



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do curso de Engenharia de Produção



Simulação como ferramenta de análise de incertezas em orçamentos de médio prazo no setor da mineração de ouro

Yasmim Celiana Santos

João Monlevade, MG
2025

Yasmim Celiana Santos

**Simulação como ferramenta de análise de incertezas em
orçamentos de médio prazo no setor da mineração de ouro**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva

João Monlevade, MG

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237s Santos, Yasmim Celiana.

Simulação como ferramenta de análise de incertezas em orçamentos de médio prazo no setor da mineração de ouro. [manuscrito] / Yasmim Celiana Santos. - 2025.

44 f.: il.: color., gráf., tab.. + Quadro. + Algoritmo.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Incerteza (Economia). 2. Orçamento nas empresas - Planejamento.
3. Ouro - Minas e mineração. 4. Planejamento estratégico. 5. Processo decisório - Modelos matemáticos. 6. Simulação (Computadores). I. Silva, Thiago Augusto de Oliveira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 519.8:658

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



FOLHA DE APROVAÇÃO

Yasmim Celiana Santos

Simulação como ferramenta de análise de incertezas em orçamentos de médio prazo no setor da mineração de ouro

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 27 de março de 2025

Membros da banca

Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Alexandre Xavier Martins - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Samuel Martins Drei - Universidade Federal de Ouro Preto

[Thiago Augusto de Oliveira Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/03/2025



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Augusto de Oliveira Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/03/2025, às 19:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0885093** e o código CRC **D018D6DF**.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me sustentar até aqui, fortalecendo minha caminhada e me dando forças para seguir adiante.

Aos meus pais, Anna e Célio, e ao meu irmão Marcos, vocês são minha fortaleza! Obrigada pelo amor incondicional, apoio inabalável e por estarem sempre ao meu lado nos momentos bons e desafiadores. Amo vocês infinitamente!

A toda a minha família, gratidão pelo incentivo constante, pelo companheirismo e por sempre acreditarem em mim. Cada palavra de apoio e cada gesto de carinho foram essenciais nessa jornada.

Aos amigos, obrigada pela parceria, pelas risadas, pelos desafios compartilhados e pelos momentos inesquecíveis que tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

Ao Flávio, pela ajuda e disponibilidade ao longo dessa trajetória.

Ao Prof. Dr. Thiago Silva, minha gratidão pela paciência, orientação e pelo compromisso em compartilhar conhecimento, ajudando-me a crescer como profissional e como ser humano.

À Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a todos os professores, por contribuírem com minha formação acadêmica. Levo comigo não apenas o conhecimento adquirido, mas também os valores que moldaram minha caminhada.

Por fim, meu agradecimento a todos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa trajetória. Cada gesto de apoio, incentivo e aprendizado deixou sua marca e contribuiu para a realização deste sonho.

Obrigada!

Resumo

O planejamento orçamentário na indústria da mineração de ouro é uma ferramenta de grande importância dentro do planejamento estratégico de uma empresa, em cenários de incerteza, torna-se necessária a utilização de ferramentas que permitam mostrar o comportamento do sistema frente a mudanças. Este trabalho propôs o desenvolvimento de um modelo de simulação dos fluxos de caixa de uma mina de ouro fictícia, e o problema de pesquisa tratou das incertezas econômicas no horizonte de médio prazo e o impacto das variações no orçamento. A metodologia aplicada foi a simulação, para criação de cenários que permitiram avaliar os riscos e auxiliar nas tomadas de decisões. O trabalho apresenta um suporte para o planejamento financeiro, de forma a minimizar os riscos causados pelas incertezas da indústria da mineração de ouro.

Palavras-chave: Simulação. Incertezas. Orçamento. Mineração de Ouro.

Abstract

Budget planning in the gold mining industry is a very important tool in a company's strategic planning. In uncertain scenarios, it is necessary to use tools that allow showing the behavior of the system in the face of changes. This work proposed the development of a simulation model of the cash flows of a fictitious gold mine, and the research problem dealt with economic uncertainties in the medium-term horizon and the impact of budget variations. The methodology applied was simulation, to create scenarios that allowed assessing risks and assisting in decision-making. The work presents support for financial planning, in order to minimize the risks caused by uncertainties in the gold mining industry.

Keywords: Simulation. Uncertainties. Budget. Gold Mining.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Gráfico de dispersão da cotação do dólar	21
Figura 2 – Gráfico de dispersão da cotação do ouro	22
Figura 3 – Histograma da cotação do dólar	23
Figura 4 – Histograma da cotação do ouro	23
Figura 5 – Ajuste das distribuições à cotação do dólar	24
Figura 6 – Ajuste das distribuições à cotação do ouro	25
Figura 7 – Distribuição do fluxo de caixa livre - SMC	32
Figura 8 – Frequência acumulada do fluxo de caixa livre	33
Figura 9 – Matriz de correlação das variáveis de incerteza	35
Figura 10 – Comparativo do Cenário Base x simulações	36
Figura 11 – Cenário base x cenários pessimista, otimista e realista	36
Figura 12 – Fluxo de caixa livre mensal por cenário	38

Lista de tabelas

Tabela 1 – Modelo conceitual	17
Tabela 2 – Premissas do cenário base	27
Tabela 3 – Fluxo de caixa do cenário base (US\$ milhões)	27
Tabela 4 – Parâmetros da Simulação de Monte Carlo	31
Tabela 5 – Estatísticas descritivas da simulação geral	34
Tabela 6 – Estatísticas descritivas dos cenários simulados	37

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Problema de Pesquisa	1
1.2	Contextualização do Problema de Pesquisa	1
1.3	Justificativa	3
1.4	Contribuições	3
1.5	Organização do Trabalho	3
2	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivo Geral	5
2.2	Objetivos Específicos	5
3	REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1	Orçamento Empresarial	6
3.2	Investimentos sob Incerteza	7
3.3	Simulação em análise de investimentos	8
3.4	Ferramentas de Avaliação de Investimentos	9
3.4.1	Valor Presente Líquido (VPL)	9
3.4.2	Taxa Interna de Retorno (TIR)	9
3.4.3	Payback	10
3.4.4	Fluxo de Caixa Descontado (FDC)	11
3.5	Simulação de Monte Carlo	11
3.5.1	Etapas da Simulação de Monte Carlo	12
3.6	Aplicações	12
4	METODOLOGIA DE PESQUISA	14
4.1	Etapas	14
4.2	Geração de Dados	15
4.3	Métodos e Ferramentas	16
5	DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA	17
5.1	Modelo Conceitual	17
5.2	Definição das variáveis chave	19
5.2.1	Cotação do dólar	19
5.2.2	Cotação do Ouro	20
5.3	Coleta e tratamento dos dados	21
5.4	Definição das Distribuições de Probabilidade	22

5.5	Definição de Cenários	25
5.6	Construção do Simulador	26
5.6.1	Fluxo de caixa - Cenário base	26
5.6.2	Modelo	29
6	RESULTADOS	32
6.1	Distribuição do fluxo de caixa livre - SMC	32
6.2	Estatísticas descritivas - Simulações	34
6.2.1	Estatísticas descritivas das variáveis	34
6.3	Correlação entre as variáveis do fluxo de caixa	34
6.4	Cenário determinístico versus simulações	35
6.4.1	Cenário base e simulações - FCL	35
6.5	Cenários pessimista, realista e otimista	36
6.6	Fluxo de caixa livre mensal por cenário	38
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A – TERMO DE RESPONSABILIDADE	44

1 Introdução

1.1 Problema de Pesquisa

Como os riscos e incertezas podem ser analisados no orçamento de médio prazo para tomada de decisões que atendam aos objetivos estratégicos da organização?

Um dos principais problemas na elaboração de orçamentos de médio e longo prazo na atualidade são as incertezas. Fatores como mudanças políticas, econômicas, tecnológicas, sociais e regulamentares podem causar impactos significativos no resultado econômico-financeiro no médio prazo. Portanto, a análise correta dos elementos que compõem o orçamento e a projeção de cenários que consideram as incertezas são cruciais para as tomadas de decisão estratégicas e manutenção da competitividade das organizações (MILLER, 1992; BRUNI; GOMES, 2010).

Dentro da construção de um plano, a variação dos valores das variáveis do orçamento (custos diretos ou indiretos, fixos ou variáveis, operacionais ou de investimentos de capital), as variáveis econômicas e mercadológicas (taxas de juros, inflação e câmbio, por exemplo) e as mudanças internas do negócio, como alterações de plano, estratégia ou disponibilidade de recursos, tornam complexas as análises e geram uma malha extensa de possíveis resultados (DRURY, 2013).

1.2 Contextualização do Problema de Pesquisa

A indústria da mineração de ouro é uma das mais significativas e tradicionais no Brasil. No século XVIII o ouro foi um dos recursos minerais explorados pelos colonizadores portugueses, contribuindo para o desenvolvimento de diversas cidades durante o Ciclo do Ouro. Como principal componente da economia da época colonial, até hoje seu impacto é visto na infraestrutura, cultura e arquitetura das regiões de mineração (FURTADO, 2020; ANDRADE *et al.*, 1996; SILVA, 1995).

Atualmente, o Brasil permanece como um dos principais produtores de ouro, com grandes reservas e projetos operados por empresas nacionais e globais. O ouro é um metal nobre, escasso e de alto valor, seu mercado faz parte do grupo de mercados de risco e se caracteriza por diversas particularidades que o tornam dinâmico e suscetível a diversas influências, internas e externas (MINERAÇÃO-IBRAM, 2015; WANDERLEY, 2015). No mercado internacional o preço do ouro é altamente sensível a mudanças econômicas e políticas. Em períodos de incerteza, os investidores tendem a procurar por segurança em ativos como o ouro, o que pode elevar seu valor (FERREIRA, 2016; CHRISTIE-DAVID *et al.*, 2000).

Além disso, no Brasil ou no exterior políticas regulatórias desempenham um papel significativo na indústria, já que alterações em legislações podem levar a incremento nos custos operacionais ao impor novas exigências para que os projetos obtenham os licenciamentos para operar, impactando muitas vezes a viabilidade de projetos (HILSON; MACONACHIE, 2020).

A produção do ouro é complexa devido às suas várias etapas e fatores que influenciam desde a extração até o beneficiamento do metal, o que leva também à dificuldade de previsão assertivas do custo operacional e viabilidade dos projetos. Os fatores abaixo demonstram os desafios do processo e seu impacto nos custos (HARTMAN, 2002; TRINDADE; FILHO, 2002):

- **Exploração Geológica e Avaliação de Recursos:** Envolve a localização de depósitos, exige estudos geológicos sofisticados para encontrar regiões viáveis, que quando encontradas necessitam de avaliações detalhadas para determinar sua viabilidade econômica, utilizando recursos de perfuração, amostragem e análises laboratoriais.
- **Extração:** A escolha do método depende da profundidade e localização do depósito, cada tipo apresenta características e desafios próprios. A construção de infraestruturas de processamento, transporte e deposição de rejeitos é essencial e possui custo significativo, além disso, os equipamentos e mão de obra são especializados.
- **Processamento:** As etapas de trituração e moagem, concentração e refino consomem muitos recursos para seus processos controlados, como energia, produtos químicos e água.
- **Regulamentações:** O licenciamento ambiental e operacional é um processo rigoroso, demorado e caro, e são indispensáveis para a obtenção do título de regularidade para operar, além disso, as empresas precisam investir em práticas e tecnologias para reduzir e compensar o impacto ambiental gerado.
- **Custos Operacionais Variáveis:** O processo de mineração e beneficiamento do ouro dependem de um grande consumo de energia, água, manutenção de equipamentos de grande e pequeno porte, já que o processo gera desgaste constante, além dos custos logísticos, que dependem da localização do projetos, mas muitas vezes envolvem terrenos difíceis e grandes distâncias.

A complexidade desse processo torna o empreendimento arriscado e leva a custos de capital, operação e manutenção do ativo altos, o que torna necessário que as empresas implementem estratégias eficazes de gestão de custos e minimização de riscos para manter a sustentabilidade econômica do negócio, gerando diferencial competitivo. A modelagem e simulação são ferramentas importantes na avaliação dos cenários e suas possíveis implicações orçamentárias, possibilitando a criação de estratégias para mitigar os riscos, melhorar sua adaptabilidade e buscar uma operação mais sustentável a longo prazo.

Para este trabalho, o foco é na simulação do fluxo de caixa de atividades operacionais, que geram as entradas e saídas de caixa referentes às movimentações de despesas e receitas que afetam a receita líquida (GARRISON *et al.*, 2013).

1.3 Justificativa

Levando em consideração o cenário atual de mudanças rápidas e o grande fluxo de informações, as organizações são desafiadas cada vez mais a se adaptarem ao ambiente. A capacidade de prever, adequar e inovar com agilidade é extremamente importante para manter a competitividade e atingir o sucesso do negócio. A análise correta de dados gera informações importantes para as tomadas de decisões estratégicas e melhoria dos processos operacionais. Dentro da gestão econômico-financeira do negócio, existem diversos indicadores que são avaliados para buscar o atingimento das metas. Em negócios complexos, onde existem muitos processos e interferências internas e externas, a etapa de orçamentação se torna um desafio, como no caso da mineração de ouro, objeto de estudo deste trabalho.

1.4 Contribuições

Este trabalho contribui para a literatura ao demonstrar a aplicabilidade da modelagem e simulação na análise de orçamentos sob incerteza, com foco na mineração de ouro. Diferentemente dos métodos tradicionais de planejamento orçamentário, que utilizam projeções determinísticas, a abordagem proposta permite quantificar riscos e avaliar diferentes cenários econômico-financeiros, auxiliando a tomada de decisão em ambientes de alta volatilidade. O uso da Simulação de Monte Carlo é uma ferramenta eficiente para analisar o impacto das incertezas, e a estruturação de um modelo que possa ser replicado e aprimorado na indústria e em outros setores é um ponto relevante. Dessa forma, este trabalho abre espaço para integração de novas variáveis em diversos níveis de complexidade em pesquisas futuras.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho foi estruturado em 7 capítulos, organizados da seguinte forma:

O Capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, subdividida em: 1.1 Problema de pesquisa, 1.2 Contextualização, 1.3 Justificativa, 1.4 Contribuições esperadas e 1.5 Organização do trabalho. O Capítulo 2 descreve o objetivo geral e os objetivos específicos. O Capítulo 3 apresenta a revisão de literatura, com os principais conceitos e abordagens teóricas relacionadas ao tema. O Capítulo 4 detalha a metodologia de pesquisa, incluindo a geração de dados, as ferramentas e os métodos utilizados. O Capítulo 5 aborda a modelagem do problema, com a construção do modelo conceitual. O Capítulo 6 apresenta e analisa os resultados da simulação. Por fim, o Capítulo 7 reúne as considerações finais, destacando as principais contribuições do trabalho, limitações encontradas e sugestões para estudos futuros.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Utilizar a modelagem e simulação para contribuir na análise de orçamentos sob incerteza no contexto da mineração de ouro.

