAPE MG
Eng. Alexandre Deschamps Andrade

IBAPE RJ
Eng. Cezar Augusto Dique Fragozo

IBAPE SP
Eng. Marcos Mansour,

SUL

IBAPE PR
Eng. Edson Luiz Haluch

IBAPE RS
Eng. Carlos Augusto Arantes

IBAPE SC
Eng. Sergio Augusto Becke

S O L I D A R I E D A D E

IBAPE SOLIDÁRIO: Compromisso e Ação em Resposta a Desastres Naturais

Baixe a Cartilha
A inspeção em imóveis
que sofreram inundações

CLIQUE
AQUI

Cadastre-se
como voluntário

CLIQUE
AQUI

Consciente de sua relevância e papel na sociedade, o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE) não pode se omitir frente às adversidades causadas pelos desastres naturais. Assim, desde 2023, quando fortes enchentes atingiram cidades do **Rio Grande do Sul**, o instituto tem realizado atividades a fim de contribuir com a segurança da população e apoio a reconstrução de imóveis e estruturas afetadas por tais fenômenos.



CARTILHA INSPEÇÃO EM IMÓVEIS QUE SOFRERAM INUNDAÇÕES

A primeira iniciativa ocorreu em 2023, quando fortes chuvas assolaram o estado gaúcho. A pedido do CREA-RS, o instituto elaborou a cartilha “**A inspeção em imóveis que sofreram inundações**”. O objetivo foi prestar esclarecimento e auxílio técnico aos profissionais e órgãos públicos quanto às perícias necessárias nos imóveis atingidos.

Iniciativa que contribuiu significativamente para o atendimento à população mais afetada e resultou em uma homenagem ao **IBAPE-RS** por parte do Governo do Estado em 10 de novembro daquele ano.

Já em 2024, os eventos climáticos se repetiram com maior intensidade, e a quantidade de municípios atingidos foi ainda maior. Ao todo, 2,3 milhões de pessoas foram afetadas pelas chuvas nas regiões Central, dos Vales, Serra e Metropolitana de Porto Alegre, sendo que mais de 442 mil moradores tiveram que deixar suas residências (cerca de 18 mil em abrigos e 423 mil desalojados).

Essa escalada levou o IBAPE-RS, com o apoio do IBAPE Nacional, a desenvolver o programa **IBAPE Solidário**. O intuito é prestar auxílio técnico para os municípios, governos estaduais e conselhos profissionais na gestão de laudos de vistorias para atendimento das obras afetadas pelas enchentes e inundações.

CADASTRO DE VOLUNTÁRIOS

A primeira ação do programa foi abrir um cadastramento de profissionais voluntários de todo o país, dispostos a trabalhar de forma presencial e virtual na elaboração e suporte em laudos técnicos e vistorias em estruturas afetadas por aquelas enchentes. Ao todo, foram recebidas **cerca de 400 inscrições de engenheiros e arquitetos** prontos para auxiliar neste atendimento emergencial.

A partir desse cadastro, o IBAPE-RS abraçou diversas outras iniciativas e contribuiu com programas e ações que atenderam diretamente a população mais atingida pelo fenômeno natural, como a participação no **Programa Reconstruir RS**, em parceria com o CREA-RS, que realizou vistorias e laudos para o município de Sinimbu, um dos mais atingidos no Estado.

CERCA DE
400
VOLUNTÁRIOS



S O L I D A R I E D A D E

IBAPE SOLIDÁRIO: Rio Bonito do Iguaçu/PR após tornado F4

Veja o vídeo
sobre a atuação
do IBAPE em
Rio Bonito do Iguaçu

CLIQUE
AQUI



Em novembro de 2025, o IBAPE Solidário atuou em **Rio Bonito do Iguaçu**, no Paraná. Também em parceria com o CREA do estado, o instituto organizou uma força-tarefa e reuniu profissionais dispostos a atuar de maneira presencial e virtual na perícia e avaliação de imóveis que foram atingidos por um tornado classificado na categoria F4 da Escala Fujita. O fenômeno atingiu cerca de **90% das estruturas urbanas da cidade**, resultando em mortes e centenas de feridos.

Com apoio desses profissionais voluntários foram realizados mais de **duas mil vistorias** e laudos técnicos nas áreas afetadas. O que contribuiu para a segurança das famílias e

iniciativas de reconstrução das moradias e estruturas essenciais do município.

Essa ação também rendeu **homenagem do CREA-PR ao IBAPE** e aos demais profissionais que atuaram no município em dezembro de 2025. Na ocasião, o presidente do Conselho, Clodomir Ascari, destacou que o trabalho realizado garantiu a liberação de laudos para acesso a recursos para a reconstrução de imóveis em tempo recorde.

Iniciativas como estas vêm ao encontro da essência do IBAPE, uma entidade sem fins lucrativos que visa o fortalecimento e a promoção do conhecimento técnico-científico em avaliações e perícias de engenharia, colocando-o a serviço da sociedade em momentos críticos.



Valuation20 Brazil

IBAPE no Cenário Global: O legado da Cúpula e Conferência V20



Confira todas as
fotos do V20

CLIQUE
AQUI



2024 foi o ano em que o IBAPE elevou o debate quanto à importância das avaliações sob a ótica da sustentabilidade, governança e responsabilidade social. O Instituto realizou, em conjunto com o International Valuation Standard Council - IVSC e a Assessors and Registered Valuers Foundation - AaRVS, a Cúpula e Conferência V20 – Valuation 20 Brazil.

Uma iniciativa alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), cujo objetivo foi enfatizar práticas de avaliação confiáveis, fundamentadas e transparentes. Assim, o evento, realizado no auditório do CREA em São Paulo, foi um marco internacional para a Engenharia de Avaliações.

Com o tema central "Avaliações Globais: Unindo Economia, Sociedade e Meio Ambiente", a conferência abordou conteúdos como:

- Normas nas Avaliações;
- Custo de capital e risco país;
- Qualificação dos avaliadores;
- Avaliações de interesse social;
- ESG nas avaliações;
- Inteligência Artificial, Tecnologia e Dados.

Dada a relevância da pauta, o encontro reuniu um time de palestrantes de alto calibre e especialistas não apenas do Brasil, mas de **treze diferentes países** como: África do Sul, Alemanha,

Arábia Saudita, Canadá, Chile, Coréia, Estados Unidos, França, Reino Unido, Tailândia e Uruguai. Essa diversidade proporcionou a confluência de ideias e práticas, permitindo a troca de experiências regionais e globais essenciais.

Assim, ao longo de três dias de intenso debate e aprendizado, o V20 Brazil serviu como uma plataforma para explorar como práticas avançadas de avaliação podem reforçar sistemas financeiros inclusivos e promover o crescimento sustentável. Reforçando a missão do IBAPE de liderar o futuro do ecossistema de avaliação, promovendo não apenas a excelência técnica, mas também a adoção de uma perspectiva **estratégica, global e socialmente responsável**.

Inédito no Brasil, o V20 seguiu o pioneirismo do primeiro grupo de engajamento de avaliação, realizado em 2023, na Índia, e reforçou o papel indispensável da avaliação no contexto geopolítico e econômico.

A concretização deste evento de grande porte também só foi possível porque o IBAPE contou com a correalização do IBAPE São Paulo, o valioso apoio institucional do CREA-SP e o patrocínio de entidades como a Mútua, o CONFEA, MRS Logística, Lead Gestão Fundiária, Setape Avaliação Patrimonial, entre outras entidades e empresas apoiadoras.



IBAPE lança Diretrizes Técnicas Essenciais durante VIII Seminário Nacional de Engenharia de Avaliações e Perícias

Realizado em maio de 2025, em Maceió (AL), o VIII Seminário Nacional de Engenharia de Avaliações e Perícias foi marcado pelo lançamento das **Diretrizes Técnicas para Perícias Judiciais Envolvendo Vícios Construtivos nas Habitações de Interesse Social**.

A publicação é inédita no país e **visa aprimorar e uniformizar** o entendimento dos procedimentos periciais relacionados a vícios construtivos em habitações sociais, além de **padronizar quesitos e o fluxo processual**. Essa iniciativa reforça a excelência técnica, a segurança e a ética nas práticas profissionais, minimizando a sobrecarga do sistema judiciário ao evitar litígios sem fundamentação técnica.

Promovido pelo IBAPE Nacional, em parceria com o IBAPE Alagoas e o CONFEA, o Seminário representou um marco crucial para o aperfeiçoamento técnico da área. O evento reuniu mais de **160 profissionais associados e não associados** de diversas regiões do Brasil.

Além de divulgar as novas diretrizes técnicas, o encontro promoveu o enriquecimento e a troca de experiências, uma vez que **contou com a participação de um público altamente qualificado**: engenheiros, arquitetos, engenheiros agrônomos, acadêmicos e peritos de todo o país.

O Seminário também **foi prestigiado** pela presença de palestrantes renomados e importantes representantes institucionais, como o Conselheiro Federal Eng. Neemias Machado Barbosa (representando o CONFEA) e o Diretor Geral Eng. Victor Correia Vasconcellos (representando a Mútua/AL, patrocinadora oficial).

A realização do VIII Seminário Nacional de Engenharia de Avaliações e Perícias **reafirmou o compromisso técnico** do IBAPE com a promoção da excelência. Por meio das palestras e painéis, os participantes tiveram acesso a informações atualizadas e interagiram diretamente com especialistas, promovendo o aperfeiçoamento e a capacitação profissional.



#EVENTOS

Congresso UPAV IBAPE recebe homenagem por sua contribuição técnica



Confira todas as
fotos do Congresso
da UPAV

CLIQUE
AQUI



Neste mês de Dezembro o IBAPE foi surpreendido com o **Prêmio de Contribuição Técnica da UPAV**, Unión Panamericana de Asociaciones de Valuación, sendo reconhecido como a instituição com o maior número de expositores e pela relevância de sua participação no Congresso de Avaliação 2025, realizado em setembro deste ano em **Quito - Equador**.

Um marco que reforça o compromisso do Instituto com a excelência, o conhecimento técnico e o fortalecimento da engenharia de avaliações no Brasil.

Em 2026 o Congresso da UPAV acontecerá em **Madri - Espanha**. Fique atento às nossas comunicações pois em breve divulgaremos mais informações.





HISTÓRIA DOS COBREAP'S

LINHA DO TEMPO (1974–2025)

por **Francisco Maia Neto**

Engenheiro civil e Advogado, foi Presidente do IBAPE Nacional, Vice-presidente da UPAP, Coordenador- Geral do VI COBREAP e Presidente do XII COBREAP.

Em 2024 o Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias (COBREAP) comemorou 50 anos de história, reunindo profissionais e especialistas que moldaram o futuro da Engenharia de Avaliações e Perícias no Brasil. Convidamos o leitor a compartilhar uma verdadeira viagem no tempo, retratando os capítulos que deram vida a este evento tão significativo.

Esta trajetória começa em **1974**, na cidade de São Paulo-SP, com o **I COBREAP**. Um marco inicial que consolidou a importância da engenharia de avaliações e perícias no país. Três anos depois, em **1977**, foi a vez de Curitiba-PR sediar o **II COBREAP**, mostrando que o evento estava se expandindo geograficamente e ganhando relevância nacional.

Em **1980**, o Rio de Janeiro-RJ recebeu o **III COBREAP**, refletindo um amadurecimento desta iniciativa e o crescente interesse dos profissionais da área. Já em **1984**, Porto Alegre-RS foi palco do **IV COBREAP**, destacando a integração entre inovação tecnológica e práticas de Engenharia de Avaliações e Perícias.

Fechando este primeiro ciclo, o **V COBREAP** foi realizado em **1987** no Recife-PE. Quando o congresso foi consolidado como um encontro verdadeiramente nacional, capaz de unir todas as regiões do Brasil em torno do conhecimento técnico e científico.



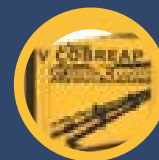
Nossa trajetória tem início em **São Paulo-SP** com a realização do **I COBREAP**, um marco para a engenharia de avaliações e perícias no país

1977



O **Rio de Janeiro-RJ** sedia o **III COBREAP**, refletindo o amadurecimento da iniciativa e o crescente interesse dos profissionais da área

1984



Fechando este primeiro ciclo histórico, o **V COBREAP** ocorre em **Recife-PE** e isso consolida o Congresso como um encontro verdadeiramente nacional

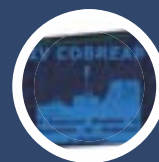
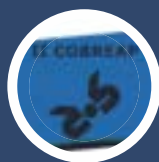
1974

Três anos depois, o **II COBREAP** chega a **Curitiba-PR** para ampliar o alcance e relevância nacional do Congresso

1980

É a vez de **Porto Alegre-RS** ser palco do **IV COBREAP**, destacando a integração entre inovação tecnológica e práticas de Engenharia de Avaliações e Perícias

1987



C O B R E A P

Dando continuidade à narrativa do cinquentenário do COBREAP, a jornada segue para a década de 1990, uma era de expansão e consolidação desse congresso como o maior e mais importante encontro da Engenharia de Avaliações e Perícias do Brasil. Em **1990, Belo Horizonte-MG** sediou o **VI COBREAP**, trazendo à tona novas discussões técnicas e metodológicas para o setor. Além disso, promoveu maior integração entre os profissionais da área.

Três anos depois, em **1993**, o evento seguiu para o nordeste do país, onde foi realizado o **VII COBREAP** em **Natal-RN**. Edição que se destacou pela abordagem inovadora e ampliação da participação regional.

O evento seguinte, **VIII COBREAP**, ocorreu em **1995** em **Florianópolis-SC**, marcando um novo ciclo de aprimoramento técnico-científico e político para o IBAPE. O que refletiu na qualidade dos trabalhos apresentados e na diversidade dos temas debatidos.

Em **1997**, o congresso retornou à cidade de **São Paulo-SP** para o **IX COBREAP**. Uma edição que ficou na memória, devido ao seu caráter abrangente e internacional, sediando simultaneamente o Congresso Extraordinário da Union Panamericana de Asociaciones de Valuacion (UPAV).

Encerrando a década, o **X COBREAP** aconteceu em **1999**, novamente em **Porto Alegre-RS**. A edição marcou uma virada significativa, não apenas por encerrar o milênio, mas por projetar o congresso rumo ao futuro, com foco em tecnologia, ética profissional e sustentabilidade.

Edições que revelam mais do que marcos no tempo, representam o compromisso contínuo da Engenharia com a excelência, a responsabilidade técnica e a evolução das práticas avaliatórias e periciais no Brasil. O que fez com que o COBREAP se tornasse um símbolo de união, aprendizado e progresso.



C O B R E A P

Já adentrando o novo milênio, o COBREAP manteve seu protagonismo no cenário nacional da Engenharia de Avaliações e Perícias. Adaptou-se às transformações tecnológicas e às novas demandas do mercado, revelando a continuidade da sua jornada com a excelência entre os anos de 2001 e 2009.

Em 2001, o **XI COBREAP** foi realizado em **Guarapari-ES**, trazendo um olhar moderno e integrador sobre os desafios contemporâneos da Engenharia. A cidade litorânea recebeu participantes de todo o país em um evento que destacou a importância da inovação na prática pericial e avaliatória.

Dois anos depois, em 2003, o congresso retornou a **Belo Horizonte-MG**, para o **XII COBREAP**. Ele reuniu especialistas para discutir a evolução técnica da profissão e os caminhos para a valorização do Engenheiro Avaliador e Perito de Engenharia no Brasil.

Em 2006, o evento desembarcou na região nordeste mais uma vez, dessa vez em **Fortaleza-CE**, para o **XIII COBREAP**, marcado pelo fortalecimento do debate técnico e pela troca de experiências entre profissionais de diferentes regiões do país. Ele ocorreu concomitantemente ao XXII Congresso da UPAV.

O **XIV COBREAP**, realizado em 2007 em **Salvador-BA**, trouxe o lema "A técnica a serviço do mercado", reforçando a conexão entre conhecimento científico e aplicabilidade prática. Foi um momento de reafirmação da Engenharia como pilar de confiança nas relações de valor e de justiça.

Encerrando a primeira década dos anos 2000, o **XV COBREAP** retornou a **São Paulo-SP** em 2009. Ali destacou-se por sua abordagem crítica e estratégica diante dos novos cenários econômicos, cuja simbologia do evento ressaltava o papel do Engenheiro como mediador técnico entre a sociedade e o território.



Dessa vez, **Guarapari-ES** recebe o **XI COBREAP** na edição que traz um olhar moderno e integrador sobre os desafios contemporâneos da Engenharia



Hora de desembarcar na região nordeste mais uma vez, dessa vez em **Fortaleza-CE**, que sedia o **XIII COBREAP** simultâneo ao XXII Congresso da UPAV, promovendo integração nacional



Encerrando a primeira década dos anos 2000, o **XV COBREAP** retorna a **São Paulo-SP** e destaca o papel do Engenheiro como mediador técnico entre sociedade e território

2001

2003

Neste ano, o Congresso retorna a **Belo Horizonte-MG** para o **XII COBREAP**

2006

2007

Com o lema "A técnica a serviço do mercado", o **XIV COBREAP** reforça a conexão entre conhecimento científico e aplicabilidade prática no encontro realizado em **Salvador-BA**

2009



C O B R E A P

Na década de 2010, o COBREAP reafirmou seu compromisso com os grandes temas da sociedade, ampliando o diálogo entre Engenharia, meio ambiente, inovação e sustentabilidade. Entre os anos de 2011 e 2019, cada edição marcou um passo importante na consolidação do congresso como espaço de referência técnica e científica.

Em 2011, o **XVI COBREAP** foi realizado em **Manaus-AM**, onde o tema ambiental ganhou relevância, evidenciando a importância da Engenharia comprometida com a sustentabilidade e a preservação da Amazônia, coração verde do Brasil.

O **XVII COBREAP**, ocorrido em 2013 na cidade de **Florianópolis-SC**, trouxe como tema o “Uso e ocupação sustentável do solo”, promovendo discussões cruciais sobre ordenamento territorial, impacto ambiental e desenvolvimento urbano responsável.

Em 2015, o congresso retornou mais uma vez a **Belo Horizonte-MG** para o **XVIII COBREAP**, com foco na excelência técnica e científica da Engenharia de Avaliações e Perícias. Valorizando o papel do Engenheiro como agente de transformação social e garantia da justiça pela aplicação da técnica.

O **XIX COBREAP**, realizado em 2017 em **Foz do Iguaçu-PR**, destacou-se pela temática “Inovações científicas e tecnológicas”, refletindo o avanço da Engenharia rumo à era digital, com ênfase em novas metodologias, automação e inteligência aplicada às práticas periciais e avaliatórias.

Fechando a década de forma exitosa, o **XX COBREAP** foi sediado em **Salvador-BA** no ano de 2019. Uma edição vibrante que aliou tradição e modernidade, promovendo a diversidade regional e cultural como força propulsora da Engenharia brasileira.



C O B R E A P

Na transição para a nova década, o Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – COBREAP reafirmou seu compromisso com a excelência técnica e a responsabilidade social da Engenharia. Adaptou-se aos novos desafios do século XXI com inovação, capacitação e integração nacional.

Em 2021, o **XXI COBREAP** foi sediado em **Goiânia-GO**, com o tema “Vistoria, perícia e avaliação a serviço da sociedade”, em um momento marcante de retomada pós-pandemia, quando o evento reforçou o papel essencial do Engenheiro Avaliador e Perito de Engenharia como agente de segurança, justiça e bem-estar coletivo.

Já em 2023, a cidade de **São Paulo-SP** recebeu o **XXII COBREAP**, consolidando um congresso voltado para a “Excelência técnica, inovação, normas e capacitação”. Evento que deu visibilidade a forte integração entre academia, mercado e instituições técnicas, reafirmando a importância da atualização contínua frente às transformações do setor.

Em 2025, a cidade de **João Pessoa-PB** sediou o **XXIII COBREAP** entre os 17 a 21 de novembro. Marcado pelas comemorações de seus 50 anos, a 23ª edição do Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, reuniu profissionais e especialistas de todo o país para cursos, workshops, palestras e apresentação de trabalhos técnico-científicos.

Sob o tema “50 anos de história e excelência em engenharia de avaliações e perícias”, o evento consolidou-se novamente como o principal fórum nacional de debate, atualização e fortalecimento técnico-científico do segmento.

Assim, mais uma vez, o COBREAP coloca-se para a sociedade não apenas um congresso, mas um verdadeiro movimento de transformação e valorização da Engenharia brasileira, sempre à frente de seu tempo. Como mostra essa linha do tempo que celebra os marcos históricos e homenageia os profissionais que contribuíram para sua construção, representando um tributo à engenharia brasileira, à evolução constante da técnica avaliatória e pericial e ao compromisso com a excelência ao longo de meio século de existência.



Com o tema “Vistoria, perícia e avaliação a serviço da sociedade”, o **XXI COBREAP** chega em **Goiânia-GO** em um momento marcante de retomada pós-pandemia

2023



O olhar agora se volta para o futuro, e é em **João Pessoa-PB** que o **XXIII COBREAP** ganha vida, de 17 a 21 de novembro de 2025. Emoldurada pelo encantador litoral paraibano, esta edição vem promover reflexões sobre os rumos da Engenharia de Avaliações e Perícias em uma sociedade cada vez mais tecnológica, ética e sustentável.

2025

2021

A cidade de **São Paulo-SP** recebe o **XXII COBREAP**, consolidando um Congresso voltado para a “Excelência técnica, inovação, normas e capacitação”



C O B R E A P 2 0 2 5



CONGRESSO **BRASILEIRO** DE **ENGENHARIA** DE **AVALIAÇÕES** E **PERÍCIAS**
17 E 18 PRÉ-CONGRESSO | 18 A 21 CONGRESSO | NOVEMBRO | 2025 | JOÃO PESSOA - PARAÍBA

Confira todas as
fotos do Cobreap

CLIQUE
AQUI



Trabalhos Técnico/Científicos Premiados no XXIII COBREAP



ÁREA AMBIENTAL



Medalha Ibá Ilha Moreira Filho

Título: IMPACTOS DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E DEPLEÇÃO DE NUTRIENTES NA SOJA

Autor: CARLOS AUGUSTO ARANTES

ÁREA PERÍCIA



Medalha Eurico Ribeiro

Título: MENSURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES EM CAUSALIDADE MÚLTIPLA EM CASOS DE ANOMALIAS CONSTRUTIVAS: FUNDAMENTOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES PRÁTICAS

Autor: MARCUS VINÍCIUS FERNANDES GROSSI

ÁREA AVALIAÇÃO



Medalha Hélio de Caires

Título: MODELO PARA CÁLCULO DE DEPRECIAÇÃO FÍSICA DE IMÓVEIS

Autores: FELIPE LOPES SILVEIRA,
LUCAS TADEU BATISTELE e
ANTÔNIO CLAUDIO ANDRADE BRUM

Os três trabalhos premiados
podem ser apreciados
ao final desta publicação

C O B R E A P

Olhar que agora se volta para o futuro, quando será escrito o novo capítulo dessa história com o **XXIV COBREAP**, em **2027** na cidade de **Natal-RN**. Capital potiguar que já marcou época ao receber o VII COBREAP em 1993 e retorna ao centro das atenções nacionais para acolher uma edição que promete reafirmar o espírito inovador e integrador da Engenharia de Avaliações e Perícias brasileira. Em meio ao cenário deslumbrante do litoral norte-rio-grandense, espera-se um congresso voltado à modernização permanente do setor, ao avanço tecnológico, à formação continuada de especialistas e ao fortalecimento institucional do IBAPE em todo o país.

Uma história que segue sendo construída com o mais relevante espaço de produção técnica, científica e cultural da Engenharia de Avaliações e Perícias no Brasil, o COBREAP. Espaço que, a cada edição renova o compromisso com a excelência, a ética e a responsabilidade social, projetando um futuro no qual conhecimento, inovação e integridade continuam sendo os pilares que sustentam a nossa profissão e impulsionam o desenvolvimento do país.

