Análise Computacional do Sistema Martingale: Modelagem, Simulação e Estratégias de Gestão de Riscos

Cauan Coutinho Forte
João Vitor Veloso dos Santos
Lucca Sezini Amigo

September 2024

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ

joao.veloso@aluno.cefet-rj.br
cauan.forte@aluno.cefet-rj.br
lucca.amigo@aluno.cefet-rj.br

Resumo. *No cenário multifacetado do século XXI, o sistema Martingale, tradicionalmente associado a estratégias de apostas, encontra novas aplicações em campos diversos além dos jogos de azar. Este artigo explora a adaptação do Martingale em domínios como finanças, gestão de riscos e otimização de processos industriais. A abordagem proposta utiliza modelagem matemática e simulações computacionais para investigar a eficácia e as limitações do Martingale nesses contextos. Essa exploração visa compreender como princípios de escalonamento e recuperação podem ser aplicados em diferentes áreas, oferecendo uma análise aprofundada das possibilidades e desafios inerentes a essa estratégia em novos cenários.*

1 Introdução

No cenário multifacetado do século XXI, a análise de estratégias de gestão de riscos tornou-se essencial para diversas áreas além dos tradicionais jogos de azar. A gestão dos riscos ajuda a melhorar o desempenho pessoal ou institucional ao identificar as oportunidades e reduzir as probabilidades de impactos negativos.[10] Uma dessas estratégias, o sistema Martingale, tem suas raízes nas apostas, onde é utilizada para recuperar perdas ao dobrar a aposta após cada derrota. Apesar de sua simplicidade e aparente eficácia em contextos de jogos de azar, a aplicação da estratégia de Martingale em mercados financeiros e outras indústrias apresenta desafios e vulnerabilidades significativas. A hipótese "random walk" propõe que as ações do mercado seguem o que seria um modelo de caminho aleatório, sem padrão algum. [4] Dado o que isso implicaria, a hipótese foi muito rejeitada, mas temos hoje uma maneira mais aceitável de navegar essa aleatoriedade pelo modelo Martingale. [6]

O mercado financeiro, caracterizado por sua complexidade e dinâmica imprevisível, oferece um terreno fértil para a aplicação de estratégias quantitativas e matemáticas. Entretanto, a estratégia de Martingale, quando adaptada a esse contexto, enfrenta questões críticas, como o risco de ruína, a falta de consideração pelos fundamentos do mercado e o impacto psicológico sobre os *traders*. Essas vulnerabilidades destacam a necessidade de uma análise aprofundada para compreender as limitações e os potenciais da estratégia em novos cenários.

Este trabalho propõe uma investigação da adaptação do sistema Martingale em domínios como finanças, gestão de riscos. Utilizando modelagem matemática e simulações computacionais em python e com a biblioteca "yFinance", buscamos avaliar a eficácia da estratégia e identificar suas limitações nesses contextos. A metodologia inclui a coleta de dados históricos de preços de ativos financeiros, média de operações de *traders* e a realização de simulações em ambientes controlados.

A análise proposta visa oferecer uma visão sobre como os princípios de escalonamento e recuperação inerentes ao Martingale podem ser aplicados em diferentes cenários do mercado, bem como os desafios que surgem dessa adaptação. Com isso, esperamos contribuir para a literatura existente ao fornecer uma avaliação prática e robusta e, também, para o entendimento das potencialidades e dos riscos da estratégia de Martingale, fornecendo *insights* valiosos para *traders*, gestores de risco e profissionais do mercado financeiro.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Martingale e suas Vulnerabilidades em Relação ao Mercado Financeiro

A estratégia de Martingale tem suas raízes nos jogos de azar, especialmente em jogos de apostas como a roleta, onde o jogador dobra sua aposta após cada perda, com a expectativa de que uma eventual vitória recuperará todas as perdas anteriores e resultará em um ganho igual à aposta inicial. Em particular, um Martingale é uma sequência de variáveis aleatórias (isto é, um processo estocástico) para o qual, a qualquer tempo específico na sequência observada, a esperança do próximo valor na sequência é igual ao valor presentemente observado, mesmo dado o conhecimento de todos os valores anteriormente observados.[11] Essa abordagem tem sido aplicada em diversos contextos, incluindo o mercado financeiro, onde *traders* utilizam a estratégia para recuperar perdas de negociações anteriores. Contudo, essa aplicação no mercado financeiro possui vulnerabilidades significativas que podem levar a perdas substanciais e até à falência.

