

Impactos da Gestão Fundiária na Valorização de Projetos de Infraestrutura: Abordagem de Valor Especial com Aplicação de Inteligência Artificial

Trabalho de Avaliação

IGOR ALMEIDA FASSARELLA
LUCIANO DE ALVARENGA FONTES
LORENA LEÃO DE JESUS

João Pessoa - PB
2025

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



Impactos da Gestão Fundiária na Valorização de Projetos de Infraestrutura: Abordagem de Valor Especial com Aplicação de Inteligência Artificial

RESUMO

Este trabalho propõe uma abordagem técnica e aplicada para a determinação do valor especial em negociações fundiárias associadas a projetos minerários. A partir da análise de 23 casos executados entre 2015 e 2025, identificou-se que o valor de mercado frequentemente se mostra insuficiente para refletir as especificidades desses contextos, marcados por rigidez locacional, ausência de oferta voluntária e assimetria negocial. Com base nessa experiência, foram sistematizados três fatores corretivos – oferta (FO), localização (FL) e rigidez locacional (FRL) – cuja composição define um fator de interesse a ser aplicado ao valor de mercado. Paralelamente, buscou-se desenvolver modelos preditivos por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, utilizando variáveis públicas como PIB/km² e módulos fiscais. Os resultados estatísticos, contudo, revelaram baixa capacidade explicativa, reforçando a necessidade de amostras mais robustas. Apesar disso, a metodologia proposta se mostra operacionalmente eficaz, contribuindo para a previsibilidade e a fundamentação técnica de negociações complexas. O trabalho também dialoga com princípios de governança fundiária e boas práticas ESG, articulando fundamentos normativos da ABNT NBR 14653, IVS e diretrizes do IFC. A proposta contribui para a qualificação das avaliações em contextos de infraestrutura, especialmente quando o valor de mercado não captura integralmente os riscos e compromissos assumidos pelo empreendedor.

Palavras-chave: *Avaliação de bens; Governança territorial; Infraestrutura; Práticas ESG; Servidão Minerária.*

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3. METODOLOGIA	10
4. ESTUDO DE CASO	19
5. CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	26
ANEXO	27

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



1. INTRODUÇÃO

A gestão fundiária adequada é crucial para o sucesso na implantação de projetos de infraestrutura e é composta pelas etapas de identificação e cadastro das áreas de interesse e/ou dos imóveis e respectivos superficiários, vistoria e avaliação conforme a ABNT NBR 14653 e suas partes pertinentes, negociação, registro e liberação da obra. “Esses atrasos podem comprometer o cronograma, gerar impactos financeiros expressivos e, em casos extremos, inviabilizar a implantação da lavra, especialmente quando há dependência de autorizações e remoções em prazos críticos.



Figura 1: Fluxograma das etapas básicas da Gestão Fundiária.

A liberação das áreas para o projeto é um dos pontos mais críticos. Atrasos na deslocamento das famílias de imóveis de interesse, bem como a obtenção de permissões de órgãos responsáveis pelas ligações de utilidades básicas, geraram impactos significativos. Esses atrasos não apenas comprometeram o cronograma como também levaram ao aumento dos custos, desestabilizando o equilíbrio financeiro dos contratos. Este cenário reforça a importância de uma gestão fundiária bem estruturada, capaz de antecipar possíveis obstáculos e tratá-los de maneira eficaz.

O método utilizado para avaliação das terras envolvidas, conforme as diretrizes da ABNT NBR 14653, é essencial para determinar o valor justo de indenização.

Métodos preconizados pela referida norma técnica garantem a precisão na avaliação, considerando fatores específicos de cada imóvel, como benfeitorias e localização. Em muitos casos, a aplicação das Normas Internacionais de Avaliação (IVS) também contribui para a determinação do maior e melhor uso do imóvel, considerando aspectos como potencial de aproveitamento e restrições legais.

Essas práticas asseguram que, além da compensação financeira, sejam considerados os impactos sociais e econômicos nas comunidades afetadas. A correta gestão fundiária é, portanto, uma ferramenta estratégica que vai além da mera compensação financeira; ela visa minimizar conflitos, promover o desenvolvimento local e assegurar que os projetos sejam implementados dentro dos prazos e dos orçamentos planejados.

Outros fatores externos, como condições climáticas extremas, também podem impactar o cronograma da gestão fundiária, exigindo planejamento integrado entre engenharia e área fundiária. A antecipação e planejamento para enfrentar condições adversas, como chuvas intensas, são fundamentais para reduzir o impacto sobre o cronograma das obras. Dessa forma, a integração entre os responsáveis pela gestão fundiária e as demais áreas do projeto é essencial para que eventuais imprevistos sejam rapidamente resolvidos, com menor prejuízo ao andamento da obra.



Figura 2: Lookout Jackerath Garzweiler Skywalk na Alemanha - Fonte: Freepik.

O Padrão de Desempenho 5 do International Finance Corporation (IFC) estabelece diretrizes específicas para lidar com deslocamento involuntário e aquisições de terra em projetos de infraestrutura. A aplicação desse padrão em projetos fundiários promove não só a conformidade com normas internacionais, mas

também garante que as partes afetadas sejam tratadas de maneira justa, respeitando seus direitos e minimizando impactos sociais negativos. Segundo o Padrão de Desempenho 5 do IFC, deve-se evitar, sempre que possível, o deslocamento forçado e garantir compensações adequadas, com medidas de restabelecimento socioeconômico para os afetados.

A incorporação das boas práticas de ESG (Environmental, Social, and Governance) na gestão fundiária fortalece ainda mais o compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade social. No contexto de projetos de mineração, práticas ambientais responsáveis incluem a preservação dos recursos naturais e a mitigação dos impactos durante a execução da obra. Por exemplo, a manutenção de áreas verdes e a proteção de nascentes, especialmente em áreas rurais, fazem parte dessas ações.

No âmbito social, garantir a transparência e a inclusão das comunidades afetadas em todo o processo de negociação são pontos cruciais. O engajamento contínuo e o diálogo aberto são elementos que asseguram que as expectativas dos proprietários e das comunidades sejam atendidas, resultando em uma maior aceitação e apoio aos projetos. O desenvolvimento de programas sociais para apoiar a realocação e o restabelecimento dos meios de subsistência das famílias impactadas é um exemplo de prática socialmente responsável.

Já no aspecto da governança, a adoção de políticas claras e auditáveis na gestão fundiária contribui para a prevenção de riscos legais e reputacionais. A transparência em todas as etapas do processo, desde a avaliação das propriedades até o pagamento das indenizações, deve ser assegurada para evitar conflitos e garantir a legitimidade do processo.

Aliado a tudo isso, para a negociação há como parâmetro inicial o laudo de avaliação de imóvel e como limite, a disposição e a disponibilidade financeiras do Projeto. Se por um lado o laudo de avaliação – seguindo rigorosamente o determinado pelas Normas ABNT 14653 – estabelece por processo matemático-estatístico o valor do imóvel em termos de mercado, a negociação em questão não se resume a simples valor de mercado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Conceito de valor especial

Para compreender a valoração em contextos minerários, é essencial diferenciar dois conceitos centrais: o valor de mercado e o valor especial. Essa distinção fundamenta a proposta metodológica do presente trabalho. O valor de mercado é definido da seguinte forma pelo subitem 3.1.47 da NBR 14653-1:2019 (Avaliação de Bens - Parte 1: Procedimentos Gerais): *“Quantia mais provável pela qual se negociaria voluntariamente e conscientemente um bem, em uma data de referência, dentro das condições do mercado vigente”*.

Já o valor especial tem a seguinte definição, de acordo com o subitem 3.1.52 da NBR 14653-1:2019: *“valor que considera atributos particulares de um bem ou direito, que geram interesse somente para um comprador especial ou sob as condições de uma premissa especial”*.



Figura 3: Valor de mercado x Valor especial.

As Normas Gerais IVS 400 Direitos Sobre Imóveis apresentam os seguintes tipos:

20.2. Um direito sobre imóvel é um direito de propriedade, controle, uso ou ocupação de terrenos e edifícios. Um direito imobiliário inclui direitos de posse informais para comunidades e ou terra coletiva ou tribal e assentamentos informais urbanos/rurais ou economias de transição, que podem ter a forma de posse, ocupação e direitos de uso.