*Francisco Maia Neto**

Fotos: SETUR



2027
XXIV COBREAP
NATAL-RN
EM BREVE MAIS INFORMAÇÕES



A atual gestão do IBAPE Nacional reafirma permanentemente seu compromisso com a divulgação técnica e a transmissão do conhecimento, o que pode ser visto na realização do maior Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – COBREAP ocorrido em João Pessoa e tendo como slogan “50 anos de História e Excelência”. É a certeza de um legado estruturante que foi construído celebrando a trajetória e a maturidade do ibape.

O Congresso apresentou números expressivos, reunindo cerca de 950 congressistas, com a apresentação de 40 trabalhos técnicos dentre os 120 submetidos, além de uma programação inovadora e robusta, que contou com a participação de palestrantes de reconhecido prestígio nacional e internacional, tanto nas áreas técnicas quanto jurídicas. O evento teve como objetivos promover a engenharia e a

arquitetura, fortalecer as boas práticas profissionais, elevar a qualidade dos serviços prestados e fomentar o networking entre os participantes.

Esta edição da revista vem em boa hora, pois reúne os trabalhos vencedores nas respectivas modalidades, Perícias, Avaliação e Ambiental, e, sem dúvida, proporcionará uma leitura enriquecedora, esperando possa inspirar novos autores a submeterem seus trabalhos ao XXXIV COBREAP, que ocorrerá na cidade de Natal, em 2027, ocasião em que também serão comemorados os 70 anos do IBAPE Nacional. **Aguardamos você!**



Engª. Andrea Kluppel
Presidente IBAPE Nacional
Gestão 2026/2027



**Medalha Ibá Ilha Moreira Filho**Autor: CARLOS AUGUSTO ARANTES

IMPACTOS DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E DEPLEÇÃO DE NUTRIENTES NA SOJA

RESUMO

Este trabalho avalia os impactos da indução eletromagnética (EM) gerada por linhas de alta tensão (1-200 μT) e da depleção de nutrientes na produtividade da soja (*Glycine max* L. Merr.) em Morro Agudo/SP, com base em dados de 2017/18 a 2023/24. A EM polariza cátions no solo, reduzindo a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e afetando a zixação de nitrogênio por *Bradyrhizobium*, a eficiência da enzima Rubisco e o crescimento radicular, resultando em perdas médias de 19,51% (pico de 47,01% em 2022/23). Dados climáticos do INMET (1100-1500 mm) indicam que anos secos amplificam esses efeitos. Regressão múltipla ($R^2 = 0,67$) e simulações de Monte Carlo correlacionam produtividade, precipitação e EM. Estratégias de mitigação, como adubação magnesiana (400 g/ha de MgO), rotação de culturas, blindagem magnética e sensoriamento remoto, foram validadas, com custo-benefício estimado em US\$106,90/ha/ano. O prejuízo médio foi de US\$319,84/ha/ano, justificando indenizações robustas. Estudos futuros devem priorizar medições locais de EM e validação em larga escala.

Palavras-chave: Soja. Indução Eletromagnética. Depleção de Nutrientes. Rubisco. *Bradyrhizobium*. Manejo Sustentável.



1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merr.) é a principal cultura agrícola do Brasil, contribuindo significativamente para a economia, com produção anual de 150 milhões de toneladas (CONAB, 2024). Em regiões como Morro Agudo/SP, a proximidade de lavouras com linhas de alta tensão (500 kV, 60 Hz) levanta preocupações sobre os impactos da indução eletromagnética (EM) na produtividade (Arantes, 2024). Campos EM de 1–200 μ T, conforme descrito por Faraday, geram polarização iônica no solo, afetando a Capacidade de Troca de Cátions (CTC), a simbiose com *Bradyrhizobium* e a eficiência fotossintética da enzima Rubisco (Belyavskaya, 2004; Maffei, 2014). Esses efeitos, combinados com a depleção de nutrientes em solos cultivados sucessivamente, resultam em perdas econômicas significativas, estimadas em US\$15.686,17 para 49,04 ha ao longo de seis safras.

Este trabalho integra dados empíricos de produtividade (safras 2017/18–2023/24), precipitação estimada do INMET (1100–1500 mm, 2015–2024) e mecanismos fisiológicos (criptocromas, estresse oxidativo) para avaliar os impactos da EM e propor estratégias de mitigação avançadas. A análise inclui análise econômica detalhada e inovações como blindagem magnética, visando resiliência agrícola e indenizações justas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A indução eletromagnética, conforme descrita por Michael Faraday, ocorre quando há variação de um campo magnético em um condutor, gerando uma força eletromotriz (tensão) que pode induzir uma corrente elétrica. No caso de linhas de alta tensão, que transportam corrente alternada (CA) a grandes distâncias, o campo magnético associado varia constantemente devido a oscilação da corrente elétrica (geralmente a 60 Hz no Brasil). Essa variação pode induzir efeitos eletromagnéticos em objetos condutores próximos, como fios, estruturas metálicas ou até mesmo o solo, devido ao acoplamento indutivo. Essa indução eletromagnética, ocorre, pela variação de um campo magnético em um condutor, gerando força eletromotriz. Em linhas de alta tensão (60 Hz), campos magnéticos oscilantes

(1–200 μ T) polarizam cátions no solo, como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , afetando a CTC (Eigenberg, 2004). Solos argilos são mais suscetíveis devido a alta superfície de troca (20–40 cmolc/kg). Funcionando da seguinte forma:

- As linhas de alta tensão geram um campo eletromagnético que varia com o tempo. Quando um condutor (como um fio ou uma estrutura metálica) está exposto a esse campo, os elétrons livres no condutor se deslocam em resposta a força eletromotriz induzida.
- Se o campo magnético aumenta em uma direção, por exemplo, os elétrons tendem a se mover para uma extremidade do condutor, deixando a outra extremidade com um excesso de cargas positivas (devido a falta de elétrons). Quando o campo diminui ou inverte, o movimento dos elétrons se ajusta na direção oposta.
- Esse efeito é dinâmico porque a corrente alternada faz o campo oscilar, então Não há uma acumulação permanente de cargas positivas ou negativas. Em vez disso, há uma polarização alternada, com cargas positivas e negativas se redistribuindo constantemente nas extremidades do condutor.

Portanto, as linhas de alta tensão Não produzem exclusivamente cargas positivas ou negativas de forma fixa. O que ocorre é uma polarização temporária, onde ambas as cargas (positivas e negativas) são induzidas em extremidades opostas do condutor, dependendo da fase da oscilação do campo magnético. Por exemplo:

- Se o campo magnético induzido faz os elétrons se acumularem em uma extremidade, essa extremidade fica negativamente carregada, enquanto a outra fica positiva.
- Na próxima meia-oscilação (devido a corrente alternada), o processo se inverte.

A polarização depende do design das linhas, da distância dos condutores e da presença de aterramento. Sem aterramento, a carga induzida pode se acumular temporariamente, mas em sistemas bem projetados, ela é dissipada para a terra, evitando efeitos significativos.

Com conclusão, temos que a indução eletromagnética de linhas de alta tensão Não produz cargas positivas ou negativas de forma

isolada e permanente. Ela causa uma polarização alternada de cargas, com elétrons se movendo para criar extremidades positivas e negativas em condutores próximos, seguindo a variação do campo magnético. O resultado exato depende das condições específicas do ambiente e do equipamento exposto.

2.2. CONTEXTO INICIAL

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) mede a quantidade de cátions (como cálcio, magnésio, potássio e hidrogênio) que o solo pode reter em suas partículas coloidais (argila e matéria orgânica) e trocar com a solução do solo. Ela depende da textura (proporção de areia, silte e argila) e da quantidade de matéria orgânica. Solos arenosos tem CTC baixa (geralmente 5 a 15 cmolc/kg) devido a baixa capacidade de retenção, enquanto solos argilosos tem CTC mais alta (20 a 40 cmolc/kg ou mais), graças a maior superfície de troca nas partículas de argila. A matéria orgânica também aumenta a CTC, contribuindo com sítios de troca.

A indução eletromagnética, como discutimos antes, ocorre quando o campo magnético oscilante de linhas de alta tensão polariza cargas em condutores próximos, incluindo o solo, que é um meio parcialmente condutor devido a presença de água e íons.

Teoricamente, a indução eletromagnética pode interagir com o solo, mas os efeitos na CTC e na matéria orgânica dependem da intensidade do campo, da condutividade elétrica do solo e da duração da exposição. Vamos analisar isso passo a passo:

a) Polarização de Cargas no Solo

- O campo eletromagnético variável das linhas de alta tensão pode induzir movimento de íons livres (cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) e elétrons no solo, especialmente em áreas úmidas ou com alta condutividade. Isso cria uma polarização temporária, com cargas positivas e negativas se redistribuindo nas partículas do solo.
- Em solos argilosos, que tem maior capacidade de reter água e íons devido a sua estrutura em camadas (como a caulinita ou montmorilonita), essa polarização pode ser mais pronunciada, pois as partículas coloidais são mais reativas. Já em solos arenosos, com menos colóides e maior porosidade, o efeito seria menor devido

a baixa retenção de água e íons.

b) Impacto na CTC

- A CTC depende da disponibilidade de sítios de troca nas partículas de argila e matéria orgânica. A polarização induzida poderia, em teoria, alterar temporariamente a distribuição dos cátions nos sítios de troca, especialmente se o campo eletromagnético for forte o suficiente para mobilizar íons. Por exemplo, cátions como K^{+} ou Ca^{2+} poderiam ser deslocados de um sítio para outro, afetando a saturação de bases (percentual de cátions básicos na CTC).
- No entanto, Não há evidências científicas amplamente aceitas de que essa interferência cause uma mudança permanente na CTC. O efeito seria dinâmico, revertendo quando o campo oscila (a 60 Hz no Brasil), e o solo tende a se estabilizar devido a sua inércia química e física.

c) Matéria orgânica

- A matéria orgânica contribui para a CTC por conter grupos funcionais (como carboxila e fenol) que atraem cátions. A indução eletromagnética poderia, em teoria, influenciar a mobilidade de íons associados a esses grupos, especialmente em solos úmidos onde a matéria orgânica está mais ativa.
- Solos argilosos com alta matéria orgânica (ex.: latossolos húmicos) poderiam ser mais suscetíveis a essa interação do que solos arenosos, que tem menos matéria orgânica e maior drenagem. Ainda assim, o impacto seria limitado, pois a estrutura química da matéria orgânica é relativamente estável frente a campos eletromagnéticos de baixa intensidade.

d) Tipo de interferência

- Se houver interferência, ela seria de natureza física e temporária, relacionada a polarização de cargas e a mobilidade iônica. Não seria um efeito químico direto, como a alteração da estrutura dos colóides ou da matéria orgânica, mas sim uma redistribuição dinâmica de cátions.

Em casos extremos (campos muito intensos ou exposição prolongada), poderia haver uma leve lixiviação de cátions para o lençol freático, especialmente em solos arenosos com baixa capacidade de retenção. Porém, estudos indicam que campos eletromagnéticos típicos de 0,1 a 10 kV/m estão geralmente abaixo dos níveis que causariam efeitos significativos no solo, desde que não haja condições extremas de exposição ou interações específicas com a composição do solo, como vemos a seguir:

Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora (National Institute of Environmental Health Sciences)

- Este relatório, baseado em um workshop de 2019, analisa os efeitos de campos eletromagnéticos de baixa frequência (0 a 100 MHz) em flora e fauna, incluindo o solo. Menciona que campos elétricos na faixa de 7 kV/m (acima do limite recomendado de 5 kV/m pela ICNIRP 2010) afetaram abelhas (Greenberg et al., 1981), mas campos mais fracos, como os na ordem de 0,1 a 1 kV/m, não

mostraram impactos mensuráveis em solos ou plantas em estudos controlados. Isso sugere que níveis entre 0,1 e 10 kV/m, especialmente na parte inferior da faixa, estão abaixo dos limiares de efeito significativo, dependendo das condições do solo e da exposição prolongada.

Electromagnetic Fields Impact Tree and Plant Growth (Environmental Health Trust)

- Este estudo revisa efeitos de campos eletromagnéticos de radiofrequência (RFEMF) em plantas, incluindo solos. Indica que exposições a campos de baixa intensidade (como 0,56 V/m, equivalente a 0,00056 kV/m, em GSM 900 MHz) não causaram alterações drásticas no crescimento de plântulas de soja, sugerindo que níveis na faixa de 0,1 a 10 kV/m provavelmente não atingiriam efeitos significativos em solos típicos, a menos que combinados com outros estressores ambientais.

Assessment of Electromagnetic Field Levels from Surrounding High-Tension Overhead Power Lines (HASSAN, W.; HASSAN, S. K.; OSMAN, A. F.)

- Este trabalho, publicado em 2016, avalia campos eletromagnéticos próximos a linhas de alta tensão e estabelece limites de

segurança, como 0,2 μ T para campos magnéticos e implicações indiretas para campos elétricos. Embora foque em saúde humana, menciona que campos elétricos associados (geralmente <10 kV/m em distâncias seguras de 50-200 m) não demonstraram impactos mensuráveis no solo ou na vegetação próxima, indicando que a faixa de 0,1 a 10 kV/m está abaixo de níveis preocupantes para alterações no solo.

Electromagnetic and DC-current Geophysics for Soil Compaction Assessment (KESSLER, S.; ZIMMERMANN, E.; BÖRNER, F.)

- Publicado em 2024, este estudo usa métodos de indução eletromagnética (FDEM) para avaliar compactação do solo, mas observa que campos elétricos na faixa de baixa intensidade (inferiores a 10 kV/m) não alteram significativamente as propriedades físico-químicas do solo, como condutividade ou umidade, a menos que aplicados em intensidades muito mais altas ou em condições específicas de saturação.

Como considerações e conclusões, temos que, a maioria dos estudos foca em efeitos biológicos (ex.: vegetação) ou interferências em equipamentos, não em propriedades químicas do solo. A inércia do solo e a baixa intensidade dos campos em condições normais sugerem que qualquer efeito seria mínimo e reversível. Ainda assim, em áreas muito próximas a linhas de alta tensão e com solos altamente condutores (ex.: aluviais), valeria a pena investigar localmente com medições de campo. É possível que a indução eletromagnética possa, sim, causar uma interferência leve e temporária no solo, principalmente na polarização de cátions e na mobilidade iônica, o que poderia afetar indiretamente a CTC, sobretudo em solos argilosos com alta matéria orgânica. No entanto, esse efeito seria dinâmico e pouco significativo em condições normais, sem alterar a estrutura ou os teores de matéria orgânica a longo prazo. Para solos arenosos, o impacto seria ainda menor devido à baixa capacidade de retenção.

2.3. CONTEXTO DA CULTURA DE SOJA E INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A soja é uma cultura amplamente cultivada no Brasil, especialmente no Centro-Oeste, como em Mato Grosso, onde as condições climáticas e os solos (geralmente latossolos) favorecem sua produção. A planta é sensível a

fatores como nutrientes, umidade, pH do solo e estresses ambientais. Sob a projeção de linhas de alta tensão, o campo eletromagnético (EM) gerado pela corrente alternada (CA) a 60 Hz pode interagir com o solo, a planta e o ambiente ao redor. Já discutimos que a indução eletromagnética causa uma polarização temporária de cargas no solo, e agora vamos explorar como isso pode se traduzir em efeitos na soja, considerando o solo, a planta e os processos biológicos.

Como é sabido, a soja depende de nutrientes (K^+ para regulação hídrica, Mg^{2+} para clorofila, Ca^{2+} para sinalização) e da simbiose com *Bradyrhizobium* para fixação de nitrogênio. A EM pode inibir o crescimento radicular (Belyavskaya, 2004), alterar vias de sinalização via criptocromas (Maffei, 2014) e aumentar o estresse oxidativo (Anand et al., 2019). A enzima Rubisco, essencial para a fotossíntese, é sensível a depleção de Mg^{2+} , reduzindo a fixação de CO_2 (Li et al., 2020).

2.4. FATORES CLIMÁTICOS

A precipitação observada por Arantes (2024) (1100–1500 mm) influencia a condutividade do solo e a disponibilidade de nutrientes. Anos secos (ex.: 2022/23, 1100 mm) amplificam os efeitos da EM, enquanto anos chuvosos (ex.: 2020/21, 1500 mm) mitigam o impacto (INMET, 2025).

2.5. POSSÍVEIS EFEITOS DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA NA CULTURA DE SOJA

A indução eletromagnética de linhas pode interagir com a soja de várias formas, desde efeitos diretos na planta até impactos indiretos via solo e microbiota. Vou dividir isso em categorias para facilitar:

2.5.1. EFEITOS NO SOLO E NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES

- **Polarização de Cátions e CTC:** Como discutimos antes, o campo EM oscilante pode induzir uma redistribuição temporária de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) no solo, especialmente em solos argilosos com alta CTC. A soja depende de nutrientes como potássio (K) e magnésio (Mg) para o crescimento e a formação de grãos. Se a mobilidade iônica for alterada, mesmo que temporariamente, isso poderia afetar a disponibilidade desses nutrientes para as raízes.

o Em solos arenosos, o impacto seria menor, já que a CTC é baixa e os cátions são mais facilmente lixiviados. Em solos argilosos, a polarização poderia dificultar a absorção de cátions essenciais durante picos de demanda (ex.: fase de enchimento de grãos).

o No entanto, o efeito é cíclico (devido à oscilação do campo a 60 Hz), e o solo tende a se estabilizar rapidamente, então o impacto na nutrição da soja provavelmente seria pequeno, a menos que o campo EM seja muito intenso.

- **Microbiota do Solo:** A soja depende de bactérias simbióticas, como as do gênero *Bradyrhizobium*¹, que fixam nitrogênio (N_2) nas raízes. Estudos sobre campos eletromagnéticos (não específicos de linhas, mas de outras fontes) sugerem que campos intensos podem alterar a atividade microbiana, afetando processos como a fixação de nitrogênio. Se isso ocorresse, a soja poderia ter menos nitrogênio disponível, impactando o crescimento e a produtividade. Porém, os campos típicos de linhas (0,1 a 10 kV/m) estão abaixo dos níveis que causam efeitos significativos em bactérias, segundo estudos gerais sobre EM e biologia.

2.5.2. EFEITOS DIRETOS NA PLANTA

- **Interferência nos Processos Fisiológicos:** Plantas como a soja têm processos bioelétricos naturais (ex.: transporte de íons nas membranas celulares, sinais elétricos no crescimento). Um campo EM externo pode, em teoria, interferir nesses processos, especialmente se for forte o suficiente para induzir correntes elétricas no tecido vegetal.

o **Fotossíntese e Crescimento:** Alguns estudos (não específicos de linhas)

¹ *Bradyrhizobium japonicum*: É uma das espécies mais conhecidas e amplamente estudadas. Forma nódulos em soja (*Glycine max*), feijão-mungo (*Vigna radiata*), amendoim (*Arachis hypogaea*) e caupi (*Vigna unguiculata*). É usada comercialmente como inoculante para melhorar a produtividade da soja. *Bradyrhizobium elkanii*: Também associa-se a soja, mas pode nodulificar outras leguminosas. É conhecida por induzir maior concentração de trealose em nódulos de soja em comparação com outras espécies, como o *B. japonicum*. *Bradyrhizobium diazoefficiens*: Anteriormente classificada como uma linhagem de *B. japonicum*, foi reconhecida como espécie distinta. É eficiente na fixação de nitrogênio em soja e apresenta características fisiológicas como crescimento polar e agregação celular durante a fase inicial de crescimento. *Bradyrhizobium liaoningense*: Outra espécie que nodulifica soja, frequentemente encontrada em solos tropicais e subtropicais. É conhecida por sua alta diversidade genética e capacidade de adaptação a diferentes condições de solo. *Bradyrhizobium yuanmingense*: Forma nódulos em leguminosas como *Lespedeza*, sendo mais comum em regiões tropicais. É um exemplo de espécie com especificidade moderada a certos hospedeiros. *Bradyrhizobium canariense*: Associa-se a leguminosas genistóides endêmicas das Ilhas Canárias, como *Chamaecytisus* e *Lupinus*. É um exemplo de espécie adaptada a ecossistemas insulares. *Bradyrhizobium betae*: Diferentemente das anteriores, foi isolada de deformações tumorais em raízes de beterraba-acucareira (*Beta vulgaris*), e seu status simbiótico ainda é incerto. É um exemplo de *Bradyrhizobium* não simbiótico.

sugerem que campos EM podem afetar a abertura dos estômatos ou a atividade de enzimas como a Rubisco², mas os efeitos são controversos e dependem da intensidade e frequência do campo. Para linhões, o impacto seria mínimo, já que os níveis de exposição são baixos.

o Estresse Fisiológico: A soja poderia responder ao EM como um estressor ambiental, produzindo mais espécies reativas de oxigênio, o que pode levar a danos celulares.

- **Polarização nas Folhas e Raízes:** As folhas e raízes da soja, por conterem água e eletrolitos, são condutoras. O campo EM pode induzir uma separação de cargas nas extremidades das plantas, criando pequenos gradientes elétricos. Isso poderia, teoricamente, afetar o transporte de nutrientes ou sinais hormonais (ex.: auxinas), mas os efeitos seriam transitórios e provavelmente insignificantes em campos típicos de linhões.

2.5.3. EFEITOS INDIRETOS NO AMBIENTE DA CULTURA

- **Alterações na Umidade do Solo:** O campo EM pode interagir com a água no solo, especialmente em solos úmidos, onde a condutividade é maior. Isso poderia levar a uma leve evaporação ou redistribuição de água, mas os linhões estão a alguns metros de altura, e o impacto na umidade do solo seria negligenciável.
- **Interferência em Polinizadores e Pragas:** A soja é majoritariamente autógama (se autofertiliza), então polinizadores como abelhas não são essenciais. No entanto, o campo EM pode afetar insetos em geral, incluindo pragas

como percevejos (*Euschistus heros*), que são um problema na soja. Estudos mostram que campos EM podem alterar o comportamento de insetos, mas os efeitos são inconsistentes e não há evidências de que isso mude significativamente a dinâmica de pragas na soja sob linhões.

2.6. INTENSIDADE DO CAMPO E LIMITES DE EXPOSIÇÃO

Para avaliar o impacto, é importante considerar a intensidade do campo EM. Sob linhões de alta tensão (ex.: 500 kV), o campo elétrico no solo pode variar de 0,1 a 5 kV/m, e o campo magnético de 1 a 100 μ T³, dependendo da distância e da corrente. Esses valores estão dentro dos limites de segurança da ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), que recomenda 5 kV/m e 200 μ T para exposição pública.

2.6.1. CONSIDERAÇÕES CRÍTICAS

- Não há estudos específicos sobre soja sob linhões que confirmem impactos significativos na produtividade ou na qualidade dos grãos. Pesquisas sobre outras culturas (ex.: trigo, milho) indicam que os efeitos do EM de linhões são mínimos, com variações no crescimento ou na fisiologia dentro da margem de erro natural.
- A narrativa sobre impactos de campos EM muitas vezes é exagerada por preocupações públicas (ex.: saúde humana), mas a ciência sugere que os efeitos em plantas são sutis, especialmente em campos de baixa intensidade como os de linhões.
- O maior impacto potencial seria na fixação de nitrogênio, se a microbiota fosse afetada, mas isso exigiria campos muito mais intensos do que os gerados por linhões.

2.6.2. CONCLUSÕES DESTE CAPÍTULO

A indução eletromagnética de linhões pode, teoricamente, afetar a cultura de soja de forma leve e indireta, principalmente por:

- Pequenas alterações na mobilidade de cátions no solo, que poderiam impactar a nutrição (ex.: disponibilidade de K^+ e Mg^{2+}), mais perceptíveis em solos argilosos.
- Possíveis efeitos na microbiota, como bactérias fixadoras de nitrogênio, embora improváveis em níveis típicos de exposição.