Primeiramente, uma das maiores vulnerabilidades da estratégia de Martingale no mercado financeiro é o risco de ruína. No contexto de apostas, as apostas são independentes e a probabilidade de ganho permanece constante. No entanto, no mercado financeiro, os preços dos ativos podem seguir tendências prolongadas de queda ou alta, exacerbando as perdas em uma sequência negativa. Tal risco para alguns estudiosos é injustificável, visto que uma longa sequência de apostas não garante sucesso e as riquezas que com ele vêm.[8] Essa característica pode resultar em uma série de perdas consecutivas que exigem um capital exponencialmente crescente para sustentar as apostas dobradas. Sem um capital infinito, um *trader* eventualmente enfrentará uma posição insustentável. Para uma estratégia simples diz-se que um *trader* pode negociar apenas em um número finito de dias (embora esse número finito possa ser arbitrariamente grande) e que as datas de negociação devem ser especificadas antecipadamente. Esse representa uma visão relativamente restritiva das capacidades dos *traders* e não se deve fazer nenhuma tentativa de defender economicamente a restrição, ela existe somente para justificar um capital, também, finito.[3]

Adicionalmente, a estratégia de Martingale não leva em consideração a análise fundamental ou técnica do mercado.security prices respond to a number of factors, including inventory, transactions costs, and risk aversion by market participants. B Ela opera sob a premissa de que os preços dos ativos se reverterão a uma média, ignorando fatores econômicos subjacentes que podem influenciar a direção dos preços. Eventos macroeconômicos, mudanças nas políticas monetárias, crises financeiras ou até mesmo eventos específicos de empresas, como mudanças no inventárioe custos de transação, e a aversão ao risco de outros participantes do mercado [2] podem causar movimentos de preços significativos e prolongados, contrariando a expectativa de reversão que a estratégia de Martingale assume.

Outro aspecto crítico é a questão das margens e alavancagem. Muitos *traders* utilizam alavancagem para amplificar seus retornos, mas isso também amplifica as perdas. Em uma série de apostas perdedoras, a necessidade de dobrar continuamente a aposta pode rapidamente superar a margem disponível, forçando o *trader* a liquidar posições em prejuízo ou a enfrentar chamadas de margem. A alavancagem, portanto, intensifica o risco de ruína e expõe o *trader* a perdas muito maiores do que o capital inicial.

Além disso, há o custo psicológico e emocional. A estratégia de Martingale pode ser extremamente estressante, uma vez que os *traders* enfrentam perdas crescentes e precisam manter a disciplina de continuar dobrando as apostas. A pressão psicológica de enfrentar perdas sucessivas pode levar a decisões impulsivas, desvio da estratégia original e, em última instância, a erros de julgamento que agravam ainda mais as perdas.

Por fim, as condições de mercado podem mudar de forma imprevisível. A liquidez pode se evaporar, as volatilidades podem aumentar abruptamente, e a correlação entre ativos pode mudar. Tais condições adversas podem rapidamente tornar a estratégia de Martingale ineficaz, pois as apostas sucessivas necessitam de mercados com liquidez suficiente para absorver grandes volumes de negociação sem causar impacto significativo nos preços.

Em resumo, enquanto a estratégia de Martingale pode parecer atraente em teoria, sua aplicação no mercado financeiro é repleta de vulnerabilidades. O risco de ruína, a falta de consideração para com os fundamentos do mercado, a amplificação de perdas através da alavancagem, o impacto psicológico e emocional e as mudanças imprevisíveis nas condições de mercado fazem desta estratégia uma abordagem perigosa para gestão de riscos e retorno em ambientes financeiros complexos e dinâmicos.