Há três tipos principais de direitos:

(a) direito superior em qualquer área definida de terra. O proprietário desse direito tem um direito absoluto de posse e controle da terra e de todos os edifícios nela localizados permanentemente, sujeito apenas a quaisquer direitos subordinados e quaisquer restrições jurídicas legais ou de outro tipo,

(b) um direito subordinado que normalmente concede ao titular direitos de posse exclusiva e controle de uma área definida de terra ou edifícios por um período definido, por exemplo, nos termos de um contrato de arrendamento, e/ou

(c) um direito de uso de terras ou edifícios, mas sem o direito de posse exclusiva ou controle, por exemplo, o direito de passagem sobre o solo ou utilizá-lo apenas para uma atividade especificada.

Importante apresentar a diferença entre valor e preço. Para isso, convém reproduzir parte da Normas gerais - IVS 104 Bases de valor:

30. IVS - Base de Valor Definida - Valor de Mercado

30.1. O Valor de Mercado é o valor estimado pelo qual um ativo ou passivo deveria ser permutado na data de avaliação entre um comprador predisposto e um vendedor predisposto em uma operação entre partes independentes, após adequada exposição ao mercado e na qual as partes tenham atuado com conhecimento, prudência e sem compulsão.

...

30.3. O conceito de Valor de Mercado pressupõe um preço negociado em um mercado aberto e competitivo em que os participantes estejam agindo livremente. O mercado de um ativo pode ser um mercado internacional ou um mercado nacional. O mercado pode consistir em numerosos compradores e vendedores, ou pode ser um mercado caracterizado por um número limitado de participantes. O mercado em que o ativo está supostamente exposto à venda é aquele em que o ativo que está sendo transacionado de forma hipotética é normalmente permutado. (IVS 104 Bases de valor). (Grifos nossos)

Após a publicação da revisão em 2019 da ABNT NBR 14653-1, tem-se a definição explícita desses dois conceitos.

0.2 Princípios gerais da avaliação de bens

A avaliação de bens, de seus frutos e direitos é uma análise técnica para identificar valores, custos ou indicadores de viabilidade econômica, para um determinado objetivo, finalidade e data, consideradas determinadas premissas, ressalvas e condições limitantes claramente explicitadas.

Os conceitos de valor, preço e custo são distintos.

O valor de um bem decorre de várias características, entre as quais se destacam sua raridade e sua utilidade para satisfazer necessidades e interesses humanos e sofre influências por suas características singulares e condições de oferta e procura. **Trata-se de um conceito econômico abstrato e não de um fato.**

O preço é uma expressão monetária que define uma transação de um bem, de seu fruto, de um direito, ou da expectativa de sua transação. **O preço é um fato concreto, relacionado às capacidades financeiras, às motivações ou aos interesses específicos do comprador ou do vendedor.** (ABNT, 2019). (Grifos nossos)

2.2. Custo de oportunidade

A negociação se estabelece em função do interesse do Projeto na aquisição, ou acesso à terra, na área para implantação da Lavra, Área Industrial e construções de apoio para operação da Mina. Trata-se, portanto, de área sujeita à servidão mineral. Servidão mineral amigável ou judicial conforme o Código de Mineração. Não

tratamos aqui das áreas para adutoras de água e linha de transmissão de energia elétrica.



Figura 4: Mineração de Nióbio em Catalão - GO. Fonte: ANM.

No caso dos imóveis do “*site*” o objetivo primeiro e principal é a aquisição simples do imóvel. Servidão amigável estará sempre em plano secundário de nossa parte e, servidão judicial em plano mais distante ainda.

Conforme já mencionado, para a negociação há como parâmetro inicial o laudo de avaliação de imóvel e como limite, a disposição e a disponibilidade financeiras do Projeto.

O valor de mercado pressupõe uma negociação voluntária entre partes interessadas, em condições normais. Já o valor especial surge em contextos assimétricos, nos quais há rigidez locacional e o comprador detém interesse exclusivo, como ocorre em projetos minerários. No presente caso, e na maioria absoluta dos casos de área de mineração, há o Projeto desejando adquirir e, não necessariamente, um proprietário desejando vender. Mais significativo é outro aspecto: para o Projeto há absoluta rigidez locacional e, em se tratando de área industrial, certa rigidez locacional. Os estudos de viabilidade analisam as melhores opções em termos de custos de distância de transporte, formação de pilhas de estoque, disposição de rejeitos, topografia para implantação da usina, etc. Assim, há outros locais prováveis, mas alguns não serão possíveis, ou talvez, contra indicados.

Então, definem-se os dois limites: o valor de mercado como limite menor e o custo de oportunidade como limite maior. O custo de oportunidade analisará além dos aspectos de engenharia, de custos de operação, de implantação, as obrigações e deveres a remunerar, indenizar e recompor que o Código de Mineração estabelece e Órgãos ambientais suplementarmente podem estabelecer.

Ao nosso entendimento, o custo de oportunidade, em termos de legislação minerária (e ambiental suplementarmente), deve necessariamente contemplar, e em alguns casos não se limitando, a:

- ✓ Indenização: baseada no valor de mercado e na área efetivamente ocupada ou afetada;
- ✓ Renda: baseado na produção possível na área efetivamente ocupada ou afetada;
- ✓ Obrigação de recompor;
- ✓ Pagamento de participação do proprietário nos resultados da lavra (royalties), conforme legislação específica, nos imóveis que esta ocorra.

Na análise do valor de mercado, que é apurado através de laudo técnico obedecendo aos procedimentos definidos pela ABNT 14653 e suas partes pertinentes. Para determinação de base e parâmetro de valores de negociação, têm-se então sugestões de aplicação suplementar de índices (fatores) como mecanismo de ajuste para a situação específica e fora das condições normais de mercado.

O laudo de avaliação é importante e definitivo instrumento, tanto como base de valores para a negociação, quanto para comprovação de atendimento às normas e procedimentos do IFC - International Finance Corporation, no que se refere a reassentamento involuntário. Pela robustez e densidade técnica de nosso laudo, se prestará ainda ao necessário demonstrativo em auditorias e, findadas todas as possibilidades, poderá ser documento técnico levado à juízo no extremado caso de servidão judicial.

Há que se considerar pelo menos dois pontos importantes neste processo de negociação que se inicia. Primeiro, o futuro: o passar do tempo está mais a favor do proprietário do que do Projeto. O Projeto é premido pelo tempo independentemente do quão antecipadamente se inicia o processo. A não ser que se resolva concordar imediatamente com a proposta do superficiário haverá um momento que o prazo final se aproxima. Para o proprietário não. Se não está ele em condições financeiras desfavoráveis.

O cronograma do projeto impõe pressões temporais ao empreendedor, que necessita da área em prazos definidos. Já o proprietário, salvo situações de urgência pessoal, não enfrenta essa mesma pressão, o que lhe confere maior margem de negociação. Além disso, o histórico de movimentações da mineradora na região gera expectativa nos superficiários, que tendem a buscar condições iguais ou superiores às obtidas por vizinhos em negociações anteriores.

Conhecendo os valores praticados como servidão na fase de pesquisa mineral, é possível realizar a composição de valores sugeridos abrangendo esses resultados.

3. METODOLOGIA

É questão central no processo de negociação a disponibilidade financeira e o propósito da Empresa de adquirir o imóvel até determinado valor. De um lado tem-se um comprador com desejo de adquirir. De outro se tem um proprietário nem tão disposto a vender. Como anteriormente mencionado, não se trata de simples relação de mercado.

Ainda que o custo de oportunidade não seja considerado diretamente, propõe-se a aplicação de fatores de correção ao valor de mercado, com base no laudo de avaliação.

3.1. Servidão mineral

Preliminarmente, como forma de melhor explicação e facilitar o entendimento, trazemos breves aspectos legais referente ao processo de servidão mineral.

O processo envolve:

- ✓ Instituição e decreto da Servidão Mineral pela ANM;
- ✓ Cálculo e pagamento de indenização;
- ✓ Cálculo e pagamento de renda mensal;
- ✓ Pagamento de participação do proprietário nos resultados da lavra;
- ✓ Por certo, recuperação da área para fins agrícolas;
- ✓ Devolução do imóvel ao fim da mina.

“Servidão Mineral é um direito real por meio do qual se cria a possibilidade de submeter um imóvel, temporária ou definitivamente, tanto na sua superfície quanto no subsolo, para possibilitar a atividade mineral”, segundo FREIRE (2017).

Ainda de acordo com FREIRE (2020), *“A utilidade pública e a rigidez locacional das jazidas fizeram com que o legislador criasse condições para o desenvolvimento da mineração.*

As Servidões Minerais e as desapropriações em favor da atividade constituem instrumentos jurídicos relevantes, porque há uma necessidade social de que as reservas minerais tenham o melhor aproveitamento possível, já que isso interessa a toda sociedade”.