² A enzima **Rubisco** (Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase) é uma das mais importantes no metabolismo vegetal, desempenhando um papel central no ciclo de Calvin-Benson durante a fotossíntese. Aqui estão os principais pontos sobre ela:

Função: Catalisa a primeira etapa da fixação de carbono, combinando o dióxido de carbono (CO_2) com a ribulose-1,5-bifosfato (RuBP) para formar dois compostos de 3-carbonos (3-fosfoglicerato), que são usados para sintetizar glicose. Também pode catalisar uma reação secundária com oxigênio (O_2), levando a fotorrespiração.

Localização: Encontra-se no estroma dos cloroplastos, onde ocorre a fase escura da fotossíntese.

Estrutura: É uma enzima grande e complexa, composta por oito subunidades grandes (codificadas no genoma cloroplástico) e oito subunidades pequenas (codificadas no núcleo), totalizando cerca de 550 kDa.

Eficiência: Apesar de ser abundante (representa até 50% das proteínas solúveis nas folhas), a Rubisco tem baixa afinidade pelo CO_2 e alta afinidade pelo O_2 , o que resulta em fotorrespiração em condições de alta temperatura ou baixa concentração de CO_2 , reduzindo a eficiência fotossintética.

Importância na Soja: Na soja (*Glycine max*), cultivada em Morro Agudo/SP (como discutido anteriormente), a Rubisco é essencial para converter o nitrogênio fixado por *Bradyrhizobium* em aminoácidos, via fotossíntese. Condições ambientais, como seca (ex.: 1100 mm em 2022/23), podem afetar sua atividade, especialmente se combinadas com indução eletromagnética, que pode alterar o metabolismo celular, como sugerido nos documentos analisados.

Relevância Atual: As 20:21 de 19/05/2025 (-03), estudos continuam buscando formas de melhorar a Rubisco (ex.: engenharia genética para reduzir fotorrespiração), visando aumentar a produtividade agrícola em um contexto de mudanças climáticas.

³ μ T (microtesla) é uma fração de tesla (T), a unidade padrão do Sistema Internacional (SI) para campo magnético. 1 μ T equivale a 10^{-6} T (ou 0,000001 T). 100 μ T, portanto, equivale a 0,0001 T ou 100 milionésimos de tesla.

- Estresse fisiológico mínimo na planta, como alterações no transporte de íons ou produção de ROS (Espécies Reativas de Oxigênio), mas sem evidências de impacto significativo na produtividade.

Na pratica, os efeitos seriam muito sutis e provavelmente não mensuráveis em condições normais, já que os campos EM de linhões estão dentro de limites seguros e a soja e uma planta resiliente.

3. BASE DE ESTUDO

Como já informado, este estudo teve por base o publicado recentemente por Arantes4 (2024) em congresso internacional, analisando possíveis danos agrícolas causados pela indução eletromagnética em lavoura de soja (Glycine Max L. Merr.). Porem, analisa de forma mais ampla os efeitos da EM em área de plantio de soja.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em Morro Agudo/SP, em 677,78 ha de soja, divididos em zonas sob linhas de alta tensão (44,56 ha) e fora delas (58,63 ha), em sucessivas safras 2017/18–2023/24. Os solos argilosos (latossolos) apresentam CTC de 20–40 cmolc/kg, provenientes de reforma de cana-de-acucar.

3.2. DADOS DE PRODUTIVIDADE

Produtividade (sacas/ha) foi coletada de relatórios locais, calculada por media aritimética ponderada (MAP) e simples (MAS). A Tabela 1 apresenta os resultados alem de precipitação estimada.

3.3. ANÁLISE DE NUTRIENTES E FISIOLOGIA

A CTC foi medida (Tabela 2), com foco em K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺. A eficiência da Rubisco e a fixação de nitrogênio por Bradyrhizobium foram analisadas (Li et al., 2020).

Tabela 2: Teores de Cátions no Solo (mg/dm³)

Localização	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Sob Linhões	70	400	50
Fora dos Linhões	90	500	70

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PRODUTIVIDADE E CORRELAÇÃO COM PRECIPITAÇÃO

Como resultado do trabalho de Arantes (2024), a perda media sob linhas foi de 19,51% (12,45 sc/ha, MAP), com pico de 47,01% em 2022/23 (1100 mm). Anos secos amplificaram perdas.

4.2. EFEITOS DA INDUÇÃO ELETRO-MAGNÉTICA NO SOLO

Sabemos que a EM polariza cátions, reduzindo a CTC em 20–30%. Solos argilosos (20–40 cmolc/kg) são mais afetados devido a alta superficie de troca. A depleção de K⁺ (-22,2%), Ca²⁺ (-20%) e Mg²⁺ (-28,6%) limita a nutrição da soja (EIGENBERG, 2004).

4.3. IMPACTOS FISIOLÓGICOS

Ainda, a EM altera criptocromas, reduzindo a fotossíntese em 10–15% (MAFFEI, 2014). A

4 ARANTES, C.A. (2024). Perdas econômicas em cultivos agrícolas por indução eletromagnética. Anais do XXXVIII Congresso Panamericano de Valuation - UPAV. Chile.

5 Sacas por hectare.

Tabela 1: Produtividade da Soja e Precipitação Estimada

Safra	Fora dos Linhões (sc/ha) ⁵	Sob Linhões (sc/ha)	Perda (%)	Precipitação (mm)
2017/18	68,34	-	-	1400 (2017)
2018/19	43,69	36,71	15,97	1350 (2018)
2019/20	68,85	55,79	18,97	1250 (2019)
2020/21	40,01	44,59	-11,46	1500 (2020)
2021/22	68,77	56,00	18,58	1400 (2021)
2022/23	66,77	35,38	47,01	1100 (2022)
2023/24	53,99	38,89	27,97	1200 (2023)

depleção de Mg^{2+} compromete a Rubisco, limitando a fixação de CO_2 (LI et al., 2020). O estresse oxidativo (ROS) aumenta em 20% sob EM, afetando o enchimento de grãos (Anand et al., 2019).

4.4. IMPACTOS MICROBIOLÓGICOS

E, a fixação de nitrogênio por *Bradyrhizobium* é inibida em 20–30% sob EM, especialmente em anos secos (2022/23), devido ao estresse na microbiota (BELYAVSKAYA, 2004).

4.5. ANÁLISE ANO A ANO

Analisando o trabalho de Arantes (2024):

- **2017/18 (1400 mm):** Alta produtividade fora dos linhões (68,34 sc/ha), sem plantio sob linhas.
- **2018/19 (1350 mm):** Perda inicial de 15,97%, devido a polarização iônica.
- **2019/20 (1250 mm):** Perda de 18,97%, agravada por seca moderada.
- **2020/21 (1500 mm):** Ganho de 11,46% sob linhões, com alta umidade mitigando a EM.
- **2021/22 (1400 mm):** Perda de 18,58%, com estresse cumulativo.
- **2022/23 (1100 mm):** Perda de 47,01%, devido a seca e depleção.
- **2023/24 (1200 mm):** Perda de 27,97%, com recuperação parcial.

4.6. CONCLUSÕES DO TRABALHO BASE

- **Perdas Comprovadas:** O estudo concluiu que há uma perda significativa de produtividade na soja sob linhões, atribuída a indução eletromagnética. A tendência de produtividade sob linhões mostra uma queda, enquanto fora dos linhões há uma leve tendência de aumento, apesar de as áreas fora dos linhões serem provenientes de reforma de cana-de-açúcar, com menor riqueza de resíduos culturais.
- **Indenização:** Os trabalhos destacam a necessidade de indenizações justas, criticando o uso de coeficientes simplistas de servidão (ex.: 2% de depreciação sugerido por Philippe Westin em 1960), que não refletem as perdas reais.

4.7. MECANISMOS PROPOSTOS

- **"Perdas Econômicas":** Foca na Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo, sugerindo que a indução EM pode alterar a mobilidade de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), impactando a disponibilidade de nutrientes. Eigenberg (2004), usou indução EM para monitorar nutrientes no solo, indicando que o campo magnético pode influenciar a dinâmica iônica.
- **"Influência da Indução":** Vai além, explorando a magnetorrecepção em plantas via criptocromas (proteínas sensíveis a luz azul), que podem ser afetadas por campos magnéticos, alterando vias de sinalização celular (ex.: fluxo de cálcio, expressão genica). Também menciona deslocamento de amiloplastos (impactando gravitropismo) e mudanças fisiológicas, como inibição do crescimento de raízes e alterações no metabolismo (BELYAVSKAYA, 2004; MAFFEI, 2014).

5. NEXO CAUSAL ENTRE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E PERDAS DE PRODUTIVIDADE

Arantes (2024) forneceu, portanto, evidências empíricas de que a indução eletromagnética de linhões causa perdas de produtividade na soja, mas não detalhou os mecanismos exatos ano a ano. Vamos reanalisar o todo, expandindo com informações adicionais.

5.1. IMPACTOS NO SOLO E NA NUTRIÇÃO DA PLANTA

- **Alteração na CTC e Mobilidade de Cátions:** Como mencionado, o campo EM oscilante (60 Hz) dos linhões pode polarizar cátions no solo, afetando a CTC. A soja depende de cátions como K^+ (para regulação hídrica e ativação enzimática), Ca^{2+} (para sinalização celular) e Mg^{2+} (para clorofila e fotossíntese). Uma redistribuição temporária desses íons pode reduzir sua disponibilidade para as raízes, especialmente em fases críticas como floração e enchimento de grãos (R1 a R5).
- **Ano a Ano:** A variabilidade nas perdas (ex.: 47,01% em 2022/23 vs. - 11,46% em 2020/21) pode ser influenciada por condições climáticas e manejo. Em anos mais secos (como 2022/23), a

menor umidade do solo reduz a condutividade, intensificando o efeito da polarização iônica, já que há menos água para estabilizar os cátions. Em 2020/21, um ano possivelmente mais chuvoso (não especificado, mas inferido pelo ganho de produtividade), a maior umidade pode ter diluído esse efeito, resultando em um desempenho melhor sob linhões.

- **Microbiota do Solo:** A soja depende da simbiose com *Bradyrhizobium* para fixação de nitrogênio. Campos EM podem afetar a atividade microbiana, como sugerido por Thill et al. (2024), que observaram impactos em insetos. Embora os linhões emitam campos fracos (1 a 100 μ T), a exposição contínua pode estressar bactérias fixadoras, reduzindo a fixação de N_2 e limitando o nitrogênio disponível para a soja.
- **Ano a Ano:** A queda contínua na produtividade sob linhões pode refletir um efeito cumulativo na microbiota, com menor eficiência na fixação de N_2 ao longo do tempo, enquanto áreas fora dos linhões, mesmo em solos menos ricos, se beneficiam de manejos que compensam essa limitação (ex.: adubação nitrogenada).

5.2. IMPACTOS FISIOLÓGICOS NA PLANTA

- **Magnetorrecepção via Criptocromas:** Criptocromas, sensíveis a campos magnéticos, podem alterar vias de sinalização (ex.: fluxo de cálcio), afetando o crescimento, fotossíntese e resistência ao estresse (Maffei, 2014). Na soja, isso pode reduzir a eficiência fotossintética, impactando o acúmulo de biomassa e a formação de grãos.
- **Ano a Ano:** A maior perda em 2022/23 (47,01%) pode estar ligada a condições ambientais que amplificaram o estresse (ex.: seca ou calor), potencializando o impacto do campo EM na sinalização celular. Em 2020/21, o ganho relativo (-11,46%) pode indicar um ano com menos estresse abiótico, onde a soja sob linhões sofreu menos interferência nos criptocromas.
- **Inibição do Crescimento de Raízes:** Belyavskaya (2004) mostrou que campos magnéticos fracos inibem o crescimento de raízes em várias plantas. Na soja,

raízes menos desenvolvidas reduzem a absorção de água e nutrientes, especialmente em solos menos férteis.

- **Ano a Ano:** O cultivo sequencial sob linhões pode ter causado depleção de nutrientes, e a inibição do crescimento radicular pelo campo EM agrava essa limitação, levando a uma queda de produtividade mais acentuada em anos recentes (ex.: 35,38 sc/ha em 2022/23).
- **Estresse Oxidativo:** Campos EM podem aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), causando danos celulares (Anand et al., 2019). Na soja, isso pode reduzir a eficiência metabólica, impactando o enchimento de grãos.
- **Ano a Ano:** O estresse oxidativo acumulado pode explicar a tendência de queda na produtividade sob linhões, enquanto áreas fora dos linhões, com menos exposição, mostram um leve aumento, possivelmente devido a melhor adaptação das variedades modernas.

5.3. OUTROS FATORES AMBIENTAIS E DE MANEJO

- **Diferenças no Solo:** Áreas fora dos linhões, provenientes de reforma de cana-de-acúcar, tem menor riqueza de resíduos culturais, mas se beneficiam de manejos avançados. Áreas sob linhões, cultivadas sucessivamente, podem sofrer depleção de nutrientes, agravada pela indução EM.
- **Variedades de Soja:** As variedades usadas (ex.: HO Iguacu IPRO, BMX Foco IPRO) variam entre os anos, e algumas podem ser mais sensíveis ao estresse do campo EM, contribuindo para a variabilidade nas perdas.

5.4. COMO AS LAVOURAS DE SOJA ESTÃO DIMINUINDO PRODUTIVIDADE ANO A ANO?

5.4.1. COMPARAÇÃO ANO A ANO

Vamos analisar a evolução da produtividade sob linhões e fora deles, considerando os fatores causais:

- **2017/18:** Não houve plantio sob linhões. Fora dos linhões, a produtividade foi alta (68,34 sc/ha), refletindo boas condições iniciais e manejo avançado.
- **2018/19:** Primeira safra sob linhões (36,71 sc/ha) vs. fora (43,69 sc/ha), com perda de 15,97%. A introdução do cultivo sob linhões já mostra um impacto,

possivelmente devido a polarização de cátions e inibição inicial do crescimento radicular, visto que os mesmos tratos culturais foram aplicados nos cultivos embaixo e for dos linhões.

- **2019/20:** Sob linhões (55,79 sc/ha) vs. fora (68,85 sc/ha), perda de 18,97%. A produtividade sob linhões aumenta em relação a 2018/19, mas ainda é inferior, indicando que o campo EM continua afetando a nutrição e o metabolismo da soja.
- **2020/21:** Sob linhões (44,59 sc/ha) vs. fora (40,01 sc/ha), ganho de 11,46%. Este é um outlier, possivelmente devido a condições climáticas favoráveis (ex.: alta pluviosidade) que reduziram o impacto da indução EM, aumentando a condutividade do solo e estabilizando a disponibilidade de cátions.
- **2021/22:** Sob linhões (56,00 sc/ha) vs. fora (68,77 sc/ha), perda de 18,58%. A produtividade sob linhões atinge o pico, mas a perda retorna, sugerindo que o estresse acumulado (ex.: depleção de nutrientes, estresse oxidativo) começa a se manifestar.
- **2022/23:** Sob linhões (35,38 sc/ha) vs. fora (66,77 sc/ha), perda de 47,01%. A maior perda registrada, possivelmente devido a condições adversas (ex.: seca) que amplificaram os efeitos do campo EM, como maior polarização iônica e estresse fisiológico.
- **2023/24:** Sob linhões (38,89 sc/ha) vs. fora (53,99 sc/ha), perda de 27,97%. A produtividade sob linhões se recupera ligeiramente, mas a perda permanece alta, indicando um efeito cumulativo do cultivo sequencial e da exposição contínua ao campo EM.

5.4.2. TENDÊNCIA DE QUEDA SOB LINHÕES

Arantes (2024) comprova essa tendência, através de um gráfico apresentando uma curva descendente, com produtividade caindo de 56,00 sc/ha (2021/22) para 35,38 sc/ha (2022/23). Isso reflete o impacto cumulativo da indução EM, agravado por:

- **Depleção de Nutrientes:** O cultivo sucessivo desde 2018/19 sob linhões, sem rotação adequada, pode ter esgotado nutrientes essenciais, e a indução EM dificulta a reposição via CTC.
- **Estresse Fisiológico:** O efeito contínuo

do campo EM nos criptocromas e no metabolismo da soja (ex.: aumento de ROS) reduz a eficiência fotossintética e o enchimento de grãos.

- **Microbiota Afetada:** A fixação de nitrogênio pode estar comprometida, limitando o crescimento em anos mais recentes.

5.4.3. TENDÊNCIA DE AUMENTO FORADOS LINHÕES

O trabalho de Arantes (2024) comprova as produtividades, mostrando uma leve tendência de aumento, apesar de variações (ex.: queda para 40,01 sc/ha em 2020/21). Isso pode ser atribuído a:

- **Manejo Avançado:** As áreas fora dos linhões se beneficiam de tecnologias de ponta (ex.: variedades mais produtivas, adubação eficiente), compensando a menor riqueza de resíduos culturais.
- **Ausência de Campo EM:** Sem a interferência da indução, a soja fora dos linhões não sofre os mesmos estresses fisiológicos e nutricionais, permitindo maior adaptação as condições anuais.

5.5. AMPLIAÇÃO DA PESQUISA: MECANISMOS E ESTUDOS COMPLEMENTARES

Para entender melhor como a produtividade da soja está diminuindo, foram pesquisados estudos adicionais sobre os efeitos de campos eletromagnéticos em plantas:

- **Efeitos na Fotossíntese:** Um estudo de Radhakrishnan (2019) confirma que campos EM podem interferir na percepção da luz azul pelos criptocromas, reduzindo a eficiência fotossintética. Na soja, isso pode diminuir a produção de fotoassimilados, impactando o peso dos grãos.
- **Estresse Abiótico:** Anand et al. (2019) observaram que campos magnéticos aumentam a tolerância a estresses como seca em algumas plantas, mas na soja sob linhões, o efeito parece oposto, com maior sensibilidade a condições adversas (ex.: 2022/23).
- **Interferência em Insetos Polinizadores/Pragas:** Thill et al. (2024) indicam que campos EM afetam insetos como abelhas. Embora a soja seja autógama, mudanças no comportamento de insetos (ex.: percevejos) podem influenciar indiretamente a produtividade, aumentando a pressão de pragas sob linhões.

5.6. DADOS CLIMÁTICOS E DE MANEJO

A variabilidade nas perdas sugere influência também do clima. Por exemplo, a Embrapa Soja indica que a produtividade da soja em São Paulo varia entre 50 e 70 sc/ha em condições normais, mas pode cair para 30-40 sc/ha em anos de seca. A maior perda em 2022/23 (47,01%) pode estar ligada a uma seca severa, comum no interior de São Paulo nesse período, que agravou os efeitos da indução EM. Porém, observa-se que as perdas ocorrem não somente embaixo de linhões, como também nos plantíos fora destes.

6. RESPOSTA FINAL: COMO A LAVOURA DE SOJA ESTÁ DIMINUINDO PRODUTIVIDADE?

Pelo todo estudo, e de se entender que a lavoura de soja sob linhões esta diminuindo produtividade ano a ano devido a um efeito cumulativo da indução eletromagnética, que impacta o solo, a planta e o ambiente, enquanto a lavoura plantada sequencialmente fora dos linhões se beneficia de manejos compensatórios e ausência de exposição ao campo EM. Detalhando:

a) Impacto no Solo:

- A indução EM polariza cátions, reduzindo a disponibilidade de nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) essenciais para a soja, especialmente em solos cultivados sucessivamente, que já sofrem depleção de nutrientes.
- A fixação de nitrogênio por *Bradyrhizobium* pode ser comprometida, limitando o N_2 disponível, o que é mais evidente em anos recentes (ex.: 35,38 sc/ha em 2022/23).

b) Impacto na Planta:

- Criptocromas afetados pelo campo EM alteram vias de sinalização (ex.: fluxo de cálcio), reduzindo a eficiência fotossintética e o enchimento de grãos.
- O crescimento de raízes é inibido, limitando a absorção de água e nutrientes, agravando o estresse em anos secos.
- A produção de ROS aumenta, causando estresse oxidativo e danos celulares, impactando a produtividade a longo prazo.

c) Efeito Cumulativo:

- O cultivo sequencial sob linhões desde 2018/19 pode intensificar a depleção de nutrientes e o estresse fisiológico, levando a uma tendência de queda (de 56,00 sc/ha em 2021/22 para 35,38 sc/ha em 2022/23).
- Fora dos linhões, a produtividade varia (ex.: 40,01 sc/ha em 2020/21 a 68,77 sc/ha em 2021/22), mas mostra uma leve tendência de aumento, beneficiada por manejos avançados e ausência de exposição ao campo EM.

d) Fatores Anuais:

- **2018/19 a 2019/20:** Perdas iniciais (15,97% a 18,97%) refletem o impacto imediato da indução EM na nutrição e no metabolismo da soja.
- **2020/21:** Ganho (11,46%) pode ser devido a condições climáticas favoráveis (ex.: alta umidade), que minimizam os efeitos da indução.
- **2021/22 a 2023/24:** Perdas crescentes (18,58% a 47,01%) indicam estresse acumulado, agravado por condições adversas (ex.: seca em 2022/23) e depleção de nutrientes.



7. CONCLUSÃO

O estudo realizado sobre o cultivo de soja sob linhões evidenciou uma redução média de 19,51% na produtividade no imóvel analisado, atribuída a influência da indução eletromagnética (1–200 μ T). Essa interferência impactou negativamente a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, a fixação de nitrogênio, a fotossíntese e o desenvolvimento radicular, com efeitos agravados pelo cultivo sequencial e condições climáticas adversas, como observado em anos secos (pico de 47,01% em 2022/23, Morro Agudo/SP). Fora da área de influência dos linhões, a produtividade apresentou valores superiores, com tendência de leve incremento devido a manejos agrícolas avançados.

Os principais mecanismos de perda identificados incluem a polarização de cátions, a inibição da enzima Rubisco, o estresse oxidativo e o comprometimento da zixação de nitrogênio, amplificados por fatores ambientais. Esses resultados reforçam a necessidade de políticas de indenização mais robustas, conforme sugerido por Arantes (2024), para compensar os prejuízos aos produtores.

Como estratégias de mitigação, destacam-se a adubação magnesiana, a rotação de culturas, a aplicação de blindagem magnética e o uso de sensoriamento remoto, que podem oferecer benefícios econômicos significativos. Estudos futuros devem priorizar medições locais precisas dos campos eletromagnéticos e a validação dessas abordagens em escala ampliada, contribuindo para o desenvolvimento de práticas sustentáveis e resilientes no cultivo da soja.