2.2 Objetivos Específicos

Para cumprimento do objetivo geral é necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- Identificar os principais riscos e incertezas que impactam a orçamentação do setor de mineração;
- Coletar, tratar e analisar dados históricos relevantes para definição de distribuições de probabilidade representativas das variáveis de incerteza aplicadas ao modelo;
- Desenvolver um modelo conceitual de fluxo de caixa de uma mina de ouro, integrando os principais componentes de receita, custos operacionais, investimentos e impostos, com base em práticas reais do setor;
- Definir e aplicar distribuições de probabilidade para as variáveis de incerteza utilizando testes estatísticos e apoio de ferramentas computacionais;
- Construir cenários simulados com base na flutuação das variáveis de incerteza, e modelar o impacto dessas flutuações no desempenho orçamentário;
- Implementar a Simulação de Monte Carlo no modelo computacional, realizando milhares de iterações para avaliar os possíveis comportamentos do fluxo de caixa sob diferentes condições;
- Analisar os resultados obtidos nas simulações, por meio de estatísticas descritivas, histogramas, frequência acumulada, matriz de correlação e comparação com o cenário determinístico.

3 Revisão de Literatura

3.1 Orçamento Empresarial

O orçamento empresarial tem sido entendido pelas organizações como uma ferramenta muito importante de planejamento e controle dos processos de gestão, responsável por estabelecer objetivos, alocar recursos e controlar os resultados. Segundo [Frezatti \(2000\)](#), o orçamento é uma ferramenta utilizada para coordenar as atividades de uma organização para que os planos estratégicos e operacionais sejam devidamente integrados e os recursos alocados de forma eficiente entre eles.

[Ferreira e Diehl \(2012\)](#) destacam a relação direta entre o orçamento empresarial e o planejamento estratégico. Segundo os autores, o orçamento não é apenas uma ferramenta operacional, mas também um elo entre a formulação e a execução da estratégia. Ele permite às empresas traduzirem objetivos estratégicos em metas específicas e monitoráveis, promovendo maior clareza e controle durante o processo de tomada de decisão.

Segundo [Andrade \(2020\)](#), o orçamento desempenha um papel de sustentação de processos de tomada de decisão em cenários complexos e de incerteza. A autora ressalta que um orçamento bem estruturado é mais flexível e permite maior previsibilidade, dessa forma, os riscos na alocação de recursos e execução dos planos são reduzidos. [Lavarda e Pereira \(2011\)](#) reforçam a importância do orçamento como ferramenta de apoio à tomada de decisão e sua função no planejamento e controle. Eles apresentam que o orçamento torna possível a identificação de desvios entre o planejado e o realizado, assim, é possível que as organizações identifiquem gargalos e ajustem a estratégia.

Apesar de sua importância, o orçamento empresarial apresenta desafios quanto a sua rigidez e a dificuldade de adaptação em ambientes dinâmicos. [Mucci et al. \(2016\)](#) apresentam que o orçamento possui múltiplas funções em uma organização, como planejamento, controle e avaliação de desempenho. Isso pode gerar conflitos e dificuldades para integralizar as diferentes áreas do negócio.

[Verbeeten \(2006\)](#) acrescenta que a incerteza nas decisões de investimento também é um desafio significativo nas organizações. Segundo o autor, a implementação de técnicas sofisticadas de orçamento pode contribuir no gerenciamento das incertezas, porém demanda de mais complexidade e de maior capacidade analítica dos gestores e demais envolvidos no processo.

Enfim, o orçamento empresarial permanece dinâmico e essencial para o atingimento das metas propostas. Conforme debatido por Hansen *et al.* (2003), o aproveitamento dos diversos aspectos do orçamento, como gestão de custos, controle gerencial e busca por eficiência, retrata a relevância dessa ferramenta dentro das organizações.

3.2 Investimentos sob Incerteza

O processo de planejamento é composto pela definição de objetivos, metas e estratégias para alcançá-las. De forma geral, o planejamento possui um orçamento associado, que estima as receitas e as despesas de uma organização, considerando períodos de curto, médio e longo prazo. A orçamentação é essencial como ferramenta de gestão para orientar o planejamento e controle das atividades, de forma que os recursos sejam alocados adequadamente, conforme os objetivos estratégicos estabelecidos e oferecendo uma maneira de monitorar e avaliar o desempenho financeiro. O controle eficiente do orçamento busca garantir que o plano seja executado corretamente ou alterado se for necessário conforme as tomadas de decisão da empresa (GARRISON *et al.*, 2013).

Na avaliação de projetos, existem diversas ferramentas de análise da viabilidade econômico-financeira, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback, por exemplo. No entanto, elas consideram que as variáveis bem como o fluxo de caixa futuro são conhecidas e certas, mas os cenários futuros são difíceis de estimar.

Na obra "*The General Theory of Employment, Interest and Money*", John Maynard Keynes argumenta que, ao contrário do que propõe a teoria econômica clássica, que assume um ambiente de informação total e previsibilidade, a realidade se caracteriza por incertezas que afetam a forma como os agentes tomam decisões. Em situações de risco, o futuro é previsível, pode ser quantificado e gerenciado baseado em cálculos de probabilidade (KEYNES, 1937).

O livro "*Risk, Uncertainty, and Profit*", de Frank Knight, introduz conceitos fundamentais que separam risco de incerteza. Em cenários de incerteza, variáveis econômicas e agentes são confrontados com possíveis eventos cuja probabilidade de ocorrência não é conhecida ou não pode ser quantificada (KNIGHT, 1921). Nesse contexto, é essencial que as análises considerem os riscos para que a tomada de decisão seja mais assertiva e informada.

3.3 Simulação em análise de investimentos

Segundo Lam (2014), uma gestão eficaz dos riscos orçamentários não somente protege contra perdas financeiras como também contribui para tomada de decisões informadas, mais assertivas e estratégicas. Para tanto, se torna necessário que os riscos sejam definidos, medidos e controlados. De acordo com Dehghani e Ataee-Pour (2012), projetos de mineração são complexos e exigem avaliação constante dos riscos devido ao fato do valor do projeto de mineração ser influenciado por diversas incertezas econômicas e físicas. Logo, estimar projetos de mina sem mensurar os riscos ou oportunidades financeiras levará a tomada de decisões incorretas ou incompletas. Com isso, a modelagem e simulação surgem como métodos eficazes para lidar com essas incertezas, ao permitir a criação de cenários e manipulação de variáveis críticas para análise dos resultados.

Segundo Chung (2003), a modelagem e simulação consiste no processo de criação e experimentação de um sistema físico através de um modelo matemático computadorizado. A implantação de simulação gera a vantagem de visualizar o sistema, implantar alterações e analisar seu comportamento sem necessidade de construção ou modificações no sistema real.

Segundo Mitroff *et al.* (1974) apud Bertrand e Fransoo (2009) o modelo de simulação é composto por quatro fases: conceitualização, modelagem, solução pelo modelo e implementação. A fase de conceitualização envolve a definição clara do problema de decisão, descrição específica dos componentes do modelo, análise e entendimento e construção do modelo conceitual. Na etapa de modelagem, ocorre a transformação do modelo conceitual e modelo computacional, com a utilização de softwares, planilhas eletrônicas ou linguagem de programação.

Após a construção do modelo, a fase de solução é definida pela realização de experimentos, onde são feitas alterações nos dados de entrada a fim de observar o comportamento do sistema e o efeito das alterações nas saídas. A implementação do modelo de simulação tem o objetivo de gerar maior entendimento do sistema real, em um processo de aprendizado contínuo.

Em seguida, as etapas de verificação e validação consistem na depuração da programação para identificar erros de sintaxe ou semântica, na busca de tornar o modelo mais coerente possível com o sistema real. Vale lembrar que a simulação parte de um modelo simplificado da realidade e apresenta desvantagens como custo elevado, os tempos de aplicação e resultado podem ser elevados, necessidade de grande quantidade de dados e de mão de obra especializada (ROBINSON, 2014).

3.4 Ferramentas de Avaliação de Investimentos

3.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma técnica utilizada na análise de investimentos e avaliação de projetos que se baseia na ideia de que o valor do dinheiro no tempo deve ser considerado em decisões financeiras, já que o valor de um recurso monetário varia em função de fatores como a inflação e as taxas de retorno esperadas (BREALEY *et al.*, 2018).

Segundo Garrison *et al.* (2013), o VPL é dado como a diferença entre o valor presente dos fluxos de entrada e dos fluxos de saída de um investimento, para avaliar se ele é ou não aceitável. Um VPL positivo indica que o investimento proporciona um retorno maior que a taxa de retorno esperada e é aceitável, enquanto um VPL negativo sugere que o projeto não é viável por representar um retorno menor que o esperado. Ross *et al.* (2015) apresenta que o VPL é preferido em relação a outras ferramentas devido à sua capacidade de considerar o custo de oportunidade e refletir o impacto de cada fluxo de caixa ao longo do tempo.

Em contextos de incerteza, o VPL apresenta limitações. Brealey *et al.* (2018) destacam que a estimativa de fluxos de caixa futuros e da TMA é sujeita a erros com certa frequência, pois depende de premissas sobre variáveis econômicas e operacionais que podem sofrer alterações ao longo do tempo. Além disso, o VPL não considera diretamente riscos ligados a eventos incertos, como alterações regulatórias ou de mercado. Outro ponto crítico é a dificuldade encontrada ao se comparar projetos com diferentes durações. Garrison *et al.* (2013) sugerem que, nesses casos, a utilização de métodos complementares pode ser necessária para garantir uma avaliação mais assertiva.

Mesmo com as limitações, o VPL permanece uma ferramenta indispensável na tomada de decisão financeira, caso complementada por análises qualitativas e de sensibilidade. Segundo Ross *et al.* (2015), a utilização conjunta de métodos quantitativos e qualitativos permite uma visão mais abrangente e robusta das oportunidades e riscos associados aos investimento, de forma que o potencial de geração de valor para os acionistas é maximizado.

3.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Representa a taxa de retorno do projeto ao longo de sua vida útil, onde essa taxa torna o Valor Presente Líquido (VPL) igual a zero. Este indicador é amplamente utilizado na avaliação de investimentos e representa a rentabilidade percentual esperada do investimento (BREALEY *et al.*, 2018).

De acordo com [Ross et al. \(2015\)](#), a TIR é utilizada na comparação de alternativas de investimento e como auxílio na tomada de decisões financeiras. Um projeto é considerado viável quando sua TIR é superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA). [Garrison et al. \(2013\)](#) ressaltam que por ser um indicador percentual, é intuitivo e facilita a comunicação de resultados a gestores e investidores, a tornando muito utilizada em relatórios financeiros. [Brealey et al. \(2018\)](#) apresentam que em situações onde os fluxos de caixa apresentam múltiplas mudanças de sinais, podem surgir múltiplas TIRs, que pode gerar certa dificuldade para interpretar os resultados. A TIR também não é a alternativa mais adequada na comparação de projetos com diferentes durações ou na avaliação de projetos mutualmente exclusivos, pois pode levar a decisões inconsistentes.

Incertezas na estimativas dos fluxos de caixa e nos cenários econômicos também geram limitações, pois as projeções financeiras podem sofrer impactos de mudanças inesperadas em variáveis como inflação, taxas de juros e condições do mercado, desse modo, reduzindo a precisão da TIR como medida de desempenho do projeto ([GARRISON et al., 2013](#)). Para amenizar essas limitações podem ser utilizados métodos complementares, análises de sensibilidade e simulações de cenário para lidar com as incertezas e aumentar a confiabilidade das decisões ([ROSS et al., 2015](#)).

3.4.3 Payback

O Payback mede o tempo necessário para que os fluxos de caixa acumulados igualem o valor do investimento inicial, fornecendo uma indicação do prazo necessário para a recuperação do investimento ([BREALEY et al., 2018](#)). Por ser um cálculo simples e de fácil interpretação, o Payback é aplicado como uma medida inicial para avaliar o risco de um projeto e é bastante utilizado principalmente em empresas de pequeno porte e em decisões que exigem rapidez. Os períodos de payback mais curtos são preferíveis de forma geral, pois fornecem um retorno mais rápido do investimento e expõem o investidor a menos incertezas na economia ([GARRISON et al., 2013](#)).

Por outro lado, a falta de atenção ao valor temporal do dinheiro cria distorções na comparação de projetos com diferentes perfis de fluxo de caixa. Ele não inclui os fluxos de caixa subsequentes gerados após o período de payback e, portanto, não retrata uma imagem precisa da lucratividade total do projeto do ponto de vista do investimento. ([BREALEY et al., 2018](#))

Em cenários de incerteza, o Payback é limitado devido a exposição das previsões de fluxo de caixa às diversas variações do mercado. Portanto, recomenda-se que ele seja utilizado em conjunto com outras técnicas, como o VPL e a TIR ([ROSS et al., 2015](#)).

3.4.4 Fluxo de Caixa Descontado (FDC)

O método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) define que o valor de um projeto é igual à soma de todos os fluxos de caixa futuros esperados, descontados a uma taxa igual ao custo de oportunidade do capital (BREALEY *et al.*, 2018). As projeções de FCD são bastante utilizados em decisões de finanças a longo prazo. A taxa de desconto, definida normalmente em termos do custo médio ponderado do capital (WACC), é base nesse método e afeta diretamente o valor presente dos fluxos de caixa (ROSS *et al.*, 2015). O fato do método incorporar o valor do dinheiro no tempo é um dos principais benefícios, ao permitir uma análise detalhada do fluxo de caixa em cada período, o FDC suporta a identificação dos fatores que afetam o desempenho nos projetos (GARRISON *et al.*, 2013).

Um ponto importante é que a precisão do método está diretamente ligada à confiabilidade das estimativas dos fluxos de caixa futuros e das taxas de retorno. Com as incertezas, essas estimativas possuem uma carga de especulação, que reduz a confiabilidade dos resultados. Sugere-se que o FCD seja implementado em conjunto com análises de sensibilidade e simulações de cenários a fim de se obter uma avaliação mais robusta dos riscos associados (BREALEY *et al.*, 2018).