2.2 Estrategia de Martingale e seus Princípios Fundamentais

A estratégia de Martingale, adaptada para o mercado binário, envolve a aplicação de seus princípios em opções binárias, onde a simplicidade de ganhar ou perder toda a aposta torna o método particularmente atraente para alguns *traders*. No contexto das opções binárias, o *trader* escolhe um ativo e prevê se seu preço subirá ou cairá dentro de um período específico. Caso a previsão esteja incorreta, o *trader* dobra a aposta na próxima negociação, continuando esse processo até obter um ganho.

Um dos princípios fundamentais da estratégia de Martingale no mercado binário é a expectativa de que uma sequência de perdas será eventualmente interrompida por um ganho. Esse princípio opera sob a premissa de que o mercado não pode continuar a se mover em uma direção desfavorável indefinidamente. Assim, após cada perda, o *trader* dobra a aposta para cobrir todas as perdas anteriores e obter um lucro igual à aposta inicial. O sistema Martingale só funciona de maneira segura em cassinos sem limites jogos por mesa e onde o apostador possui dinheiro ilimitado. Ambos os fatores não são prováveis. Portanto, a estratégia do sistema Martingale é considerada extremamente arriscada.[7]

Outro princípio importante é a gestão de capital. Para utilizar a estratégia de Martingale no mercado binário, é essencial que o *trader* tenha um capital suficiente para suportar uma série prolongada de perdas. A sequência de apostas dobradas pode crescer exponencialmente, rapidamente consumindo o capital disponível. Portanto, a gestão de capital deve ser cuidadosamente planejada para evitar a ruína.

A diversificação também é um princípio relevante. Em vez de aplicar a estratégia de Martingale a um único ativo ou tipo de opção binária, os *traders* podem distribuir suas apostas entre diferentes ativos e prazos. Essa abordagem pode ajudar a mitigar o risco de perdas consecutivas em um único ativo, aumentando as chances de recuperação.

Adicionalmente, a disciplina é crucial na aplicação da estratégia de Martingale no mercado binário. O *trader* deve seguir rigorosamente o plano de dobrar as apostas após cada perda, sem deixar que emoções ou impulsos interfiram. Manter a disciplina é essencial para o sucesso a longo prazo, pois qualquer desvio da estratégia pode resultar em perdas significativas.

A análise do mercado, embora não seja o foco principal da estratégia de Martingale, pode ser integrada para melhorar as chances de sucesso. Utilizar indicadores técnicos e fundamentalistas para identificar pontos de entrada e saída pode ajudar a minimizar a quantidade de apostas perdedoras e melhorar a eficácia geral da estratégia.

Por fim, é importante reconhecer as limitações da estratégia de Martingale. Embora possa parecer uma maneira simples de recuperar perdas, o risco de ruína permanece significativo, especialmente em mercados voláteis. Os *traders* devem estar cientes desses riscos e considerar estratégias complementares de gestão de risco para proteger seu capital.

Em conclusão, a aplicação da estratégia de Martingale no mercado binário baseia-se em princípios como a expectativa de reversão, gestão de capital, diversificação, disciplina e análise de mercado. No entanto, devido aos riscos inerentes, os *traders* devem abordar essa estratégia com cautela e um plano bem definido para minimizar as perdas potenciais.

2.3 Revisão da literatura em Martingale

A revisão da literatura começa com a história e teoria do método de Martingale. Feller (1968) é um dos trabalhos clássicos que discutem as bases teóricas do método. O método foi originalmente concebido para jogos de azar, mas logo foi explorado para aplicações financeiras.

Neftci (2000) aplicou o método de Martingale a derivativos financeiros, argumentando que, sob certas condições, a estratégia poderia ser lucrativa. Shiryaev (1999) expandiu essa discussão, identificando limitações teóricas do método, particularmente quando aplicado a mercados reais, que são influenciados por diversos fatores imprevisíveis.

