

Otimização de Portfólio com Stable Tail-Adjusted Return Ratio, Volatilidade Dinâmica e Simulação Estocástica de Monte Carlo

Grupo 5: Dev Ensina

Leandro Santos
Tales Rafael Morales Pino
Victor Hugo Mendes Braga

30 de janeiro de 2026

Resumo

Este projeto apresenta um framework de otimização e validação de portfólios financeiros baseado em medidas de risco de cauda, uma espécie de "seguro" para momentos de estresse no mercado. Partindo da evidência empírica de que retornos financeiros não seguem distribuições normais, propõe-se uma metodologia que substitui a variância pela perda extrema esperada (Conditional Value-at-Risk – CVaR). O risco é modelado por meio de uma matriz de covariância dinâmica estimada via Exponentially Weighted Moving Average (EWMA), enquanto a distribuição dos retornos é capturada por simulações de Monte Carlo com choques oriundos de uma distribuição t-Student. A alocação é avaliada por métricas risco-retorno sensíveis à cauda, com ênfase no Starr Ratio, e validada por procedimentos formais de backtesting. Os resultados evidenciam ganhos de robustez em relação a abordagens clássicas baseadas em média-variância.

Introdução

A teoria moderna de portfólios, desde Markowitz (1952), fundamenta-se na hipótese de normalidade dos retornos e na variância como medida adequada de risco. Contudo, evidências empíricas acumuladas indicam que séries financeiras apresentam assimetria, excesso de curtose e volatilidade condicional, fenômenos incompatíveis com a distribuição normal.

Essas características implicam subestimação sistemática do risco extremo quando se utiliza a variância como métrica central. Em resposta a essas limitações, este trabalho propõe um arcabouço alternativo de gestão de risco e alocação de ativos, centrado em medidas de cauda e em simulação estocástica.

O objetivo do artigo é apresentar, de forma integrada, um pipeline computacional composto por três etapas: (i) estimativa da matriz de covariância dinâmica via EWMA; (ii) simulação de cenários de retornos por Monte Carlo com distribuição t-Student e

avaliação do portfólio por métricas de cauda, em especial o Starr Ratio; e (iii) validação do modelo por meio de backtesting.

Fundamentação Teórica

Risco de Cauda e Limitações da Variância

A variância penaliza simetricamente desvios positivos e negativos em relação à média e ignora explicitamente a severidade das perdas extremas. Em distribuições leptocúrticas, eventos de grande magnitude ocorrem com frequência muito superior à prevista pela normal, tornando a variância uma medida insuficiente de risco.

O CVaR, definido como a esperança condicional das perdas que excedem um determinado quantil, emerge como alternativa consistente, convexa e coerente. Essa medida captura diretamente o risco associado aos piores cenários, alinhando-se melhor ao problema econômico enfrentado por gestores e investidores.

Nesse sentido, o VaR falha por não ser subaditivo, podendo indicar que uma carteira diversificada é mais arriscada que a soma de seus ativos isolados em distribuições de perdas extremas. Já o CVaR funciona porque é uma medida de risco coerente que captura a magnitude das perdas além do ponto de corte, garantindo que a diversificação sempre seja refletida como uma redução de risco.

Volatilidade Condicional e Clustering

Outro fato estilizado relevante é o agrupamento temporal da volatilidade. Períodos de alta variância tendem a ser seguidos por períodos igualmente voláteis. Modelos que assumem variância constante falham em capturar essa dinâmica.

O método EWMA, consagrado na prática de mercado, modela a volatilidade como um processo recursivo, atribuindo maior peso às observações mais recentes e permitindo rápida adaptação a choques de mercado.

Metodologia

Dados e Transformações

Os retornos são definidos como log-retornos, de modo a garantir aditividade temporal. Utilizam-se preços ajustados, evitando distorções decorrentes de dividendos, splits ou eventos corporativos. Assume-se, para fins de modelagem, liquidez perfeita e ausência de custos de transação.

Descrição do Motor de Risco e da Base de Ativos

A execução do motor de risco baseia-se em um conjunto diversificado de ativos negociados na B3: **PETR4.SA**, **VALE3.SA**, **ITUB4.SA**, **LREN3.SA**, **WEGE3.SA** e **AXIA3.SA**.

O período de análise compreende o intervalo de **01/01/2015 a 30/12/2025**. Os anos iniciais (2015-2017) são utilizados como *warm-up*. O backtest propriamente dito é conduzido de forma *walk-forward*, com rebalanceamento mensal, iniciando-se em **01/01/2018**.

Simulação de Monte Carlo

Com base na matriz Σ_t , realiza-se uma decomposição de Cholesky. Choques aleatórios são gerados a partir de uma distribuição t-Student com 5 graus de liberdade ($\nu = 5$). A escolha de ν é estratégica para o mercado brasileiro, pois confere às caudas da distribuição uma espessura que reflete a realidade de ativos de risco.