O processo de servidão mineral, o qual pode ser amigável ou judicial, envolve:

- Instituição e decreto da Servidão Mineral pela Agência Nacional de Mineração - ANM;
- Cálculo e pagamento de indenização;
- Cálculo e pagamento de renda mensal;
- Pagamento de participação do proprietário nos resultados da lavra (se for o caso);
- Por certo, recuperação da área para fins agrícolas (ou conforme o uso na ocupação);
- Devolução do imóvel exaurida à mina.

De acordo com o Decreto n.º 9.406, de 12/06/2018, tem-se que:

“Art. 5º A atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéreis e o fechamento da mina.

...

§ 3º O fechamento da mina pode incluir, entre outros aspectos, os seguintes:

I - a recuperação ambiental da área degradada;

II - a desmobilização das instalações e dos equipamentos que componham a infraestrutura do empreendimento;

III - a aptidão e o propósito para o uso futuro da área; e

IV - o monitoramento e o acompanhamento dos sistemas de disposição de rejeitos e estéreis, da estabilidade geotécnica das áreas mineradas e das áreas de servidão, do comportamento do aquífero e da drenagem das águas.”

Na pesquisa e/ou lavra¹ pode ocorrer necessidade de utilização de terrenos dentro ou fora do polígono estabelecido para a atividade mineral. Daí o artigo 60 do Decreto-lei n.º 227, de 28/02/1967, instituir servidões minerais mediante indenização prévia do valor do terreno ocupado e dos prejuízos resultantes dessa ocupação.

Servidão Mineral não se confunde com servidão civil. Neste, há um prédio dominante; naquele, há um interesse predominante sujeitando a propriedade. Toca predominantemente ao interesse público no desenvolvimento de uma atividade industrial, que é considerada como de utilidade pública pelo Decreto-lei n.º 3.365, de 21/06/1941.

FEIGELSON (2012) apresenta que “(...) a servidão minerária é uma espécie do gênero servidão administrativa, expressamente prevista no Código de Mineração, vez que a mineração é atividade de interesse nacional, devendo prevalecer, portanto, sobre o interesse privado.

...

A servidão minerária autoriza o titular do direito minerário a impor, sobre a propriedade de terceiros, limitações excepcionais, desde que essenciais à viabilidade da exploração mineral. Correto afirmar que a servidão se institui em favor do aproveitamento da jazida mineral, aderindo, portanto, à jazida e não ao seu titular”.

Com a Lei n.º 13.575, de 26/12/2017, que criou a Agência Nacional de Mineração (ANM), possibilitou-se, através deste órgão, a emissão da Declaração de Utilidade Pública para fins de desapropriação, ou seja, desapropriação por empresas de mineração.

Se o preço for ajustado amigavelmente, o contrato por instrumento público especificará as condições do gravame e autorizará o Oficial do Cartório Imobiliário a proceder ao seu registro. Impossibilitado o acordo, o preço da Servidão Mineral será fixado por sentença judicial. O procedimento judicial para avaliação da Servidão Mineral pode ser provocado pela ANM ou pelo minerador.

Para pesquisa ou lavra, importante analisar o artigo 27 do Código de Mineração:

Art. 27. O titular de autorização de pesquisa poderá realizar os trabalhos respectivos, e também as obras e serviços auxiliares necessários, em terrenos de domínio público ou particular, abrangidos pelas áreas a pesquisar, desde que pague aos respectivos proprietários ou posseiros uma renda pela ocupação dos terrenos e uma indenização pelos danos e prejuízos que possam ser causados pelos trabalhos de pesquisa, observadas as seguintes regras:

I - A renda não poderá exceder ao montante do rendimento líquido máximo da propriedade na extensão da área a ser realmente ocupada;

II - A indenização por danos causados não poderá exceder o valor venal da propriedade na extensão da área efetivamente ocupada pelos trabalhos de pesquisa, salvo no caso previsto no inciso seguinte;

¹ Art. 59 do Decreto-lei n.º 227, de 28/06/1967: Servidão para pesquisa ou lavra.

III - Quando os danos forem de molde a inutilizar para fins agrícolas e pastoris toda a propriedade em que estiver encravada a área necessária aos trabalhos de pesquisa, a indenização correspondente a tais danos poderá atingir o valor venal máximo de toda a propriedade;

IV - Os valores venais a que se referem os incisos II e III serão obtidos por comparação com valores venais de propriedade da mesma espécie, na mesma região;

Para determinação desses valores, os profissionais da engenharia de avaliações devem seguir rigorosamente as diretrizes da ABNT NBR 14653-1:2019 e suas partes pertinentes (Parte 2: Imóveis urbanos e Parte 3: Imóveis rurais e seus componentes).

Segundo FREIRE (2020), “*Por ser unilateral, o laudo deve ter qualidade e ser feito por profissional com experiência nessas avaliações*”. Ressalta ainda que, “*Para apurar esse valor [valor de mercado], haverá necessidade de o perito usar todo o seu conhecimento e toda sua experiência, diante dos múltiplos detalhes que podem elevar ou reduzir o valor apurado*”.

Normalmente, os laudos de avaliação apresentam os seguintes valores²:

- a) valor da renda anual;
- b) valor para indenização dos eventuais danos causados;
- c) valor de mercado.

O primeiro item do artigo 27 menciona renda, cujo valor pode ser obtido pelo método da remuneração do capital, com base na capitalização presente da sua renda líquida prevista, considerando-se cenários viáveis. Assim sendo, é importante, por ocasião da vistoria, identificar a principal atividade econômica a ser explorada no imóvel avaliando.

A renda será calculada baseada na produção³ que ora se estabelece no imóvel. Reflete a incapacidade de produzir imposta ao superficiário pela presença da atividade de mineração em seu imóvel. Seja aplicar uma taxa de renda (aluguel) ou calcular através da produtividade animal.

O segundo e o terceiro item informam sobre a indenização dos danos. Não se supervaloriza a propriedade em razão de virtual depósito mineral em seu subsolo, porque este não lhe pertence. O que se avalia é somente a superfície desmineralizada. A indenização, apesar de abrangente, ressarcirá somente os prejuízos efetivamente causados e a ocupação efetivamente realizada.

Tal valor está ligado ao custo de reprodução que, de acordo com o subitem 3.1.11.5 da ABNT NBR 14653-1:2019, é “*custo necessário para reproduzir um bem idêntico, com a consideração dos seus insumos pertinentes, sem considerar eventual depreciação*”. Ou seja, deve-se recompor ou indenizar considerando o valor das benfeitorias sem depreciação (novas).

É possível identificar que os três itens limitam o valor de mercado. De acordo com FREIRE, “*É natural que o valor da indenização dos danos causados não possa ultrapassar o que o imóvel vale. Valor venal é o valor de mercado*”.

² Sempre baseado no princípio do maior e melhor uso (*highest and best use*).

³ Mesmo se terra nua, deverá haver cálculo nos moldes de arrendamento.

Por definição da ABNT NBR 14653:2019, o valor de mercado é *“quantia mais provável pela qual se negociaria voluntária e conscientemente um bem, em uma data de referência, dentro das condições do mercado vigente”* e deve ser obtido por metodologia de acordo com a natureza do bem avaliando, da finalidade e da disponibilidade, qualidade e quantidade de informações obtidas.

Basicamente, para tal determinação, será empregado o método comparativo direto de dados de mercado ou o método evolutivo, quando o imóvel avaliando possuir benfeitorias. No segundo caso, trata-se da conjugação de métodos, onde basicamente, o valor do terreno ou da terra nua será obtido pelo primeiro método e as benfeitorias pelo método da quantificação do custo. Convém diferenciar que neste valor aplica-se o conceito de custo de reedição, uma vez que o estado de conservação das benfeitorias é aquele no momento da vistoria.

Importante então, definir o custo de reedição, o qual, de acordo com o subitem 3.1.11.3 da ABNT NBR 14653-1:2019, é *“custo de reprodução, descontada a depreciação do bem, tendo em vista o estado em que se encontra”*.

Ainda de acordo com FREIRE (2020), *“A simples ocupação do imóvel, por um dia que seja, deve ser remunerada ao superficiário. A perícia considerará todos os aspectos e fixará o valor.”*

Naturalmente se a ocupação se der em área rural nua, por tempo determinado, em espaço localizado, sem benfeitorias, sem plantações e sem atividade econômica, isso se refletirá no valor da avaliação.

O Tribunal de Justiça de Minas Gerais reformou a sentença, para incluir valor de renda em imóvel onde não havia ocupação ou atividade econômica. A decisão de primeira instância era no sentido de que não haveria renda a remunerar. Entretanto, o Tribunal entendeu que o pagamento da pesquisa, independentemente de a área estar sendo explorada economicamente, sob pena de enriquecimento ilícito da mineradora.”