3.5 Simulação de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo (SMC) é conhecida por ser uma técnica importante na resolução de problemas complexos sob variabilidade e incerteza. Originada dentro do Projeto Manhattan, programa de pesquisa e desenvolvimento que produziu as primeiras bombas nucleares na Segunda Guerra Mundial, a SMC usa métodos probabilísticos para simular o comportamento de sistemas complexos. Formalmente, a abordagem foi apresentada no artigo de Metropolis *et al.* (1987), que destacou a sua origem, aplicações iniciais e a modelagem de fenômenos físicos.

A relevância da Simulação de Monte Carlo se apresenta em diversas áreas de conhecimento, principalmente em análise de investimentos e gestão de risco. Moreira *et al.* (2024) explorou sua aplicação na avaliação probabilística da viabilidade de investimentos utilizando o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL). O trabalho demonstrou como a inclusão de distribuições de probabilidade pode gerar informações importantes para a tomada de decisão sob incerteza.

No cenário corporativo, a SMC também é utilizada na avaliação de desempenho econômico das organizações em condições de incerteza. Corrar (1993) estudou a aplicação da técnica no modelo econômico empresarial, reforçando sua habilidade de simular diferentes cenários financeiros, e dessa forma suportar a definição de estratégias mais eficazes para a sustentabilidade e competitividade do negócio.

Apesar de sua versatilidade, a Simulação de Monte Carlo apresenta alguns desafios como alto custo computacional e exigência de modelagem precisa das distribuições de entrada. [Metropolis et al. \(1987\)](#) sinalizou que a complexidade computacional poderia ser um obstáculo para aplicações em grande escala, principalmente antes da chegada de grandes tecnologias. Em trabalhos mais recentes, como os de [Moreira et al. \(2024\)](#), fica evidente a preocupação cada vez maior com a qualidade dos dados utilizados, visto que entradas mal estipuladas podem comprometer a validade dos resultados.

3.5.1 Etapas da Simulação de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo é composta das seguintes etapas:

Definição do Problema e Modelo Matemático: Compreender o problema a ser resolvido e formular um modelo matemático que o represente adequadamente.

Identificação das Variáveis e Parâmetros Relevantes: Determinar as variáveis-chave que influenciam o sistema ou processo em estudo.

Atribuição de Distribuições de Probabilidade: Associar distribuições de probabilidade apropriadas a cada variável identificada, refletindo sua incerteza e variabilidade.

Geração de Números Aleatórios: Utilizar técnicas de geração de números aleatórios para criar conjuntos de dados conforme as distribuições atribuídas.

Execução de Simulações: Aplicar as amostras geradas ao modelo matemático, realizando um grande número de simulações para explorar possíveis resultados.

Análise dos Resultados: Avaliar os resultados das simulações para estimar probabilidades, médias, variâncias e outros indicadores estatísticos relevantes.

3.6 Aplicações

Em sua dissertação, [Garcia \(2003\)](#) avaliou um projeto de mina de cobre e discorreu sobre os conceitos, premissas e métodos na avaliação de projetos de mineração, envolvendo decisões de investimento, sob condições de incerteza. Foram empregadas as metodologias de Fluxo de Caixa Descontado e emprego da Teoria de Opções Reais, ressaltando o campo de utilização dos modelos, bem como suas deficiências.

O artigo “*Determination of the effect of operating cost uncertainty on mining project evaluation*” aborda as complexidades e incertezas na avaliação de projetos de mineração, com foco nas variáveis econômicas, como preço do metal e custos operacionais, com a aplicação de técnicas de geração de cenários para avaliação dos desempenhos bem como as análises de risco associadas ([DEHGHANI; ATAEE-POUR, 2012](#)).

O artigo “*Stochastic simulation for budget prediction for large surface mines in the South African mining industry*”, aborda os desafios da precisão nos orçamentos de mina e propõe o uso de simulação estocástica para prever os orçamentos com distribuições de probabilidade ao invés de valores determinísticos, sugerindo que o capital seja aplicado onde tem o maior retorno. Ele trabalha com a replicação do sistema de mineração em termos de espaço e tempo, considerando fatores geológicos e alterações nos principais drivers operacionais, que torna possível compreender melhor as falhas orçamentárias (HAGER *et al.*, 2015).

Jyrki Savolainen propôs em seu artigo “*Simulation-based decision-making system for optimal mine production plan selection*” um modelo de decisão com base em simulação para selecionar o plano de mina de ouro ideal considerando as incertezas geológicas e de preços do metal, que podem afetar de forma significativa a viabilidade econômica e as estratégias de produção nas operações de mineração. O sistema proposto lidou com a volatilidade dos preços do ouro utilizando a Simulação de Monte Carlo (MCS) com diferentes modelos estatísticos, isso permitiu considerar o preço inicial definido e também os efeitos da volatilidade ao longo do tempo. Assim, o sistema abordou os riscos e adicionou valor à seleção do plano ideal, mostrando que oferece uma aplicação útil à área (SAVOLAINEN *et al.*, 2022).

O artigo “*Model for Sustainable Financial Planning and Investment Financing Using Monte Carlo Method*” apresentou uma metodologia para tomada de decisões de investimento em uma empresa de transporte, utilizando simulação, incluindo a análise de riscos e incertezas. Ela trabalhou as abordagens determinísticas e estocásticas, nessa última, utilizou a simulação de Monte Carlo, para criação de múltiplos cenários, considerando a variabilidade dos fatores de risco. O trabalho utiliza simulações computacionais como suporte na tomada de decisão, reforça suas vantagens mas também enfatiza as dificuldades e riscos associados ao uso ou interpretação incorreta de dados.(TOBISOVA *et al.*, 2022).

No trabalho intitulado “*Applications of simulation modeling in mining project risk management*”, Nevskaya relata que a modelagem e simulação podem minimizar os riscos em projetos da mineração a partir do incremento de verificações nas decisões do projeto, levando em consideração um número maior de variáveis que afetam o projeto como um todo. Isso permite a análise antecipada de riscos, reduz tempo na correção de rotas, além de minimizar as perdas financeiras (NEVSKAYA *et al.*, 2024)

4 Metodologia de Pesquisa

A pesquisa é classificada como axiomática, pois tem interesse na discussão e utilização de aspectos teóricos para resolução de problemas práticos referentes à implicação dos riscos e incertezas em orçamentos de médio prazo do setor de mineração. A partir do objetivo de avaliar como a modelagem e simulação podem contribuir nas análises de viabilidade, se classifica como normativa, pois busca comparar estratégias de orçamentação sob incerteza com a aplicação de modelagem e simulação.

Quanto à abordagem do problema, se caracteriza como quantitativa, pois serão utilizados recursos matemáticos e computacionais para a análise dos dados, quantificação de resultados e construção de cenários (TURRIONI; MELLO, 2012). A pesquisa será feita através de modelagem e simulação, pois deseja-se experimentar, através de um modelo do sistema real, determinar como o sistema se comporta nas modificações nas variáveis de risco e incertezas propostas (ROBINSON, 2014).

4.1 Etapas

Identificação e definição das variáveis chave:

Com base em literatura acadêmica, estudos, notícias e experiência prévia no setor de mineração de ouro, foram definidas as variáveis **cotação do ouro (US\$/Oz)**, **cotação do dólar (R\$/US\$)** e **volume de ouro vendido (Oz)** como fontes de incerteza para esse trabalho devido a influência direta nos custos e receitas. Conforme apresentado em outros tópicos, a indústria do ouro possui diversas variáveis de incerteza, tanto internas quanto externas, no entanto, devido a complexidade e a restrição de dados, optou-se por focar nessas três variáveis.

Com os dados coletados e devidamente tratados, foram realizadas análises exploratórias com a visualização das séries históricas e identificação de padrões e anomalias para o preço do dólar e do ouro. Os histogramas gerados mostraram o comportamento das séries e ao ajustar os dados a distribuições de probabilidades conhecidas, considerando as métricas estatísticas, foram definidas as funções de probabilidade que melhor se ajustam aos dados reais para utilização na simulação de Monte Carlo.

Coleta e tratamento de dados:

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados fictícios para o fluxo de caixa, no entanto, eles foram elaborados com base em experiência profissional adquirida previamente e embasamento em literatura específica, de forma a garantir que os cenários reflitam condições reais observadas no setor e resultados consistentes. Para a cotação do ouro por onça-troy e a cotação do dólar foram coletados os dados diários do período de janeiro de 2020 a dezembro de 2024, obtidos na base de dados do Banco Central do Brasil. Para garantir a consistência das series temporais, ambos foram tratados com a aplicação de métodos de limpeza, ajuste e normalização, utilizando bibliotecas Python.

Criação de Cenários:

Definir e modelar as fontes de incerteza do problema.

Desenvolvimento da Simulação:

Desenvolver o modelo computacional para simular os custos, receitas e fluxos de caixa com o input das variáveis de incerteza. O modelo simulará o desempenho e viabilidade econômica de cada cenário. A implementação irá gerar diversas iterações simulando diferentes combinações das variáveis.

Validação do modelo:

- Aplicar o modelo ao caso fictício a fim de validar o comportamento do sistema em relação à um sistema conhecido.
- Ajustar as premissas e verificar se as alterações no sistema estão de acordo com as expectativas esperadas.

Análise dos Resultados:

Gerar gráficos e relatórios que mostrem o impacto da variação das variáveis de incerteza. Identificar os riscos e propor estratégias de mitigação. Discutir os benefícios e limitações da implementação do modelo.

4.2 Geração de Dados

Para a geração de números aleatórios, foram utilizadas as funções do pacote NumPy (*Numerical Python*) para gerar distribuições probabilísticas que simulam a incerteza nas variáveis. O NumPy é uma biblioteca da linguagem de programação Python que fornece um conjunto de funções e operações de biblioteca que possibilitam efetuar cálculos numéricos ([NUMPY.ORG](https://numpy.org), 2024)

4.3 Métodos e Ferramentas

O método utilizado neste trabalho foi a simulação, utilizando as seguintes ferramentas:

- **Google Colaboratory:** Ambiente que permite a escrita e execução de código em Python ([GOOGLE.COM](https://colab.research.google.com/), 2019).
- **Numpy:** Manipulação, geração de dados e cálculos numéricos ([NUMPY.ORG](https://numpy.org/), 2024).
- **SimPy:** O SimPy (*Simulation in Python*) é uma biblioteca de comandos que permite a construção de modelos de simulação em Python ([LIVROSIMULACAO.ENG.BR](https://livosimulacao.eng.br/), 2022).
- **Matplotlib:** Biblioteca para visualização de dados em Python. Empregado na geração dos gráficos apresentados ([MATPLOTLIB...](https://matplotlib.org/), 2025).
- **Pandas:** Biblioteca para análise e manipulação de dados em Python. Empregado no carregamento e estruturação dos dados históricos, e organização da simulação ([PANDAS...](https://pandas.pydata.org/), 2025).
- **SciPy:** Biblioteca que complementa as funcionalidades do Numpy. Empregado no ajuste de distribuições de probabilidade e testes estatísticos ([SCIPY...](https://scipy.org/), 2025).

5 Descrição e modelagem do problema

O modelo simulado avaliou o comportamento do fluxo de caixa de um plano de mina de uma empresa fictícia, no horizonte de doze meses, ao realizar alterações nas principais variáveis chave que influenciam o resultado econômico-financeiro das operações. O objetivo foi demonstrar a sensibilidade dos planos às alterações nos drivers e os cenários de desempenho possíveis, de modo que os resultados apresentem apoio às decisões gerenciais.

5.1 Modelo Conceitual

O Quadro 1 abaixo apresenta o modelo simplificado da mina fictícia que foi criado, seus componentes e a relação entre eles:

Quadro 1 – Modelo conceitual

Item	Unidade	Descrição
Cotação do Ouro	US\$/Oz	Preço de venda do ouro no mercado internacional de acordo com o período.
Cotação do dólar	R\$/US\$	Taxa de conversão de câmbio média de acordo com o período.
Ouro vendido	Oz	Total de ouro vendido em barras.
Receita	US\$	Receita da venda do ouro.
Custo operacional total	US\$	Somatório dos custos de mineração, processamento, gerais e administrativos.
Custo de mineração	US\$	Composto por todos os custos diretos e indiretos aplicáveis à mineração do ouro, reduzindo as realocações devidas e considerando as movimentações de inventário.
Custo de processamento	US\$	Composto por todos os custos diretos e indiretos aplicáveis ao beneficiamento do ouro, reduzindo as realocações devidas e considerando as movimentações de inventário.
Custos gerais e administrativos	US\$	Referente aos custos de administração e outros custos gerais.
CAPEX total	US\$	Somatório do CAPEX SIB, exploração e desenvolvimento primário.
CAPEX - SIB	US\$	Investimento em ativos para manutenção do funcionamento da operação.

Quadro 1 – Modelo conceitual (continuação)

Item	Unidade	Descrição
CAPEX - Exploração	US\$	Custos de exploração que ocorrem dentro da área geográfica de jazidas minerais e recursos minerais de uma mina operacional ou área de projeto. Considera somente os gastos capitalizados, que ocorrem no período em que se deseja incorporar as onças ao recurso mineral publicado.
CAPEX - Desenvolvimento Primário	US\$	Custo de desenvolvimento necessário para a operação de escavação. Inclui galeria de transportes, travessa de acesso, passagens de minério, túneis de ventilação, galerias de passagem e desmonte.
AISC	US\$	All in Sustaining Costs - Custo total de produção de uma onça de ouro. Dado pelo somatório do custo operacional e CAPEX.
Outros custos de capital (Non Sustaining)	US\$	Investimentos que incorrem em grandes projetos e estudos onde as onças não serão incorporadas ao recurso mineral publicado naquele período.
AIC	US\$	All in Costs - AISC + Outros custos de capital.
Lucro antes dos impostos	US\$	Margem de lucro antes dos impostos - Receita - AIC.
Impostos	US\$	CFEM + IRPJ + CSLL.
Fluxo de caixa livre	US\$	Fluxo de caixa disponível após dedução dos impostos aplicáveis.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As premissas econômicas afetam diretamente a receita e os custos, onde a cotação do ouro determina o valor de venda da onça e a cotação do câmbio define a conversão para o real. A receita é dada pela combinação do volume de produção vendida, cotação do ouro e cotação do câmbio. A partir dela são deduzidos os custos operacionais e de investimento (CAPEX) para se determinar o lucro antes dos impostos, após deduzir os impostos obtem-se o fluxo de caixa livre, indicador utilizado para análise do desempenho financeiro da organização.