A literatura atual sobre o método de Martingale no mercado financeiro é ampla, mas apresenta resultados contraditórios. Alguns estudos mostram que o método pode ser lucrativo em certos cenários de mercado, enquanto outros destacam os riscos significativos e as altas chances de falência. As lacunas na pesquisa incluem a falta de análises computacionais detalhadas que considerem variáveis de mercado realistas, como custos de transação e limites de capital. Este estudo visa preencher essa lacuna.

3 Trabalhos Relacionados

Advogar sobre o método de Martingale tem seu grau de dificuldade, especialmente quando aplicado ao mercado financeiro, onde se trabalha com operações binárias. No entanto, existem alguns artigos que oferecem uma visão interessante sobre o método, em conjunto com questões probabilísticas. Um exemplo disso é o artigo científico produzido pelo Instituto de Matemática e Estatística da Universidade Federal de Goiás, que demonstra na prática o funcionamento do método. [9]

- Se o jogador vence na 1ª Rodada: + 20 = 20.
- Se o jogador vence na 2ª Rodada: - 20 + 40 = 20.
- Se o jogador vence na 3ª Rodada: - 20 - 40 + 80 = 20.
- Se o jogador vence na 4ª Rodada: - 20 - 40 - 80 + 160 = 20.

• Se o jogador vence na 5ª Rodada: - 20 - 40 - 80 - 160 + 320 = 20.
• Se o jogador vence na 6ª Rodada: - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 + 640 = 20.
• Se o jogador perde todas as 6 rodadas: - 20 - 40 - 80 - 160 - 320 - 640 = -1.260.

Levando em consideração a análise feita pelo Instituto de Matemática e Estatística da Universidade Federal de Goiás, percebe-se que o jogador/investidor tem uma chance considerável de ganho. Se juntarmos as 6 rodadas, teríamos um lucro de 120 reais. No entanto, como o método de Martingale conta com um processo estocástico de probabilidades aleatórias, basta apenas uma rodada perdida para que o investidor fique negativo em mais de 1.000 reais, dado que seriam 120 de lucro menos a soma de todas as rodadas investidas para recuperar o valor perdido.[9]

Sendo assim, é pertinente definir processos estocásticos. Como definido no artigo científico de Processos Estocásticos pela Faculdade de Economia do Porto, usaremos aqui uma citação direta da "problemática": "Pode definir-se um Processo Estocástico (em inglês, 'Stochastic Process' ou 'Random Process') como um conjunto de variáveis aleatórias indexadas a uma variável (geralmente a variável tempo), sendo representado por

$$\{X(t), t\epsilon T\}.$$

Estabelecendo o paralelismo com o caso determinístico, onde uma função f(t) toma valores bem definidos ao longo do tempo, um processo estocástico toma valores aleatórios ao longo do tempo. Aos valores que X(t) pode assumir chamam-se estados e ao seu conjunto X espaço de estados." [1]

Outrossim, em outro artigo científico "A Statistical Analysis of the Roulette Martingale System: Examples, Formulas and Simulations with R", já embasado diretamente no Martingale, considera-se que o sistema no qual o usuário esteja envolvido seja imparcial. Olhando para o âmbito de opções binárias, isso representaria um cenário ideal e estável.[7] Sabendo que não é mais definitivo que a taxa de retorno esperado esteja correta, se torna necessário analisar a relação entre os riscos do mercado e a disposição do trader em assumir riscos.[5] Por fim, presume-se que o jogador arriscará um capital finito, entretanto, o método de Martingale abre "um mar de possibilidades" para alterar a forma como é usado diretamente em seu mercado.

4 Metodologia

Para analisar da melhor forma a eficácia e as vulnerabilidades do método de Martingale aplicado ao mercado financeiro, utilizaremos uma abordagem quantitativa em conjunto com análises qualitativas, que proporcionarão uma visão abrangente dos impactos e riscos desse método. Após a investigação, descreveremos os métodos utilizados para a coleta de dados, as técnicas de análise e as etapas da pesquisa.

4.1 Coleta de Dados

Os dados serão coletados com base em duas principais fontes: dados antigos de valores de ativos financeiros e registros de operações de traders que usam o método de Martingale. Vamos utilizar bases de dados que já estão consolidadas no mercado, como Bloomberg, Reuters e Yahoo Finance, para obter dados temporais de preços de diferentes ativos, incluindo ações, moedas, índices, entre outros.