Mesmo que o imóvel rural esteja inativo, presume-se seu potencial de geração de renda, à semelhança de imóveis urbanos desocupados que ainda detêm valor locativo.

Além de indenização e renda, o proprietário terá direito à participação nos resultados da lavra – popularmente chamado *“royalties”*. O valor será de 50% do devido à CFEM – Compensação Financeira por Exploração Mineral.

3.2. Cálculo dos “Royalties”

A CFEM é base para cálculo da participação do proprietário nos resultados da lavra:

A Constituição de 1967, ao assegurar ao proprietário do solo o direito de participação nos resultados da lavra, estabeleceu que ela seria igual ao dízimo do imposto sobre minerais e o Código de Mineração referenciou-se, então, ao Imposto Único sobre Minerais – IUM, vigente à época.

A Constituição de 1988 adotou, quanto à propriedade dos recursos minerais, jazidas e minas, o sistema dominial – pertencentes ao Estado – ao incluí-los e as

demais riquezas do subsolo entre os bens da União (art. 20, IX e no art. 176⁴). Quanto ao direito de participação do proprietário do solo nos resultados da lavra, limitou-se a ratificá-lo no § 2^o, deixando, porém, para a lei ordinária a regulação da forma e do valor de pagamento. (*Pedro Salomé em Direito Minerário Aplicado*).

O estabelecido nesta Carta não prevaleceu antes de 1994. Até então, foi prevalente a regulamentação original do Código de Mineração sobre a questão, que fora recepcionada pela nova constituição, sem, contudo, mudar a base de cálculo da participação – o IUM (Imposto Único sobre Minerais), que foi extinto no novo sistema tributário nacional – ficando os minerais sujeitos à incidência do imposto sobre circulação de mercadorias – o ICMS.

Somente em 1994 é que as inovações foram introduzidas no art. 11 pela Lei 8.901, de 30 de junho⁶. Não foi mantida a exclusão das concessões anteriores a 14 de março de 1967 e adotou-se a Compensação Financeira recolhida pelo minerador em favor dos Estados, Distrito Federal, Municípios e órgãos da administração direta da União – CFEM.

A CFEM pela exploração de recursos minerais, prevista no §1^o do art. 20 da Constituição Federal e regulamentada pelas Leis nº 7.990/87 e 8.001/90, como base de cálculo do valor da participação do proprietário nos resultados da lavra, mediante a aplicação de cinquenta por cento do apurado pela alíquota (a depender do mineral – de até 3,0%).

O próprio Código de Mineração, art. 11:

b) o direito à participação do proprietário do solo nos resultados da lavra.

§ 1^o A participação de que trata a alínea “b” do *caput* deste artigo será de cinquenta por cento do valor total devido aos Estados, Distrito Federal, Municípios e órgãos da administração direta da União, a título de compensação financeira pela exploração de recursos minerais, conforme previsto no *caput* do art. 6^o da Lei n. 7.990, de 29 de dezembro de 1989, e no art. 2^o da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990.

3.3. A Participação do Proprietário nos Resultados da Lavra

A participação do proprietário nos resultados da lavra não é um atributo do direito de propriedade da jazida – corpo distinto do solo e de propriedade da União – como também não o é da propriedade do solo. Ainda citando o Dr. Pedro Salomé:

⁴ Art. 176. As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra.

⁵ § 2^o É assegurada participação ao proprietário do solo nos resultados da lavra, na forma e no valor que dispuser a lei.

⁶ Lei 8.901: b) o direito à participação do proprietário do solo nos resultados da lavra.

§ 1^o A participação de que trata a alínea ‘b’ do *caput* deste artigo será de cinquenta por cento do valor total devido aos Estados, Distrito Federal, Municípios e órgãos da administração direta da União, a título de compensação financeira pela exploração de recursos minerais, conforme previsto no *caput* do art. 6^o da Lei n. 7.990, de 29 de dezembro de 1989, e no art. 2^o da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990.

A participação é um direito gerado por dois fatos: a lavra de uma jazida e o fato de esta jazida estar cravada em solo de propriedade que não do concessionário da lavra.

Este último é um fato da natureza que a disposição constitucional, desde 1934, encarregou-se de excluir os efeitos do instituto da acessão em relação à propriedade. O primeiro – a lavra da jazida – é um fato humano, que gera o resultado de que o proprietário do solo participa por estipulação legal. A participação nos resultados da lavra é, pois, um direito inerente não à propriedade do solo, mas à titularidade deste direito de propriedade.

Contudo, não há como se falar em direito do proprietário que incida diretamente sobre a jazida ou sobre o resultado material da lavra – o minério – de forma a caracterizar esta participação como um direito real.

É importante o estudo do art. 176 da Constituição Federal.

“Art. 176. As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra.”

Fica aí, então, assegurado o domínio amplo do titular da lavra sobre a totalidade do minério extraído.

No § 2º do art. 176 já constou: *“é assegurado ao proprietário do solo a participação nos resultados da lavra”*; o § 3º já teve a redação complementar ao 2º da seguinte forma: *“participação que trata o parágrafo anterior será igual ao dízimo do imposto sobre minerais”*. A atual redação do § 2º assegura *“participação do proprietário do solo nos resultados da lavra, na forma e no valor que dispuser a lei.”*

Em analisando o Código de Mineração, entende-se que aqui se estipula o valor da participação em cinquenta por cento da CFEM, cuja base de cálculo é o faturamento líquido, entendido este como o “total das receitas de venda”. Neste sentido, o que há manifestado na Constituição e na lei é a participação do proprietário nos resultados financeiros da lavra.

A questão agora se concentra no cálculo do valor desta participação. Vimos que se vincula com a CFEM (50% da CFEM). Esta, por sua vez, tem com base de cálculo o valor do faturamento líquido das vendas, abatido das despesas com impostos, transporte e seguros. Há ainda, especificidades, que serão tratadas mais adiante.

Como está instituída, a CFEM tem a forma de um *royalty ad valorem*. A Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, em seu artigo 6º, determina que *“a compensação financeira pela exploração de recursos minerais, para fins de aproveitamento econômico, será de até 3% (três por cento) sobre o valor do faturamento líquido resultante da venda do produto mineral, obtido após a última etapa do processo de beneficiamento adotado e antes de sua transformação industrial”*.

A Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, define que o faturamento líquido para cálculo da CFEM é o total das receitas de vendas, excluídos os tributos incidentes sobre a comercialização do produto mineral (ICMS, COFINS, PIS), as despesas de transporte e as de seguro. Estabelece ainda que, no caso de substâncias minerais extraídas sob o regime de permissão de lavra garimpeira, o valor da compensação será pago pelo primeiro adquirente.

Finalmente, o Decreto nº 1, de 11 de janeiro de 1991, define no artigo 14 que, para cálculo da compensação financeira:

I - *atividade de exploração mineral* é a retirada de substâncias minerais da jazida, mina, salina ou outro depósito mineral para fins de aproveitamento econômico;

II - *faturamento líquido* é o total das receitas de vendas, excluídos os tributos incidentes sobre a comercialização do produto mineral, as despesas de transporte e as de seguros.

Ainda nesse artigo, são discriminados os processos de beneficiamento, sendo considerados como tais essencialmente aqueles que não resultem em descaracterização mineralógica das substâncias minerais processadas ou que não impliquem na sua inclusão no campo de incidência do IPI.

III - *processo de beneficiamento*, aquele realizado por fragmentação, pulverização, classificação, concentração, separação magnética, flotação, homogeneização, aglomeração ou aglutinação, briquetagem, nodulação, sinterização, pelotização, ativação coqueificação, calcinação, desaguamento, inclusive secagem, desidratação, filtragem, levigação, bem como qualquer outro processo de beneficiamento, ainda que exija adição ou retirada de outras substâncias, desde que não resulte na descaracterização mineralógica das substâncias minerais processadas ou que não impliquem sua inclusão no campo de incidência do imposto sobre Produtos Industrializados – IPI.

Fato gerador: No artigo 15 do Decreto n.º 1, de 1991, define-se como sendo a saída por venda do produto mineral das áreas da jazida, mina, salina ou de outros depósitos minerais de onde provém, ou de quaisquer estabelecimentos, sempre após a última etapa do processo de beneficiamento adotado e antes de sua transformação industrial.

3.4. Resumo

Quer seja, na servidão mineral há:

- Pagamento de indenização baseado no valor de mercado;
- Pagamento de renda mensal baseado na perda de produção;
- Pagamento de “royalties” nos imóveis onde haja, efetivamente, lavra;
- Devolução do imóvel ao proprietário no encerramento da mina;
- Por certo, obrigação de refazer de forma a possibilitar o imóvel para o

uso agrícola.