5.2 Definição das variáveis chave

Fontes de incerteza: O setor de mineração de ouro é altamente sensível a diversas variáveis econômicas, que podem influenciar a produção, lucratividade e os investimentos. Além das próprias incertezas internas do negócio, como estimativa de reservas minerais, volume e teor de minério, interações locais e execução do planejamento, o setor é impactado pelas seguintes variáveis de mercado:

- Cotação do ouro;
- Clima econômico e instabilidade financeira;
- Taxas de juros;
- Cotação do dólar;
- Política monetária e inflação;
- Geopolítica: conflitos internacionais aumentam a demanda do ouro;
- Questões ambientais e sociais;
- Regulamentações

Todos esses fatores interagem entre si de forma complexa e sofrem diversas alterações ao longo do tempo. Dessa forma, se torna essencial que a organização seja capaz de prever o impacto das incertezas em um orçamento de médio prazo, para que possa tomar decisões embasadas para ajuste das estratégias do negócio. Para este trabalho, o foco foi as variáveis cotação do ouro, do dólar e volume de produção vendida.

5.2.1 Cotação do dólar

No mercado de câmbio, são realizadas transações de compra e vendas de moedas estrangeiras. A taxa de câmbio representa o preço de uma moeda em comparação com outras, que são estabelecidas por meio da manipulação da oferta e da demanda dessa moeda no mercado. No Brasil, o tipo de taxa mais utilizado é o Ptax, que é calculado pelo Banco Central com base na média aritmética das taxas das operações de compra e venda realizadas nos leilões ao longo do dia ([BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2025](#)). A balança comercial representa a diferença entre as exportações e importações de um país, e esse saldo tem um impacto relevante nessa variação. Um país com superávit comercial tende a fortalecer sua moeda local, enquanto um déficit a enfraquecerá. Além disso, outros fatores como a política monetária, taxas de juros e taxas de inflação afetam diretamente a cotação do dólar ([IT; WARREN, 2021](#)).

As flutuações da taxa de câmbio apresentam impactos relevantes nas indústrias. Setores que dependem de matérias-primas importadas aumentam seus custos de produção e seus preços finais ao consumidor quando o real é desvalorizado. Já para empresas exportadoras, a valorização do dólar as torna mais competitivas nos mercados internacionais. Essa volatilidade impacta as decisões estratégicas e investimento nas organizações, dessa forma, se torna imprescindível que as empresas façam uma gestão eficiente dos riscos cambiais para a tomada de decisões mais assertivas e informadas (SANTANDER, 2021).

O ouro é cotado internacionalmente em dólares americanos, portanto as variações do dólar impactam de forma significativa as mineradoras no Brasil. Quando o dólar se valoriza em relação ao real, a receita obtida com a exportação do ouro tende a aumentar, tornando a mineração mais lucrativa ainda que não ocorram mudanças na cotação do ouro. Por outro lado, a desvalorização do dólar pode reduzir a competitividade do ouro brasileiro no mercado externo, afetando as margens de lucro das mineradoras. Além disso, a variação do dólar afeta diretamente os custos operacionais da mineração de ouro, principalmente no que se refere à aquisição de equipamentos e insumos importados, que se tornam mais caros com a alta do dólar. Esse aumento nos custos pode impactar a viabilidade econômica de projetos, tornando necessária a revisão dos planos estratégicos e de produção ((MME), 2009).

5.2.2 Cotação do Ouro

O mercado do ouro é um dos mais antigos e influentes do mundo, sendo fundamental tanto como reserva de valor quanto como ativo financeiro. A onça troy, unidade padrão para a pesagem do ouro, corresponde a aproximadamente 31,1 gramas e é amplamente utilizada em negociações internacionais. Segundo Wanderley (2015), o ouro transita entre duas funções principais: como moeda e como commodity. Como moeda, ele atua historicamente como um meio de troca e reserva de valor, enquanto, como commodity, seu preço é determinado pela dinâmica de oferta e demanda globais. Essa dualidade torna o ouro um ativo único, capaz de manter sua relevância em diferentes contextos econômicos e políticos.

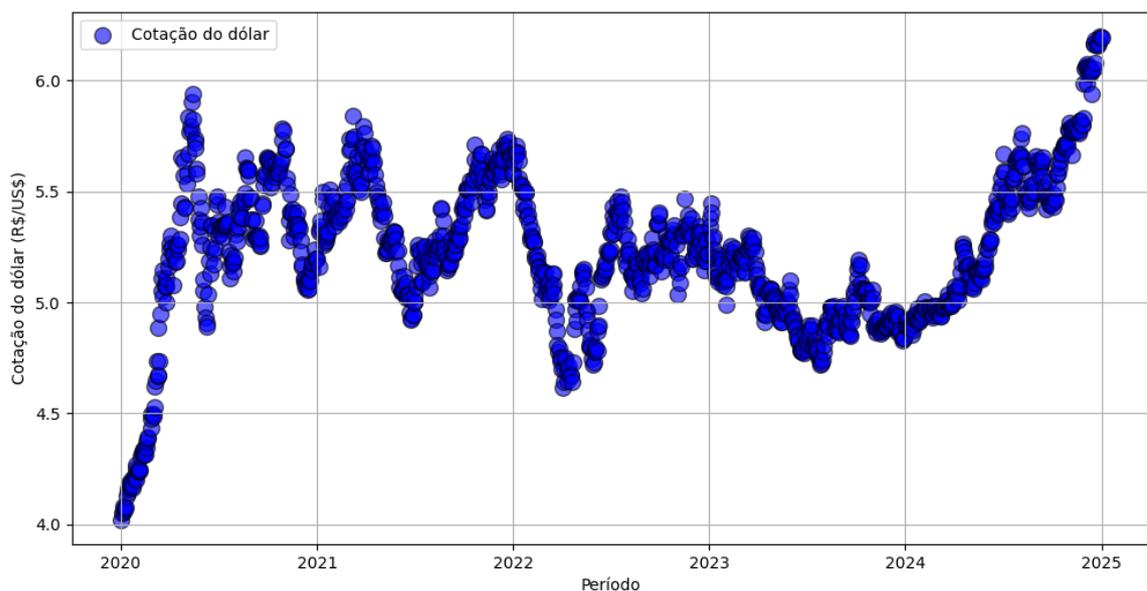
As variações na cotação do ouro são influenciadas por uma combinação de fatores macroeconômicos e geopolíticos. De acordo com Mathis (1996), a cotação do ouro responde sensivelmente a mudanças em variáveis como taxas de juros, inflação e estabilidade política global. Em momentos de crise econômica ou incerteza geopolítica, a demanda por ouro tende a aumentar, uma vez que investidores o consideram um "porto seguro" para preservar capital. Além disso, a relação inversa entre o valor do ouro e a força do dólar americano é um aspecto importante, já que a valorização do dólar costuma pressionar o preço do ouro para baixo, enquanto sua desvalorização tende a impulsionar o metal precioso.

O impacto das flutuações na cotação do ouro se estende tanto ao nível macroeconômico quanto ao das organizações. O ouro desempenha um papel crucial em portfólios de investimento, funcionando como um hedge contra a inflação e a volatilidade dos mercados financeiros. Para empresas, especialmente aquelas do setor de mineração, variações significativas no preço do ouro podem afetar diretamente a lucratividade, a viabilidade de novos projetos e a gestão de riscos financeiros. Além disso, influencia políticas econômicas em países produtores, afetando desde a arrecadação de receitas até decisões de investimento em infraestrutura e tecnologia (ADVFN, 2024).

5.3 Coleta e tratamento dos dados

Inicialmente, os dados históricos das cotações do ouro e do dólar foram extraídos no site [BANCO CENTRAL DO BRASIL \(2025\)](#), considerando os dados diários do período de janeiro de 2020 a dezembro de 2024, em seguida, foram organizados em séries temporais, tratados e a partir delas foram feitas as análises estatísticas. Foi realizada a identificação e remoção de valores nulos da base de dados e a normalização dos dados para melhorar as análises. A Figura 1 apresenta o gráfico de dispersão gerado para avaliar a distribuição das cotações do dólar ao longo do tempo.

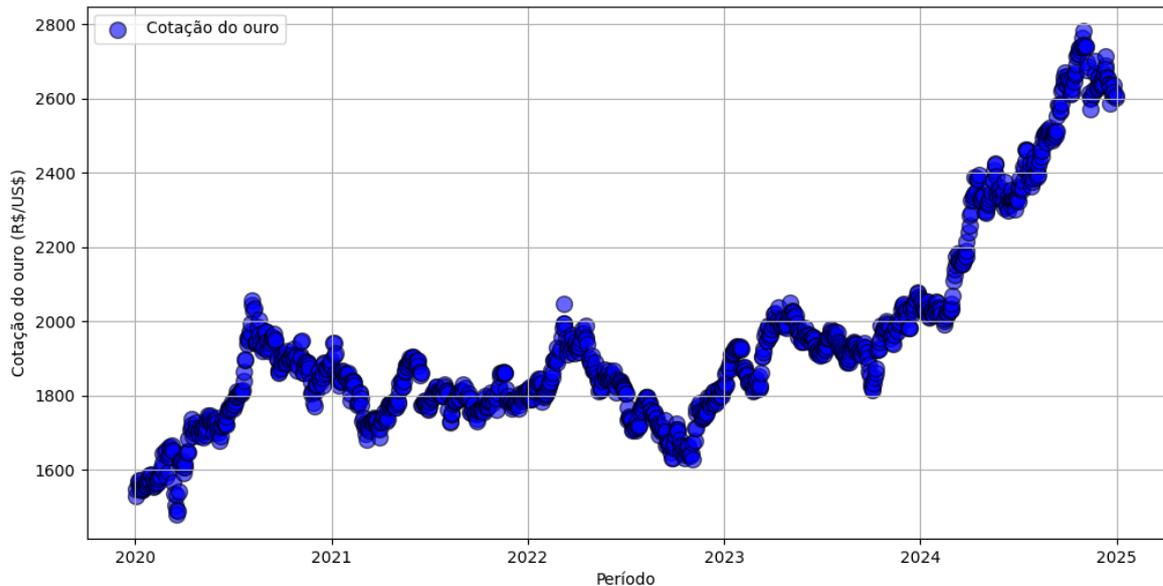
Figura 1 – Gráfico de dispersão da cotação do dólar



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Nota-se a tendência geral de alta volatilidade, com períodos de aumento e queda ao longo dos anos, o que reforça o comportamento não linear da cotação do dólar, caracterizado por ciclos de valorização e desvalorização, algo comum nos mercados cambiais. Já a figura 2 apresenta o gráfico de dispersão gerado para avaliar a distribuição das cotações do ouro ao longo do tempo.

Figura 2 – Gráfico de dispersão da cotação do ouro



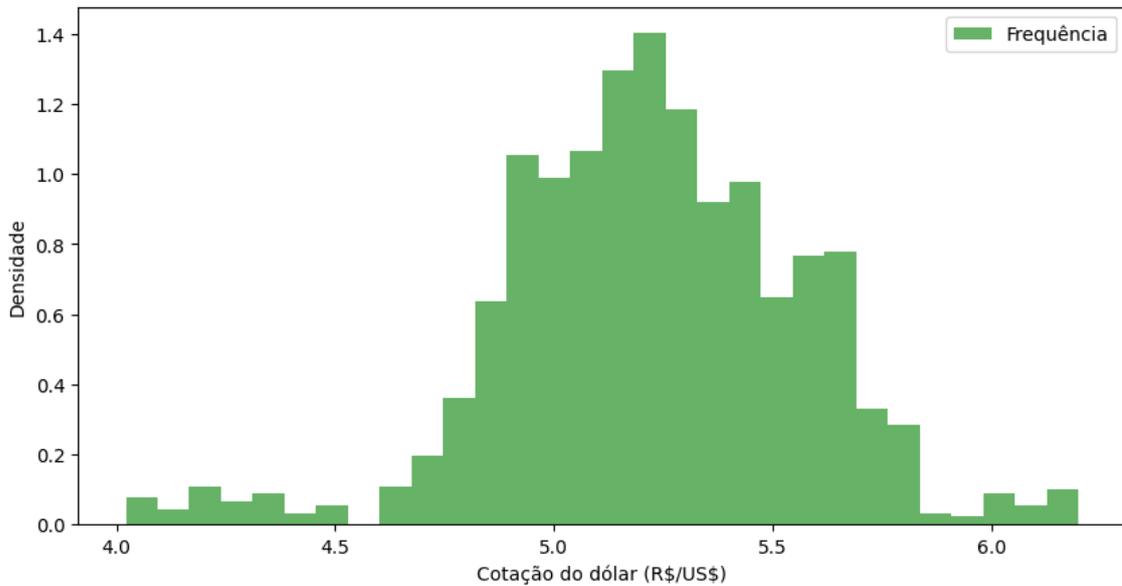
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O gráfico apresenta uma tendência geral de alta, com longos períodos de valorização ao decorrer dos anos. Nos períodos iniciais, nota-se uma volatilidade mais acentuada, provavelmente associada a fatores macroeconômicos. A partir de 2024, observa-se um movimento de alta mais expressivo, com a cotação superando os 2600 US\$/Oz no final de 2024 e início de 2025. Esse comportamento reforça a natureza não linear da cotação do ouro, que é influenciado por incertezas de diversas origens. O gráfico reflete a dinâmica do mercado de commodities, onde o ouro é frequentemente utilizado como um ativo de proteção, justificando a valorização observada em determinados períodos.

5.4 Definição das Distribuições de Probabilidade

Para identificar qual função de distribuição de probabilidade melhor representa os dados reais, já tratados, foram feitos histogramas para permitir a visualização do comportamento das cotações ao longo do tempo, identificar os padrões de frequência e detectar assimetrias. A Figura 3 apresenta o histograma da densidade das cotações do dólar ao longo do período analisado. O eixo x apresenta as cotações do dólar, que varia aproximadamente entre 4,25R\$ e 6,20R\$. O eixo y representa a densidade, que indica a frequência relativa das cotações para formar a distribuição de probabilidade. Observa-se que a curva do histograma apresenta um formato aparentemente simétrico, com a faixa de preço mais comum entre 5,01R\$ e 5,45R\$, com o pico central próximo à 5,22R\$, que corresponde tanto à mediana quanto à média da distribuição. Existe uma pequena assimetria na cauda direita, onde os valores superam 6,00R\$, chegando ao máximo de 6,19R\$.