4.2 Análise Quantativa

A análise quantitativa será conduzida em três etapas principais: simulações de mercado, simulações em ambiente controlado e análise estatística.

1. **Simulações em Ambiente Controlado:** Além das simulações de mercado, realizaremos simulações em um ambiente controlado onde variáveis específicas podem ser manipuladas com precisão. Isso permitirá testar a estratégia de Martingale sob condições pré-definidas e observar seu desempenho em situações extremas e raras que podem não ser capturadas em dados históricos. Tais simulações ajudarão a entender melhor as vulnerabilidades da estratégia e identificar possíveis pontos de falha.

2. **Análise Estatística:** Os dados coletados serão submetidos a técnicas estatísticas para identificar padrões e tendências. Utilizaremos análises de séries temporais, regressões e testes de hipótese para verificar a ocorrência de sequências de perdas e ganhos, avaliar a probabilidade de ruína e determinar a eficácia geral da estratégia de Martingale.

4.3 Procedimentos de Validação

Para obter uma alta qualidade dos resultados, vamos utilizar métodos de validação cruzada. As simulações do mercado serão feitas várias vezes com diversos conjuntos de dados históricos para verificar e validar a consistência dos resultados. Ademais, os resultados das análises estatísticas serão comparados de forma análoga com os estudos já realizados anteriormente sobre estratégias de Martingale e gestão de risco no mercado financeiro.

5 Avaliação Experimental

A avaliação experimental visa testar empiricamente a eficácia e vulnerabilidades da estratégia de Martingale no mercado financeiro. Esta seção descreve os métodos e procedimentos para conduzir experimentos controlados e análises empíricas utilizando dados reais e simulados.

5.1 Preparação dos Experimentos

Para realizar uma avaliação experimental robusta, começamos com a seleção dos ativos mais usados na bolsa brasileira. A diversidade de ativos ajudará a entender como a estratégia se comporta em diferentes mercados. Estimamos um desvio padrão de 5,5 %, o que nos diz sobre a volatilidade média do mercado no ano passado (2023). Definimos os parâmetros da estratégia de Martingale, como o tamanho das apostas iniciais de R$10, com uma perda máxima de R$1000, com o máximo de tempo de 252 (quantidade de dias em um ano que a bolsa está aberta).

Criamos códigos em Python que conseguem mostrar como as simulações desempenharam.

```python
def simulate_stock_prices(initial_price, num_days, media=0, desvioP=0.055):
    prices = [initial_price]
    for a in range(num_days):
        prices.append(prices[-1] * (1 + np.random.normal(media, desvioP)))
    return prices
```

Este código consegue mostrar como nós simulamos os dias do preço de cada dia da bolsa. Colocamos o preço inicial como R$30,00, e a partir dele, usamos uma distribuição normal baseada no desvio padrão para sabermos o quanto que o ativo sobe ou desce de valor em cada dia.

```python
def martingale_strategy(prices, initial_value, perdaMax):
    saldo = [0]
    valorAposta = initial_value
    saldo_aposta = 0
    for index, price in enumerate(prices):
        if valorAposta > perdaMax:
            break
        if index == 251:
            break
        else:
            variacao = prices[index+1]/prices[index]
        ganhos = (variacao*valorAposta) - valorAposta
        saldo_aposta += ganhos
        saldo.append(saldo[-1] + ganhos)
        if saldo_aposta >= 0:
            valorAposta = initial_value
            saldo_aposta = 0
        else:
            valorAposta *= 2

    return saldo
```

Este código retorna o saldo de cada dia da simulação, dado os preços de cada dia da bolsa simulada, que vem do código anteriormente mostrado, e o apostador para a simulação ao chegar à perda máxima.

Assim, temos um ambiente preparado para realizar as simulações.