3.5. Cálculo do valor especial

Inicialmente, baseamo-nos na aplicação destes fatores no seguinte:

- De um lado há um comprador que declaradamente precisa, ou pode precisar, do imóvel;
- Do outro lado há um proprietário que não colocou de forma espontânea o imóvel à venda e não terá nenhum benefício direto com as obras a serem implantadas no local pelo comprador;
- Na imensa maioria dos casos os dados da amostra – pesquisa de mercado – não contêm imóveis na área de interesse. Quando muito, são relativamente próximos;
- O interesse é único e absoluto. Ou seja, não há interesse em qualquer área, mas sim, naquela específica área. É diferente da aquisição de

fazendas em si. Na aquisição de fazendas duas, três ou mais, podem interessar. Neste caso de mineração, não. Só há interesse em imóvel específico.

Nestas condições, os fatores de homogeneização podem ser aplicados de maneira inversa (como multiplicadores):

- a) Fator de Oferta ou Fonte (F_o):** usualmente os imóveis são ofertados em valor superior ao que são efetivamente transacionados, devido à elasticidade de preço por parte do vendedor, que tende a ceder no curso da negociação.

No caso em estudo o imóvel não estava em oferta e a princípio o proprietário não quis vendê-lo.

Para corrigir tal situação poderá ser aplicado fator: $F_o = 1,15$.

- b) Fator de Localização (F_L):** A pesquisa de mercado utilizada nos trabalhos envolve imóveis rurais situados na região circunvizinha à propriedade sob avaliação, mas dificilmente algum destes imóveis encontra-se contido na área de interesse da Mineração pois, normalmente, não existem imóveis em oferta para venda naquela área.

Para corrigir tal situação será aplicado um fator: $F_L = 1,10$.

Estes fatores se somam na composição do multiplicador:

Fator de correção de dados: $F_{cd} = F_o + F_L \rightarrow \mathbf{F_{cd} = 1,25}$

- c) Fator de Rigidez Locacional (F_{RL}):** Este fator visa contemplar a rigidez locacional absoluta que caracteriza o interesse. Não interessa à Mineração se o terreno vizinho, em não sendo de interesse, esteja sendo oferecido pela metade do valor pedido. Este não interessa à empresa. Assim, a rigidez locacional do empreendimento mineiro transporta-se para o caso de negociação em áreas de interesse. Muito embora o objeto seja imóvel rural (para fins de agricultura e/ou pecuária) a Mineração não se interessa pela aquisição de fazenda, quer, isto sim, acesso à área de lavra, ou de indústria, barragem, etc.

Esta situação poderá ser contemplada através da aplicação de outro fator: $F_{RL} = 1,25$.

$F_{RL} = 1,25$

$V = (VM + VR) \times (F_o + F_L) \times F_{RL}$

$V = \text{Valor de Mercado} \times 1,25 \times 1,25$

$V = (\text{Valor de Mercado} + \text{Valor da Renda}) \times 1,5625$

Podemos comparar este valor com o custo de oportunidade. Também, com o custo da servidão minerária judicial (neste caso, pela servidão minerária, o superficiário já tem direito ao valor de mercado somado ao valor de renda). Isto apenas como comparação, pois somos sabedores da difícil e não desejada aplicação deste dispositivo legal.

Convém destacar que se trata de uma sugestão de fator de interesse, o qual foi baseado em projetos similares.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Coleta de dados

Nos últimos 10 anos foram realizados os trabalhos técnicos fundiários em 23 projetos de mineração, os quais resultaram nos seguintes fatores especiais:

Tabela 1: Resumo dos fatores especiais obtidos.

Item	Município	Estado	Ano	Fator de interesse
1	Autazes	AM	2015	4,12
2	Senador José Porfírio	PA	2016	2,46
3	Caçapava do Sul	SC	2016	2,85
4	Araxá	MG	2016	4,57
5	Itapecerica	MG	2017	2,06
6	Acreúna	GO	2018	1,96
7	Brejinho	RN	2018	2,72
8	Goiás	GO	2018	3,09
9	Arapiraca	AL	2018	2,35
10	Itinga	MG	2020	2,65
11	Lavras do Sul	RS	2020	2,83
12	Paracatu	MG	2020	3,27
13	Vazante	MG	2021	4,19
14	Maracás	BA	2021	3,18
15	Teixeiras	MG	2021	2,16
16	Tangará	RN	2022	2,58
17	Paracatu	MG	2022	2,27
18	São Gotardo	MG	2022	2,41
19	Pedro Leopoldo	MG	2022	2,57
20	Caetité	BA	2022	2,80
21	Araçuaí	MG	2023	2,59
22	Capitão Gervásio Oliveira	PI	2023	3,13
23	Jordânia	MG	2025	2,35

4.2. Processamento dos dados

A partir dos dados práticos apresentados acima, buscou-se padronizar racionalmente o **Fator Especial**. Com a identificação de padrões comuns entre os locais de projeto executados nos últimos anos, buscou-se extrapolá-los para todo o Brasil, assim, foram adquiridos dados fornecidos principalmente pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Após aquisição de potenciais dados comuns para todos os municípios do Brasil, aplicou-se com auxílio de Inteligência Artificial (IA) a Gemini, como auxílio na programação em Python, juntamente com o Colab do Google, processou-se estes dados para uma suposta predição.

Foram aplicados diversos métodos durante esse processo de análise e modelagem, focados principalmente em análise de dados e aprendizado de máquina para aproximar ao "Fator Especial Praticado". Em resumo, aplicou-se diversos algoritmos de modelagem de regressão (incluindo Regressão Linear, SVR, Random Forest), realizou-se avaliações de modelos, usando métricas padrão e implementamos lógica personalizada para restrições de saída de previsão.

- 20

5. **Avaliação de Modelos Segmentados:** Avaliou o desempenho desses modelos específicos para cada classe. Devido aos tamanhos amostrais muito pequenos em algumas classes, o R^2 foi indefinido. Para classes com dados suficientes, os valores de R^2 também foram negativos.
6. **Explorando outros modelos de regressão:** Em seguida, explorou-se uma variedade de modelos de regressão diferentes (Ridge, Lasso, Random Forest, Gradient Boosting, SVR, K-Neighbors Regressor) em todo o conjunto de dados usando os recursos refinados (incluindo 'PIB/km²' e 'Fase do Projeto').
7. **Avaliação de outros modelos:** Avaliou-se o desempenho desses modelos. Todos os modelos resultaram em valores de R-quadrado negativos, com o Regressor de Vetor de Suporte (SVR) não ajustado apresentando o R^2 menos negativo e as menores métricas de erro entre esse grupo.
8. **Ajuste de hiperparâmetros (SVR):** realizou-se o ajuste de hiperparâmetros para o modelo SVR para tentar melhorar seu desempenho.
9. **Avaliação do SVR Ajustado:** Avaliou-se o modelo de SVR mais bem ajustado no conjunto de teste. Seu R^2 permaneceu negativo e as métricas de desempenho foram ligeiramente piores do que as do SVR não ajustado no conjunto de testes.
10. **Relatórios estatísticos (todos os modelos):** gerou-se um relatório abrangente comparando o desempenho de todos os modelos testados.
11. **Desenvolvendo e Refinando a Função de Predição:** Desenvolvemos uma função de predição baseada em um único modelo de regressão linear com recursos refinados e o atributo "Fase do Projeto". Posteriormente, modificou-se a função para garantir que os valores sejam sempre $\geq 1,5625$, cortando e manipulando previsões brutas negativas, considerando primeiro o valor absoluto. Também exibiu a expressão para este modelo.

Principais descobertas e conclusões:

- **Desempenho consistentemente ruim:** Em todos os modelos de regressão linear testados (inicial, segmentado, modelo único refinado) e nos demais modelos de regressão explorados (Ridge, Lasso, Random Forest, Gradient Boosting, SVR, K-Neighbors Regressor), nenhum conseguiu atingir um valor R-quadrado positivo no conjunto de teste com o conjunto de dados e recursos atuais. Isso indica que esses modelos não explicam efetivamente a variância no "Fator Especial" e apresentam desempenho inferior a uma previsão média simples.
- **Tamanho limitado dos dados:** A limitação mais significativa encontrada ao longo deste processo é o pequeno número de pontos de dados no conjunto de dados mesclado (apenas 23 municípios). Isso restringe severamente a capacidade de qualquer modelo de aprender padrões robustos e generalizar bem, especialmente para modelos complexos ou quando os dados são segmentados em grupos menores.
- **Atingimento da meta R^2 :** A meta R^2 de pelo menos 0,75 não foi atingida por nenhum modelo. Com as limitações de dados atuais, atingir um R^2 tão alto não é viável com os modelos testados.