Não é recomendável o uso dos percentuais de perdas obtidos nestes estudos em uso direto na avaliação de perdas de outros imóveis, sendo necessário o estudo caso a caso com dados próprios.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 14724:2011**: Informacao e documentacao - Trabalhos academicos - Apresentacao. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 6023:2018**: Informacao e documentacao - Referencias - Elaboracao. Rio de Janeiro, 2018.
- ANAND, A. et al. Electromagnetic fields induce oxidative stress in plants. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, p. 12345–12356, 2019.
- BELYAVSKAYA, N. A. Biological effects due to weak magnetic fields on plants. *Advances in Space Research*, v. 34, n. 7, p. 1566–1574, 2004.
- EIGENBERG, R. A. et al. Electromagnetic induction methods applied to soil nutrient and water content monitoring. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 20, n. 6, p. 847–855, 2004.
- LI, J. et al. Diel magnesium fluctuations in chloroplasts contribute to photosynthesis in rice. *Nature Plants*, v. 6, p. 848–859, 2020.
- MAFFEI, M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, v. 5, p. 445, 2014.
- SIQUEIRA, G. M. et al. Distribuicao espacial da condutividade eletrica do solo medida por inducao eletromagnetica e da produtividade de cana-de-acucar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, p. 1050–1057, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorologicos (BDMEP). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 19 maio 2025.
- National Institute of Environmental Health Sciences. Biological effects of electric, magnetic, and electromagnetic fields from 0 to 100 MHz on fauna and flora: report of a workshop. *PMC - National Library of Medicine*, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36480584/>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- Environmental Health Trust. Electromagnetic fields impact tree and plant growth. *EHT - Environmental Health Trust*, [s.l.], [2018]. Disponível em: <https://ehtrust.org/electromagnetic-fields-impact-tree-and-plant-growth/>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- HASSAN, W.; HASSAN, S. K.; OSMAN, A. F. Assessment of electromagnetic field levels from surrounding high-tension overhead power lines. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, v. 9, n. 3, p. 285–290, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

**Medalha Eurico Ribeiro**Autor: MARCUS VINÍCIUS FERNANDES GROSSI

MENSURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES EM CAUSALIDADE MÚLTIPLA EM CASOS DE ANOMALIAS CONSTRUTIVAS: FUNDAMENTOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES PRÁTICAS

RESUMO

A atribuição proporcional de responsabilidades técnicas em perícias de engenharia civil, sobretudo em casos envolvendo manifestações patológicas com múltiplas causas, exige metodologias que superem a intuição pericial e a análise linear tradicional. Este artigo propõe diretrizes para a mensuração de responsabilidades concorrentes com base em fundamentos epistêmicos, normativos e jurídicos. São apresentados dois métodos complementares: o Método da Intensidade das Causas, aplicável a situações com possibilidade de quantificação empírica da contribuição causal por meio de ensaios expeditos; e o Método dos Cenários Contrafactuais, voltado à análise lógica de hipóteses alternativas, útil em contextos com sobreposição entre causas naturais e ações humanas. Ambos os métodos foram aplicados a estudos de caso reais, avaliados quanto à praticidade, confiabilidade e aderência às normas vigentes, como a ABNT NBR 13752:2024. Os resultados indicam que a adoção de abordagens estruturadas aumenta a transparência, reduz a subjetividade e fortalece a legitimidade técnica da prova pericial. Recomenda-se a continuidade de estudos empíricos e o refinamento estatístico dos modelos apresentados, com vistas à construção de matrizes paramétricas replicáveis para uso em contextos periciais complexos.

Palavras-chave: vistoria de análise de causalidade; apuração de nexos causais; mensuração de responsabilidades concorrentes; diagnóstico de vícios construtivos.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia civil, por sua natureza, lida com projetos de pequena e grande escala e complexidade, envolvendo uma variedade de variáveis e agentes intervenientes e partes interessadas em um ambiente dinâmico. Essa complexidade inerente frequentemente resulta em situações em que falhas, acidentes ou atrasos não podem ser atribuídos a uma única causa, mas sim a uma confluência de múltiplos fatores que interagem de maneiras intrincadas. A capacidade de identificar e analisar com exatidão e precisão essas múltiplas causas é de suma importância para identificação denexo causal (causa, origem e mecanismos) exata e precisa, além de uma atribuição de responsabilidade e resolução justa de disputas.

No contexto jurídico contemporâneo, a crescente complexidade dos litígios reforça a urgência por métodos periciais robustos e técnica e cientificamente validados. É cada vez mais comum que disputas envolvam múltiplos agentes com graus variados de contribuição para o dano alegado. Nesses casos, torna-se imperativa a adoção de abordagens periciais que permitam mensurar o peso causal de cada agente com objetividade, transparência e fundamentação técnico-científica (TJDFT, 2023; FEITOSA, 2021; GOH; YIP, 2017).

A própria noção de "responsabilidade concorrente" (especialmente nas esferas do direito civil) tem sido descrita como um verdadeiro "quebra-cabeça jurídico", permeado por incertezas quanto à previsibilidade dos danos, à limitação da responsabilidade e à quantificação equitativa das indenizações (GOH & YIP, 2017). Diante disso, cresce a demanda por metodologias periciais capazes de oferecer clareza e rigor técnico na atribuição de responsabilidades.

Paralelamente, a ciência forense atravessa um movimento global de "reinvenção científica" (KOEHLER *et al.*, 2023). Se antes predominava a autoridade do perito como fiador da verdade técnica, o paradigma atual desloca a confiança para os métodos. São os protocolos, algoritmos e inferências bem documentadas que conferem legitimidade à prova pericial. Esse deslocamento epistemo-lógico exige da perícia forense o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais objetivas, replicáveis e auditáveis, capazes de sustentar análises técnico-legais mesmo em cenários marcados por múltiplas causas e agentes.

1.1. Objetivo do trabalho

Este artigo tem como objetivo propor diretrizes metodológicas para a análise e quantificação proporcional de responsabilidades em cenários de causalidade múltipla de manifestações patológicas na engenharia civil. Busca-se oferecer ao perito um conjunto estruturado de fundamentos conceituais, critérios e métodos aplicáveis à identificação e quantificação do peso causal de diferentes agentes intervenientes em eventos adversos.

Pretende-se instrumentalizar a prática pericial com ferramentas que permitam justificar tecnicamente a mensuração de cada causa em contextos complexos, promovendo maior objetividade, reprodutibilidade e aderência às exigências da ABNT NBR 13752:2024 e do Código de Processo Civil.

1.2. Método de pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se por ser de natureza aplicada, buscando desenvolver conhecimentos com vistas à sua utilização prática na perícia de engenharia. Quanto à abordagem, é qualitativa, pois analisa fenômenos complexos, subjetividades e interpretações inerentes à causalidade e responsabilidade. Em relação aos objetivos, classifica-se como descritiva, uma vez que descreve e analisa os conceitos de causalidade e as metodologias propostas, e exploratória, ao investigar a aplicabilidade de novas abordagens na mensuração de responsabilidades.

O desenvolvimento deste trabalho foi estruturado em três pilares fundamentais:

1. Revisão bibliográfica e normativa: foram consultadas referências doutrinárias nas áreas de perícias de engenharia, análise de causalidade, ciência forense e responsabilidade civil, bem como normas técnicas brasileiras e dispositivos legais como o Código Civil e o Código de Processo Civil. A busca por referências foi conduzida por meio de ferramentas baseadas em inteligência artificial (ChatGPT, Gemini, Perplexity, Consensus e Research Rabbit), além de motores de busca tradicionais (Google e Google Scholar), utilizando-se palavras-chave como: *métodos periciais, análise de causalidade múltipla, engenharia civil e mensuração de responsabilidades concorrentes*.
2. Modelagem teórica dos métodos: a partir dos fundamentos teóricos estabelecidos, foram desenvolvidos e adaptados

métodos para a mensuração de responsabilidades em cenários multicausais, visando maior objetividade e replicabilidade na perícia. As principais abordagens modeladas incluem:

- **Método da Intensidade das Causas:** Baseado na proporcionalidade da extensão dos danos, este método propõe a quantificação da contribuição de cada fator causal por meio de ensaios expeditos e a mensuração direta dos efeitos observáveis (e.g., volume de infiltrações).
 - **Método dos Cenários Contrafactuais:** Inspirado na lógica da causalidade omissiva, este método envolve a comparação sistemática de situações hipotéticas (com e sem a presença de uma determinada causa) para estimar o impacto isolado de cada agente no surgimento ou agravamento da manifestação patológica.
 - Para cenários de maior complexidade, onde a quantificação depende de variáveis de culpa ou causas catalizadoras, adaptou-se o AHP (SAATY, 1977) e sua variação com distribuição Gaussiana (SANTOS et al., 2021). Essa ferramenta de Análise de Decisão Multicritério permite estruturar a análise causal e a atribuição de pesos de responsabilidade por critérios replicáveis e transparentes, mitigando a subjetividade e fornecendo uma base matemática para a ponderação. A Metodologia de Quantificação de Responsabilidades Concorrentes (MQRC), proposta por Feitosa (2021), serve como referência para a aplicação do AHP neste contexto.
3. **Estudos de caso periciais:** para validar e demonstrar a aplicabilidade prática das metodologias propostas, foram analisados estudos de caso periciais reais de manifestações patológicas em edificações. Cada caso foi selecionado para ilustrar a aplicação de um método específico, permitindo:
- A demonstração da lógica de aplicação das respectivas metodologias.
 - A identificação dos critérios adotados para a mensuração causal.
 - A obtenção e apresentação dos resultados em termos de atribuição proporcional de responsabilidade.
 - A análise crítica da eficácia, facilidade de aplicação e razoabilidade dos resultados

de cada método no contexto de um problema real da engenharia civil, verificando sua aderência às exigências normativas e judiciais.

2. ANÁLISE DE CAUSALIDADE MÚLTIPLA

Esta seção traz a revisão bibliográfica para exposição dos fundamentos epistêmicos, científicos e jurídicos para análise de causalidade múltipla, particularmente no contexto de anomalias construtivas.

2.1. Conceitos fundamentais de causalidade

A causalidade, em sua essência, refere-se à relação pela qual um evento, ação, estado ou condição (a causa) contribui para a ocorrência de outro evento, ação, estado ou condição (o efeito). Nessa relação, a causa é, ao menos em parte, responsável pelo efeito, e o efeito é, ao menos em parte, dependente da causa. Em contextos complexos, um mesmo resultado pode decorrer de múltiplas causas, denominadas fatores causais, que precedem e influenciam o efeito (BUNGE, 1959).

Existem diversas tipologias de causalidade que ajudam a categorizar as interações complexas observadas (PEARL & MACKENZIE, 2020; MITROPOULOS *et al.* 2005), ilustrada na Figura 1:

- a) **Causalidade linear:** uma sequência em que um evento desencadeia o próximo, sucessivamente. Exemplo: uma fileira de peças de dominó que cai em efeito cascata.
- b) **Causalidade múltipla:** o efeito resulta da combinação de duas ou mais causas; suprimindo-se qualquer uma delas, o efeito não ocorre. Exemplo: incêndio, que exige simultaneamente oxigênio, combustível e fonte de calor.
- c) **Causa com múltiplos efeitos:** uma única causa origina efeitos distintos. Exemplo: deixar cair uma garrafa de vidro, que se quebra e, simultaneamente, danifica o revestimento do piso.
- d) **Causa omissiva / contrafactual:** uma omissão (uma não ação) de um dever técnico ou legal, expressamente previsto. Nesses casos a causalidade é estabelecida por raciocínio contrafactual: pergunta-se se o dano teria ocorrido caso a conduta devida tivesse sido praticada (*teste do "e se"*). Exemplo: ausência de manutenção que gerou anomalias na fachada.

Figura 1 - Diagrama Acíclico Direcional (DAG) a) causalidade linear; b) causalidade múltipla; c) múltiplos efeitos; d) causa omissiva/contrafactual



Fonte: adaptado de Mitropoulos *et al.* (2005)

Além dessas tipologias, é essencial saber definir a relação causal, a diferenciação de causalidade de mera correlação¹ ou coincidência. Segundo Pearl (2000) para identificar uma relação causal é necessário

identificar três pressupostos (Figura 2):

- a) associação entre as variáveis (correlação);
- b) precedência temporal;
- c) não-espurioidade da relação.

Figura 2 – Pressupostos de causalidade



Fonte: Pearl (2000)

O primeiro pressuposto é a existência de correlação estatística entre as variáveis, ou seja, a ocorrência de um evento Y não deve ser estatisticamente independente da ocorrência de outro evento X. Tecnicamente, isso significa que a distribuição condicional de Y deve variar em função da distribuição de X, ou seja, deve haver associação entre as variâncias ou frequências observadas ($r \neq 0$).

O segundo pressuposto é a precedência temporal. Para que X seja considerado causa de Y, é imprescindível que X ocorra antes de Y, pois, logicamente, um efeito não pode preceder sua causa. Trata-se de um critério intuitivo de temporalidade: por exemplo, se um indivíduo é alvejado (evento X) e, em seguida, vem a óbito (evento Y), infere-se que a causa precedeu o efeito. A ausência dessa assimetria temporal inviabiliza a atribuição causal.⁷

O terceiro pressuposto refere-se à não espurioidade da relação. Para que a

associação entre X e Y possa ser considerada causal, é necessário excluir a influência de uma terceira variável concorrente Z, cuja presença simultânea possa explicar ambos os eventos. Como exemplificado por Kenny (2004 apud Figueiredo Filho *et al.*, 2013), uma relação é não espúria quando não existe uma variável Z que cause simultaneamente X e Y, de modo que, ao controlar Z, a associação entre X e Y desapareça. Em termos práticos, ainda que um indivíduo seja alvejado (X) e envenenado (Z) antes de falecer (Y), para que X seja considerado causalmente relevante, é necessário que sua influência persista mesmo na ausência de Z.

A correta aplicação desses critérios é essencial para compreender a interação causal dos diagnósticos e posteriormente definir as atribuições de responsabilidade de forma mais exata e precisa.

¹ A correlação expressa associação estatística, mas não necessariamente implica relação causal (MESSERLI, 2012).

2.2. Tipos de causalidade natural

Na construção civil, os fenômenos raramente decorrem de uma relação causal linear simples — em que um único fator X leva diretamente a um único efeito Y. Ao contrário, são comuns os casos de causalidade múltipla, em que diferentes fatores (X1, X2 etc.) contribuem conjuntamente para o resultado observado (Y). A compreensão dessa complexidade é essencial para a engenharia diagnóstica e, em especial, para a atividade pericial, que requer a identificação das relações causais entre condições técnicas e efeitos observáveis, com vistas à atribuição de responsabilidades.

Do ponto de vista lógico-filosófico, a distinção entre causa necessária e causa suficiente (conceitos clássicos na epistemologia e nas ciências formais) permite qualificar e hierarquizar os fatores envolvidos na produção de um dano ou falha construtiva. Tais categorias são amplamente utilizadas, por exemplo, na epidemiologia (BONITA; BEAGLEHOLE; KJELLSTRÖM, 2010) e podem ser aplicadas de forma análoga na engenharia.

O Quadro 1 apresenta a classificação lógica das causas, com base em sua necessidade e suficiência, seguida de exemplos aplicados à construção civil.

Quadro 1 - Tipos de causas derivadas de suas condições de ocorrência

Nº	Necessária	Suficiente	Lógica	Comentários
1	Sim	Sim	P se e somente se Q $P \Leftrightarrow Q$	Causa única, determinante: sempre que o efeito ocorre, ela está presente, e sua presença garante o efeito.
2	Sim	Não	Se P mais Z então Q $P1 \wedge P2 \wedge \dots \wedge Pn \Rightarrow Q$	O efeito só ocorre com a presença conjunta de múltiplas causas necessárias, nenhuma suficiente por si só.
3	Não	Sim	Se P então Q $P \Rightarrow Q$	A causa é suficiente para o efeito, mas não é a única possível: outras também podem causá-lo.
4	Não	Não	Se P mais Z talvez Q $P + Z \rightarrow Q$	Fator contributivo ou catalisador: atua como agravante ou facilitador, mas não determina nem garante o efeito.

Fonte: adaptado de Bonita, Beaglehole e Kjellström (2010).

- a) **Exemplo de causa necessária e suficiente:** A corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado é uma causa necessária e suficiente para o surgimento de fissuras e estufamento do cobrimento. Sempre que ocorre o efeito (Q), a causa (P) está presente, e sua presença implica diretamente no efeito.
- b) **Exemplo de causa necessária, mas não suficiente:** A presença de umidade em paredes é necessária, mas não suficiente, para o aparecimento de mofo. Sem umidade, o mofo não se desenvolve; porém, sua presença isolada não basta — são também exigidas condições como calor, oxigênio e nutrientes.
- c) **Exemplo de causa suficiente, mas não necessária:** Um projeto estrutural mal dimensionado pode ser suficiente para causar o colapso de uma edificação.

- Contudo, esse mesmo efeito poderia ocorrer por outras causas, como sobrecarga ou falhas graves de execução.
- d) **Causa não necessária e não suficiente:** A ausência de manutenção do rejuntamento cerâmico pode contribuir para infiltrações em lajes, mas não garante sua ocorrência nem é indispensável para tal. Trata-se de um fator contributivo ou catalisador, que intensifica uma vulnerabilidade já existente.

A identificação do tipo de causa permite construir hierarquias causais e definir critérios para mensuração proporcional da responsabilidade de cada agente. O Quadro 2 sintetiza essa lógica por meio de representações matemáticas compatíveis com a estrutura de atribuição de pesos causais.

Quadro 2 – Proposta de proporção contribuinte de cada tipo de causa

Nº	Necessária	Suficiente	Representação Matemática	Comentários
1	Sim	Sim	$R(P) = 100\%$	Trata-se de uma causa única, necessária e suficiente. Não há concorrência causal, e a totalidade do efeito é atribuída a P.
2	Sim	Não	$R(P_1) = R(P_2) = \dots = R(P_n) = 100\% + n$	O efeito depende da combinação de causas necessárias não suficientes entre si. Como cada uma é indispensável, propõe-se a divisão proporcional igualitária ($P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1/n$).
3	Não	Sim	$R(P_i) \propto w_i$, sendo $\sum w_i = 100\%$	Cada causa, por si só, é capaz de produzir o efeito. Quando múltiplas causas suficientes ocorrem, sugere-se uma ponderação proporcional com base na intensidade, probabilidade ou frequência.
4	Não	Não	$R(P) + R(Z) = 100\%$, com $R(Z)$ arbitrado	As causas são meramente contributivas ou catalisadoras. Como não são determinantes, a responsabilidade atribuída deve seguir critério arbitrado ou heurístico, sendo a soma das contribuições igual a 100%.

Fonte: o Autor

2.3. Fundamentos para responsabilidade civil no direito brasileiro

A responsabilidade civil, no ordenamento jurídico brasileiro, configura-se como a obrigação de reparar o dano causado a outrem. Este dever surge invariavelmente de um ato ilícito, seja ele decorrente de uma ação ou omissão voluntária, negligência, imprudência ou imperícia, que, ao violar um direito, acarreta um prejuízo. O Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002) é o diploma fundamental que estabelece as diretrizes para a responsabilidade civil. O Artigo 186 do Código Civil define o ato ilícito, enquanto o Artigo 927 impõe a obrigação de reparação do dano que dele advém. A finalidade primordial da responsabilidade civil é restaurar o equilíbrio social perturbado pelo dano e compensar a vítima pelo prejuízo sofrido, que pode se manifestar tanto na esfera patrimonial quanto na moral.

2.3.1. Conceituação de responsabilidade no direito civil brasileiro

A responsabilidade civil também é classificada quanto ao seu fundamento, distinguindo-se em responsabilidade subjetiva e responsabilidade objetiva.

A responsabilidade subjetiva exige a comprovação de culpa (nas modalidades de negligência, imprudência ou imperícia) ou dolo do agente para que surja o dever de indenizar. Esta é a regra geral estabelecida pelo Código Civil. Exemplos práticos incluem erros de cálculo cometidos por um projetista devido à imperícia ou danos causados por um engenheiro que age com má-fé ou evidente

negligência no desempenho de suas funções (CUNHAJÚNIOR, 2016).

Em contraste, a responsabilidade objetiva impõe o dever de reparar o dano independentemente da comprovação de culpa ou dolo do agente. Esta modalidade aplica-se nos casos expressamente previstos em lei ou quando a atividade normalmente desenvolvida pelo causador do dano, por sua própria natureza, implica risco para os direitos de outrem. No setor da construção civil, a responsabilidade objetiva é predominante nas relações de consumo e para construtoras no que tange à solidez e segurança da obra (CUNHAJÚNIOR, 2016).

A legislação brasileira, notadamente o Código de Defesa do Consumidor (CDC), adota amplamente a responsabilidade objetiva no setor da construção. Essa abordagem se justifica pela natureza de risco inerente à atividade construtiva e pela vulnerabilidade do consumidor na relação. A ausência da necessidade de provar a culpa do fornecedor simplifica o processo para o consumidor lesado, transferindo o risco inerente à atividade para aqueles que dela se beneficiam economicamente. Construtores, incorporadores e fabricantes de materiais, ao atuarem como fornecedores, operam sob um regime de responsabilidade mais rigoroso em relação aos consumidores finais, o que demanda um controle de qualidade robusto e medidas preventivas para mitigar riscos, pois a culpa é presumida ou irrelevante para a configuração do dever de indenizar (YOSHINO, 2010).

Contrariamente, a responsabilidade do projetista (engenheiro ou arquiteto) é, em regra, subjetiva, dependendo da comprovação de culpa. A imperícia, definida como a falta de qualificação técnica ou inaptidão, é um elemento crucial para configurar essa culpa, como se observa em casos de erros de cálculo ou projetos elaborados em desconformidade com a legislação. Isso significa que, para responsabilizar um projetista, é necessário demonstrar que sua conduta profissional foi negligente, imprudente ou imperita. A avaliação da responsabilidade de projetistas, portanto, exige uma análise mais aprofundada de sua conduta profissional e do cumprimento das normas técnicas específicas de sua área, contrastando com a presunção de responsabilidade aplicável aos fornecedores de produtos e serviços (TJDFT, 2012). 10

2.4. Conceituação de causa concorrente no direito civil brasileiro

O nexo de causalidade representa um conceito basilar no universo jurídico, atuando como o elo indispensável que conecta uma ação ou omissão a um resultado danoso. A sua comprovação é crucial para a atribuição de responsabilidade e a determinação de indenizações em processos judiciais. Sem a identificação clara desse vínculo, a responsabilização por um evento não pode ser estabelecida, o que sublinha a sua centralidade para advogados e magistrados na análise de casos de reparação de danos (SOARES, 2024).

Este vínculo causal é um dos pilares da responsabilidade civil, complementando a conduta (ação ou omissão) e o dano. A sua presença é imperativa em diversas áreas do direito, incluindo a responsabilidade civil e a medicina legal. Historicamente, a responsabilidade civil estava primordialmente vinculada à noção de culpa, exigindo que a parte lesada demonstrasse a falha do agente causador do dano. Contudo, a evolução do direito civil em direção a uma perspectiva de responsabilidade objetiva conferiu ao nexo causal um papel ainda mais proeminente (BENACCHIO, 2015; SOARES, 2024).

A transição para modelos de responsabilidade que prescindem da culpa subjetiva, como aqueles baseados no risco ou na atividade perigosa, não diminuiu a relevância do nexo causal; ao contrário, amplificou-a. Em tais cenários, o estabelecimento de um vínculo direto entre a

conduta e o dano torna-se o ponto focal para imputar a responsabilidade, mesmo na ausência de dolo ou culpa. Essa adaptabilidade do nexo causal permite que o sistema jurídico responda a novas e complexas formas de dano, como as decorrentes de grandes operações industriais ou relações de consumo, onde a prova da culpa individual é muitas vezes impraticável. Assim, o nexo causal não é meramente um conceito estático, mas um instrumento flexível que se molda às transformações dos paradigmas da responsabilidade jurídica, garantindo a proteção da vítima e a delimitação razoável da responsabilidade.

O nexo causal funciona, ademais, como um "filtro" ou "barreira final" na reparação civil. Sua função primordial é limitar o dever de indenizar aos prejuízos que são uma consequência necessária e direta do ato ilícito, impedindo uma expansão ilimitada da cadeia causal. Este papel de delimitação é crucial para a segurança jurídica, pois estabelece fronteiras claras para o dever de reparação, evitando que um agente seja responsabilizado por danos remotos ou indiretos que não possuam uma conexão intrínseca com sua conduta (BENACCHIO, 2015; SOUZA, 2018).