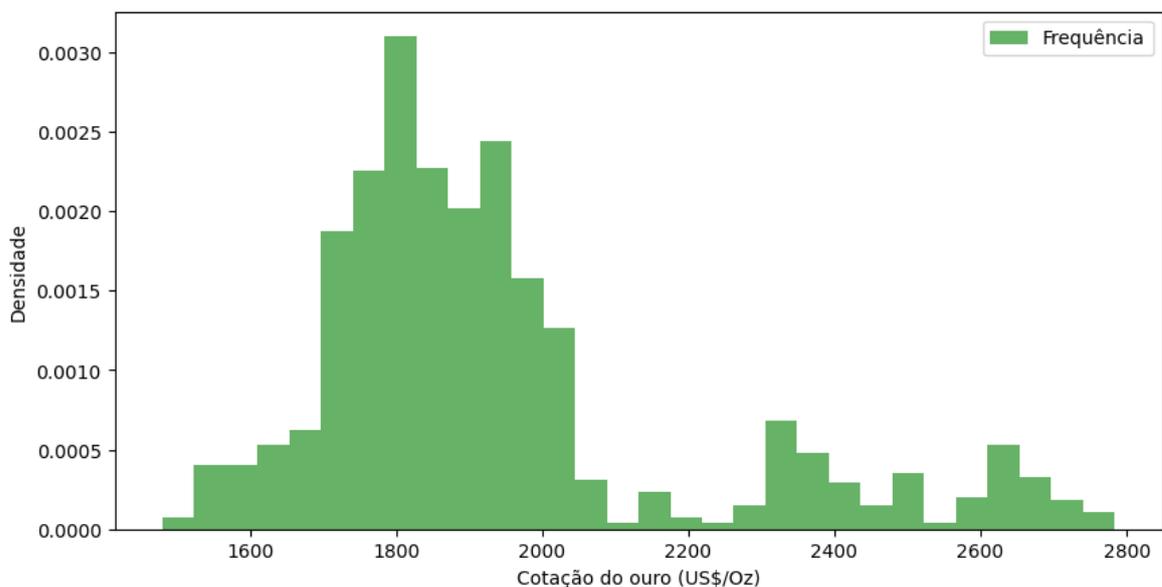
Figura 3 – Histograma da cotação do dólar



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

No histograma da cotação do ouro na Figura 4, observa-se que a moeda variou entre 1480US\$/Oz e 2783US\$/Oz no período analisado, com maior concentração de valores entre 1.779US\$/Oz e 1.989US\$/Oz. O pico central ocorre próximo à 1.868US\$/Oz, valor correspondente à mediana, enquanto a média das cotações é 1.941US\$/Oz, indicando uma leve assimetria. Visualmente, a distribuição apresenta um formato semelhante ao de sino, porém com uma cauda longa a direita, demonstrando os períodos de valorização significativa.

Figura 4 – Histograma da cotação do ouro



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Para ambas as variáveis, foram calculadas as seguintes estatísticas descritivas: média, desvio padrão, valores máximos e mínimos e os quartis. Para comparação dos histogramas as distribuições de probabilidade a seguir foram plotadas com a biblioteca Python *scipy.stats*:

Normal: Variável aleatória assume qualquer valor real, a curva tem formato de sino, simétrica em torno da média (SOUSA, 2019). **Log-Normal:** Variável aleatória assume qualquer valor real positivo, apresenta assimetria a direita (SOUSA, 2019).

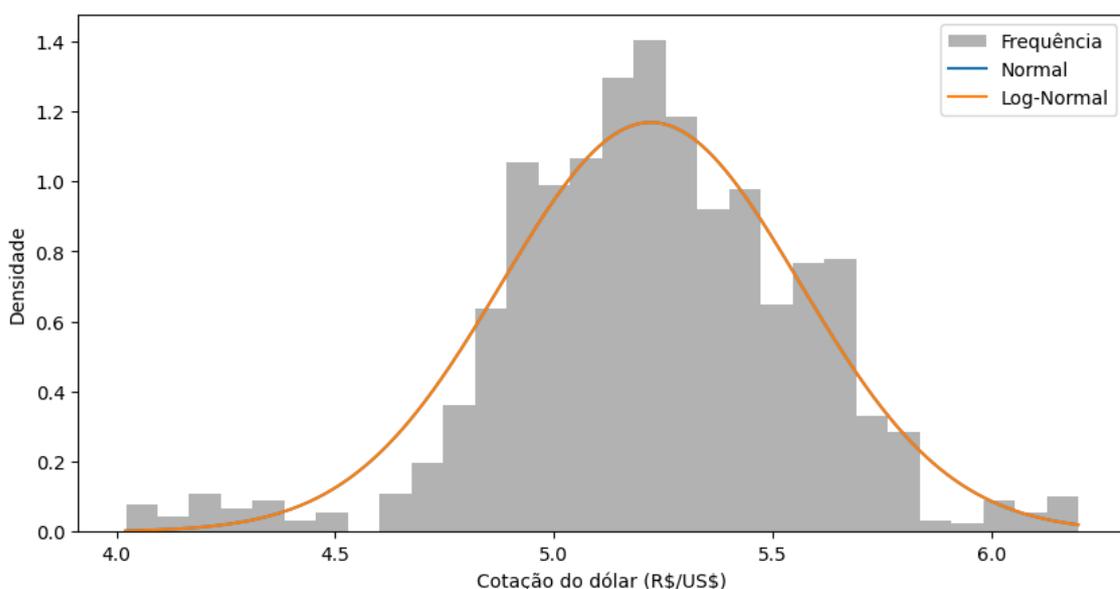
Para definir qual distribuição utilizar na Simulação de Monte Carlo, foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov (KS), que é um teste estatístico utilizado para comparar uma amostra de dados com distribuições de probabilidade teóricas. Ele mede a diferença máxima absoluta entre a função de distribuição acumulada (CDF) dos dados empíricos e a CDF da distribuição teórica ajustada. Como resultado, quanto menor o valor da Estatística KS (stat), melhor o ajuste da distribuição. Além disso, se o p-valor for maior que 0,05, a hipótese de que os dados seguem a distribuição teórica é aceita.

Para o ajuste da distribuição às cotações do dólar, retratada na Figura 5, o teste KS apresentou os seguintes resultados:

- Teste KS para Normal: Estatística = 0.0485, p-valor = 0.0052
- Teste KS para Log-Normal: Estatística = 0.0485, p-valor = 0.0052

Nesse caso, ambas distribuições apresentaram o mesmo resultado para o teste, sendo a distribuição normal definida para utilização na Simulação de Monte Carlo.

Figura 5 – Ajuste das distribuições à cotação do dólar



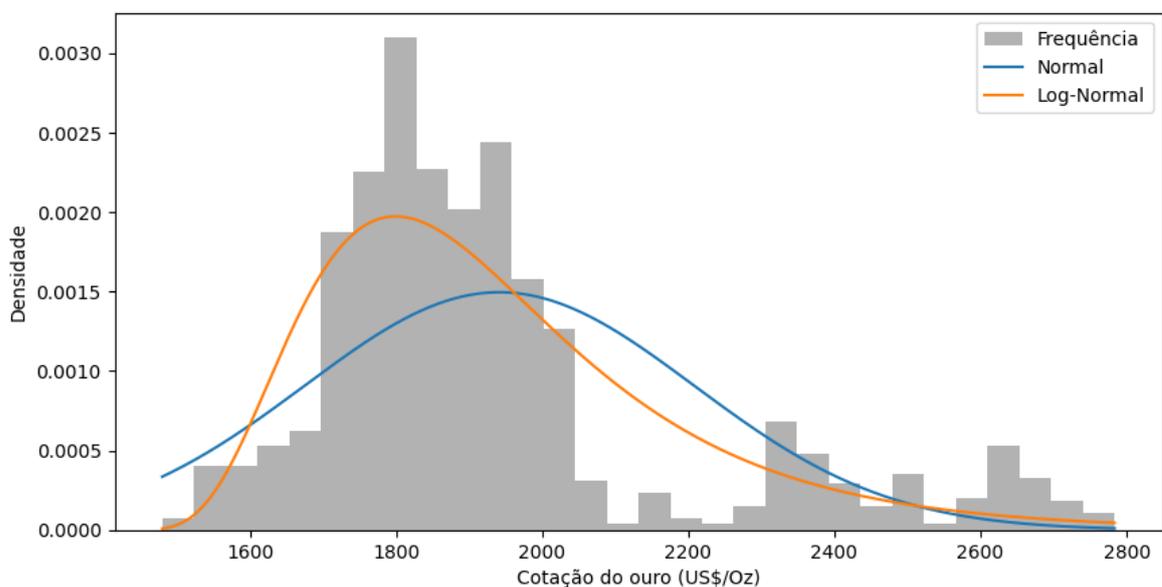
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Para o ajuste da distribuição às cotações do ouro, retratada na Figura 6, o teste KS apresentou os seguintes resultados:

- Teste KS para Normal: Estatística = 0.1804, p-valor = 0.00
- Teste KS para Log-Normal: Estatística = 0.0925, p-valor = 0.0

Portanto, a distribuição Log-Normal ($ks = 0.0925$) melhor representa os dados para utilização na Simulação de Monte Carlo.

Figura 6 – Ajuste das distribuições à cotação do ouro



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5.5 Definição de Cenários

Para analisar o impacto das incertezas no fluxo de caixa da mineração de ouro, foram definidos quatro cenários principais: Base, Otimista, Realista e Pessimista. Cada cenário considera variações significativas nas cotações do ouro e do dólar, e também no volume de ouro vendido, variáveis incertas definidas para a Simulação de Monte Carlo.

Cenário Base:

O cenário base reflete as condições econômicas atuais, sem grandes choques externos. Considera como premissa valores determinísticos nas cotações do ouro, do dólar e no ouro vendido, definidos no fluxo de caixa original e lineares ao longo dos doze meses. O resultado do fluxo de caixa livre é positivo, mas com pouca margem, demonstrando um cenário de uma operação previsível mas com possibilidade de melhoria no desempenho.

Cenário Realista:

O cenário realista representa uma situação intermediária entre os extremos otimista e pessimista, refletindo as variações naturais do mercado sem grandes distorções. Neste caso, as cotações do ouro e do dólar, bem como o volume de ouro vendido, apresentam flutuações dentro de uma faixa percentual dos valores previstos no plano base. Isso significa que há um nível moderado de incerteza, mas sem impactos severos na operação.

Cenário Otimista:

Este cenário assume uma combinação dos valores de incerteza favoráveis no setor da mineração do ouro, onde o dólar e o ouro estão valorizados, com um aumento significativo comparado à média histórica. Além disso, o total de ouro produzido é vendido. Ocorre um aumento relevante na margem de lucro ao aumentar a receita gerada pelo incremento da cotação do ouro e redução dos custos devido a valorização do dólar e volume de vendas.

Cenário Pessimista:

O cenário pessimista considera queda significativa na cotação do ouro em conjunto com a desvalorização do dólar frente ao real, aliada à uma redução percentual no volume vendido, que leva a uma redução da receita e aumento dos custos de produção.

Na simulação, a cotação do ouro foi modelada como uma distribuição lognormal e a cotação do dólar como uma distribuição normal. Para o volume de ouro vendido foi utilizada uma distribuição uniforme, com limite inferior de 95% do cenário base e o limite superior de 100% do plano base. Ao avaliar o comportamento do fluxo de caixa nas milhares de iterações feitas, os resultados foram expressos em termos percentuais considerando a probabilidade de fluxo de caixa livre positivo ou negativo, os intervalos de confiança, a distribuição de frequência dos resultados e os riscos associados a cada cenário.

5.6 Construção do Simulador

O trabalho foi realizado com a aplicação da Simulação de Monte Carlo em fluxos de Caixa. [Garrison et al. \(2013\)](#) afirma que as demonstrações de fluxo de caixa resumem todas as entradas e saídas de dinheiro de uma instituição durante um determinado período, e com isso, explica as variações do saldo final. Para atender aos padrões internacionais de relatórios financeiros (*IFRS - International Financial Reporting Standards*), as empresas apresentam os resultados dos fluxos de caixa de três seções: atividades operacionais, atividades de investimentos e atividades de financiamento.

5.6.1 Fluxo de caixa - Cenário base

A Tabela 2 apresenta as premissas adotadas para o cenário base, onde as variáveis de incerteza são determinísticas e lineares ao longo dos doze períodos analisados:

Quadro 2 – Premissas do cenário base

Item	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Cotação do ouro	US\$/Oz	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Cotação do dólar	R/US	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,3
Ouro vendido	Oz	7.042	8.431	11.248	11.625	10.746	11.342	11.769	11.346	10.859	9.124	8.425	8.126	120.083

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

- **Cotação do ouro (US\$/Oz):** Preço de venda do ouro no mercado internacional do período.
- **Cotação do dólar (R\$/US\$):** Taxa de conversão média do dólar para reais do período.
- **Ouro vendido (Oz):** Quantidade em onças (1Oz = 31,1035g de ouro) vendida.

As cotações do ouro e do dólar foram definidas a partir da média dos dados históricos coletados. O impacto das variáveis de incerteza será observado tanto na linha de receita quanto na linha de despesas no fluxo de caixa. Para as receitas, haverá o impacto da cotação do ouro, e para os custos somente a variável cotação do dólar será considerada. Para o ouro vendido, considera-se no plano base que toda produção será vendida, nas simulações foram aplicadas variações percentuais no volume de venda e seu impacto é observado na linha de receita. O fluxo de caixa base é apresentado na Tabela 3, considerando os doze períodos avaliados e o resultado anual esperado. A seguir são apresentados os conceitos e composição do fluxo de caixa.