- **Melhor desempenho (entre os testados):** Com base nas métricas, o Regressor de Vetor de Suporte (SVR) não ajustado apresentou o desempenho mais promissor (R^2 menos negativo e métricas de erro mais baixas) entre os modelos testados, embora seu ajuste geral ainda tenha sido ruim. O ajuste de hiperparâmetros não melhorou seu desempenho no conjunto de testes.
- **Função de Predição com Restrições:** Criou-se com sucesso uma função de predição baseada no modelo linear simples refinado que impõe o requisito de que os valores previstos sejam sempre $\geq 1,5625$ por meio de recorte e lida com predições brutas negativas, considerando primeiro o valor absoluto. No entanto, a confiabilidade dessas predições é limitada devido ao baixo desempenho do modelo subjacente.

4.3. Visualização dos resultados

O modelo matemático resultando, que mais se aproximou aos fatores Especiais praticados no últimos 10 (dez) anos em projetos de empreendimentos minerários, foi:

Fator Especial (FE) $\approx$ $-2.5089 - 0.000033 \times \text{'PIB/km}^2\text{' + }0.102763 \times \text{'FMP: Fração Mínima De Parcelamento (ha)'} + 0.030018 \times \text{'Módulo Hortifrutigranjeira (ha)'} + 0,289122 \times \text{'Módulo Cultura Permanente (ha)'} + 0.127963 \times \text{'Módulo Cultura Temporária (ha)'} + 0.010052 \times \text{'Módulo Pecuária (ha)'} + 0.039449 \times \text{'Módulo Florestal (ha)'} - 0.034144 \times \text{'Indefinida ou Não Explorada (ha)'} - 0.102433 \times \text{'Limite Estrangeiro (ha)'} + \text{Fase do Projeto}$

Se $0 < FE < 1,5625$, então $FE = 1,5625$;

Se $FE < 0$, então $FE = |FE|$;

Se Fase do Projeto = Fase de Exploração ou maior que 10 (dez) anos de prospecção de Projeto, ou mesmo quando já existe projeto de mineração em exploração nas vizinhanças, então $1 \leq \text{Fase do Projeto} \leq 1,5$;

Se Fase do Projeto = Sem Exploração ou menor que 10 anos de prospecção, então Fase do Projeto = 0;

Se Fase do Projeto = em exploração minerária (expansão de projeto), exploração minerária estabelecida na vizinhança, ou maior que 10 anos de prospecção (estudo minerário) entre 1 e 1,5.

Onde:

- Os valores numéricos são a interceptação aprendida e os coeficientes do modelo linear treinado.

- Os termos são adicionados ou subtraídos com base no sinal do coeficiente.

- Os valores para cada Variável viriam dos dados municipais fornecidos à função de previsão. Obtidos do IBGE e do INCRA.

4.4. Resultados e discussão

Aproximar o "Fator Especial" de forma eficaz e alcançar um valor de R-quadrado satisfatório, com o conjunto de dados atual de apenas 23 municípios e as características utilizadas provou ser um desafio. O desempenho consistentemente baixo de vários modelos de regressão linear e não linear destaca a necessidade crítica de um número significativamente maior de dados para construir um modelo preditivo confiável. Embora tenhamos fornecido uma função de predição que atende às restrições de saída, sua precisão e utilidade para aplicações reais, como negociação, são limitadas pelo desempenho do modelo subjacente neste pequeno conjunto de dados.

Para avançar e potencialmente alcançar uma melhor aproximação, o foco principal deve ser a aquisição **de um conjunto de dados maior e mais abrangente**. Com mais dados, a exploração mais aprofundada de diferentes recursos, a engenharia de recursos e técnicas de modelagem mais avançadas se tornariam mais viáveis e potencialmente levariam a um modelo que atendesse aos critérios de desempenho desejados.

Alguns municípios apresentaram fatores significativamente inferiores aos observados em projetos executados nos últimos dez anos.

A expressão matemática que melhor explicou os comportamentos dos fatores por vezes apresentou-se negativo, para suprir a demanda e evitar que inexistia negociação com valores abaixo do valor de mercado, aplicou-se o valor absoluto da função.

Dos 5.569 municípios brasileiros, nove apresentaram fatores menores que 1,5625 foram: Borba-AM, Amajari-RR, Alto Alegre-RR, Alenquer-PA, Itaituba-PA, Jacareacanga-PA, Novo Progresso-PA, Corumbá-MS, Cáceres-MT. Para estes municípios aplicou-se o valor de corte de 1,5625, conforme já detalhado anteriormente.

E ainda, a regressão não alcançou alguns Fatores Especiais praticados em alguns projetos, destaque para projetos com maior tempo de execução, como os trabalhados em Vazante-MG e em Paracatu-MG. É interessante destacar que, em Paracatu, onde foram executados dois projetos distintos, um projeto em fase de implantação foi ajustado já suplantado pela expressão, e outro projeto em fase de exploração, o Fator Praticado é de 3,27, já o fator da regressão é de 2,1590, portanto diferença de 1,1110 entre os fatores para menos. Outro local que chamou atenção foi para o projeto executado em Araxá-MG, o projeto em estudo encontrava-se em fase de estudo, porém, área é vizinha a um grande projeto de mineração, deste modo, o fator especial para este projeto teve que ser reajustado, para atender às negociações necessárias. Neste último caso, o Fator utilizado na época foi de 4,57, a expressão alcançou o valor de 3,3788, portanto uma diferença de 1,1912 pontos.

Assim, para melhor ajuste dos fatores, em projeto em fase de exploração minerária, ou seja, estão em expansão, ou mesmo os projetos que possuem longos períodos de prospecção minerária (> 10 anos), ou ainda projetos novos vizinhos a área em exploração plena, é sugestivo aumentar o fator de interesse da regressão. Nestas regiões, o empreendedor passa longos períodos em negociações diretas com os superficiários, muitas vezes com bons retornos financeiros durante as fases de prospecção, o que aumenta a expectativa de valores destes proprietários. Portanto,

para o sucesso e agilidade na implantação é sugestivo que se eleve o fator de interesse para negociações amigáveis acrescentar em 1 e 1,5 pontos ao fator de interesse da regressão.

Esse modelo representa um avanço na previsibilidade e fundamentação técnica das indenizações. Ao utilizar dados públicos e critérios objetivos para estimar o valor especial, amplia-se a transparência dos processos avaliativos e fortalece-se a segurança jurídica dos projetos.

Além disso, observa-se que a aplicação direta de certos indicadores, como o PIB/km², exige cautela em contextos territoriais específicos. Em municípios com áreas muito extensas e baixa densidade populacional, como Oriximiná (PA), esse indicador tende a subestimar a capacidade econômica local, gerando distorções no cálculo do fator de interesse. Nessas situações, o modelo pode atribuir um valor até cinco vezes inferior ao que seria justificado pela renda efetiva do imóvel.

Em contrapartida, municípios como Araxá (MG) apresentaram incremento relevante no fator de interesse já na fase 1,5 do projeto. Essa elevação está associada ao comportamento da renda do imóvel frente à atividade minerária, cuja previsão de pagamento atingia até 4,9 vezes essa renda. Tais exemplos reforçam a importância da calibragem regional e do julgamento técnico qualificado na aplicação do modelo, garantindo que os fatores reflitam com fidelidade as condições locais e contribuam para avaliações justas, consistentes e tecnicamente robustas.

5. CONCLUSÃO

A proposta metodológica apresentada neste trabalho contribui significativamente para o campo da gestão fundiária ao estabelecer critérios objetivos para a definição do valor especial em contextos em que a rigidez locacional e as singularidades operacionais dos empreendimentos interferem diretamente na dinâmica de valoração dos imóveis. Ao adotar uma abordagem estruturada, fundamentada em fatores de correção que incorporam características territoriais, operacionais e socioeconômicas, o estudo fornece uma ferramenta prática e replicável para aprimorar os processos de avaliação em projetos minerários e, de forma mais ampla, em empreendimentos de infraestrutura de grande porte.

A eficiência da metodologia torna-se ainda mais evidente ao considerar o impacto direto que avaliações mais precisas e fundamentadas exercem sobre os custos e os riscos associados à implantação desses projetos. A redução de litígios, o aumento na previsibilidade dos custos indenizatórios e a melhoria nas estratégias de negociação com os proprietários constituem benefícios concretos, especialmente em cenários marcados por disputas fundiárias, demandas regulatórias e pressão social.