2.5. Teorias da causalidade jurídica

O ordenamento jurídico brasileiro, em sua tradição, aplica predominantemente três teorias da causalidade no âmbito da responsabilidade civil: a teoria da equivalência das condições (*conditio sine qua non*), a teoria da causalidade adequada e a teoria do dano direto e imediato. Embora o Código Civil de 2002 adote expressamente a teoria da causalidade direta ou imediata, conforme o Art. 403, a aplicação da teoria da equivalência dos antecedentes também é admitida como fundamento do nexo de causalidade em certos contextos da responsabilidade civil. Essa coexistência de teorias reflete a busca do sistema jurídico por um equilíbrio entre a necessidade de delimitar a responsabilidade e a imperatividade de proteger a vítima (REMEDI, 2021; SOARES, 2024). 11

2.5.1. Teoria da equivalência das condições (*Conditio Sine Qua Non*)

Esta teoria postula que toda e qualquer condição que, se suprimida mentalmente, faria com que o resultado danoso não ocorresse, deve ser considerada causa para fins de imputação da responsabilidade civil.

Em sua essência, se uma determinada condição não tivesse se concretizado, o dano não teria ocorrido, tornando-a uma causa relevante. Por exemplo, se um marceneiro fabrica uma cama onde um casal comete adultério, a teoria da equivalência das condições poderia, em uma interpretação literal, responsabilizar o marceneiro, pois sem a cama, o ato não ocorreria daquela forma (CAMPOS, 2021).

Apesar de ter representado um avanço ao introduzir um conceito de causalidade mais científico, baseado nas ciências naturais, a doutrina aponta uma problemática significativa na aplicação desta teoria. Sua principal desvantagem reside na capacidade de gerar uma cadeia de causalidade excessivamente ampla e, por vezes, absurda, levando à chamada "regressão ao infinito". Devido a essa amplitude e à dificuldade de delimitar a responsabilidade, esta teoria é raramente utilizada na responsabilidade civil no ordenamento jurídico brasileiro. Sua aplicação é mais comum no direito penal, onde o princípio da tipicidade e a necessidade de individualização da conduta criminosa oferecem mecanismos de contenção para essa amplitude (AYRÃO, 2010; CAMPOS, 2021).

2.5.2. Teoria da causalidade adequada

A Teoria da Causalidade Adequada busca identificar a causa que, em um juízo abstrato e no curso normal dos eventos, seria a mais apta ou idônea a produzir o dano em questão. O processo de identificação da causalidade, sob esta perspectiva, envolve uma "prognose póstuma", que é uma tentativa de prever se o resultado danoso ocorreria tipicamente sempre que uma determinada causa estivesse presente (CAMPOS, 2021; ALMEIDA, 2020).

Embora o Código Civil brasileiro tenha adotado a teoria do dano direto e imediato, a teoria da causalidade adequada encontra fundamento no ordenamento jurídico a partir da técnica da presunção, conforme o disposto no Art. 335 do Código de Processo Civil (CPC), e do juízo de probabilidade que lhe é inerente (FARIAS, 2015 *apud* CAMPOS, 2021). Essa flexibilidade a torna uma aliada importante para a configuração do nexo de causalidade, contribuindo para a concretização da tutela da vítima (CAMPOS, 2021). O Superior Tribunal de Justiça (STJ) já reconheceu esta teoria como mais apropriada para a interpretação de casos de

responsabilização civil, como em situações de erro médico, onde a ocorrência de determinado fato torna provável o resultado danoso (STJ, 2021).

2.5.3. Teoria do Dano Direto e Imediato (Causalidade Necessária)

Esta é a teoria predominante no direito civil brasileiro para a análise do nexo causal. Ela estabelece que o nexo causal só existe quando o dano é um efeito *necessário* de uma determinada causa, caracterizado por uma relação direta e imediata entre a conduta e o resultado danoso, sem a interferência de outras causas supervenientes. É também conhecida como teoria da interrupção do nexo causal ou teoria da causalidade necessária (OLIVEIRA, 2011).

A base legal para esta teoria está expressamente consagrada no Art. 403 do Código Civil, que dispõe: "Ainda que a inexecução resulte de dolo do devedor, as perdas e danos só incluem os prejuízos efetivos e os lucros cessantes por efeito dela direto e imediato, sem prejuízo do disposto na lei processual". Os elementos essenciais do nexo causal, segundo esta teoria, incluem: uma relação direta entre causa e efeito, a ausência de causas interruptivas, a necessidade entre a conduta e o resultado, a ausência de concausas determinantes e a previsibilidade razoável do dano (OLIVEIRA, 2011).

A aplicação desta teoria implica que, se houver uma causa superveniente que rompa a cadeia causal original, o agente inicial não será responsabilizado pelo resultado, pois o nexo causal terá sido interrompido. Essa abordagem busca limitar a extensão da responsabilidade civil, evitando que o agente responda por danos remotos ou indiretos que não sejam consequência necessária de sua conduta. (OLIVEIRA, 2011). O Supremo Tribunal Federal (STF) e o STJ têm consolidado o entendimento de que o dever de indenizar pressupõe a existência de nexo causal entre a conduta e o dano, aplicando a teoria do dano direto e imediato para afastar a responsabilidade em casos de causas supervenientes independentes (STJ, 2008).

A coexistência dessas teorias, apesar da expressa adoção da teoria do dano direto e imediato pelo Código Civil, não é uma falha, mas uma manifestação da busca por justiça. A problemática inerente à *conditio sine qua non* (que leva à regressão infinita) e a restrição excessiva da teoria do dano direto e imediato

(que pode excluir danos indiretos relevantes) levaram os tribunais a flexibilizar a aplicação da teoria dominante. Essa flexibilização, que incorpora princípios de outras teorias, permite uma resolução mais justa em casos complexos onde uma aplicação rígida resultaria em desfechos desequilibrados para as vítimas. Isso demonstra como os tribunais, especialmente em instâncias superiores, adaptam e interpretam os princípios legais para garantir que a justiça seja efetivada em situações complexas do mundo real, envolvendo múltiplas causas.

Além de estabelecer o vínculo causal, a teoria do dano direto e imediato, conforme consagrada no Art. 403 do Código Civil, possui a função explícita de limitar a responsabilidade civil aos danos que são uma consequência necessária do ato ilícito, prevenindo uma propagação infinita da cadeia causal. Esta é uma escolha deliberada do sistema jurídico para delimitar o escopo da responsabilidade. A aplicação consistente dessa teoria pelo STJ para afastar a responsabilidade do Estado em casos de "bala perdida", onde o vínculo causal é considerado muito remoto, reforça essa política de contenção. A intenção é evitar uma expansão incontrolável e imprevisível da responsabilidade, estabelecendo um limite claro para o dever de indenizar. Este mecanismo é fundamental para a previsibilidade econômica e para evitar uma cadeia de responsabilidade que poderia inibir a inovação e as interações sociais. Representa um equilíbrio entre a compensação adequada da vítima e a manutenção de um escopo de responsabilidade gerenciável para os potenciais ofensores (CAVALCANTI, 2025).

2.6. Previsão normativa de causalidade múltipla e mensuração de responsabilidades

Segundo a ABNT NBR 13752 (2024, item 7.3.3.4.1, grifo meu) "*a vistoria de análise de causalidade, ou de apuração de nexos causais, deve constatar fatos ou situações que permitam a análise e verificação de possíveis nexos causais em relação ao objeto da perícia*". Ou seja, há previsão de mais de um nexo causal.

Neste aspecto, é necessário que existam opções metodológicas para distinguir tais causas e em algumas condições, mensurar a responsabilidade de cada uma delas, dado que uma das atribuições da perícia pode ser

prestar "*esclarecimento quanto às respectivas responsabilidades técnicas relativas às ocorrências caracterizadas, especialmente quanto à sua origem e natureza*" (ABNT NBR 13752, 2024, item 7.3.3.4.7 alínea "b", grifo meu).

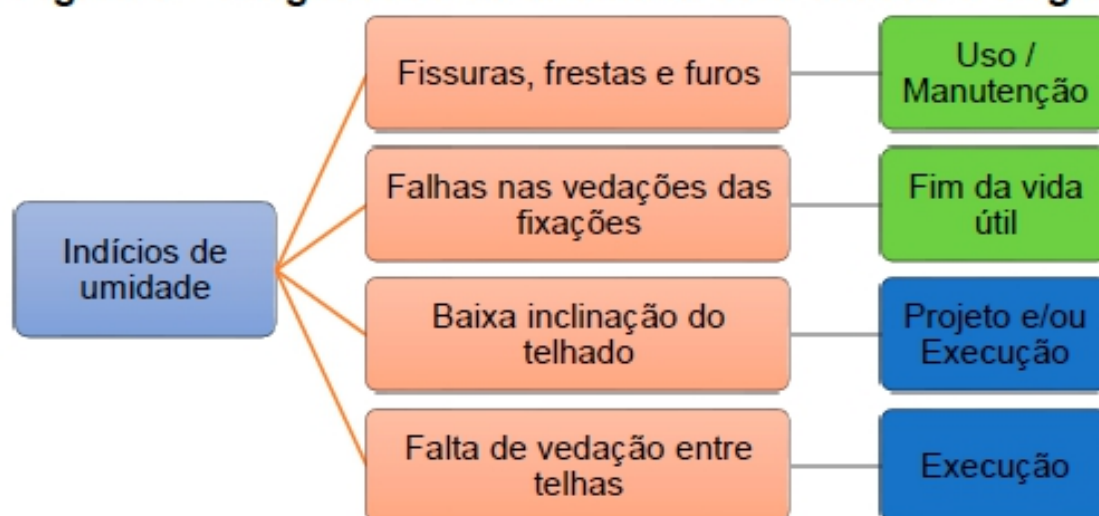
Todavia, a norma técnica não traz metodologia específica para tal procedimento, cabendo ao profissional elaborar seu método em função do caso em pauta, resguardando que "*a metodologia investigativa a ser adotada para a apuração de nexo causal deve observar os requisitos técnicos necessários para as análises dos fatos ou ocorrências estudadas, a fim de proporcionar fundamentação, exatidão e precisão ao trabalho pericial desenvolvido*" (ABNT NBR 13752, 2024, item 7.3.3.4.2, grifo meu). Em outras palavras, a metodologia pericial deve ser a mais exata, precisa e objetiva possível se alicerçando em referências técnicas consensuais, esclarecendo-o e demonstrando ser predominantemente aceito pelos especialistas da área do conhecimento (BRASIL, 2015, Art. 473, inciso III).

3. ANÁLISE DE CASOS DE CAUSALIDADE MÚLTIPLA

Para compreender as possibilidades de mensuração dos métodos, estes serão apresentados em casos aplicados conforme seções a seguir.

3.1. Caso 1: Infiltração em Cobertura - Método da Intensidade das Causas

Em um edifício residencial com cerca de 10 anos, danos no sistema de cobertura causavam infiltrações nas unidades localizadas nos pavimentos imediatamente inferiores. A investigação de causalidade revelou múltiplas origens para essas infiltrações, manifestadas por manchas na estrutura de madeira e empolamento nos forros dos apartamentos. As causas foram classificadas de acordo com suas origens distintas (Figura 3). Parte das infiltrações decorriam de '**fissuras, frestas e furos** nas telhas', bem como da deterioração natural de '**elementos de vedação ao fim de sua vida útil**' — causas atribuídas à esfera de responsabilidade do condomínio. Por outro lado, falhas como '**baixa inclinação da cobertura**' e '**falta de vedação entre telhas**', por estarem relacionadas ao projeto e à execução original da obra, foram atribuídas à Construtora.

Figura 3 – Diagnóstico da anomalia com causas e origens

Fonte: o Autor

Para mensurar a contribuição de cada causa no resultado danoso, foi desenvolvido o **Método da Intensidade das Causas**. O fundamento epistemológico do método baseia-se no fato de que, no caso analisado, as causas identificadas são suficientes para a geração do dano, ainda que não sejam necessárias isoladamente. Assim, o percentual de contribuição de cada uma deve estar relacionado à intensidade relativa com que atuam na produção do efeito.

A metodologia aplicada consistiu na realização de ensaios expeditos de estanqueidade, por meio de aspersão controlada de água, simulando condições de chuva, acompanhados de inspeção visual detalhada dos pontos de percolação. Com base no volume estimado de água que penetrava por cada anomalia (Figura 4), foi possível estimar a participação relativa de cada causa no dano observado (Tabela 1).

Figura 4 – Ilustração da infiltração de água pelas frestas e furos

Fonte: acervo do Autor.

Tabela 1 – Quantificação de contribuição por cada uma das causas

Causa	Volume de água (%)	Responsabilidade
Fissuras, frestas e furos	10%	Condomínio
Falhas nas vedações das fixações	25%	Condomínio
Baixa inclinação do telhado	35%	Construtora
Falta de vedação entre telhas	30%	Construtora

Com base nos resultados, a **Construtora** foi responsabilizada por **65% dos danos** (35% devido à baixa inclinação e 30% pela ausência de vedação adequada entre telhas), enquanto o **Condomínio** foi responsável por **35%** (10% por fissuras e 25% por falhas nas fixações).²

3.1.1. Comentários sobre o método

O **Método da Intensidade das Causas** mostra-se particularmente aplicável a situações em que os mecanismos causais possam ser reproduzidos de forma experimental simplificada, como no caso de infiltrações, ou mensurar a intensidade dos agentes causadores, como ruptura por sobrecarga da estrutura. Não aplicáveis em casos de causas necessárias ou catalizadoras.

(i) Facilidade de aplicação prática: Trata-se de um método de execução relativamente simples e de baixo custo, que pode ser aplicado por equipes técnicas em campo com ferramentas acessíveis, desde que o acesso aos pontos de infiltração seja viável. Não requer instrumentação avançada, tampouco modelagens computacionais complexas, o que o torna atrativo para aplicação em perícias de menor complexidade.

(ii) Nível de confiabilidade e credibilidade das estimativas: Embora simplificado, o método fornece resultados tecnicamente defensáveis e com plausíveis para representar a realidade, especialmente quando os ensaios são bem conduzidos e as anomalias estão bem caracterizadas. A confiabilidade está vinculada à qualidade do ensaio e à experiência do perito na interpretação dos resultados.

(iii) Aderência às exigências normativas e judiciais vigentes: A lógica do método está em consonância com os princípios epistêmicos fundamentados nesse artigo, onde realizou a associação entre manifestações e suas causas por meio de verificação empírica (ensaios).

Por fim, reitera-se que este método se aplica com maior precisão a cenários em que os agentes causadores atuam de forma concorrente, mas dissociável — ou seja, quando é possível quantificar o grau de contribuição de cada fator sem que a presença de um inviabilize a manifestação do outro. Situações com causas suficientes não necessárias, ou necessárias mas não suficientes, são as mais compatíveis com esta abordagem. Assim, ao invés de buscar uma causalidade exata e absoluta, o foco está na plausibilidade técnica e na justiça proporcional da imputação de responsabilidades.

3.2. Caso 2: Ruptura de Alvenaria - Método dos Cenários Contrafactuais

O segundo caso envolveu a ruptura por compressão de uma parede de vedação no 11º andar de um edifício residencial de 27 pavimentos, aproximadamente sete anos após a conclusão da obra. O histórico revelou uma reforma realizada há dois anos, na qual parte de uma parede foi removida e outra, suprimida integralmente (Figura 5).

² Para o presente caso adotou-se uma simplificação das intensidades das causas. A rigor, deveria ter sido realizado a medição de volume em função da intensidade da chuva, e calculado o percentual de cada causa em função do histórico de chuvas e data estimada de surgimento de cada uma das causas. Todavia, este profissional achou suficiente a simplificação apresentada em função do objetivo e recursos disponíveis na perícia.

Figura 5 – Ilustração das anomalias construtivas



Fonte: acervo do Autor.

A análise de causalidade (Figura 6) identificou como causa primária a deformação natural da estrutura por fluência, um fenômeno previsível, mas inevitável, e que, por ter ocorrido dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 6118 vigente à época, foi classificada como de origem por força maior.

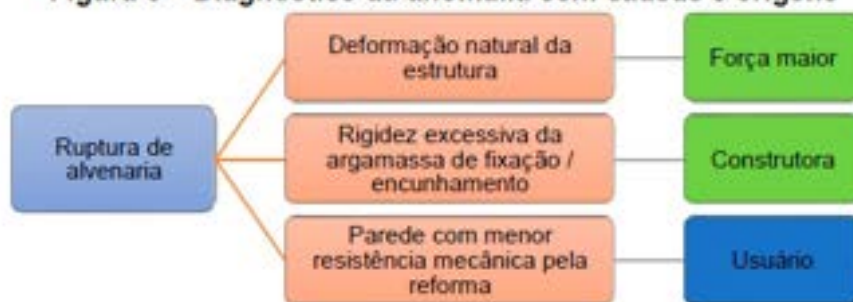
Identificaram-se, adicionalmente, duas causas contrafactuais:

- 1) **Argamassa de fixação excessivamente rígida**, que impediu a acomodação natural da estrutura.

Observou-se que, em outras unidades com argamassa igualmente rígida, ocorreram apenas fissuras por cisalhamento, e não ruptura, sugerindo que essa rigidez contribuiu para a intensificação do dano.

- 2) **Remoção parcial de paredes de vedação** durante a reforma realizada pelo usuário, o que alterou a distribuição de esforços na laje e sobrecarregou a parede remanescente, levando à sua ruptura.

Figura 6 – Diagnóstico da anomalia com causas e origens



Fonte: o Autor

Para quantificar as responsabilidades, foi aplicado o **Método dos Cenários Contrafactuais**, que consiste na criação de hipóteses alternativas ("e se") para avaliar a

contribuição individual de cada causa. O quadro a seguir resume os principais cenários avaliados (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado de cada um dos cenários hipotéticos e real

Cenários hipotéticos		Causas / Origens			Resultado
		Deformação	Argamassa	Reforma	
1	Todos presentes (real)	SIM	SIM	SIM	R\$ 5.000,00
2	Força maior	SIM	NÃO	NÃO	Sem dano
3	Construtora	NÃO	SIM	NÃO	Sem dano
4	Usuário	NÃO	NÃO	SIM	Sem dano
5	Força maior + Construtora	SIM	SIM	NÃO	R\$ 300,00
6	Força maior + Usuário	SIM	NÃO	SIM	Sem dano
7	Construtora + Usuário	NÃO	SIM	SIM	Sem dano
8	Todos ausentes	NÃO	NÃO	NÃO	Sem dano

Fonte: o Autor

A diferença entre o dano real (R\$ 5.000,00) e o dano estimado no cenário com apenas a responsabilidade da Construtora (R\$ 300,00) indica que R\$ 4.700,00 são atribuíveis à ação do usuário. No entanto, essa análise inicial desconsidera a natureza e o peso qualitativo das causas.

A argamassa rígida é classificada como causa necessária e suficiente para o dano observado. Já a remoção das paredes é uma causa não necessária e não suficiente, atuando como fator catalisador. Essa distinção justifica a ponderação dos pesos

causais não apenas pelo valor monetário do dano, mas também pela tipologia da causa e pelo grau de culpa técnica dos agentes envolvidos.

Assim, foi proposto que a mensuração da responsabilidade seja composta por dois eixos principais:

- **Tipo de causa** (necessária/suficiente, não necessária/não suficiente etc.);
- **Nível de culpa** (negligência, imprudência ou imperícia), conforme os elementos do Código Civil.

A Tabela 3 ilustra uma proposta de ponderação, baseada na avaliação técnico-pericial e fundamentada em critérios do

método AHP (SAATY, 1977) ou AHP-Gaussiano (SANTOS *et al.*, 2021).

Tabela 3 – Quantificação de contribuição por cada uma das causas

Agente	Tipo de causa	Negligência	Imprudência	Imperícia	Responsabilidade
Construtora	Causas necessárias e suficientes 70-100%	Não 0%	Não 0%	Sim ¹ 100%	48%-53%
Usuário	Causa <u>não</u> necessárias e <u>não</u> suficientes 0-30%	Não 0%	Talvez ² 50%	Talvez ³ 50%	47-52%

Nota 1: Há imperícia porque não foi seguida prática consolidada no meio técnico de aplicar argamassa de fixação (encunhamento) com argamassa menos resistente a compressão e de baixo módulo de elasticidade.
Nota 2: É possível considerar parcialmente imprudente remover uma parede de vedação neste caso em que a construtora indicou no manual do usuário que não é recomendável a sua remoção.
Nota 3: Analisando a reforma pelos critérios da ABNT NBR 16280 é possível interpretar que é preciso estimar o impacto no desempenho da edificação das alterações realizadas, o que não foi feito no presente caso.

Fonte: o Autor

3.2.1. Comentários sobre o método

A aplicação do **Método dos Cenários Contrafactuais** exige definições consensuais quanto aos pesos atribuídos aos diferentes tipos de causa e aos graus de culpa. Sugere-se que critérios adicionais também sejam incorporados, como:

- **Proximidade causal** (grau de imediatismo da causa, em analogia à teoria do dano direto e imediato);
- **Hierarquia causal** (causas de primeira, segunda ou terceira ordem, conforme a Teoria da Equivalência das Condições).

A estruturação desses parâmetros fortalecerá a análise para fundamentações mais robustas e tecnicamente justificáveis.

(i) **Facilidade de aplicação prática:** o método apresenta aplicabilidade moderada, pois exige a reconstrução detalhada de hipóteses alternativas e a definição técnica clara de variáveis contrafactuais — o que pode demandar tempo e acesso a informações históricas e técnicas precisas. Sua aplicação é mais viável em contextos com documentação completa ou com a possibilidade de reconstituição técnica dos fatos.

(ii) **Nível de confiabilidade e credibilidade das estimativas:** o método se mostra sólido ao permitir a comparação entre múltiplos cenários lógicos com base em dados técnicos observáveis, agregando elementos subjetivos (grau de culpa) com parâmetros objetivos (tipo de causa e consequência).

(iii) **Aderência às exigências normativas e judiciais vigentes:** o método dialoga adequadamente com as exigências do Código Civil brasileiro ao permitir gradação de

responsabilidades com base na culpa e na causalidade. Todavia, requer uma fundamentação subjetiva ou intersubjetiva de percentuais dos critérios das causas e vertentes de culpa.

4. CONCLUSÃO

A mensuração da responsabilidade técnica em contextos periciais com múltiplas causas exige uma abordagem que vá além da intuição do perito ou da mera associação linear entre causa e efeito. Este artigo teve como objetivo apresentar diretrizes metodológicas para a análise de causalidade múltipla em manifestações patológicas na engenharia civil, com foco na mensuração proporcional de responsabilidades concorrentes, propondo a aplicação de dois métodos distintos de quantificação, cada qual com fundamentos epistêmicos, normativos e estatísticos próprios:

- **O Método da Intensidade das Causas** demonstrou aplicabilidade em cenários nos quais é possível reproduzir fisicamente os efeitos causais e/ou quantificar empiricamente sua intensidade relativa por meio de ensaios expeditos.
- **O Método dos Cenários Contrafactuais** revelou-se útil na análise lógica e jurídica de hipóteses, especialmente em situações com

causas sobrepostas, interações complexas entre agentes e graus distintos de culpa técnica.

Ambos os métodos foram avaliados segundo três critérios essenciais: (i) facilidade de aplicação prática, (ii) nível de confiabilidade das estimativas e (iii) aderência às exigências normativas e legais vigentes. Em todos os casos analisados, observou-se que a estruturação metodológica contribuiu significativamente para a melhoria da transparência do raciocínio pericial, a redução da subjetividade e o fortalecimento da fundamentação técnica; tanto para subsidiar decisões judiciais quanto para preservar a legitimidade da prova pericial.

Além de responder às lacunas metodológicas hoje presentes na literatura, o estudo contribui para a consolidação de uma cultura pericial ancorada na rastreabilidade dos procedimentos, na lógica das inferências e na compatibilidade entre ciência e direito. A aplicação de métodos formais não substitui o juízo técnico do perito, mas o organiza, justifica e submete a critérios de auditabilidade, o que é indispensável em um cenário jurídico cada vez mais exigente quanto à robustez das provas.