Quadro 3 – Fluxo de caixa do cenário base (US\$ milhões)

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Receita	12,7	15,2	20,2	20,9	19,3	20,4	21,2	20,4	19,5	16,4	15,2	14,6	216,1
Custo Operacional	7,5	9,3	13,6	12,4	14,8	11,7	13,8	12,1	13,9	11,4	9,6	10,5	140,5
ORD	0,6	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	10,2
Exploração	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	3,5
Leasing	0,6	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7	0,7	10,7
SIB	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	4,8
Outros	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	4,5
AISC	9,6	11,8	16,7	15,6	17,7	14,9	17,1	15,2	16,9	14,0	11,9	12,8	174,3
Outros_NS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
AIC	9,7	11,8	16,7	15,7	17,8	14,9	17,1	15,2	16,9	14,0	11,9	12,8	174,6
Lucro antes dos impostos	3,0	3,3	3,5	5,3	1,6	5,5	4,1	5,2	2,6	2,4	3,2	1,8	41,6
Impostos	1,2	1,4	1,5	2,1	0,8	2,2	1,7	2,1	1,2	1,1	1,3	0,8	17,4
Fluxo de caixa livre	1,8	2,0	2,0	3,2	0,8	3,3	2,4	3,1	1,4	1,4	1,9	1,0	24,2

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Custo Operacional: O custo operacional é composto por todos os custos diretos e indiretos da produção do ouro, descontadas as devidas realocações como desenvolvimento primário e exploração. O OPEX (Operational Expenditure) é composto pelos custos com materiais, serviços e pessoal das áreas produtivas - mineração e processamento e também pelos custos gerais e administrativos. Do total geral do custo operacional, aproximadamente 25% se refere ao custo de mão de obra própria, composto principalmente pelos custos com salários, benefícios trabalhistas, alimentação, participação em resultados, transporte fretado e planos de saúde. Os serviços correspondem à 29% do custo total e são compostos pelos custos com manutenção de equipamentos pesados e veículos, manutenção civil, administração, escavação e transporte de minério e estéril, transporte de carga, limpeza, serviços ambientais, consultoria, dentre outros. Por fim, os materiais, que compõe por volta de 46% do montante total, é composto principalmente por componentes de equipamentos de mineração pesados, materiais de contenção, perfuração e bombeamento, combustível e lubrificantes, explosivos, reagentes, peças de reposição elétrica e mecânica, pneus, dentre outros.

AISC: O All-In Sustaining Cost (AISC) é uma métrica da indústria de mineração de ouro que representa o custo total de produção por onça do metal. Considera além do custo operacional, o CAPEX (Capital Expenditure) ou despesas de capital, que se referem aos investimentos em exploração, desenvolvimento primário, estudos, projetos e ativos para manutenção da operação e outros custos. Com o AISC é medido o desempenho das operações de forma padronizada, visto que os custos totais absolutos diferem de forma significativa de acordo com a configuração das mesmas.

AIC: O All in Costs (AIC) é calculado a partir da soma do AISC a custos non sustaining, ou seja, custos associados a investimentos estratégicos de expansão ou de novas operações. Isso pode incluir, por exemplo, exploração non sustaining, projetos de expansão e outros.

Lucro antes dos impostos: O lucro antes dos impostos, representa o resultado operacional da empresa antes da dedução dos tributos. Ele é calculado subtraindo-se o AIC da receita gerada pela venda do ouro. Esse valor reflete a eficiência da operação antes da incidência dos impostos e permite avaliar a rentabilidade bruta da mina.

Impostos: Considera a soma da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), com alíquota de 1,5% sobre a receita bruta, e o Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ), que incide a uma taxa de 15% sobre o lucro tributável, acrescido de 9% de Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL). Adicionalmente, há uma sobretaxa de 10% sobre lucros superiores a R\$20 mil reais, convertidos para dólares pelo câmbio médio do período.

Fluxo de caixa livre: Montante final de caixa disponível após a dedução de todos os custos operacionais, tributários e investimentos. Ele é dado pela subtração dos impostos totais do lucro antes dos impostos. Essa métrica é utilizada para avaliar a capacidade de gerar caixa para reinvestimentos, pagamento de dívidas e distribuição de dividendos. Um FCL positivo e crescente ao longo dos meses indica uma operação financeiramente saudável, enquanto um FCL negativo ou reduzido pode sinalizar desafios na sustentabilidade financeira da mina.

5.6.2 Modelo

Inicialmente foram definidas as funções para cálculo dos seguintes itens: receita, AISC, AIC, lucro antes dos impostos, fluxo de caixa livre e impostos totais. Em seguida, foram calculados os parâmetros das variáveis de incerteza, cotação do ouro e do dólar, baseados nos dados históricos e conforme a distribuição de probabilidade de cada um. Para o volume de ouro vendido, definiu-se um percentual de variação para a distribuição uniforme. Os vetores de custos e premissas foram definidos e o fluxo de caixa base foi calculado para comparação posterior. Com as funções e vetores definidos, iniciou-se a simulação, o algoritmo 1 abaixo apresenta o pseudo-código da Simulação de Monte Carlo:

Algoritmo 1: Simulação de Monte Carlo do fluxo de caixa**Dados:** N (número de simulações), meses = 12**Resultado:** Listas com os resultados anuais e mensais

```

1  para  $i \leftarrow 1$  até  $N$  faça
    // Gerar valores aleatórios
2  para  $mes \leftarrow 1$  até 12 faça
3       $preco\_ouro[mes] \sim \text{LogNormal}(\mu, \sigma)$ ;
4       $cambio[mes] \sim \text{Normal}(media\_dolar, desvio\_dolar)$ ;
5       $ouro\_vendido[mes] \sim \text{Uniform}(\alpha \cdot ouro\_vendido\_base, ouro\_vendido\_base)$ ;
    // Calcular indicadores financeiros
6       $receita\_sim[mes] \leftarrow (ouro\_vendido[mes], preco\_ouro[mes])$ ;
7       $aisc\_sim[mes] \leftarrow (Opex, ORD, Explo, Leasing, SIB, Outros, cambio[mes])$ ;
8       $aic\_sim[mes] \leftarrow (aisc\_sim[mes], Outros\_ns, cambio[mes])$ ;
9       $lucro\_antes\_impostos[mes] \leftarrow (receita\_sim[mes], aic\_sim[mes])$ ;
10      $impostos\_sim[mes] \leftarrow$ 
         $(receita\_sim[mes], lucro\_antes\_impostos[mes], cambio[mes])$ ;
11      $fcl\_sim[mes] \leftarrow (receita\_sim[mes], aic\_sim[mes], impostos\_sim[mes])$ ;
12  fim
    // Guardar resultados
13   $result\_pretax\_mensal \leftarrow lucro\_antes\_impostos$ ;
14   $result\_fcl\_mensal \leftarrow fcl\_sim$ ;
15   $result\_receita \leftarrow \sum receita\_sim$ ;
16   $result\_aisc \leftarrow \sum aisc\_sim$ ;
17   $result\_aic \leftarrow \sum aic\_sim$ ;
18   $result\_pretax \leftarrow \sum lucro\_antes\_impostos$ ;
19   $result\_prod \leftarrow \sum ouro\_vendido$ ;
20   $result\_preco\_ouro \leftarrow \frac{1}{12} \sum preco\_ouro$ ;
21   $result\_cambio \leftarrow \frac{1}{12} \sum cambio$ ;
22   $result\_impostos \leftarrow \sum impostos\_sim$ ;
23   $result\_fcl \leftarrow \sum fcl\_sim$ ;
24  fim

```

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os principais parâmetros do modelo foram definidos de forma a garantir a representatividade dos cenários simulados e incluem o número de iterações realizadas, o horizonte temporal da análise e os valores de referência para as variáveis de incerteza. A Tabela 4 apresenta os parâmetros utilizados na simulação de Monte Carlo.

Quadro 4 – Parâmetros da Simulação de Monte Carlo

Parâmetro	Descrição	Valor
Número de simulações	Número de iterações do modelo	100.000
Períodos	Horizonte temporal da análise	12 meses
Distribuição da cotação do ouro	Distribuição Log-normal	Lognormal (7,562, 0,137)
Distribuição da cotação do dólar	Distribuição Normal	Normal (5,22, 0,34)
Distribuição do ouro vendido	Distribuição Uniforme	Uniforme [0,95 × base, base]

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Execução da simulação: O simulador gerou 100.000 iterações que representam a evolução do desempenho dos cenários ao longo do tempo. Esse valor foi definido para garantir uma amostragem significativa dos possíveis resultados. Com isso, foi possível observar como o fluxo de caixa se comporta sob diferentes circunstâncias, para cenários mais otimistas ou pessimistas, e a sensibilidade de cada cenário a essas mudanças.

Análise dos resultados: Após executar o modelo, os resultados de cada cenário foram consolidados e confrontados com o cenário base, utilizando análises que mostraram os impactos da flutuação das cotações do ouro e do dólar, e também do volume vendido, e os resultados foram apresentados na seção seis. Com ciência dos drivers críticos, foi possível, por exemplo, visualizar grandes impactos no desempenho dos cenários e propor estratégias de mitigação de riscos na escolha do plano ideal. Essa abordagem buscou dar mais sustentação para que o orçamento de médio prazo esteja preparado para lidar com as incertezas inerentes ao setor da mineração de ouro, oferecendo um modelo mais robusto para a tomada de decisões estratégicas.

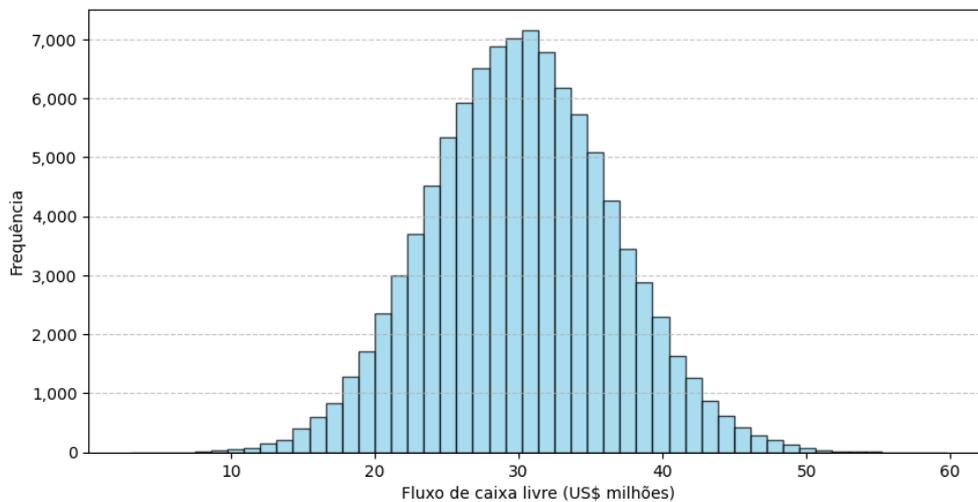
6 Resultados

Este capítulo apresenta as análises dos resultados obtidos na Simulação de Monte Carlo do fluxo de caixa, considerando a interação entre as variáveis de incerteza definidas para este trabalho. A avaliação por meio de modelagem e simulação permitiu uma visão clara do impacto dessas variáveis no desempenho econômico-financeiro do projeto e o potencial da ferramenta como instrumento de apoio à tomada de decisão.

6.1 Distribuição do fluxo de caixa livre - SMC

A análise do fluxo de caixa livre (FCL) sob condições de incerteza é essencial para o entendimento e análises do desempenho econômico dos planos de produção projetados. A Simulação de Monte Carlo foi utilizada para retratar a variabilidade dos resultados sob diferentes cenários e suas probabilidades. A Figura 7 apresenta o histograma da distribuição dos valores simulados do FCL, retratando a frequência de projeções em 100.000 iterações.

Figura 7 – Distribuição do fluxo de caixa livre - SMC



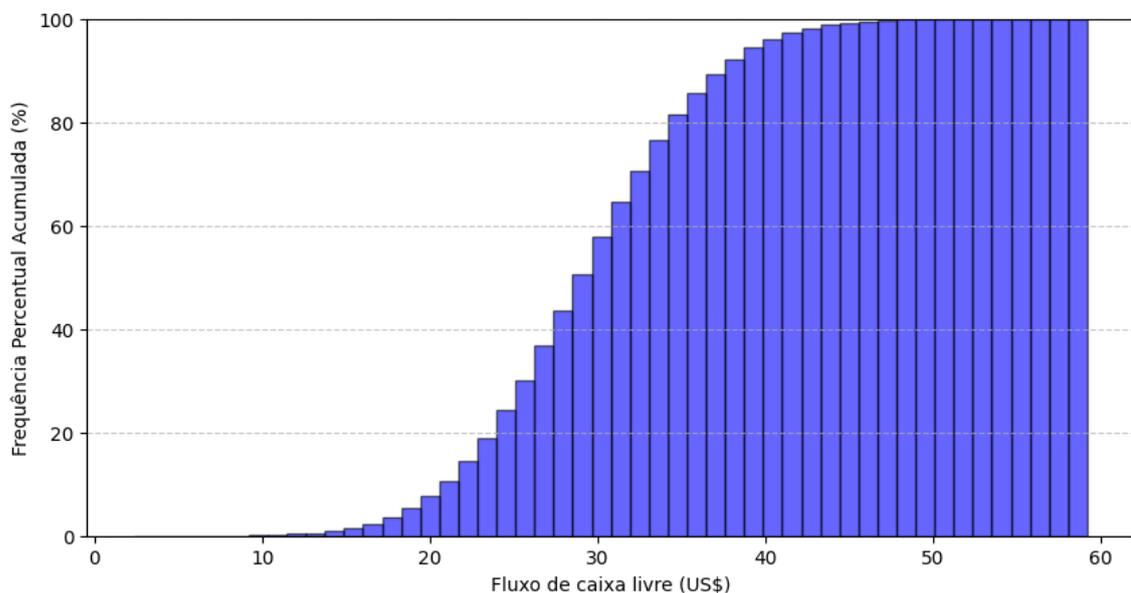
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O histograma apresenta uma distribuição aproximadamente normal, com uma assimetria leve à direita, o que indica que apesar do fluxo de caixa livre ter uma faixa central bem definida, ocorrem valores significativamente mais altos ou mais baixos. O resultado da simulação está coerente já que duas das variáveis de incerteza, cotação do ouro e do dólar, foram modeladas como distribuições log-normal e normal, respectivamente. O volume de ouro vendido foi modelado como uma distribuição uniforme, que considerou um percentual baixo de variação, portanto, não afetou de forma expressiva o resultado geral.

O pico da distribuição ocorreu em aproximadamente US\$30 milhões, o que sugere que essa é a faixa de resultado esperado considerando as incertezas aplicadas. A dispersão dos resultados mostra que o fluxo de caixa livre pode variar entre US\$10 milhões e US\$50 milhões, e que o limite inferior está mais restrito, o que torna evidente o risco associado e a necessidade de se antecipar a ele.

Para entender como esses valores se acumulam ao longo das simulações, criou-se um histograma de frequência percentual acumulada, apresentado na Figura 8, que demonstra a probabilidade do fluxo de caixa livre estar em um determinado valor, facilitando a compreensão do risco de forma geral.