Além disso, este trabalho ressalta a relevância da integração entre técnicas tradicionais de avaliação e recursos avançados de análise estatística, georreferenciamento e, especialmente, inteligência artificial. O uso de modelos preditivos alimentados por bases geoeconômicas e dados fundiários massivos amplia exponencialmente a capacidade analítica dos profissionais da área, conferindo agilidade, escalabilidade e maior robustez às estimativas de valor.

Ao combinar fundamentos normativos sólidos com inovação metodológica, esta proposta oferece subsídios técnicos para uma gestão fundiária mais eficiente,

transparente e alinhada com os princípios ESG. Sua aplicabilidade vai além do setor mineral, podendo ser adaptada a projetos de energia, transporte, saneamento e outras frentes da infraestrutura nacional que exigem desapropriações e servidões administrativas em larga escala.

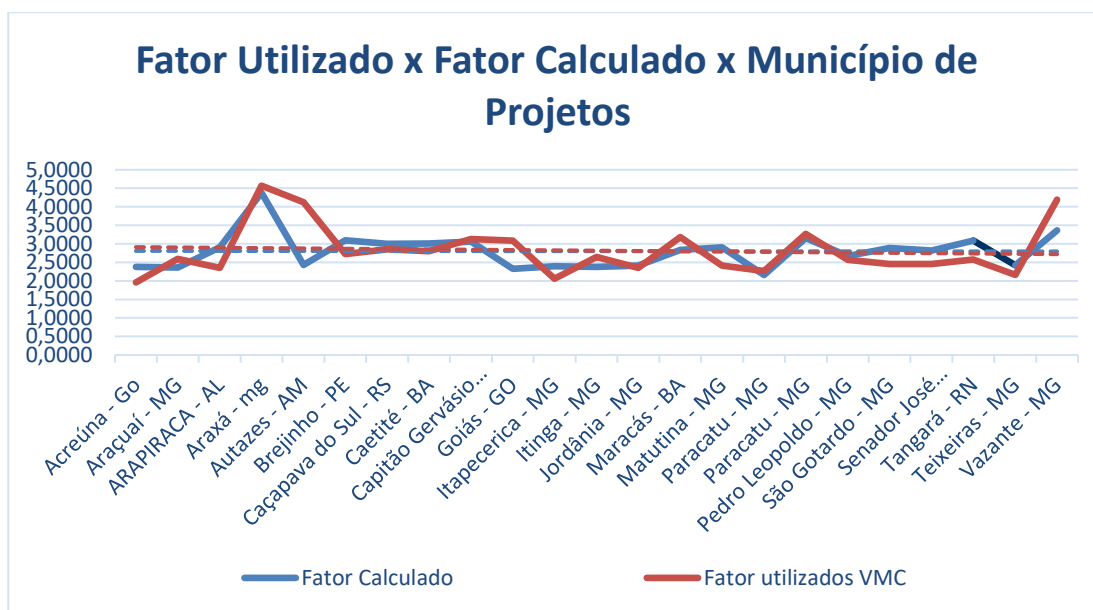


Figura 6: Análise gráfica do Fator Especial.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-1:2019 – Avaliação de Bens – Parte 1: Procedimentos Gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941**. Dispõe sobre as desapropriações por utilidade pública. *Diário Oficial da União*, Brasília, 23 jun. 1941.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**. Código de Mineração. *Diário Oficial da União*, Brasília, 28 fev. 1967.
- BRASIL. **Lei nº 7.990, de 29 de dezembro de 1989**. Dispõe sobre a compensação financeira pela exploração de recursos minerais. *Diário Oficial da União*, Brasília, 29 dez. 1989.
- BRASIL. **Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990**. Regulamenta o art. 20, §1º da Constituição Federal. *Diário Oficial da União*, Brasília, 14 mar. 1990.
- BRASIL. **Lei nº 8.901, de 30 de junho de 1994**. Altera dispositivos do Código de Mineração. *Diário Oficial da União*, Brasília, 1 jul. 1994.
- BRASIL. **Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Mineração (ANM). *Diário Oficial da União*, Brasília, 27 dez. 2017.
- BRASIL. **Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018**. Regulamenta o Código de Mineração. *Diário Oficial da União*, Brasília, 13 jun. 2018.
- FEIGELSON, Bruno. **Curso de direito minerário**. São Paulo: Saraiva, 2012.
- FREIRE, William. **Direito minerário: acesso a imóvel de terceiro para pesquisa e lavra**. 1 reimp. Belo Horizonte: Editora D'Plácido, 2020.
- FREIRE, William et al. **Direito da mineração: questões minerárias, ambientais e tributárias**. AZEVEDO, Marcelo; HONÓRIO, Paulo; MATTOS, Tiago de; FREIRE, William (Coords.). Belo Horizonte: Editora D'Plácido, 2017.
- GOOGLE DEEPMIND. Comandos Python3 gerados por API Gemini. 2025.
- GOOGLE. Colab: Processamento dos dados. Disponível em: <https://colab.research.google.com>. Acesso em: julho de 2025.
- IFC – INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. **Padrões de desempenho sobre sustentabilidade socioambiental**. Washington, D.C.: Grupo Banco Mundial, 2012. 54 p.
- IVSC – INTERNATIONAL VALUATION STANDARDS COUNCIL. **Normas internacionais de avaliação (IVS)**. Tradução: Carlos Eduardo Cardoso e Eduardo Rottmann. São Paulo: IBAPE, 2022.
- MATPLOTLIB. **Biblioteca Python para visualização de dados**. 2025.
- NUMPY. **Biblioteca Python para operações numéricas**. 2025.
- PANDAS: **Biblioteca Python para manipulação e análise de dados**. 2025.
- SCIKIT-LEARN. **Biblioteca Python para tarefas de aprendizado de máquina**. 2025.
- SEABORN. **Biblioteca Python para visualização estatística de dados**. 2025.

ANEXO

```
#Código dividido em 07 partes
#Importação de bibliotecas.
#Carregamento e mesclagem dos dados.
#Preparação dos dados para modelagem (definição de recursos, divisão dos
dados).
#Treinamento do modelo (modelo de regressão linear simples).
#Avaliação do modelo.
#Definição da função de predição.
#Exemplo de uso da função de predição.
```

#Arquivos necessários - 'Indices-MN.xlsx' (Municipais com índices do INCRA e do IBGE e 'Calculos.xlsx' (Valores de comparação praticados)

```
#Parte 01
# Import necessary libraries
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.metrics import mean_squared_error, r2_score,
mean_absolute_error
from sklearn.preprocessing import StandardScaler # Included as it was used in
other models, though not strictly for the final linear model here
```

```
#Parte 02
# --- Data Loading and Merging ---

# Load the dataframes from the original files
try:
    # Ensure these files are uploaded to the '/content/' directory
    df = pd.read_excel('/content/Indices-MN.xlsx')
    coefficient_df = pd.read_excel('/content/Calculos.xlsx')
    print("DataFrames df (Indices-MN.xlsx) and coefficient_df (Calculos.xlsx)
loaded successfully.")
```

```
# Assuming the municipality code column is named 'CÓDIGO DO
MUNICÍPIO NO IBGE' in both dataframes
merge_column = 'CÓDIGO DO MUNICÍPIO NO IBGE'

if merge_column in df.columns and merge_column in coefficient_df.columns:
    # Merge the two dataframes
```

```

merged_df = pd.merge(df, coefficient_df, on=merge_column, how='inner',
suffixes=('_indices', '_coefficients'))
print("DataFrames merged successfully.")

# Handle missing values in 'Áreas Especiais:_indices' if needed (from
previous steps)
if 'Áreas Especiais:_indices' in merged_df.columns:
    merged_df['Áreas Especiais:_indices'] = merged_df['Áreas
Especiais:_indices'].fillna('Unknown')
    print("Handled missing values in 'Áreas Especiais:_indices'.")

# Re-add 'Project Phase' column as it was used in the refined model
# Assuming the logic for adding it and setting values is the same as before
merged_df['Project Phase'] = 0
implemented_project_municipalities = ['PARACATU - MG', 'VAZANTE -
MG'] # Based on user's input
municipality_name_column = 'NOME DO MUNICÍPIO'
if municipality_name_column in merged_df.columns:

merged_df.loc[merged_df[municipality_name_column].isin(implemented_project_mu
nicipalities), 'Project Phase'] = 1
    print("Re-added 'Project Phase' column and set values for specified
municipalities.")
    else:
        print(f"Municipality name column '{municipality_name_column}' not
found. Could not set 'Project Phase'.")
        print("\nMerged DataFrame head with Project Phase:")
        display(merged_df.head())
    else:
        print(f"Merge column '{merge_column}' not found in one or both
dataframes. Cannot merge.")
        merged_df = None # Ensure merged_df is None if merge fails

except FileNotFoundError:
    print("Error: Ensure 'Indices-MN.xlsx' and 'Calculos.xlsx' are uploaded to
'/content/'.")
    df = None
    coefficient_df = None
    merged_df = None # Ensure merged_df is None if files not found

#Parte 03
# --- Data Preparation for Modeling ---

if merged_df is not None: # Proceed only if data loading and merging were
successful