Recomenda-se, para futuras pesquisas, a aplicação dos métodos aqui propostos em múltiplos contextos e a comparação entre eles em um mesmo caso pericial, visando avaliar sua convergência e complementaridade. Também se sugere o refinamento estatístico dos modelos, com vistas à construção de matrizes paramétricas mais precisas para ponderação causal e atribuição proporcional de responsabilidades.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Gustavo de. Determinação de nexos causais na medicina do trabalho e na perícia judicial: referências e critérios. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 310–318, 2020. Disponível em: <https://rbmt.org.br/details/814>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13752**: Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro, 2024.
- AYRÃO, Vladimir Mariani Kedi. **Breves apontamentos sobre o nexo causal na responsabilidade civil**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- BENACCHIO, Marcelo. Algumas considerações acerca da relação de causalidade na responsabilidade civil. In: GUERRA, Alexandre Dartanhan de Mello; BENACCHIO, Marcelo (Coord.). **Responsabilidade civil**. São Paulo: Escola Paulista da Magistratura, 2015.
- BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJELLSTRÖM, T. **Epidemiologia básica**. 2. ed. São Paulo: Santos, 2010.
- BRASIL. Código Civil, Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. *Diário Oficial da União*, Brasília, 11 jan. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/10406.htm. Acesso em: 12 jul. 2025.

_____. Código de Processo Civil. Lei nº 13.105, de 16 de março de 2015. Institui o Código de Processo Civil. *Diário Oficial da União*: Brasília, 17 mar. 2015. Atualizado até [data de acesso]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13105.htm. Acesso em: 12 jul. 2025.

BUNGE, Mario Augusto. **Causality and Modern Science**. 3. ed. Dover Publication: New York, 1979. 448 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=YKkhLwpH09YC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 12 jul. 2025.

CAMPOS, Alan Sampaio. **A presunção do nexo causal**: teorias e reflexões. Migalhas, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/354171/a-presuncao-do-nexo-causal-teorias-e-reflexoes>. Acesso em: 14 jul. 2025.

CUNHA JUNIOR, Paulo Alcestre Teixeira da. **Elementos da Responsabilidade Civil: diferenciação entre a responsabilidade civil do médico plantonista e do médico residente**. *JusBrasil*, 19 mai. 2016. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/elementos-da-responsabilidade-civil/339530279>. Acesso em: 19 jul. 2025. 21

FEITOSA, José Antoniel Campos. Metodologia de quantificação de responsabilidades concorrentes. Boletim técnico BTEC 2021/011. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA (IBAPE). **Coletânea Técnica de Avaliações e Perícias**: boletins técnicos baseados no estado da arte e normas técnicas aplicáveis. São Paulo: IBAPE Nacional, 2021.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; PARANHOS, Ranulfo; ROCHA, Enivaldo Carvalho da; SILVA JR, José Alexandre da; SANTOS, Manoel Leonardo Wanderley Duarte. Levando Gary King a sério: desenhos de pesquisa em ciência política. *Revista Eletrônica de Ciência Política*, v. 3, n. 1-2, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273170876>. Acesso em: 19 jul. 2025.

GOH, Yihan; YIP, Man. **Concurrent liability in tort and contract**. Singapore: Singapore Management University, Yong Pung How School of Law, 2017. Disponível em: https://ink.library.smu.edu.sg/sof_research/. Acesso em: 12 jul. 2025.

KOEHLER, Jonathan J.; MNOOKIN, Jennifer L.; SAKS, Michael J. **The scientific reinvention of forensic science**. Proceedings of the National Academy of Sciences, [S.l.], v. 120, n. 42, e2301840120, 2023. DOI: 10.1073/pnas.2301840120.

MITROPOULOS, Panagiotis; ABDELHAMID, Tariq Sami; HOWELL, Gregory A. **Systems model of construction accident causation**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 131, n. 7, p. 816–825, jul. 2005. DOI: 10.1061.

MESSERLI, Franz H. **Chocolate consumption, cognitive function, and Nobel laureates**. New England Journal of Medicine, Boston, v. 367, n. 16, p. 1562–1564, 18 out. 2012. DOI: 10.1056/NEJMon1211064.

OLIVEIRA, Talliton George Rodrigues de. **O nexo de causalidade na responsabilidade civil**. 2011. Monografia (Graduação em Direito) – Centro Universitário UniCeb, Brasília, DF, 2011.

PEARL, Judea. **Causality: Models, reasoning, and inference**. New York: Cambridge University Press, 2000. 486 p.

PEARL, Judea; MACKENZIE, Dana. **The book of why: the new science of cause and effect**. New York: Basic Books, 2020. 432 p.

REMEDI, José Antônio; OLIVEIRA, Gustavo Henrique de. Nexo de causalidade no Direito Civil brasileiro: importância e aplicação da Teoria da Equivalência dos Antecedentes. *Revista da Faculdade de Direito do Sul de Minas*, Pouso Alegre, v. 37, n. 1, p. 1-20, 2021. 22

SANTOS, Marcos; DE ARAÚJO COSTA, Igor Pinheiro; GOMES, Carlos Francisco Simões. **Multicriteria decision-making in the selection of warships: a new approach to the AHP method**. International Journal of the Analytic Hierarchy Process, v. 13, n. 1, 2021.

SOUZA, Eduardo Nunes de. Nexo causal e culpa na responsabilidade civil: subsídios para uma necessária distinção conceitual. *Civilistica.com*, Rio de Janeiro, ano 7, n. 3, 2018.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (STJ) REsp 858511/DF. Relator: Ministro Luiz Fux. Relator para acórdão: Ministro Teori Albino Zavascki. Julgado em: 19 ago. 2008. *Diário da Justiça Eletrônico*, Brasília, DF, 15 set. 2008. *Revista do STJ*, v. 213, p. 112. Disponível em: <https://www.stj.jus.br/sites/portals/Paginas/Comunicacao/Jurisprudencia.aspx>. Acesso em: 14 jul. 2025.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (STJ). **Mantida condenação de médico que negligenciou preenchimento de prontuário de gestante**. Brasília, DF: STJ, 29 jul. 2021. Disponível em: <https://www.stj.jus.br/sites/portals/Paginas/Comunicacao/Noticias/29072021-Mantida-condenacao-de-medico-que-negligenciou-preenchimento-de-prontuario-de-gestante.aspx>. Acesso em: 14 jul. 2025.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO DISTRITO FEDERAL E DOS TERRITÓRIOS (TJDFT). **Culpa exclusiva x culpa concorrente**. Direito Fácil. Brasília: TJDFT, 2023. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/campanhas-e-produtos/direito-facil/edicao-semanal/culpa-exclusiva-x-culpa-concorrente>. Acesso em: 12 jul. 2025.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO DISTRITO FEDERAL E DOS TERRITÓRIOS (TJDFT). **Erro em projeto arquitetônico – Responsabilidade subjetiva**. Apelação Cível nº 20080111654395APC. Relatora: Des. Carmelita Brasil. Publicado em: 06 ago. 2012. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/consultas/jurisprudencia/informativos/2012/informativo-de-jurisprudencia-no-245/erro-em-projeto-arquitetonico-2013-responsabilidade-subjetiva>. Acesso em: 19 jul. 2025.

YOSHINO, André Motoharu. **Defesa do consumidor: responsabilidade do fornecedor por vício e por defeito do produto ou serviço**. Migalhas, 29 out. 2010. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/120332/defesa-do-consumidor-responsabilidade-do-fornecedor-por-vicio-e-por-defeito-do-produto-ou-servico>. Acesso em: 19 jul. 2025.

**Medalha Hélio de Caires**

Autores: FELIPE LOPES SILVEIRA,
LUCAS TADEU BATISTELE e
ANTÔNIO CLAUDIO ANDRADE BRUM

MODELO PARA CÁLCULO DE DEPRECIAÇÃO FÍSICA DE IMÓVEIS

RESUMO

O cálculo da depreciação constitui etapa fundamental na avaliação de bens imóveis, conforme estabelece a ABNT NBR 14653-2, por expressar a perda de valor da edificação ao longo do tempo em função de fatores físicos, funcionais ou econômicos. Essa depreciação reflete a deterioração natural dos materiais e a consequente redução da capacidade da construção de cumprir sua finalidade original. O modelo Ross-Heidecke, amplamente adotado, combina o método de Ross (1884), que relaciona a depreciação à proporção entre a idade e a vida útil da edificação, com o método de Heidecke (1935), que considera exclusivamente o estado de conservação do imóvel. Embora historicamente relevante, esse modelo apresenta limitações técnicas, sobretudo na avaliação de imóveis com idade superior à vida útil normatizada. Nesse contexto, este estudo propõe um modelo alternativo, mais aderente à realidade atual do mercado, para o cálculo da depreciação física, desenvolvido a partir de dados de imóveis residenciais unifamiliares e fundamentado em regressão linear com inferência estatística. A metodologia adotada demonstrou-se eficaz na estimativa da depreciação de edificações com até 100 anos ou mais, proporcionando resultados mais condizentes com a dinâmica contemporânea do mercado imobiliário e contribuindo para avaliações tecnicamente mais consistentes e precisas.

Palavras-chave: Depreciação; Ross-Heidecke; Inferência estatística.



1. EXPOSIÇÃO

O cálculo da depreciação configura-se como etapa essencial no processo de avaliação de bens imóveis, conforme preconiza a norma ABNT NBR 14653-2: Avaliação de Bens – Parte 2: Imóveis Urbanos. A depreciação corresponde à perda de valor de um bem ao longo do tempo, decorrente de fatores físicos, funcionais ou econômicos, devendo ser devidamente considerada para que o valor estimado represente, de forma fidedigna, a realidade do mercado.

Todos os materiais empregados na construção de edificações estão sujeitos, inevitavelmente, a processos de deterioração ao longo do tempo. Tal deterioração acarreta a redução do valor da edificação, fenômeno caracterizado como depreciação, que pode ser definida como a perda da capacidade da benfeitoria de cumprir a função para a qual foi projetada.

Entre os modelos clássicos de mensuração da depreciação destaca-se o método Ross-Heidecke, amplamente utilizado na atualidade. Esse modelo combina dois enfoques tradicionais: o método proposto por Franz Wilhelm Ross em 1884, que estabelece uma relação proporcional entre a idade da edificação e sua vida útil; e o método desenvolvido por Heidecke em 1935, o qual concentra-se na depreciação física, considerando exclusivamente o estado de conservação do imóvel.



Figura 1: Capa e contracapa do livro de Heidecke em 1935 (Elaborado pelos autores, 2025).

Apesar de sua ampla aplicação, trata-se de modelos históricos que apresentam limitações técnicas relevantes, especialmente quando utilizados na avaliação de edificações com idade avançada. O progresso das técnicas

construtivas e a evolução dos materiais empregados demandam modelos mais adequados à realidade contemporânea do mercado imobiliário.

Diante desse cenário, o presente estudo propõe um modelo de cálculo da depreciação física, fundamentado em análises de regressão linear por inferência estatística. O modelo desenvolvido apresenta desempenho robusto, demonstrando-se eficiente inclusive na avaliação de imóveis com até 100 anos ou mais, oferecendo, assim, uma alternativa metodológica mais condizente com as práticas atuais de engenharia de avaliações.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Métodos para avaliação imobiliária

De acordo com a NBR 14653-1:2019 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), para determinar o valor de um bem, de seus frutos e direitos, existem quatro tipos de métodos: Método comparativo direto de dados de mercado, Método evolutivo, Método involutivo e Método da capitalização da renda. A Norma ainda indica que a metodologia utilizada na avaliação do imóvel deve estar alinhada com as características do bem avaliando, os objetivos e o propósito da avaliação, assim como os dados de mercado disponíveis.

Ainda segundo a NBR 14653-1:2019 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), o método preferencial para determinar o valor de mercado é o comparativo direto utilizando dados do mercado. No entanto, sua aplicação nem sempre é viável devido às especificidades de cada mercado. Neste trabalho serão abordados apenas o método comparativo de dados de mercado e o método evolutivo.

2.1.1 Método Comparativo de dados de mercado

Conforme a NBR 14653-1:2019 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), o método comparativo direto de dados de mercado é utilizado para determinar o valor de mercado de um bem através da análise técnica dos atributos dos elementos comparáveis na amostra. Para garantir representatividade, é essencial que a amostra descreva claramente as características dos imóveis comparados, além de outros aspectos relevantes, permitindo a aplicação de análise estatística inferencial. Ainda segundo a Norma, a aplicação deste

método requer um planejamento de pesquisa que inclua variáveis relevantes para explicar a tendência de formação de valor, bem como as possíveis relações dessas variáveis com a variável dependente.

Segundo Dantas (2012), a seleção das variáveis deve ser fundamentada em teorias existentes, conhecimentos de pesquisas anteriores e estudos de mercado. Ele ressalta a importância de uma preparação adequada para a realização de uma pesquisa de mercado eficaz. Além disso, Dantas destaca que é frequentemente impossível considerar todas as variáveis influentes devido à multiplicidade de fatores que afetam a formação dos valores. Assim, cabe ao avaliador a responsabilidade de escolher as variáveis mais relevantes para a construção do modelo.

2.1.2 Método Evolutivo

Segundo Dantas (2012), no método evolutivo, o valor de um bem é calculado pela soma dos valores de seus componentes. Nesse método, o valor do terreno é calculado através do método comparativo de dados de mercado e soma-se a ele o valor das benfeitorias existentes no imóvel.

Ainda segundo Dantas (2012), o valor do imóvel pode ser calculado pela Equação 1.

$$V1=(VT+VB) \times FC \quad (1)$$

Onde:

- VI = Valor do imóvel;
- VT = Valor do terreno, que é preferencialmente calculado através do método comparativo de dados de mercado;
- VB = Valor das Benfeitorias, que são calculadas através do método da quantificação de custo e depois são depreciadas;
- FC = Fator de comercialização, índice que deve ser considerado, podendo variar em relação à unidade, dependendo das condições de mercado no momento da avaliação.

Segundo a NBR 14653-2:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011) e Dantas (2012), a benfeitoria pode ser avaliada pelo método da quantificação de custos. Portanto, para o cálculo do valor da benfeitoria deve ser avaliado o valor do BDI (benefícios e despesas indiretas) e D (coeficiente de

depreciação). O BDI resulta de uma operação matemática que determina a "margem" cobrada do cliente, abrangendo todos os custos indiretos, tributos e, naturalmente, a remuneração pelo empreendimento realizado. Idealmente, cada obra deveria ter um BDI específico; no entanto, para o órgão que licita diversas obras de diferentes tipos e tamanhos, calcular individualmente se torna praticamente inviável, uma vez que também depende das variáveis específicas de cada empresa. Já o valor de D geralmente é obtido através do método de Ross-Heidecke, que será detalhado posteriormente.

Em resumo, o valor da benfeitoria pode ser calculado pela Equação 2, onde:

$$VB = VU \times AC \times BDI \times D \quad (2)$$

- VB = Valor da benfeitoria;
- VU = Valor unitário da benfeitoria;
- AC = Área construída;
- BDI = Valor do BDI;
- D = Coeficiente de depreciação.

Segundo Graef e Zancan (2018), é relevante destacar que uma das principais dificuldades ao aplicar o método evolutivo é lidar com a depreciação do imóvel. Isso ocorre porque o método pressupõe que os custos (materiais e mão de obra) para reconstituir o bem estejam atualizados na data da avaliação, ou seja, o imóvel é avaliado como se fosse novo. Portanto, é essencial que esses custos considerem adequadamente o estado de conservação e manutenção do imóvel, levando em conta sua vida útil, idade real e estado de conservação.

2.2 Depreciação

A depreciação de um imóvel está diretamente associada à perda de valor econômico decorrente de fatores como o uso, a idade, as condições estruturais e o ambiente em que está inserido (SILVEIRA, 2021). O conceito é empregado em diversas áreas, como a engenharia, a contabilidade e a economia, com enfoques distintos, podendo ser interpretado como redução de valor, custo operacional ou condição física.

Segundo a NBR 14653-1:2019 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), a depreciação consiste na perda de valor de um bem ocasionada por alterações em seu estado ou qualidade, sendo classificadas como decrepitude, deterioração, mutilação ou obsolescência. Para Silveira

(2021), essa redução de valor está relacionada à limitação do uso do bem, seja por fatores físicos, funcionais ou comerciais. Na avaliação de imóveis, destacam-se dois principais tipos de depreciação: a física, vinculada ao desgaste material do edifício, e a

funcional, relacionada à perda de utilidade ou adequação do imóvel às exigências contemporâneas. Essas formas de depreciação são descritas de maneira detalhada na Figura 2.



Figura 2: Depreciação Física e Funcional: causas (Adaptada de Nether, 2010)

2.2.1 Depreciação Física

A depreciação física de um imóvel está relacionada ao desgaste progressivo de seus componentes construtivos, resultante do uso contínuo e da exposição a condições ambientais desfavoráveis (NETHER, 2002). Esse processo é intensificado pela ausência de manutenção adequada e pelo emprego de materiais de baixa qualidade, levando à deterioração das partes que compõem a edificação. Segundo Zini (2015), esse tipo de depreciação decorre da utilização de materiais perecíveis na construção, sendo quantificada por meio do coeficiente de depreciação física, que representa o valor necessário para restaurar o imóvel a uma condição de habitabilidade comparável à original, no momento de sua entrega.

A depreciação física de um imóvel é determinada com base na Equação 3:

$$D = K \times (Vi - Vr) \quad (3)$$

Onde:

- D = Depreciação acumulada;
- K = Fator de depreciação acumulada;
- Vi = Valor inicial do imóvel;
- Vr = Valor residual do Imóvel;
- Vi - Vr = Valor depreciável.

Logo, o cálculo do valor atual (Va) é feito pela Equação 4:

$$Va = Vi - D \quad (4)$$

Onde:

- Vi = Valor inicial do imóvel;
- D = Depreciação acumulada.

Segundo Zini (2015), diversos métodos podem ser utilizados para calcular a depreciação de imóveis, mas o método de Ross-Heidecke é considerado o mais completo, pois leva em conta a vida útil, a idade efetiva e o estado de conservação do edifício. Apesar de o conceito de vida útil ainda não ser amplamente explorado na literatura e a avaliação do estado de conservação depender da percepção individual do avaliador, o método de Ross-Heidecke é amplamente reconhecido tanto pela comunidade técnica quanto pelos tribunais, pois proporciona uma abordagem padronizada e detalhada para o cálculo da depreciação física.

Separadamente, Ross (1884) desenvolveu um modelo de depreciação que leva em conta somente a idade, demonstrado pela Equação 5:

$$K = \frac{1}{2} \left[\frac{u}{n} + \left(\frac{u}{n} \right)^2 \right] \quad (5)$$

Onde:

- K = Depreciação física;
- n = Vida útil do imóvel;
- u = Idade Efetiva do imóvel.

Um aspecto que merece destaque é que, no trabalho original de Ross (1884), parcialmente reproduzido na obra de Heidecke (1935), os valores de depreciação foram calculados considerando vidas úteis de 100 e 200 anos. Esses períodos são significativamente superiores aos atualmente adotados pelos profissionais da engenharia, os quais, em conformidade com normas técnicas e publicações contemporâneas, situam-se, em geral, entre 50 e 80 anos.

Outro aspecto de destaque é que, conforme argumentam Silveira (2021) e Heidecke (1935), o processo avaliativo deve considerar a subdivisão da edificação em seus distintos componentes construtivos, dado que diferentes materiais, com durabilidades e vidas úteis específicas, são empregados em sua constituição. Ademais, quando uma edificação é executada em fases distintas, ao longo do tempo, deve-se adotar uma idade média ponderada, calculada com base no valor relativo de cada parcela da construção e na respectiva idade de execução. Trata-se de uma diretriz relevante da obra original de Heidecke (1935), mas que tem sido pouco observada pelos profissionais da área de avaliação na atualidade.

De acordo com Heidecke (1935), na apuração da depreciação de edificações, é fundamental distinguir entre a depreciação decorrente do envelhecimento (idade) e aquela resultante do estado de conservação. Para a adequada determinação da desvalorização adicional associada à condição física da construção, é necessário,

preliminarmente, estabelecer um entendimento uniforme quanto à avaliação do estado de conservação do edifício. A Figura 3, extraída da obra de Heidecke (1935), apresenta as classificações atribuídas aos diferentes estados de conservação, bem como os respectivos valores residuais após a aplicação da depreciação por idade.

Note 1 = neu, ohne Reparaturen,
.. 2 = normale Unterhaltung geringen Umfangs,
.. 3 = reparaturbedürftig,
.. 4 = große Reparaturen erforderlich,
.. 5 = wertlos.

Für noch feinere Abstufungen sind die Zwischenwerte 1,5, 2,5 usw. anzuwenden. Der nach vorgenommener Altersabschreibung verbleibende Restwert ist zu vermindern.

bei Note 1 um	0%	bei Note 3,5 um	33,2%
.. 1,5 ..	0,032%	.. 4 ..	52,6%
.. 2 ..	2,52%	.. 4,5 ..	75,2%
.. 2,5 ..	8,09%	.. 5 ..	100%
.. 3 ..	18,1%		

Figura 3: Reprodução das classificações de estado de conservação propostas por Heidecke

A Tabela 1 apresenta os valores propostos por Heidecke (1935) traduzidos.

Como podemos observar, tanto na tabela quanto em sua obra, Heidecke (1935) argumenta que para gradações mais finas, devem ser usados valores intermediários como 1,5; 2,5

A partir da integração do método de Ross (1884) com os coeficientes de estado de conservação propostos por Heidecke (1935), este último apresentou, em sua obra, o que atualmente é conhecido como Método Ross-Heidecke, amplamente adotado na avaliação de benfeitorias em edificações. Esse modelo

Tabela 1 - Coeficientes de depreciação de Heidecke.

Nota	Estado da Edificação	Depreciação (%)
1	Novo, sem reparos	0,00
1,5	Novo, sem reparos	0,32
2	manutenção normal de pequena escala	2,52
2,5	manutenção normal de pequena escala	8,09
3,0	necessita de reparos	18,10
3,5	necessita de reparos	33,20
4,0	Necessita de grandes reparos	52,60
4,5	Necessita de grandes reparos	75,20
5,00	Edificação sem valor	100,00

Fonte: Heidecke (1935)

de cálculo da depreciação se mostra mais abrangente do que os métodos anteriores, pois considera, de forma conjunta, o estado de conservação, a idade real do imóvel e sua vida útil (SILVEIRA, 2021). O coeficiente de depreciação é calculado com base na Equação 6:

$$K = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{u}{n} \right) + \left(\frac{u}{n} \right)^2 \right] + 1 \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\left(\frac{u}{n} \right) + \left(\frac{u}{n} \right)^2 \right] \right\} C$$

Onde:

- K = Depreciação física;
- n = Vida útil do imóvel;
- u = Idade Efetiva do imóvel.
- C = Coeficiente de depreciação de Heidecke.

Esse fator, chamado de fator "k", é usado para calcular o coeficiente de depreciação (D) final da edificação. A Equação 7 fornece o coeficiente de depreciação.

$$D = \frac{100 - k}{100}$$

Onde:

- D = Coeficiente de depreciação;
- k = fator encontrado na Tabela de Ross-Heidecke.

De acordo com Silveira (2021) e Zini (2015), há um consenso de que o método de Ross-Heidecke apesar de ser o mais completo atualmente, apresenta algumas limitações, principalmente na avaliação de imóveis próximos ao final da VUP.

3. METODOLOGIA

Apesquisa foi desenvolvida em sete etapas metodológicas distintas:

- 1ª Etapa– Delimitação da área de estudo.
- 2ª Etapa – Pesquisa de mercado.
- 3ª Etapa – Tratamento estatístico.
- 4ª Etapa – Cálculo do valor da benfeitoria pelo Método comparativo.
- 5ª Etapa – Cálculo do modelo de depreciação proposto.
- 6ª Etapa – Comparação entre curvas de depreciação do modelo proposto x modelos de Ross-heidecke.