Figura 8 – Frequência acumulada do fluxo de caixa livre



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Observa-se que 50% das simulações resultaram em um FCL menor ou igual a aproximadamente US\$30 milhões, indicando um ponto de equilíbrio ou ponto central dos resultados. A análise dos percentis críticos auxiliam na identificação de riscos potenciais. Em 25% das simulações o FLC apresentou um resultado menor que US\$25 milhões, sinalizando alerta para períodos de menor liquidez e a necessidade de efetuar ajustes ao plano orçamentário. Todavia, 75% das simulações resultaram em um FCL abaixo de US\$35 milhões, indicando que esse é um limite superior das projeções. Além disso, o percentual de FCL menor que US\$15 milhões, indicou que a probabilidade de resultados extremamente negativos é baixa.

6.2 Estatísticas descritivas - Simulações

6.2.1 Estatísticas descritivas das variáveis

A análise estatística das variáveis estocásticas foi realizada com objetivo de melhor compreender sua distribuição, volatilidade e influência no fluxo de caixa livre. A Tabela 5 apresenta a média, mediana, desvio padrão, assimetria e curtose dos componentes do fluxo de caixa.

Quadro 5 – Estatísticas descritivas da simulação geral

Variável	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
Receita	US\$ milhões	227,3	227,1	9,2	0.12	0.03
AISC	US\$ milhões	176,0	175,9	3,4	0.12	0.01
AIC	US\$ milhões	176,3	176,2	3,4	0.12	0.01
Ouro vendido	Oz	117,0	117,0	504.8	-0.00	-0.12
Cotação do ouro	US\$/Oz	1,941.3	1,939.9	77.01	0.11	0.02
Cotação do dólar	R\$/US\$	5.22	5.22	0.10	0.01	-0.02
Fluxo de caixa livre	US\$ milhões	30,2	30,1	6,4	0.07	0.02

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

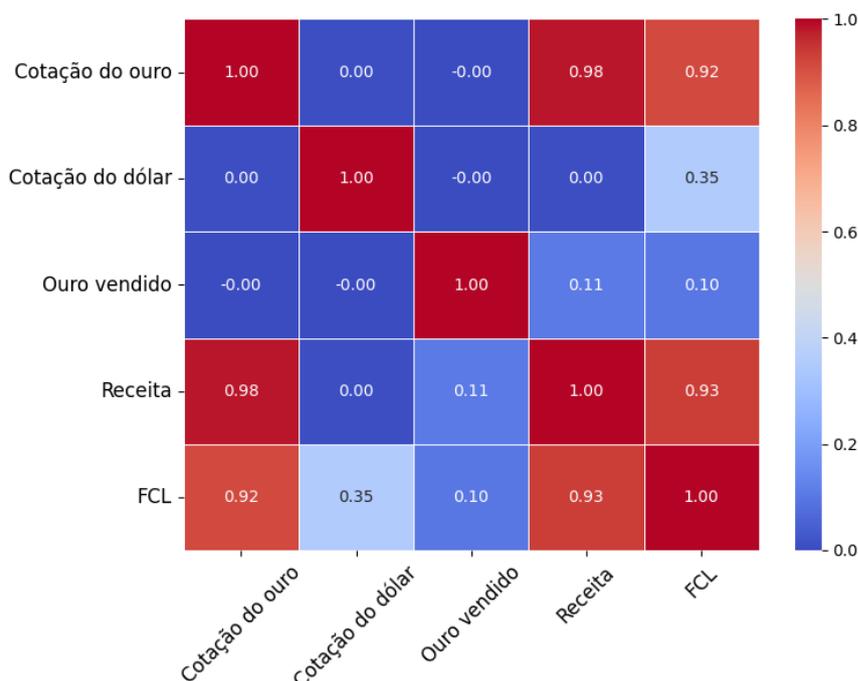
Na receita simulada a média foi de US\$227M milhões, com um FCL médio de US\$30,1 milhões. A mediana ficou próxima à média, demonstrando que a distribuição das variáveis são relativamente simétricas e sem grandes desvios. As variáveis com maior desvio padrão foram a receita e o FCL, indicando uma alta volatilidade comparando às demais. Isso sugere que pequenas alterações nas premissas econômicas podem afetar o resultado de forma mais acentuada.

6.3 Correlação entre as variáveis do fluxo de caixa

Para entender quais fatores econômicos e operacionais impactam a receita e o fluxo de caixa livre a correlação entre as variáveis é essencial. O mapa de calor da Figura 9 retrata a matriz de correlação, onde os valores próximos a 1 indicam uma relação positiva forte e valores próximos à zero indicam baixa relação.

A análise da correlação entre as variáveis do fluxo de caixa indicou que a cotação do ouro foi um fator determinante nos resultados de fluxo de caixa livre, que apresenta uma correlação de 0.92, e também possui forte correlação com a receita, diretamente. A cotação do dólar, por sua vez, apresenta uma correlação moderada, logo, as flutuações cambiais afetam os resultados porém de forma menos intensa. Já o volume de ouro vendido apresentou uma baixa correlação, isso se deve ao fato de que consideramos uma variação limitada a 5% do volume vendido, e não à produção de ouro.

Figura 9 – Matriz de correlação das variáveis de incerteza



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

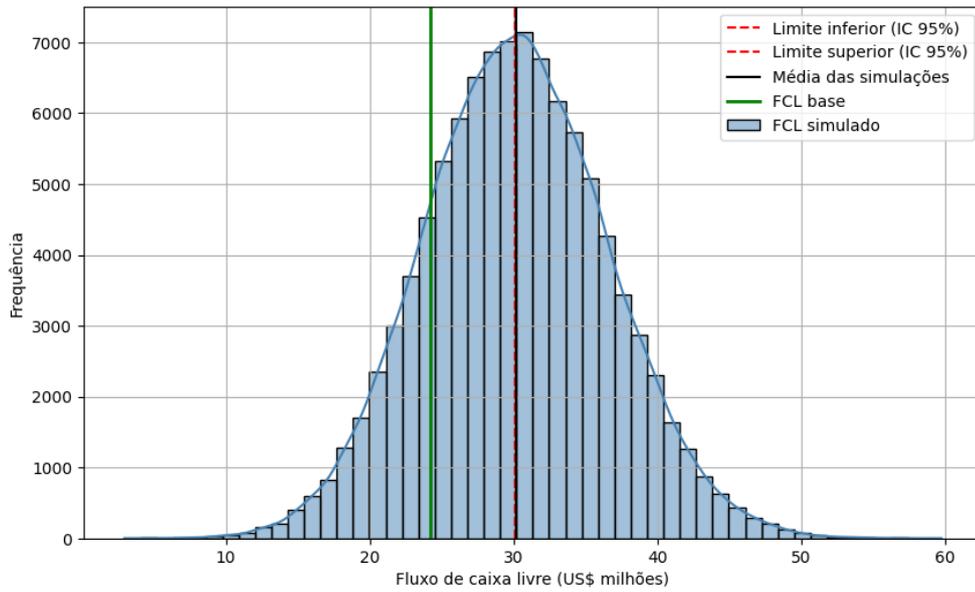
6.4 Cenário determinístico versus simulações

6.4.1 Cenário base e simulações - FCL

A comparação entre os cenários base e as simulações focou no resultado do fluxo de caixa livre. Como apresentado anteriormente, o cenário base é um plano de produção simplificado e possui premissas determinísticas para os componentes das simulações, além disso, ele apresenta uma operação com margem baixa, justamente para que fosse possível avaliar o impacto de pequenas alterações em poucas premissas para cenários mais extremos. A introdução de aleatoriedade apenas nas variáveis de mercado e não nos drives operacionais foi uma escolha metodológica para maior controle e entendimento do funcionamento da Simulação de Monte Carlo. A Figura 10 apresenta a comparação do fluxo de caixa livre do cenário base à distribuição geral das simulações, dentro do intervalo de confiança de 95%.

A linha verde representa o FCL do cenário base, que resultou em US\$24 milhões, e a linha preta representa a média de todas as simulações efetuadas. Nota-se que a linha do FCL base está posicionada abaixo da linha do intervalo de confiança, isso reforça o conservadorismo do plano que, nesse caso, não captura a variabilidade e tendência de crescimento das cotações do dólar e do ouro. Além disso, o IC 95% está levemente deslocado à direita, o que sugere que a probabilidade do FCL simulado ser mais alto que o FCL base é maior, no entanto, existem os riscos associados à dispersão das variáveis de incerteza modeladas. No próximo tópico serão discutidos os resultados dos diferentes cenários simulados e suas implicações.

Figura 10 – Comparativo do Cenário Base x simulações

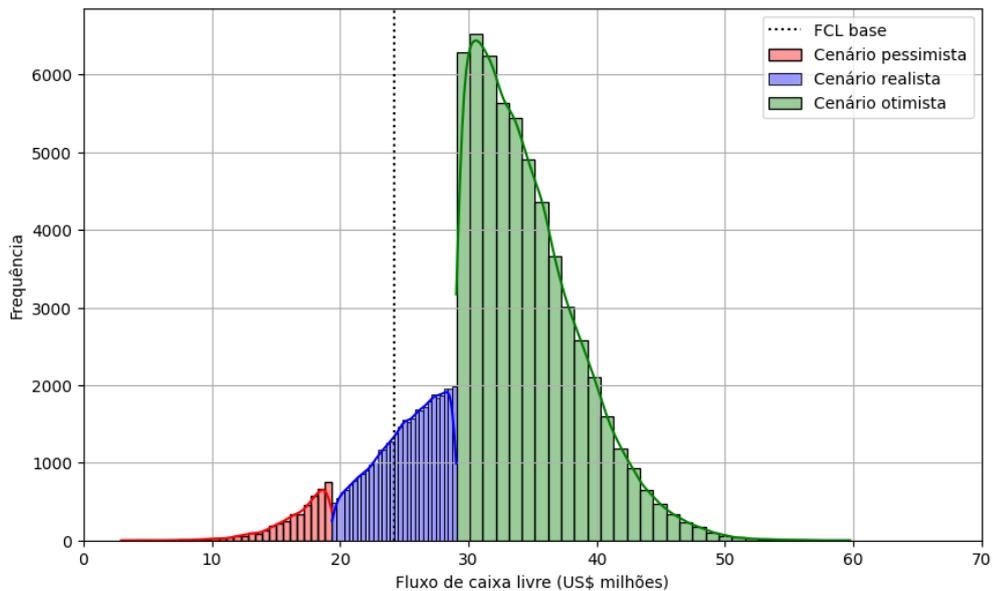


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

6.5 Cenários pessimista, realista e otimista

Conforme apresentado na descrição e modelagem do problema, foram definidos três cenários simulados para comparação ao cenário base: pessimista, realista e otimista. A Figura 11 apresenta o gráfico comparativo das distribuições, onde a linha preta pontilhada representa o FCL base, referência para análise do deslocamento dos cenários simulados.

Figura 11 – Cenário base x cenários pessimista, otimista e realista



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Observa-se que o cenário realista se aproxima mais do cenário base, como esperado, e os demais apresentam maiores desvios, que representam os riscos de prejuízo e as oportunidades de ganho. A distribuição do cenário pessimista está concentrada em valores significativamente menores, onde a média do FCL gira em torno de US\$17 milhões, bem abaixo do valor base (US\$24 milhões), este cenário apresentou uma probabilidade de ocorrência de 4,37%, um valor baixo mas que indica que em cenários adversos de desvalorização do dólar e do ouro, aliados a redução do ouro vendido, existe o risco de uma queda brusca no resultado absoluto.

Já o cenário otimista mostra uma concentração maior, com média de US\$34 milhões, refletindo no FCL as condições econômicas favoráveis do mercado. Isso mostra que a lucratividade pode crescer substancialmente, de forma que a operação pode se preparar para investimentos e possíveis expansões, todavia, esse potencial de ganho também reflete os riscos associados a volatilidade. A adoção de premissas conservadoras prepara a organização para uma operação que busque o melhor desempenho, onde a lucratividade não dependa de fatores externos.

Dessa forma, a empresa deve estar preparada para os cenários adversos mas também possuir estratégias de aproveitamento dos ciclos favoráveis, principalmente no que se refere ao médio e longo prazo. A simulação não gerou probabilidade de lucro anual menor ou igual a zero, o que reforça a robustez do plano para cenários desfavoráveis no médio prazo, no entanto, isso não quer dizer que não ocorra ao longo dos meses, mas que se ocorreu foi possível recuperar em outros períodos garantindo um saldo positivo ao final do período.

Estatísticas descritivas e intervalos de confiança

A Tabela 6 apresenta as estatísticas descritivas e reforça as diferenças entre os cenários.

Quadro 6 – Estatísticas descritivas dos cenários simulados

Cenário	Média	Mediana	Desvio Padrão	IC 95% Inferior	IC 95% Superior	VaR 95%
Pessimista	16,9	17,5	2,2	16,8	16,9	12,4
Realista	25,2	25,6	2,56	25,2	25,2	20,5
Otimista	34,6	33,8	4,1	34,6	34,6	29,5
Base	24,2	24,2	nan	nan	nan	24,2

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

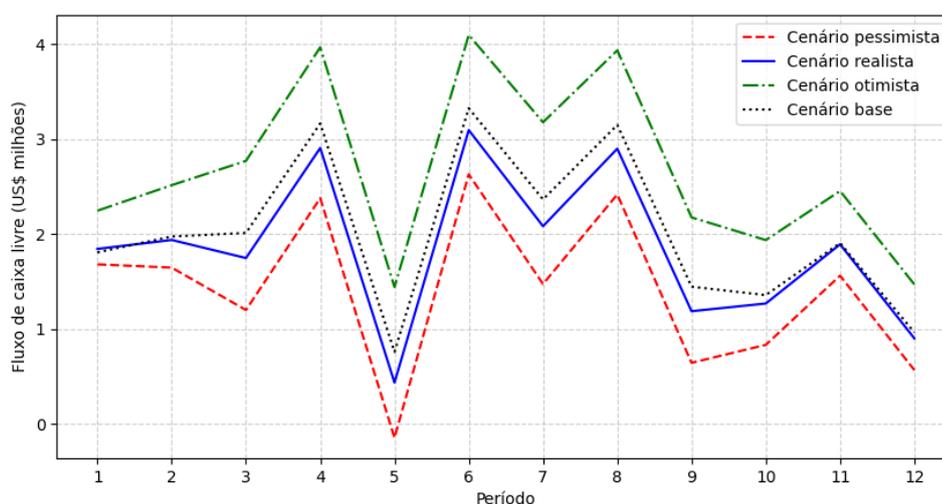
O desvio padrão é um dos principais indicadores de risco, e observa-se que o cenário otimista possui a maior volatilidade (US\$4,1 milhões), enquanto o pessimista tem menor variação (US\$2,22 milhões), embora seus valores absolutos sejam mais baixos. Isso reforça que as condições favoráveis trazem além da maior rentabilidade esperada, maior incerteza nos resultados.