```

```
# Define the refined list of feature columns based on user's domain
knowledge, available data, and the 'Project Phase' attribute
refined_feature_columns = [
    'Renda_km2',
    'FMP: FRAÇÃO MÍNIMA DE PARCELAMENTO (ha) - 2022_indices',
    'Módulo Hortifrutigranjeira',
    'CULTURA PERMANENTE',
    'CULTURA TEMPORÁRIA',
    'PECUÁRIA',
    'FLORESTAL',
    'INDEFINIDA OU NÃO EXPLORADA',
    'LIMITE ESTRANGEIRO - 2022 - (ha)',
    'Project Phase' # Added the 'Project Phase' column
]

target_column = 'Fator utilizados'

# Ensure refined_feature_columns only contains columns present in
merged_df
available_refined_feature_columns = [col for col in refined_feature_columns
if col in merged_df.columns]
if len(available_refined_feature_columns) != len(refined_feature_columns):
    print("Warning: Some refined feature columns were not found in the
merged DataFrame. Using available columns.")
    refined_feature_columns = available_refined_feature_columns

X = merged_df[refined_feature_columns] # Use the potentially updated
refined_feature_columns
y = merged_df[target_column]

print(f"Feature set (X) shape using refined features (including Project Phase):
{X.shape}")
print(f"Target variable (y) shape: {y.shape}")

# Split the data into training and testing sets
# Using the same random_state for reproducibility
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2,
random_state=42)

print(f"\nTraining features shape: {X_train.shape}")
print(f"Testing features shape: {X_test.shape}")
print(f"Training target shape: {y_train.shape}")
print(f"Testing target shape: {y_test.shape}")

else:
    print("\nDataFrames not loaded. Skipping data preparation for modeling.")
```

```
#Parte 04
# --- Model Training (Single Linear Regression with Refined Features and
Project Phase) ---

    if 'X_train' in globals() and 'y_train' in globals(): # Proceed only if data split was
successful

        # Instantiate the Linear Regression model
        linear_model = LinearRegression()

        print("\nLinear Regression model instantiated.")

        # Train the Linear Regression model on the training data
        print("\nTraining Linear Regression model with refined features (including
Project Phase)...")

        linear_model.fit(X_train, y_train)
        print("Linear Regression model trained.")

        print("\nModel training complete for the single Linear Regression model.")

    else:
        print("\nTraining data not available. Skipping model training.")

#Parte 05
# --- Model Evaluation (Single Linear Regression with Refined Features and
Project Phase) ---

    if 'linear_model' in globals() and 'X_test' in globals() and 'y_test' in globals(): #
Proceed only if model trained and test data available

        print("\nEvaluating Linear Regression model with refined features (including
Project Phase) on the test set...")

        # Use the trained linear_model
        model = linear_model
        name = "Linear Regression (Refined Features + Project Phase)"

        # Use the X_test with refined features and Project Phase
        X_test_eval = X_test

        # Make predictions
        y_pred = model.predict(X_test_eval)

        # Calculate evaluation metrics
        mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
        rmse = np.sqrt(mse)
```

```

mae = mean_absolute_error(y_test, y_pred)
r2 = r2_score(y_test, y_pred)

# Store the metrics (optional, but good for comparison later if needed)
# Assuming evaluation_metrics dictionary exists or create it
if 'evaluation_metrics' not in globals():
    evaluation_metrics = {}
evaluation_metrics[name] = {
    "MSE": mse,
    "RMSE": rmse,
    "MAE": mae,
    "R2": r2
}

print(f"\nEvaluation Metrics for {name}:")
print(f" MSE: {mse:.4f}")
print(f" RMSE: {rmse:.4f}")
print(f" MAE: {mae:.4f}")
print(f" R2: {r2:.4f}")

print(f"\nModel evaluation complete for {name}.")

else:
    print("\nTrained model or test data not available. Skipping model
evaluation.")

#Parte 06
# --- Prediction Function with Constraints ---

# This function uses the trained 'linear_model'

def predict_fator_utilizado(municipal_data_df):
    """
    Predicts 'Fator Utilizado' for new municipal data using the trained linear
    regression model.
    Handles negative raw predictions by taking the absolute value first, then
    ensures
    predictions are always >= 1.5625 by clipping.

    Args:
        municipal_data_df (pd.DataFrame): DataFrame containing municipal data
    with the
        required feature columns, *including 'Project Phase'*.
        The columns must match the features used during
    training.

    Returns:

```

```

pd.Series: Predicted 'Fator Utilizado' values (guaranteed to be >= 1.5625,
with negative raw predictions
converted to absolute value first).

"""
# Ensure the input DataFrame has the same columns used during training
required_features = [
    'Renda_km2',
    'FMP: FRAÇÃO MÍNIMA DE PARCELAMENTO (ha) - 2022_indices',
    'Módulo Hortifrutigranjeira',
    'CULTURA PERMANENTE',
    'CULTURA TEMPORÁRIA',
    'PECUÁRIA',
    'FLORESTAL',
    'INDEFINIDA OU NÃO EXPLORADA',
    'LIMITE ESTRANGEIRO - 2022 - (ha)',
    'Project Phase' # This column is required in the input DataFrame
]

# Check if all required features are in the input DataFrame
if not all(feature in municipal_data_df.columns for feature in
required_features):
    missing = [feature for feature in required_features if feature not in
municipal_data_df.columns]
    print(f"Error: Input DataFrame is missing required feature columns:
{missing}")
    print("Please ensure your input DataFrame has the following columns with
the correct names and data types:")
    print(required_features)
    return None # Or raise an error

# Select only the required feature columns in the correct order
X_new = municipal_data_df[required_features]

# Use the trained linear model to make predictions
# Assuming 'linear_model' object is available from previous training steps
if 'linear_model' in globals():
    predictions = linear_model.predict(X_new)

# Apply the logic: take absolute value of negative raw predictions, then clip
processed_predictions = np.where(predictions < 0, np.abs(predictions),
predictions)

minimum_threshold = 1.5625
final_predictions = np.maximum(processed_predictions,
minimum_threshold)

return pd.Series(final_predictions, index=municipal_data_df.index)

```

```

else:
    print("Error: Trained linear model ('linear_model') not found. Please train
the model first.")
    return None # Or raise an error
#Parte 07
# --- Example Usage of Prediction Function ---

# This requires merged_df to be available and the prediction function defined

if 'merged_df' in globals() and 'predict_fator_utilizado' in globals():
    print("\n--- Example Usage of Prediction Function ---")

    # Select a few rows from the merged_df as example data
    # Ensure these rows have the required feature columns
    example_municipal_data = merged_df.head(5).copy() # Take the first 5 rows
as example

    print("Example Municipal Data for Prediction:")
    # Include the 'Project Phase' column in the display of example data features
    columns_to_display_features = ['CÓDIGO DO MUNICÍPIO NO IBGE',
'NOME DO MUNICÍPIO'] + [col for col in refined_feature_columns if col in
example_municipal_data.columns]
    display(example_municipal_data[columns_to_display_features])

    # Use the predict_fator_utilizado function to get predictions
    print("\nMaking predictions using the predict_fator_utilizado function
(absolute value of negatives, then clipping >= 1.5625):")
    predicted_example = predict_fator_utilizado(example_municipal_data)

    if predicted_example is not None:
        print("\nPredicted 'Fator Utilizado' for Example Data (processed and
clipped):")
        display(predicted_example)

        # Compare with actual values and raw predictions (if needed for illustration,
though raw aren't stored)
        print("\nComparison of Actual vs. Predicted (processed & clipped) 'Fator
Utilizado' for Example Data:")
        comparison_example_df = example_municipal_data[['CÓDIGO DO
MUNICÍPIO NO IBGE', 'NOME DO MUNICÍPIO', 'Fator utilizados']].copy()
        comparison_example_df['Predicted Fator Utilizado (Processed &
Clipped)'] = predicted_example
        display(comparison_example_df)
    else:
        print("\nSkipping example usage of prediction function. DataFrames or
function not available.")

```