3.1 Seleção da área a ser estudada

Para a execução do presente estudo, foi necessária a delimitação prévia de uma área geográfica de interesse. Essa área deveria contemplar imóveis novos e antigos, com distintos estados de conservação, variados

padrões construtivos e localizações heterogêneas. Diante desses critérios, optou-se por selecionar uma capital brasileira que, além de apresentar uma quantidade significativa de dados disponíveis, dispõe de um cadastro imobiliário robusto, com informações detalhadas sobre a idade dos imóveis, bem como de uma planta genérica de valores atualizada e estruturada, capaz de explicar a variação dos valores imobiliários em função da localização.

3.2 Pesquisa de mercado

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram conduzidas duas pesquisas distintas: uma voltada à coleta de dados de imóveis residenciais e outra focada em terrenos localizados nas mesmas regiões. Conforme apresentado anteriormente na Equação 1, no método evolutivo, o valor do imóvel (VI) é obtido a partir da soma do valor do terreno (VT) e do valor das benfeitorias (VB), sendo este total multiplicado por um fator de comercialização (FC). Reorganizando a equação para expressá-la em função do valor das benfeitorias (VB), tem-se a Equação 8:

$$VB = \left(\frac{VI}{FC} - VT \right)$$

Essa forma da equação permite isolar o valor da benfeitoria com base no valor total do imóvel, no valor do terreno e no fator de comercialização aplicável à região analisada. Dessa forma, as pesquisas de mercado referentes a terrenos e imóveis residenciais mostraram-se indispensáveis para a determinação do valor global dos imóveis paradigmas, bem como para a segregação da parcela correspondente ao valor dos respectivos terrenos.

O fator de comercialização foi inferido com base nas condições observadas no mercado imobiliário local, considerando aspectos como padrão construtivo, liquidez e forma de negociação predominante. Os resultados obtidos encontram-se consolidados na Tabela 2.

Tabela 2 – Fatores de Comercialização pesquisados no mercado

Tipo de Empreendimento	Taxa de Remuneração Média (%)
Residencial de médio padrão	25% a 35%
Residencial de alto padrão	30% a 40%
Empreendimento populares	15% a 25%

Fonte: Autoria própria, 2025

Na pesquisa de terrenos sem benfeitorias, os dados foram classificados em diferentes variáveis, escolhidas pelo avaliador, que a princípio poderiam ser relevantes na formação do valor do imóvel.

A - Área do terreno: Variável quantitativa usada para expressar a área de terreno, em metros quadrados, de cada dado de mercado pesquisado.

B - Valor unitário (variável dependente: Valor unitário (valor de oferta dividido pela área do terreno), expresso em R\$/m².

C - Topografia: Variável qualitativa utilizada para expressar a característica da topografia

em cada dado de mercado da pesquisa.

Opções:

- 1 = Topografia em auge ou declive acentuado;
- 2 = Topografia levemente inclinada;
- 3 = Topografia plana.

D - Localização: Variável proxy utilizada para expressar a localização baseada na planta genérica de valores em R\$/m² fornecido pelo município.

A Tabela 3 mostra os terrenos pesquisados e classificados nas variáveis descritas anteriormente:

Tabela 3 - Classificação dos terrenos pesquisados.

Nº Am.	Valor de oferta (R\$)	Área do terreno (m²)	Valor unitário (R\$/m²)	Topografia	Localização (R\$/m²)
1	454.000,00	396,00	1.146,46	1	1.450,00
2	590.000,00	392,00	1.505,10	1	2.000,00
3	1.100.000,00	690,00	1.594,20	1	1.700,00
4	749.000,00	450,00	1.664,44	1	1.700,00
5	895.000,00	604,00	1.481,79	1	1.450,00
6	550.000,00	416,00	1.322,12	1	1.450,00
7	710.000,00	480,00	1.479,17	3	1.700,00
8	1.100.000,00	360,00	3.055,56	3	2.500,00
9	3.100.000,00	702,00	4.415,95	3	3.000,00
10	690.000,00	430,00	1.604,65	3	1.000,00
11	2.800.000,00	444,00	6.306,31	3	4.400,00
12	795.000,00	785,00	1.012,74	3	1.100,00
13	1.060.000,00	582,00	1.821,31	3	1.100,00
14	530.000,00	260,00	2.038,46	3	1.300,00
15	1.200.000,00	782,00	1.534,53	1	1.461,00
16	1.000.000,00	441,00	2.267,57	2	1.461,00
17	1.500.000,00	1.019,00	1.472,03	2	1.350,00
18	785.000,00	853,00	920,28	2	1.000,00
19	1.260.000,00	1.575,00	800,00	1	1.150,00
20	1.100.000,00	1.000,00	1.100,00	3	1.300,00
21	805.000,00	750,00	1.073,33	2	1.000,00
22	2.200.000,00	2.331,00	943,80	1	1.150,00
23	2.380.000,00	476,00	5.000,00	2	4.000,00
24	265.000,00	360,00	736,11	2	650,00
25	2.000.000,00	2.500,00	800,00	1	1.000,00
26	1.460.000,00	1.300,00	1.123,08	3	1.000,00
27	1.600.000,00	1.275,00	1.254,90	3	1.000,00
28	1.700.000,00	1.080,00	1.574,07	2	1.000,00
29	1.300.000,00	970,00	1.340,21	2	1.300,00
30	1.400.000,00	900,00	1.555,56	2	1.300,00
31	1.100.000,00	786,00	1.399,49	1	1.000,00

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Na pesquisa de casas, os imóveis foram classificados com base em diferentes variáveis que, inicialmente, poderiam ser importantes na formação do valor do imóvel. Essas variáveis são:

A - Área do terreno: Variável quantitativa usada para expressar a área de terreno, em metros quadrados, de cada dado de mercado pesquisado.

B - Área construída: Variável quantitativa usada para expressar a área construída, em metros quadrados, de cada dado de mercado

pesquisado.

C - Valor unitário: Valor unitário (variável dependente: Valor de oferta dividido pela área construída da benfeitoria, expresso em R\$/m².

D - Padrão construtivo: Variável qualitativa utilizada para expressar o nível do padrão construtivo de cada dado pesquisado.

- 1 = Padrão Simples;
- 2 = Padrão Médio;
- 3 = Padrão Superior;
- 4 = Padrão Luxo.

E - Idade: Variável quantitativa usada para

AVALIAÇÃO - ARTIGO TÉCNICO

expressar a idade, em anos, de cada casa pesquisada.

F - EC: Variável qualitativa utilizada para expressar o estado de conservação das benfeitorias de cada dado pesquisado. Opções:

- 1 = Entre reparos simples e importantes ou reparos importantes;
- 2 = Entre regular e reparos simples ou reparos simples;
- 3 = Regular;

- 4 = Entre Novo e regular;
- 5 = Novo.

G - Localização: Variável proxy utilizada para expressar a localização baseada na planta genérica de valores em R\$/m² fornecido pelo município.

A Tabela 4 mostra os imóveis pesquisados para a elaboração do modelo estatístico classificados nas variáveis descritas anteriormente:

Tabela 4 - Classificação das casas pesquisadas.

Nº Am.	Valor Total Venda	Área do Terreno	Área Construída	Valor Unitário	Padrão Construtivo	Idade	EC	Localização
1	4.200.000,00	1.000,00	623,00	6.741,57	3	78	3	1.700
2	4.000.000,00	1.000,00	735,24	5.440,40	4	61	1	1.000
3	5.900.000,00	1.200,00	776,00	7.603,09	2	55	1	1.800
4	4.400.000,00	1.000,00	574,00	7.665,51	4	57	2	1.800
5	3.000.000,00	1.000,00	818,00	3.667,48	3	48	2	800
6	4.200.000,00	1.118,00	557,00	7.540,39	3	57	2	1.000
7	3.200.000,00	1.000,00	481,44	6.646,73	2	65	3	800
8	900.000,00	300,00	194,00	4.639,18	1	49	3	1.320
9	1.800.000,00	400,00	300,00	6.000,00	2	19	3	1.500
10	900.000,00	304,00	189,00	4.761,90	1	52	3	1.700
11	2.300.000,00	888,95	536,34	4.288,32	1	43	2	1.500
12	1.247.000,00	350,00	270,00	4.618,52	2	48	3	1.700
13	930.000,00	150,00	201,00	4.626,87	1	9	2	1.700
14	1.600.000,00	380,00	364,00	4.395,60	2	40	3	1.500
15	980.000,00	350,00	189,00	5.185,19	1	45	1	1.700
16	700.000,00	300,00	157,00	4.458,60	1	76	2	1.700
17	1.650.000,00	720,00	315,00	5.238,10	1	53	2	1.700
18	850.000,00	400,00	222,00	3.828,83	1	77	1	1.700
19	950.000,00	400,00	287,00	3.310,10	1	76	2	1.400
20	840.000,00	340,00	271,00	3.099,63	2	77	2	1.350
21	3.500.000,00	312,00	469,00	7.462,69	2	25	3	5.500
22	990.000,00	365,00	206,00	4.805,83	2	77	3	1.600
23	1.020.000,00	280,00	228,74	4.459,21	2	7	3	1.100
24	1.200.000,00	350,00	310,00	3.870,97	3	25	3	1.100
25	950.000,00	360,00	218,00	4.357,80	2	45	1	1.350
26	1.800.000,00	555,00	516,00	3.488,37	2	40	2	1.600
27	985.000,00	360,00	218,00	4.518,35	1	45	1	1.350
28	979.710,00	360,00	300,00	3.265,70	1	43	1	2.500
29	1.700.000,00	675,00	306,00	5.555,56	1	42	1	2.500
30	1.350.000,00	560,00	317,00	4.258,68	2	77	2	1.600
31	960.000,00	400,00	296,00	3.243,24	2	77	2	1.400
32	2.400.000,00	378,00	243,00	9.876,54	4	48	3	4.000
33	2.000.000,00	408,00	216,00	9.259,26	4	57	3	4.000
34	997.500,00	242,00	219,00	4.554,79	2	42	3	1.600
35	780.000,00	360,00	114,11	6.835,51	1	53	2	1.450
36	1.120.000,00	288,00	349,00	3.209,17	3	40	2	1.400
37	1.150.000,00	450,00	384,00	2.994,79	1	65	2	1.440
38	1.350.000,00	411,00	230,00	5.869,57	3	69	3	1.600
39	2.350.000,00	360,00	270,00	8.703,70	4	57	3	2.600
40	2.050.000,00	390,00	312,00	6.570,51	2	47	1	4.000
41	1.500.000,00	360,00	412,00	3.640,78	2	43	2	2.600
42	2.350.000,00	496,00	468,00	5.021,37	3	51	2	2.600
43	800.000,00	220,00	140,00	5.714,29	1	76	1	3.500
44	1.350.000,00	400,00	242,00	5.578,51	4	42	3	1.250
45	1.197.000,00	400,00	245,00	4.885,71	3	52	3	1.250
46	2.950.000,00	860,00	429,00	6.876,46	3	57	1	1.250
47	1.197.000,00	400,00	245,00	4.885,71	3	52	3	1.250
48	1.100.000,00	300,00	175,00	6.285,71	1	52	1	2.700
49	1.000.000,00	300,00	244,34	4.092,66	1	65	2	2.700
50	1.790.000,00	188,75	200,97	8.906,80	3	25	4	2.700
51	1.500.000,00	480,00	221,41	6.774,76	1	71	3	1.650
52	1.500.000,00	450,00	316,45	4.740,09	1	76	3	2.600
53	980.000,00	374,00	240,00	4.083,33	1	42	1	1.650

Nº Am.	Valor Total Venda	Área do Terreno	Área Construída	Valor Unitário	Padrão Construtivo	Idade	EC	Localização
54	1.500.000,00	304,00	210,00	7.142,86	1	65	3	2.700
55	2.700.000,00	480,00	553,00	4.882,46	4	41	3	1.700
56	3.700.000,00	660,00	825,00	4.484,85	4	47	4	1.700
57	3.950.000,00	690,00	785,00	5.031,85	3	23	4	1.700
58	4.800.000,00	600,00	620,00	7.741,94	3	12	4	2.500
59	2.300.000,00	364,00	368,00	6.250,00	3	40	3	2.000
60	3.600.000,00	560,00	552,00	6.521,74	3	26	3	2.000
61	3.600.000,00	560,00	489,00	7.361,96	4	25	4	2.000
62	2.700.000,00	592,00	319,00	8.463,95	3	23	3	2.000
63	4.600.000,00	720,00	520,00	8.846,15	4	21	4	2.000
64	3.000.000,00	490,00	703,00	4.267,43	3	7	3	2.400
65	8.900.000,00	1.178,00	883,00	10.079,28	4	23	4	2.500
66	5.000.000,00	630,00	572,00	8.741,26	4	8	4	2.500
67	2.600.000,00	430,00	246,00	10.569,11	3	15	3	3.000
68	2.500.000,00	445,00	580,00	4.310,34	3	44	3	1.700
69	499.000,00	180,00	74,00	6.743,24	1	1	5	1.000
70	580.000,00	180,00	116,00	5.000,00	1	1	5	1.000
71	510.000,00	180,00	112,00	4.553,57	1	1	5	800
72	710.250,00	115,00	114,00	6.230,26	1	1	5	1.100
73	699.000,00	180,00	125,00	5.592,00	2	1	5	1.250

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

3.3 Tratamento estatístico

Assim como no trabalho de Zini (2015), neste estudo os dados foram tratados utilizando o método científico que empregou um modelo de regressão linear com o suporte do software Infer 32, responsável pela geração do modelo, valor unitário mínimo, médio, máximo, gráficos e tabelas. Este software é pago e de autoria da empresa Ária Informática. A escolha deste software foi uma decisão dos autores por conveniência, não implicando que ele seja superior a outras opções disponíveis no mercado.

O modelo desenvolvido não será detalhado aqui, pois detalhar os testes e regressões do software não são o alvo do trabalho, porém por meio delas é possível a tabela a seguir apresenta os imóveis paradigmas adotados para a realização das avaliações e análises. Os imóveis selecionados possuem

características construtivas semelhantes com os projetos-padrão estabelecidos na ABNT NBR 12721 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária, especialmente no que se refere à tipologia, padrão construtivo e área edificada, conforme os parâmetros do Custo Unitário Básico (CUB) para edificações unifamiliares. A localização dos imóveis paradigmas foi selecionada com base em regiões cuja ocupação apresenta predominância do padrão construtivo correspondente, de modo a evitar distorções no valor atribuído às benfeitorias. Tal medida visa mitigar o risco de subdimensionamento ou superdimensionamento do valor das edificações, que pode ocorrer quando estas se encontram inseridas em áreas com padrão urbanístico ou socioeconômico significativamente distinto daquele compatível com sua tipologia construtiva.

Tabela 5 – Imóveis Paradigmas

Tipo de Projeto	Área Construída (m²)	Área de Terreno (m²)	Localização
Casa térrea – Padrão Normal	80,00	125,00	1000
Casa térrea – Padrão Baixo	46,11	100,00	1500
Casa térrea – Padrão Alto	110,98	150,00	1800
Casa térrea – Padrão Luxo	140,00	250,00	2500

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

O software forneceu 50 modelos para cada pesquisa, com diferentes coeficientes de determinação e correlação. A escolha do modelo a ser utilizado fica a critério do

avaliador. Para a escolha do modelo a ser utilizado, foram comparados o coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (r²), com o intuito de selecionar o modelo com

maior poder explicativo para o mercado. Para o cálculo do valor dos terrenos, o modelo escolhido possui coeficiente de correlação (r): 0,9227, coeficiente de determinação (r²): 0,8513, sendo classificado como: Correlação Fortíssima.

Para os terrenos, as variáveis que explicam

o valor de mercado foram a área do terreno, topografia e localização. O tratamento estatístico também fornece uma equação para se calcular o valor do imóvel em função do valor unitário. Essa fórmula é detalhada na Equação 9.

$$VU = \text{Exp}(0,5268 - 1,1913 \times 10^{-4} \times [\text{Área}]) - \frac{0,4252}{\text{Topografia}} + 0,9894 \times \ln(\text{Localização})$$

Logo, o valor do imóvel (terreno) é calculado pela Equação 10.

$$VT = VU \times AT$$

Onde:

VT = Valor do Terreno (R\$);

VU = Valor unitário (R\$/m²);

AT = Área do Terreno (m²).

Assim como para os terrenos, na escolha do modelo a ser utilizado para as casas, foram comparados o coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (r²), com o intuito de selecionar o modelo com maior poder

explicativo para o mercado. O modelo escolhido possui coeficiente de correlação (r): 0,9034, coeficiente de determinação (r²): 0,8161, sendo classificado como: Correlação Fortíssima.

Já para as casas, as variáveis que explicam o valor de mercado dos imóveis foram a área do terreno, área construída, padrão construtivo, idade, estado de conservação e localização.

O tratamento estatístico também fornece uma equação para se calcular o valor do imóvel em função do valor unitário. Essa fórmula é detalhada na Equação 11.

$$VU = -2299,9 + 7,7734 \times (\text{Área Terreno}) - 3479,2 \times \ln(\text{Área Construída}) + 1672,4 \times \ln(\text{Padrão Construtivo}) - 430,43 \times \ln(\text{Idade}) - 1325,8 / (EC) + 3371,5 \times \ln(\text{Localização}).$$

Logo, o valor do imóvel (casa) é calculado pela Equação 12.

$$VI = VU \times AC$$

Onde:

VI = Valor do Imóvel (R\$);

VU = Valor unitário (R\$/m²);

AC = Área Construída (m²).

3.3 Cálculo do valor da benfeitoria pelo Método comparativo

Com base nas equações obtidas no item anterior para o cálculo do valor total do imóvel e do valor do terreno, bem como nos valores dos fatores de comercialização inferidos a partir da pesquisa de mercado, procedeu-se à aplicação na Equação 8, a qual reorganiza a expressão do método evolutivo, de forma a isolá-la em função do valor das benfeitorias (VB).

A partir dessa formulação, foram realizadas simulações para os quatro tipos de projetos-padrão considerados, variando-se a idade da

edificação de 1 a 100 anos e o estado de conservação de 1 a 5, conforme previamente descrito. O procedimento resultou em um total de 500 combinações distintas para cada projeto paradigma, refletindo diferentes estágios de vida útil e condição física, possibilitando uma análise aprofundada do comportamento do valor das benfeitorias ao longo do tempo.

Em razão das limitações de espaço para apresentação deste trabalho, as análises e descrições a seguir referem-se a uma amostra do projeto-padrão normal, considerando-se um estado de conservação classificado como regular e um fator de comercialização de 25%. Nessa condição, a idade da edificação foi variada de 1 a 80 anos, com o objetivo de examinar a depreciação do valor das benfeitorias em função da idade, conforme os parâmetros e metodologia previamente estabelecidos. A Tabela 6 apresenta a análise, em resumo, da depreciação em função do tempo.

Tabela 6 – Análise da depreciação em função do tempo.

Idade	Valor Unitário Imóvel	Valor Total Imóvel	Valor da Benfeitoria	Depreciação em função da Idade (ki)
1	9.225,35	645.774,63	275.279,45	0%
2	8.927,00	624.890,04	258.571,78	6%
3	8.752,48	612.673,33	248.798,41	10%
4	8.628,65	604.005,45	241.864,10	12%
5	8.532,60	597.282,11	236.485,43	14%
6	8.454,12	591.788,74	232.090,74	16%
7	8.387,77	587.144,17	228.375,08	17%
8	8.330,30	583.120,85	225.156,43	18%
9	8.279,60	579.572,04	222.317,38	19%
10	8.234,25	576.397,51	219.777,76	20%
.....				
70	7.396,67	517.767,05	172.873,38	37,20%
71	7.390,57	517.339,66	172.531,48	37,32%
77	7.355,65	514.895,34	170.576,02	38,04%
80	7.339,20	513.743,73	169.654,73	38,37%

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

3.4 Cálculo do modelo de depreciação proposto

Após as análises para cada estado de conservação e cada idade verificou-se que de maneira isolada a depreciação em função da idade(Ki) variava aproximadamente 40% e a depreciação em função do estado de conservação aproximadamente 30%,

destacando que os cálculos limitaram aos valores máximos das variáveis contidas nas pesquisas, sendo assim, o próximo passo foi com os valores obtidos encontrar uma equação que explique a variação do estado de conservação tanto em função da idade quanto em função do estado de conservação.

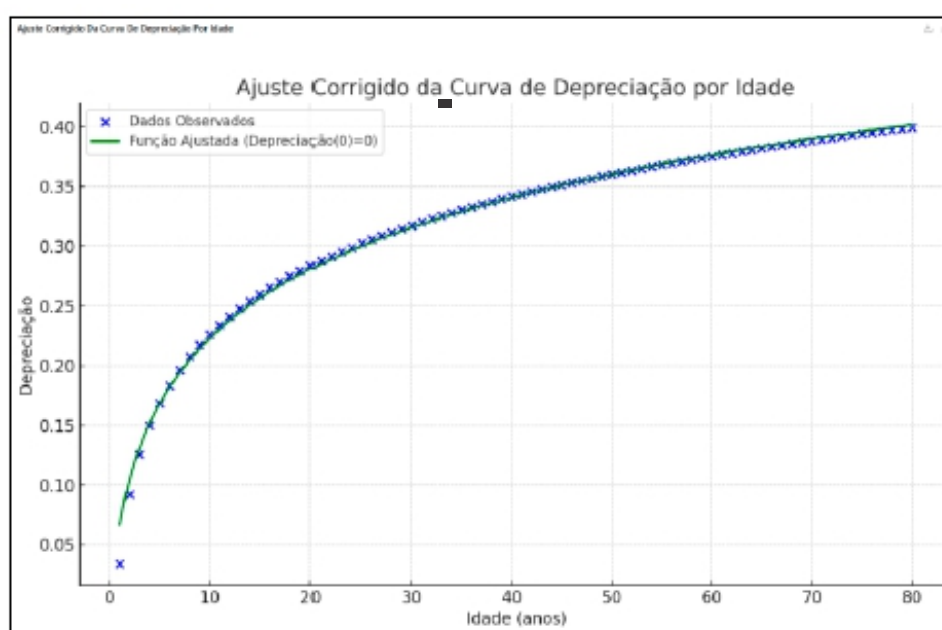


Figura 4: Curva de depreciação x idade (Elaborada pelos autores, 2025)

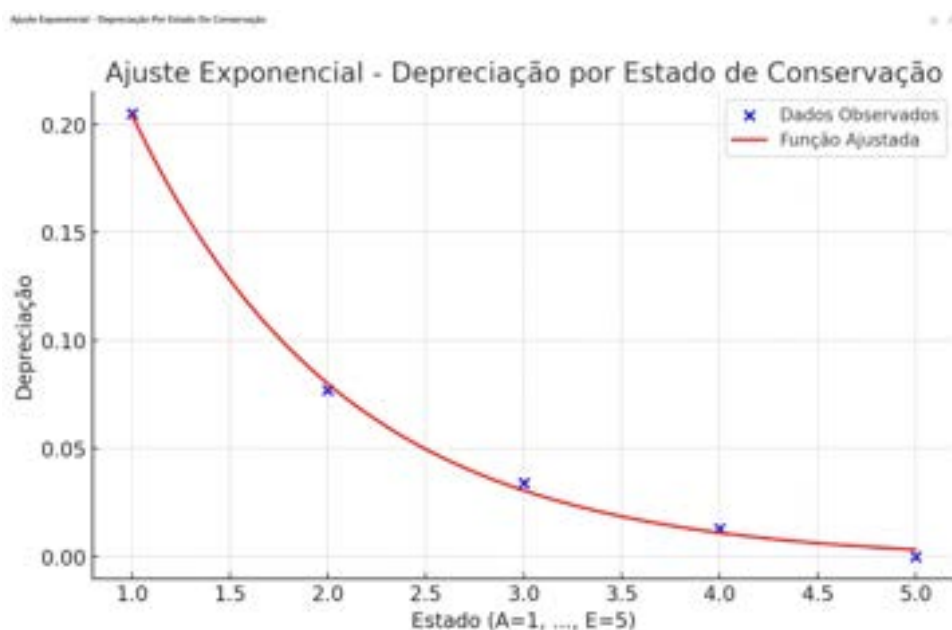


Figura 5: Curva de depreciação x estado de conservação (Elaborada pelos autores, 2025).