5.2 Experimentos com Dados Reais

Este é um gráfico que contém 5 traders

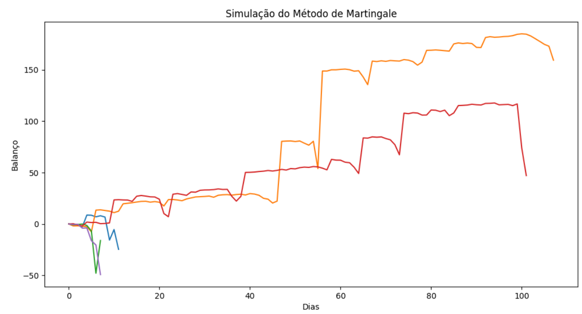

Figure 1: Projeção com 5 traders

Olhando para o gráfico, rapidamente conseguimos perceber que das 5 simulações, apenas duas obtiveram lucro. E os que tiveram prejuízo, chegaram à perda máxima de maneira muito veloz.

Já este possui 100 simulações.

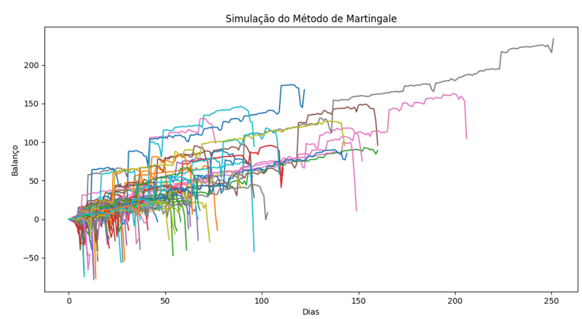

Figure 2: Projeção com 100 traders

Das cem pessoas, apenas 42 tiveram lucro, enquanto as outras chegaram a perder até mais que o dobro do valor inicial.

5.3 Análise dos Resultados

Os dados obtidos a partir das simulações e experimentos nos mostram que a taxa de prejuízo é muito grande. As nossas pesquisas nos taxa de sucesso das apostas é de apenas 41,4%. Apesar de caso esteja no prejuízo, com apenas uma aposta consegue-se recuperar o valor, isso nos mostra que qualquer instabilidade no mercado consegue nos dar muitas perdas. Além disso, das 58,6% das pessoas que saem no prejuízo, a maioria tem suas apostas encerradas dentro de 50 dias. Isso também nos mostra que a longevidade da estratégia não foi satisfatória.

5.4 Interpretação e Discussão

Os resultados nos mostram que a estratégia de Martingale não se mostra confiável e nem efetiva para nossos hipotéticos Traders. Assim como nos trabalhos anteriormente realizados, uma conclusão é uniforme, as chances de falha são superiores as de sucesso. Ainda assim, foi possível determinar porcentagens mais precisas referentes aos resultados.

References

[1] Rui Alves and Catarina Delgado. Processos estocásticos. 1997.

[2] David Easley and Maureen O'hara. Price, trade size, and information in securities markets. *Journal of Financial economics*, 19(1):69–90, 1987.

[3] J Michael Harrison and David M Kreps. Martingales and arbitrage in multiperiod securities markets. *Journal of Economic theory*, 20(3):381–408, 1979.

[4] Maurice G. Kendall. "the analysis of economic time-series, part i: Prices," (1953). *Cootner*, 1964.

[5] Stephen F LeRoy. Risk aversion and the martingale property of stock prices. *International Economic Review*, pages 436–446, 1973.

[6] Stephen F LeRoy. Efficient capital markets and martingales. *Journal of Economic literature*, 27(4):1583–1621, 1989.

[7] Peter Pflaumer. A statistical analysis of the roulette martingale system: examples, formulas and simulations with r. 2019.

[8] Paul A Samuelson. The "fallacy" of maximizing the geometric mean in long sequences of investing or gambling. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 68(10):2493–2496, 1971.

[9] Valdivino Vargas Júnior, Rafael Lemes de Rezende, and Tiago Moreira Vargas. Análise do método martingale. *Revista da Olimpíada, número 16*, 2022.

[10] James Batista Vieira and Rodrigo Tavares de Souza Barreto. Governança, gestão de riscos e integridade. 2019.

[11] David Williams. *Probability with martingales.* Cambridge university press, 1991.