O intervalo de confiança de 95% revela a faixa de variação esperada do FCL em cada cenário, que para os três cenários foram relativamente estreitos, indicando que a média do FCL ficou estável. Essas estatísticas apontam que a empresa deve adotar estratégias diferenciadas para cada cenário. Em condições pessimistas, a prioridade deve ser a preservação de caixa e a redução de custos, melhoria de desempenho da operação. Já em cenários favoráveis, existe espaço para estratégias mais agressivas de crescimento e investimento, desde que os riscos sejam gerenciados de forma adequada.

6.6 Fluxo de caixa livre mensal por cenário

Por fim, a Figura 12 apresenta a média do fluxo de caixa livre ao longo dos meses para cada cenário, permitindo uma análise da variação temporal dos resultados financeiros.

Figura 12 – Fluxo de caixa livre mensal por cenário



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O cenário otimista apresenta picos expressivos, especialmente nos períodos quatro e seis, evidenciando meses de alto desempenho financeiro, possivelmente associados a períodos de valorização do ouro e/ou alta na taxa de câmbio. O cenário realista tem um comportamento intermediário, próximo ao fluxo de caixa livre base, com pequenas variações. A estabilidade desse plano o torna útil como referência para projeções conservadoras.

Já o cenário pessimista mostra quedas acentuadas, com destaque para o mês cinco, onde o FCL quase zero, sugerindo um período crítico que pode comprometer a sustentabilidade econômico-financeira da operação. Isso reforça o fato de que apesar do percentual de resultados anuais baixo, no decorrer dos meses essa probabilidade aumenta, podendo haver prejuízo inclusive. Portanto, é essencial que exista um gerenciamento eficiente e flexível dos orçamentos, que considere as sazonalidades e incertezas presentes, dessa forma, é possível ajustar as estratégias para se obter um resultado anual satisfatório, dentro das possibilidades da organização.

7 Considerações Finais

Este trabalho teve como principal objetivo demonstrar a relevância da simulação na análise de incertezas no planejamento orçamentário do setor de mineração de ouro, com foco na previsão de cenários e no suporte à tomada de decisão. Inicialmente, foram identificados os principais riscos e incertezas que impactam o orçamento do setor, destacando-se a volatilidade das cotações do ouro e do dólar, bem como as variações no volume de ouro vendido. Em seguida, foram coletados, tratados e analisados dados históricos reais dessas variáveis, com base nos quais foram definidas distribuições de probabilidade representativas, utilizando testes estatísticos apropriados.

A partir dessas análises, desenvolveu-se um modelo conceitual de fluxo de caixa para uma mina de ouro fictícia, integrando componentes de receita, custos operacionais, investimentos e impostos, conforme a estrutura proposta. Para lidar com as incertezas, aplicaram-se distribuições normal, log-normal e uniforme às variáveis-chave, e implementou-se a Simulação de Monte Carlo, com 100.000 iterações, permitindo observar a variação do fluxo de caixa frente a diferentes combinações possíveis das variáveis.

Foram construídos cenários simulados — base, realista, otimista e pessimista — que evidenciaram o impacto das incertezas no desempenho orçamentário. As análises dos resultados, por meio de estatísticas descritivas, histogramas, frequência acumulada e matriz de correlação, mostraram que a cotação do ouro é a variável de maior influência sobre o fluxo de caixa livre, seguida pela cotação do dólar. Além disso, observou-se que o cenário base, de natureza conservadora, apresentou resultado abaixo da média das simulações, reforçando sua limitação em capturar a variabilidade real do mercado.

Com isso, os objetivos específicos foram atendidos de forma integrada, com cada etapa contribuindo para a construção de um modelo robusto e flexível, capaz de incorporar incertezas ao planejamento financeiro. A metodologia proposta demonstrou potencial para auxiliar na elaboração de planos mais realistas, reduzir riscos e apoiar a tomada de decisões estratégicas em um setor marcado por alta volatilidade e complexidade operacional.

Por outro lado, reconhecem-se limitações, principalmente decorrentes da simplificação do modelo e da restrição do número de variáveis de incerteza consideradas, visto que o setor é intrinsecamente complexo e dinâmico. Além disso, a utilização de dados históricos na definição das distribuições pressupõe que tendências passadas se mantenham, o que pode não refletir integralmente a dinâmica futura do mercado. Para estudos futuros, recomenda-se a ampliação do modelo com a incorporação de outras variáveis de risco e a associação de técnicas de otimização, o que poderá aprimorar ainda mais o processo de apoio à decisão no contexto da mineração.

Referências

- ADVFN. **Mercado de Ouro**. 2024. Disponível em: <<https://br.advfn.com/investimentos/commodities/ouro/mercados>>. Acesso em: 29 jan. 2025.
- ANDRADE, I. R. S. Orçamento empresarial e planejamento estratégico. UFBA, Faculdade de Ciências Contábeis; Superintendência de Educação a Distância, 2020.
- ANDRADE, M. L. A. d.; CUNHA, L. M. d. S.; VIEIRA, J. R. M. Ouro: panorama do segmento mineral. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 1996.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Banco Central do Brasil - Página Oficial**. 2025. Acesso em: 08 jan. 2025. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/>>.
- BERTRAND, J.; FRANSOO, J. Modelling and simulation. In: _____. [S.l.: s.n.], 2009. p. 265 – 306. ISBN 0-415-99055-6.
- BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. **Princípios de Finanças Corporativas-12**. [S.l.]: AMGH, 2018.
- BRUNI, A. L.; GOMES, S. M. da S. Controladoria empresarial: conceitos, ferramentas e desafios. EDUFBA, 2010.
- CHRISTIE-DAVID, R.; CHAUDHRY, M.; KOCH, T. W. Do macroeconomics news releases affect gold and silver prices? **Journal of Economics and Business**, Elsevier, v. 52, n. 5, p. 405–421, 2000.
- CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. [S.l.]: CRC press, 2003.
- CORRAR, L. J. O modelo econômico da empresa em condições de incerteza aplicação do método de simulação de monte carlo. **Caderno de estudos**, SciELO Brasil, p. 01–11, 1993.
- DEGHANI, H.; ATAEE-POUR, M. Determination of the effect of operating cost uncertainty on mining project evaluation. **Resources Policy**, Elsevier, v. 37, n. 1, p. 109–117, 2012.
- DRURY, C. M. **Management and cost accounting**. [S.l.]: Springer, 2013.
- FERREIRA, F. B.; DIEHL, C. A. Orçamento empresarial e suas relações com o planejamento estratégico. **Pensar Contábil**, v. 14, n. 54, 2012.
- FERREIRA, T. B. **Relação entre liquidez e risco em mercado financeiro: o paradoxo do ouro**. Tese (Doutorado), 2016.
- FREZATTI, F. Orçamento empresarial. **São Paulo: Atlas**, v. 2, 2000.
- FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. [S.l.]: Companhia das Letras, 2020.
- GARCIA, J. L. F. **Avaliação econômica de projetos de mineração, envolvendo decisões de investimento, sob condições de incerteza**. 2003. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-03072024-134113/en.php>>.

GARRISON, R. H.; NOREEN, E. W.; BREWER, P. C. **Contabilidade gerencial**. [S.l.]: AMGH Editora, 2013.

GOOGLE.COM. **Google Colab**. 2019. Disponível em: <<https://colab.research.google.com/notebook#>>.

HAGER, J.; YADAVALLI, V.; WEBBER-YOUNGMAN, R. Stochastic simulation for budget prediction for large surface mines in the south african mining industry. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, v. 115, p. 531–539, 2015. Disponível em: <https://scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532015000600013>.

HANSEN, S. C.; OTLEY, D. T.; STEDE, W. A. Van der. Practice developments in budgeting: an overview and research perspective. **Journal of management accounting research**, v. 15, n. 1, p. 95–116, 2003.

HARTMAN, H. **Introductory mining engineering**. [S.l.]: Wiley, 2002.

HILSON, G.; MACONACHIE, R. Artisanal and small-scale mining and the sustainable development goals: Opportunities and new directions for sub-saharan africa. **Geoforum**, Elsevier, v. 111, p. 125–141, 2020.

IT, T.; WARREN, R. **O que move o preço do dólar? Um guia completo para você entender**. 2021. <<https://warren.com.br/magazine/preco-do-dolar/>>. Warren Magazine. Acesso em: 28 jan. 2025.

KEYNES, J. M. The General Theory of Employment. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 51, n. 2, p. 209–223, 02 1937. ISSN 0033-5533. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/1882087>>.

KNIGHT, F. H. Risk, uncertainty and profit. **Hart, Schaffner and Marx**, 1921.

LAM, J. **Enterprise risk management: from incentives to controls**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014.

LAVARDA, C. E. F.; PEREIRA, A. M. Planejamento e controle orçamentário empresarial como ferramenta de apoio à tomada de decisão. **ABCustos**, v. 6, n. 1, p. 40–58, 2011.

LIVROSIMULACAO.ENG.BR. **Introdução ao SimPy | Introdução ao SimPy: Simulação em Python**. 2022. Disponível em: <https://simpy.livrosimulacao.eng.br/parte-i-introducao/introducao_ao_simpy>.

MATHIS, A. O mercado comum de ouro (paper 061). **Papers do NAEA**, v. 1, n. 1, 1996.

MATPLOTLIB: Visualization with Python. 2025. Accessed: 2025-01-21. Disponível em: <<https://matplotlib.org/>>.

METROPOLIS, N. *et al.* The beginning of the monte carlo method. **Los Alamos Science**, v. 15, n. 584, p. 125–130, 1987.

MILLER, K. D. A framework for integrated risk management in international business. **Journal of international business studies**, Springer, v. 23, p. 311–331, 1992.

MINERAÇÃO-IBRAM, I. B. de. **Informações sobre a economia mineral brasileira**. [S.l.]: IBRAM Belo Horizonte, 2015.

MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon. **Interfaces, INFORMS**, v. 4, n. 3, p. 46–58, 1974.

(MME), M. D. M. E. E. **Perfil do Ouro: Relatório Técnico 28 – Produto 19**. [S.l.]: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), Banco Mundial, Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), 2009. <https://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448620/P19_RT28_Perfil_do_Ouro.pdf/9c42503d-4270-67fb-4a57-5d88fd53fdee?version=1.0>. Projeto ESTAL – Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia. Acesso em: 28 jan. 2025.

MOREIRA, K. d. L. B.; SANTOS, A. A.; MELO, L. de A.; SANCHES, A. L.; MEDEIROS, D. A. C. de; AGUIAR, H. de S. Análise probabilística da viabilidade de investimento calculando o vpl e utilizando a simulação de monte carlo. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 11, p. e4382–e4382, 2024.

MUCCI, D. M.; FREZATTI, F.; DIENG, M. As múltiplas funções do orçamento empresarial. **Revista de Administração Contemporânea**, SciELO Brasil, v. 20, n. 3, p. 283–304, 2016.

NEVSKAYA, M.; SHABALOVA, A.; KOSOVTSOVA, T.; NIKOLAYCHUK, L. Applications of simulation modeling in mining project risk management: criteria, algorithm, evaluation. **Journal of Infrastructure, Policy and Development**, v. 8, p. 5375, 08 2024. Disponível em: <<https://systems.enpress-publisher.com/index.php/jipd/article/viewFile/5375/3315>>.

NUMPY.ORG. **What is NumPy? — NumPy v2.1 Manual**. 2024. Disponível em: <<https://numpy.org/doc/stable/user/whatisnumpy.html>>.

PANDAS - Python Data Analysis Library. 2025. Accessed: 2025-01-21. Disponível em: <<https://pandas.pydata.org/>>.

ROBINSON, S. **Simulation: the practice of model development and use**. [S.l.]: Bloomsbury Publishing, 2014.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J.; LAMB, R. **Administração financeira**. [S.l.]: AMGH Editora, 2015.

SANTANDER. **Afinal, como a variação da cotação do dólar afeta meu negócio?** 2021. <<https://santandernegocioseempresas.com.br/conhecimento/gestao-financeira/variacao-da-cotacao-do-dolar/>>. Programa Avançar. Acesso em: 28 jan. 2025.

SAVOLAINEN, J.; RAKHSHA, R.; DURHAM, R. Simulation-based decision-making system for optimal mine production plan selection. **Mineral Economics**, Springer Science+Business Media, v. 35, p. 267–281, 01 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13563-021-00297-w>>.

SCIPY: Scientific Computing Tools for Python. 2025. Accessed: 2025-01-21. Disponível em: <<https://scipy.org/>>.

SILVA, O. P. da. A mineração em minas gerais: passado, presente e futuro. **Geonomos**, 1995.

SOUSA, Á. O papel da distribuição normal na estatística. **Correio dos Açores**, Gráfica Açoreana, Lda, p. 14–14, 2019.

TOBISOVA, A.; SEŇOVÁ, A.; ROZENBERG, R. **Model for Sustainable Financial Planning and Investment Financing Using Monte Carlo Method**. MDPI, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/362105501_Model_for_Sustainable_Financial_Planning_and_Investment_Financing_Using_Monte_Carlo_Method>.

TRINDADE, R. d. B. E.; FILHO, O. B. **Extração de Ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. [S.l.]: CETEM/MCT, 2002.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. **Itajubá: Unifei**, v. 50, p. 669–676, 2012.

VERBEETEN, F. H. Do organizations adopt sophisticated capital budgeting practices to deal with uncertainty in the investment decision?: A research note. **Management accounting research**, Elsevier, v. 17, n. 1, p. 106–120, 2006.

WANDERLEY, L. J. Ouro como moeda, ouro como commodity. **Revista de Economia Política e História Econômica**, v. 34, p. 5–47, 2015.

APÊNDICE A – Termo de responsabilidade

O texto do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Simulação como ferramenta de análise de incertezas em orçamentos de médio prazo no setor da mineração de ouro” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 14 de março de 2025.



Yasmim Celiana Santos