A partir das análises matemáticas realizadas, a depreciação em função da idade da edificação foi calculada e ajustada por meio de modelagem estatística, resultando em sua representação por meio da função logarítmica apresentada na Equação 13:

$$Depreciação (ki) = 0,0892 \cdot \ln(1,1152 \cdot Idade + 1)$$

A partir das análises matemáticas conduzidas, a depreciação em função do estado de conservação foi calculada e ajustada por meio de modelagem funcional, sendo representada pela Equação 14, função exponencial decrescente, que reflete a redução do valor da edificação à medida que se agrava o seu nível de conservação.

$$Depreciação (kec) = 0,5202 \cdot e^{-0,9244 \cdot EC} = 0,00195$$

Onde EC, representa o estado de conservação, que através da extrapolação das curvas obtidas varia de 0 a 5, demonstrada pela Figura 6:

Em consonância com as orientações de Heidecke (1935), que em sua obra afirma que, para gradações mais refinadas, podem ser adotados valores intermediários, tais como 1,5 ou 2,5, a critério do avaliador técnico, apresenta-se a seguir uma tabela com sugestões descritivas das características associadas a cada nota de estado de conservação. Essa classificação foi adaptada da publicação do IBAPE-SP (2017), visando oferecer uma referência prática e padronizada para a aplicação coerente dos níveis avaliativos.



Figura 6: Graduação do estado de conservação (Elaborada pelos autores, 2025)

Tabela 7 – Notas para Estado de Conservação.

Estado de Conservação	Nota	Características
Ótimo	5,0	Edificação nova.
Entre bom e ótimo	4,5	Edificação nova ou com reforma geral ou substancial, com menos de dois anos, que apresente necessidade apenas de uma demão leve de pintura para recompor a sua aparência.
Bom	4,0	Edificação seminova ou com reforma geral ou substancial entre dois a cinco anos, cujo estado geral possa ser recuperado apenas com reparos de eventuais fissuras superficiais localizadas e/ou pintura externa e interna.
Entre regular e bom	3,5	Edificação seminova ou com reforma geral ou substancial entre dois a cinco anos, cujo estado geral possa ser recuperado com reparos de fissuras e trincas localizadas e superficiais e pintura externa e interna.
Regular	3,0	Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com pintura externa e interna após reparos de fissuras e trincas superficiais generalizadas, sem recuperação do sistema estrutural. Eventualmente, revisão do sistema hidráulico e elétrico.
Necessitando deficiente e regular	2,5	Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com pintura externa e interna após reparos de fissuras e trincas, com estabilização e/ou recuperação localizada do sistema estrutural. As instalações hidráulicas e elétricas possam ser restauradas mediante a revisão e com substituição eventual de algumas peças desgastadas naturalmente. Eventualmente possa ser necessária a substituição dos revestimentos de pisos e paredes, de um ou outro cômodo. Revisão da impermeabilização ou substituição de telhas de cobertura.
Deficiente	2,0	Edificação cujo estado geral possa ser recuperado com pintura externa e interna, com substituição de panos de regularização da alvenaria, reparos de fissuras e trincas, com estabilização e/ou recuperação de grande parte do sistema estrutural. As instalações hidráulicas e elétricas possam ser restauradas mediante substituição de peças aparentes. A substituição dos maioria dos revestimentos de pisos e paredes, da maioria dos cômodos, se faz necessária. Substituição ou reparações importantes na impermeabilização ou no telhado.
Entre ruim e deficiente	1,5	Edificação cujo estado geral com estabilização e/ou recuperação do sistema estrutural, substituição da regularização da alvenaria, reparos de fissuras e trincas. Substituição dos revestimentos de pisos e paredes. Substituição da impermeabilização do telhado.
Ruim	1,00	Edificação cujo estado geral com estabilização e recuperação do sistema estrutural, substituição da regularização da alvenaria. Substituição dos revestimentos de pisos e paredes. Substituição da impermeabilização e/ou estrutura do telhado.
Entre Ruim e Péssimo	0,50	Edificação sem valor ou valor residual
Péssimo	0	

Fonte: Adaptado de IBAPE, 2017.

Sendo assim, o valor para o coeficiente de depreciação do modelo (D_m) é dado pela Equação 15:

Onde:

- D_m = Coeficiente de depreciação do modelo
- Idade= Idade real da edificação
- EC= Nota do estado de conservação (1 a 5)

$$D_m = 0,0892 \cdot \ln(1,1152 \cdot Idade + 1) + 0,5202 \cdot e^{-0,9244 \cdot EC} - 0,00195$$

Sendo assim, o valor da benfeitoria pelo modelo proposto pode ser calculado pela Equação 16:

$$VB = VB_i \cdot (1 - D_m)$$

Onde:

- VB = Valor da benfeitoria;

- VB_i = Valor da benfeitoria inicial (Custo de Reprodução);
- D_m = Coeficiente de depreciação do modelo

O gráfico ilustrado na Figura 7 apresenta as curvas de depreciação em função da idade e do estado de conservação.

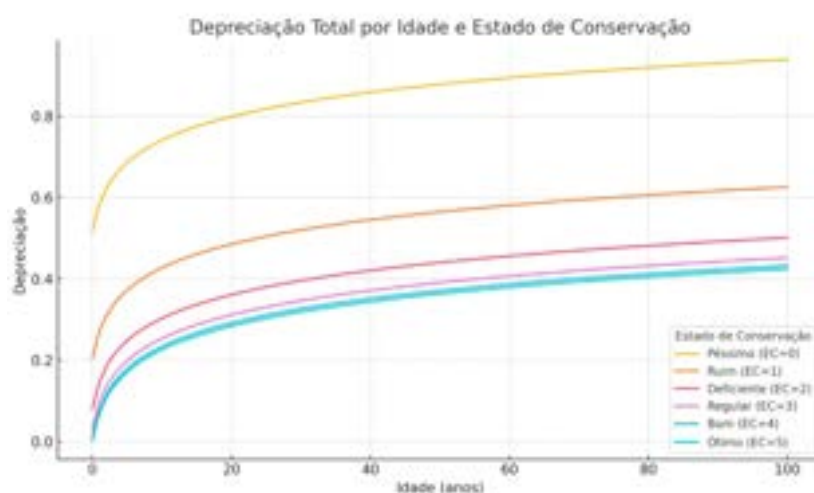


Figura 7: Curvas de depreciação (Elaborada pelos autores, 2025)

Mais do que uma análise puramente matemática, o cálculo da depreciação deve ser conduzido de forma criteriosa, técnica e coerente com os princípios da engenharia de avaliações. As variáveis idade e estado de conservação devem ser consideradas de maneira conjunta e correlacionada, uma vez que, sob o ponto de vista técnico, apresentam interdependência direta.

Como exemplo, embora matematicamente possível, é tecnicamente improvável que um imóvel com apenas 2 anos de idade apresente

estado de conservação classificado como péssimo, salvo em situações excepcionais de abandono ou sinistro. Da mesma forma, é pouco plausível que uma edificação com idade avançada mantenha condição equivalente à de um imóvel novo, sem que tenha passado por processos completos de retrofit ou reconstrução.

A Tabela 8 apresenta o resultado da aplicação da equação Coeficiente de depreciação do modelo para todas as idades e estados de conservação.

Tabela 8 – Coeficiente de depreciação.

Idade	Estado de Conservação					
	Péssimo 0	Ruim 1	Deficiente 2	Regular 3	Bom 4	Ótimo 5
0	0,5182	0,2044	0,0799	0,0305	0,0109	0,0000
2	0,6228	0,3090	0,1845	0,1351	0,1155	0,1078
4	0,6697	0,3559	0,2314	0,1820	0,1624	0,1546
6	0,7002	0,3864	0,2619	0,2125	0,1929	0,1851

Estado de Conservação						
Idade.	Péssimo 0	Ruim 1	Deficiente 2	Regular 3	Bom 4	Ótimo 5
8	0,7229	0,4091	0,2846	0,2352	0,2156	0,2079
10	0,7410	0,4272	0,3027	0,2533	0,2337	0,2259
12	0,7561	0,4423	0,3178	0,2684	0,2487	0,2410
14	0,7689	0,4551	0,3306	0,2812	0,2616	0,2538
16	0,7802	0,4664	0,3418	0,2924	0,2728	0,2651
18	0,7901	0,4763	0,3518	0,3024	0,2828	0,2750
20	0,7991	0,4853	0,3608	0,3114	0,2918	0,2840
22	0,8073	0,4935	0,3690	0,3196	0,3000	0,2922
24	0,8147	0,5009	0,3764	0,3270	0,3074	0,2996
26	0,8216	0,5078	0,3833	0,3339	0,3143	0,3065
28	0,8280	0,5142	0,3897	0,3403	0,3207	0,3129
30	0,8340	0,5202	0,3957	0,3463	0,3267	0,3189
35	0,8474	0,5336	0,4091	0,3597	0,3401	0,3323
40	0,8590	0,5452	0,4207	0,3713	0,3517	0,3439
45	0,8693	0,5555	0,4310	0,3816	0,3620	0,3542
50	0,8785	0,5647	0,4402	0,3908	0,3712	0,3634
55	0,8869	0,5731	0,4486	0,3992	0,3796	0,3718
60	0,8945	0,5807	0,4562	0,4068	0,3872	0,3794
65	0,9016	0,5878	0,4632	0,4138	0,3942	0,3865
70	0,9081	0,5943	0,4698	0,4204	0,4008	0,3930
75	0,9142	0,6004	0,4758	0,4264	0,4068	0,3991
80	0,9198	0,6060	0,4815	0,4321	0,4125	0,4048
85	0,9252	0,6114	0,4869	0,4375	0,4179	0,4101
90	0,9302	0,6164	0,4919	0,4425	0,4229	0,4152
95	0,9350	0,6212	0,4967	0,4473	0,4277	0,4199
100	0,9396	0,6258	0,5012	0,4518	0,4322	0,4245

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

3.5 Comparação entre curvas de depreciação

Conforme já mencionado, no trabalho original de Ross (1884), os valores de depreciação foram calculados considerando vidas úteis de 100 e 200 anos, períodos significativamente superiores àqueles usualmente adotados pelos profissionais da engenharia na atualidade. De acordo com normas técnicas vigentes e publicações contemporâneas, a vida útil das edificações situa-se, em geral, entre 50 e 80 anos, a depender do tipo construtivo, do uso e das condições de manutenção.

Dessa forma, com o objetivo de proporcionar uma análise mais abrangente, este capítulo apresenta a comparação entre o modelo proposto e:

- o modelo original do método de Ross–Heidecke, com vida útil de 100

anos; e

- a versão mais comumente utilizada por avaliadores, que aplica uma vida útil de 50 anos para estimativas de depreciação.

3.5.1 Modelo proposto x versão original do método de Ross–Heidecke

Conforme ilustrado no gráfico a seguir, observa-se que o modelo proposto pelos autores (linhas azuis – estados de conservação "Regular" e "Ótimo") apresenta curvas de depreciação com comportamento acentuado nos primeiros anos de vida útil, seguido por um processo de estabilização progressiva. Nota-se que o estado de conservação influencia diretamente a taxa inicial de depreciação: edificações em estado "Regular" sofrem perdas de valor mais intensas nos primeiros anos quando

comparadas àquelas em estado "Ótimo".

Mesmo para edificações com idade próxima de 100 anos, o modelo em questão mantém um valor residual superior a 60%, demonstrando que a depreciação não atinge o limite teórico de 100%. Tal característica é condizente com edificações que, apesar da idade avançada, permanecem em uso e com manutenção regular, apresentando condições físicas entre os estados de conservação "Regular" e "Ótimo".

Em contraposição, o modelo Ross-Heidecke (representado pela curva laranja) adota um comportamento de depreciação linear ou parabolicamente crescente, pressupondo a perda integral do valor do bem ao final de sua vida útil estimada em 100 anos. Esse modelo representa uma abordagem

clássica, frequentemente utilizada em avaliações contábeis ou patrimoniais, caracterizada por um ritmo constante de depreciação, sem considerar variações abruptas nos primeiros anos ou o estado de conservação do imóvel.

Entretanto, essa abordagem pode resultar em subavaliação de imóveis antigos que ainda se encontram em uso e em boas condições, uma vez que assume, de forma teórica, a perda total de valor ao final da vida útil. Por sua vez, o modelo proposto pelos autores revela-se mais compatível com aplicações de natureza mercadológica, na medida em que considera a influência do estado de conservação e a dinâmica real da depreciação, cuja intensidade tende a se reduzir com o passar do tempo.

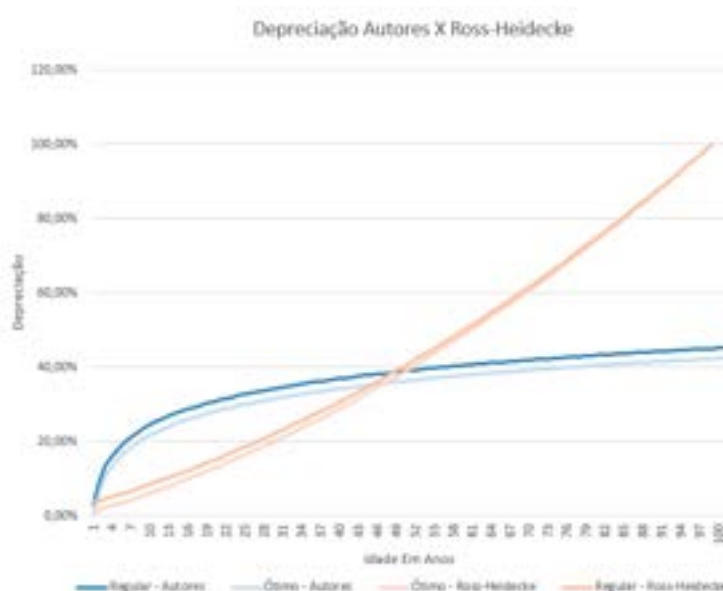


Figura 8: Comparação modelo dos autores x Ross-Heidecke -100 anos (Elaborada pelos autores, 2025)

A análise do cruzamento entre as curvas, demonstrada na Figura 8, evidencia que, a partir de aproximadamente 40 a 60 anos de idade, o modelo Ross-Heidecke passa a apresentar valores inferiores aos do modelo dos autores, o que, sob a ótica do mercado, pode acarretar subavaliações relevantes de edificações antigas, porém bem conservadas.

3.5.2 Modelo proposto x método de Ross-Heidecke (atual)

No caso do modelo Ross-Heidecke (representado pela curva vermelha), observa-se um comportamento de depreciação predominantemente linear ao longo do tempo, ou parabólico, quando

considerada uma vida útil de 50 anos. A depreciação evolui de maneira acelerada, com comportamento quase exponencial, alcançando valores superiores aos previstos no modelo dos autores a partir da faixa etária de 25 a 30 anos. Para uma vida útil estimada em 50 anos, o modelo atinge 100% de depreciação nesse ponto, pressupondo, portanto, o esgotamento técnico do bem e a perda total de seu valor.

Esse modelo apresenta uma abordagem mais agressiva no longo prazo, ao passo que adota uma postura mais conservadora nos primeiros anos, comportamento inverso ao do modelo proposto pelos autores. Neste último, mesmo para edificações com idade próxima a 100 anos, preserva-se um valor

residual superior a 60%, indicando que a depreciação não atinge o limite teórico de 100%. Essa característica revela maior aderência à realidade de edificações que, apesar da longevidade, mantêm-se funcionais e com manutenção contínua,

situando-se entre os estados de conservação classificados como "Regular" e "Ótimo".

A análise do cruzamento entre as curvas é demonstrada na Figura 9.

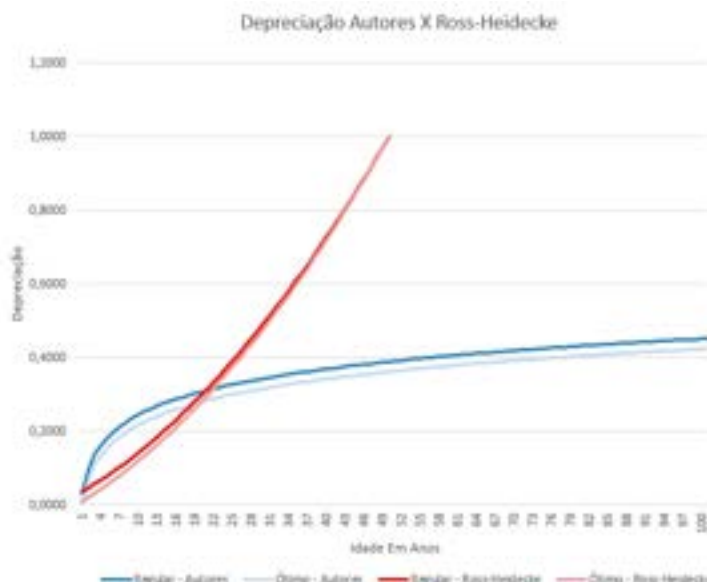


Figura 9: Comparação modelo dos autores x Ross-Heidecke -50 anos (Elaborada pelos autores, 2025)

Para fins de validação dos dados, foram selecionados 10 imóveis, cujos valores das benfeitorias foram estimados por meio das equações derivadas do método comparativo direto de dados de mercado. Esses valores foram então aplicados na Equação 8, que corresponde à

reorganização da expressão do método evolutivo, de forma a isolá-la em função do valor das benfeitorias (VB). O valor das benfeitorias obtido foi comparado com os valores das benfeitorias calculados pelo método de Ross-Heidecke e pelo modelo proposto pelos autores

Tabela 9 – Comparação dos valores obtidos nos modelos

Imóvel	Idade.	Valor da Benfeitoria Calculado pela equação 8	Valor da Benfeitoria Calculado Modelo dos Autores	Valor da Benfeitoria Calculado Modelo Ross-Heide
1	13	409.622,59	404.868,78	443.224,20
2	24	222.377,12	200.798,53	182.235,33
3	37	679.408,44	703.903,97	362.621,37
4	44	2.495.453,52	2.342.097,97	616.447,37
5	52	181.463,49	176.171,15	0,00
6	56	335.316,36	239.606,31	0,00
7	60	1.521.140,57	1.486.107,63	0,00
8	74	404.473,98	331.227,97	0,00
9	76	431.853,31	377.593,90	0,00
10	77	440.182,17	408.840,63	0,00

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

O gráfico a seguir ilustra o erro percentual absoluto em relação ao valor da benfeitoria

obtido pela equação 8 para o modelo dos autores e o modelo de Ross-Heidecke.



Figura 9: Comparação modelo dos autores x Ross-Heidecke -50 anos (Elaborada pelos autores, 2025)

Observa-se que o Modelo dos Autores apresenta erros percentuais absolutos baixos e relativamente estáveis ao longo das diferentes faixas etárias analisadas, inclusive para edificações mais antigas. Por outro lado, o Modelo Ross-Heidecke evidencia um crescimento progressivo do erro à medida que aumenta a idade do imóvel, atingindo 100% a

partir dos 50 anos de idade. Tal comportamento indica que o Modelo dos Autores demonstra maior aderência à realidade observada no mercado, especialmente no caso de edificações antigas que ainda se encontram em uso e em condições adequadas de conservação.



4. CONCLUSÃO

O presente estudo propôs uma metodologia alternativa para o cálculo da depreciação física de edificações urbanas, fundamentada em modelagem estatística inferencial aplicada a dados reais de mercado. O modelo desenvolvido incorpora variáveis críticas como idade, estado de conservação, padrão construtivo e localização, configurando-se como uma ferramenta mais precisa e aderente à realidade mercadológica contemporânea.

Um dos pilares da pesquisa foi a revisão bibliográfica das obras originais de Ross (1884) e Heidecke (1935), que historicamente fundamentam o modelo Ross-Heidecke, amplamente utilizado na engenharia de avaliações. Observou-se, contudo, que os valores de depreciação originalmente propostos por esses autores consideravam vidas úteis de 100 a 200 anos, parâmetros significativamente superiores aos atualmente praticados, os quais, conforme as normas técnicas vigentes, situam-se entre 50 e 80 anos.

A comparação entre as curvas geradas pelo novo modelo e aquelas oriundas do método Ross-Heidecke, tanto em sua formulação original quanto na versão com vida útil reduzida, revelou diferenças substanciais no comportamento da depreciação ao longo do tempo. O modelo proposto demonstrou representar de forma mais realista a perda de valor dos imóveis, apresentando uma depreciação não linear, com declínio mais acentuado nos primeiros anos e posterior estabilização, mantendo valor residual significativo mesmo em edificações antigas e bem conservadas.

No que se refere à acurácia frente aos dados de mercado, verificou-se que o modelo proposto apresentou erros percentuais absolutos baixos e relativamente estáveis nas diferentes faixas etárias analisadas. Em contraste, o modelo Ross-Heidecke apresentou crescimento progressivo do erro conforme o aumento da idade da edificação, alcançando 100% a partir dos 50 anos, o que compromete sua aplicabilidade em contextos contemporâneos.

Dessa forma, conclui-se que o modelo de depreciação física desenvolvido neste trabalho representa um avanço relevante para a engenharia de avaliações. Ele assegura maior consistência técnica, sensibilidade às variáveis físicas e mercadológicas do imóvel, e aderência ao comportamento efetivo dos bens no mercado. Com isso, contribui para avaliações mais justas, transparentes e alinhadas às exigências normativas e periciais atualmente vigentes.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-1: Avaliação de bens - Parte 1: Procedimentos gerais. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-2: [Avaliação de bens - Parte 2, Imóveis Urbanos. Rio de Janeiro, 2011].
- DANTAS, R. A. Engenharia de avaliações: uma introdução à metodologia científica. 3. ed. São Paulo: Pini, 2012.
- HEIDECKE, Erich. Die Schätzung von industriellen Grundstücken und Fabrikanlagen sowie von Grundstücken und Gebäuden zu Geschäfts- und Wohnzwecken. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1935.
- GRAEF, Aline Boff; ZANCAN, Evelise Chemale. METODOLOGIA DE CÁLCULO DA DEPRECIÇÃO DE RESIDÊNCIAS PARA O MÉTODO EVOLUTIVO: ESTUDO DE CASO EM CRICIUMA, SC. 2018. 16 f. Curso de Engenharia Civil, – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO (IBAPE-SP). Valores de Edificações de Imóveis Urbanos. 2017.
- NETHER, O. S. Um método para a determinação da depreciação de edificações. 2010.
- SILVEIRA, Felipe Lopes. Proposta para Método de Cálculo da depreciação de benfeitorias baseado na atualização, padronização, ampliação e rigor do método de Ross-Heidecke. 2021. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidad Politécnica de Valencia, Vitória, 2021.
- ZINI, Marcos Rafael. CÁLCULO DA DEPRECIÇÃO DE APARTAMENTOS USANDO REGRESSÃO LINEAR E MÉTODO DE ROSS-HEIDECKE: UM ESTUDO COMPARATIVO. 2015. 38 f. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2015.

ENGENHEIROS ARQUITETOS E AGRÔNOMOS

Conheça os benefícios:

- ✓ Capacitação contínua, com cursos e eventos exclusivos
- ✓ Maior visibilidade no mercado de avaliações e perícias
- ✓ Apoio institucional e acesso a materiais técnicos especializados
- ✓ Networking com profissionais altamente qualificados

**Fortaleça sua carreira.
Faça parte dessa
comunidade.**

O IBAPE é um passo essencial para quem busca qualificação, credibilidade e reconhecimento em avaliações e perícias



IBAPE
INSTITUTO BRASILEIRO
DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA

ASSOCIE-SE
www.ibape-nacional.com.br