Avaliação por Starr Ratio

A relação risco-retorno do portfólio é avaliada por meio do Starr Ratio:

$$\text{Starr Ratio} = \frac{\mathbb{E}[R_p]}{\text{CVaR}_\alpha(R_p)} \quad (1)$$

Resultados da Simulação: Análise da Distribuição de Retornos

A análise visual do primeiro gráfico, vide Figura 1, fornece uma visão clara do perfil de risco-retorno gerado pelos cenários de t-Student. O histograma revela uma concentração de massa em torno da média, mas com uma dispersão para os extremos.

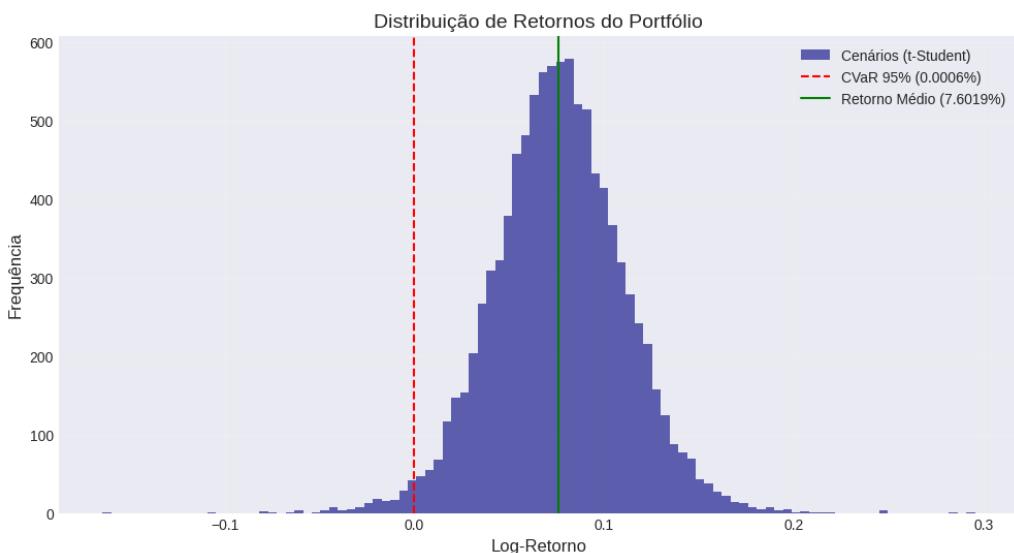


Figura 1: Distribuição dos retornos simulados do portfólio ótimo.

Fonte: Elaboração própria.

Métricas de Risco de Cauda

Os valores extraídos da simulação mais recente indicam:

- **Retorno Médio Simulado:** 7,6019%
- **CVaR 95% Simulado:** 0,0006%

O CVaR próximo a zero reflete uma alocação momentânea extremamente defensiva em termos de probabilidade de cauda, com alta concentração em ativos como VALE3 (42%) e WEGE3 (40%), que na janela atual apresentam menor risco conjunto projetado.

Desempenho Histórico e Backtesting

Os resultados empíricos da execução do código são consolidados na Figura 2, que apresenta o "Retorno Acumulado" e o "Drawdown" desde 2018 até o início de 2026. A análise destes dados permite concluir que a estratégia baseada no *Starr Ratio* obteve uma vitória expressiva sobre o índice de referência.

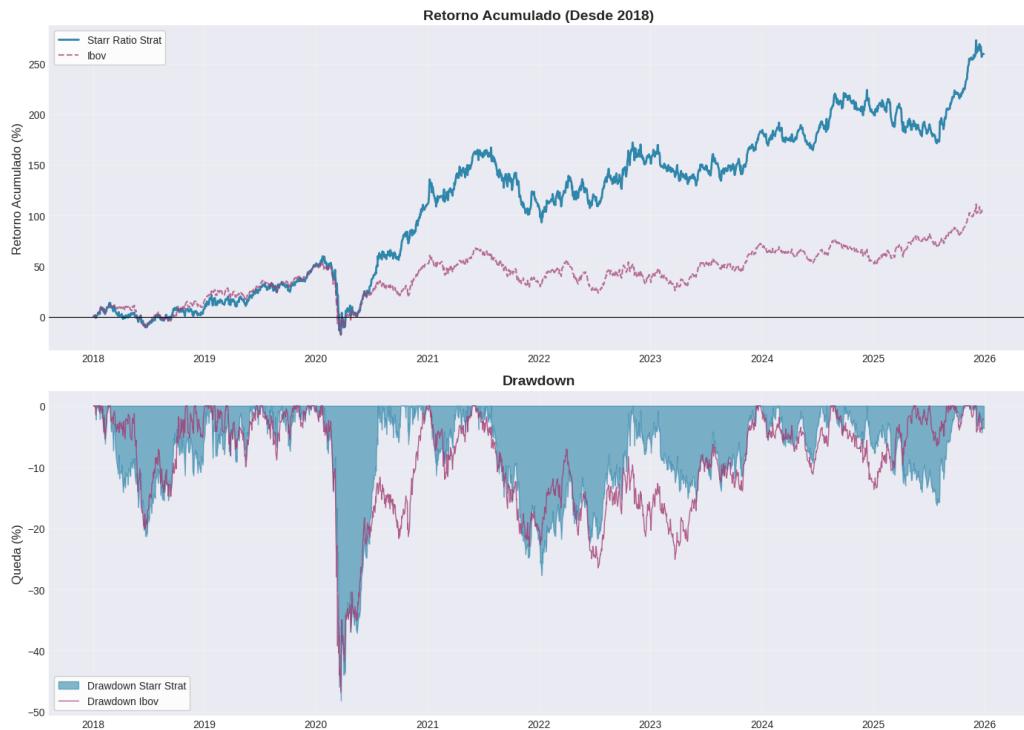


Figura 2: Retorno acumulado e drawdown da estratégia baseada no Starr Ratio.
Fonte: Elaboração própria.

Evolução Patrimonial e Geração de Alpha

A curva de patrimônio da "Starr Ratio Strat" exibe uma trajetória de crescimento consistente:

- **Retorno Acumulado da Estratégia:** 259,23%
- **Retorno Acumulado do Ibovespa:** 106,57%
- **Alpha Estimado:** +152,66 pontos percentuais.

Resiliência e Gestão de Crises

Um ponto de inflexão crítico é o *crash* da COVID-19 em março de 2020.

1. **A Queda:** A estratégia atingiu um drawdown de **-48,22%**, enquanto o Ibovespa caiu **-46,82%**. Isso demonstra que, em momentos de correlação unitária, a concentração da carteira pode gerar quedas ligeiramente superiores ao índice.
2. **A Recuperação:** No entanto, a estratégia iniciou uma recuperação vertical muito mais ágil, superando o topo histórico meses antes do benchmark.

Conclusão

Este trabalho apresentou a implementação e avaliação de um algoritmo de alocação de ativos baseado no *Starr Ratio*, utilizando volatilidade dinâmica (EWMA) e simulação de Monte Carlo com distribuição t-Student. A estratégia **Long Only** foi testada contra o Ibovespa entre 2018 e 2026.

A análise dos resultados aponta para um *trade-off* claro entre agressividade na recuperação e exposição a riscos de cauda:

1. **Performance vs. Risco Sistêmico:** Embora o retorno acumulado da estratégia (259,23%) tenha superado amplamente o *benchmark* (106,57%), o modelo não ofereceu imunidade contra choques sistêmicos. O *drawdown* máximo de -48,22% em março de 2020 — superior ao do próprio Ibovespa (-46,82%) — evidencia que a otimização via CVaR, quando aplicada a um universo restrito de ativos, não elimina a correlação unitária em momentos de pânico. O *Alpha* gerado deve ser interpretado, portanto, como fruto de uma seleção de ativos mais eficiente na retomada (*stock picking*), e não de uma proteção absoluta na queda.
2. **Sensibilidade do EWMA:** O uso do decaimento exponencial provou ser uma "faca de dois gumes". Se por um lado a rápida adaptação da matriz de covariância permitiu uma recuperação acelerada pós-crise (reduzindo o tempo sob d'água), por outro, a dependência da volatilidade recente torna o modelo extremamente reativo, concentrando posições em poucos ativos vencedores (como VALE3 e WEGE3 no último ciclo).
3. **Limitações da Concentração:** A performance superior veio acompanhada de uma volatilidade idiossincrática elevada. A restrição a apenas seis ativos amplificou os movimentos de cauda. Em um cenário real de gestão, a ausência de custos de transação no *backtest* e a concentração da carteira poderiam reduzir a aderência desses resultados.

Em suma, o *framework* demonstrou ser uma ferramenta robusta para **classificação e seleção** de ativos, superando a média de mercado no longo prazo, desde que o investidor tolere a volatilidade inerente a estratégias concentradas.

Referências

- [1] ARAÚJO, Lucas Machado Braga de. **Composição de fundo de fundos multimercado**: otimização de carteira pelo método de média – CVaR. 2009. Dissertação (Mestrado) – FGV, São Paulo, 2009.
- [2] J.P. MORGAN. **RiskMetrics™ — Technical Document**. 4. ed. Nova York: J.P. Morgan/Reuters, 2001.
- [3] KOUAISSAH, Noureddine; HOCINE, Amin. Forecasting systemic risk in portfolio selection. **Journal of Forecasting**, v. 40, n. 4, p. 708-729, 2021.
- [4] ROCKAFELLAR, R. Tyrrell; URYASEV, Stanislav. Optimization of conditional value-at-risk. **Journal of Risk**, v. 2, n. 3, p. 21-41, 2000.