

# Algotrading

## Aula 04

Raul Ikeda  
2º semestre de 2025

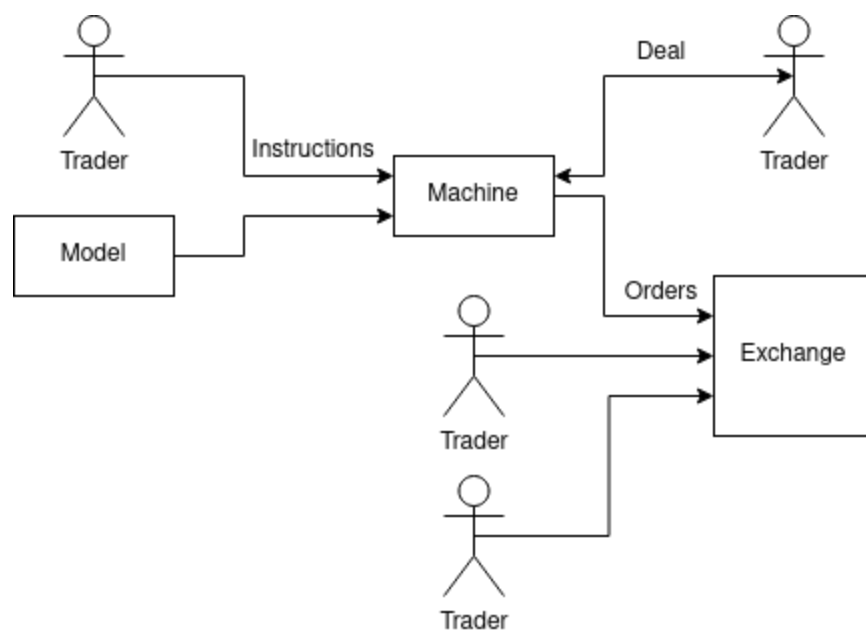
# Insper



- Simulação de Estratégia (Aldridge, I. Cap 4)

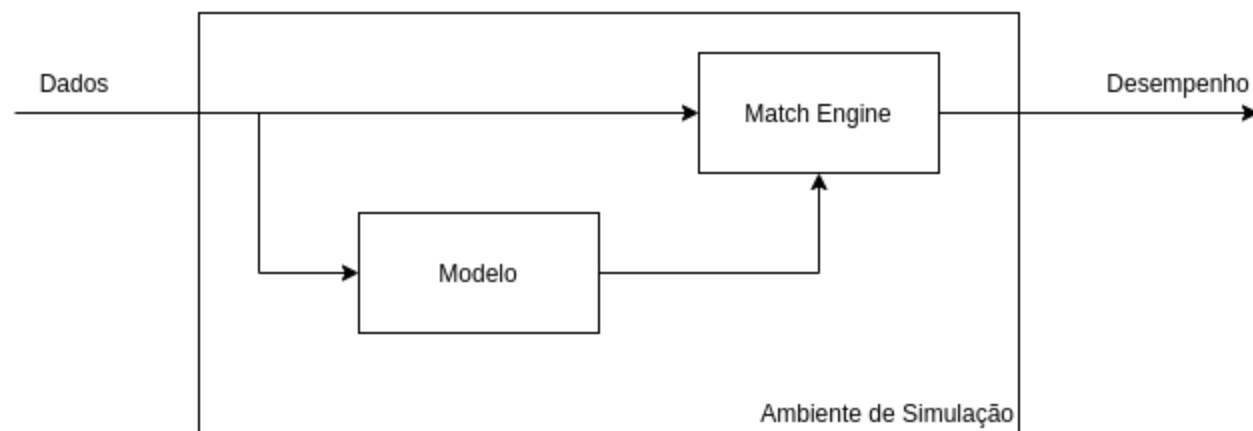
## Relembrando nosso arcabouço

---



## Aonde queremos chegar?

---



# Requisitos

---

- Dados
- Regras de Alocação/Desalocação
- Ambiente de Simulação
- Avaliação de Desempenho

## Dados (Aula Retrasada)

---

- Preços Agregados
  - Historical (daily, weekly, monthly, etc)
  - Intraday (1 minute, 5 minutes, 1 hour, etc)
- Raw trading data
  - TRADE (todos os negócios)
  - LOB (limit order book)
- Ainda:
  - Features extraction
  - Dados fundamentalistas
  - Reports/Eventos/Notícias
  - Dados não estruturados diversos
  - etc

## Regras de Alocação/Desalocação

---

- AKA modelo/estratégia (direcional, arbitragem, carteira, etc)
- Tipos:
  - Modelagem Matemática/Machine Learning
  - Baseado em regras
  - Feature picking
  - NLP/LLM
  - etc

## Ambiente de simulação

---

- Match Engine (onde as ordens fazem match)
- Considerar os custos:
  - Operacionais/Impostos (TCA)
  - Spread de Alocação (*slippage*)
  - Carrego e margem



# Avaliação de Desempenho

---

- Estipular uma estratégia de benchmark!
  - Testar a hipótese da diferença entre a estratégia e o benchmark
- Avaliação de Desempenho:
  - Profitability Metrics
  - Risk Metrics
  - Performance Metrics
  - Trading & Execution Quality
  - Robustness Frameworks

# Benchmark

---

Ideias de Benchmark:

- Buy & Hold: sempre comprado (long). Significa como seria se comprasse e não agisse mais.
- Risk-free: deixa o dinheiro disponível em caixa rendendo algum ativo seguro (treasury, CDI, etc).
- Naive Strategy: alguma estratégia muito simples, por exemplo: se hoje subiu, compra, senão vende. Precisa considerar os custos.
- etc

## Profitability Metrics - PV/PL

---

**PV** (Portfolio Value) ou **PL** (patrimônio líquido) é a soma de todos instrumentos no portfolio marcados a mercado (MTM), ou seja, no preço atual.

Um detalhe importante: dinheiro em caixa (ou dinheiro não utilizado mas no saldo da conta) também é contabilizado como patrimônio líquido.

$$PV_t = \sum_i q_t^i * p_t^i + K_t$$

Onde:

- $q_i$ : quantidade no instante t do instrumento i em carteira
- $p_i$ : preço no instante t do instrumento i
- $K$ : dinheiro em caixa no instante t

**NAV (Net Asset Value)**: equivalente em inglês, muito usado em papers e relatórios de fundos.

**AUM (Assets Under Management)** costuma designar o total de recursos sob gestão de um fundo/gestora (pode incluir vários portfólios).

## Profitability Metrics - PnL

---

- PnL (Profit and Loss):
  - resultado em \$ apurado em um determinado período
  - normalmente diário via MTM (marcação a mercado)
  - pode-se calcular também o PnL Acumulado.

PnL diário/realtime:

$$Pnl_t = PV_t - PV_{t-1}$$

PnL acumulado:

$$Pnl_t^{acc} = PV_t - PV_0$$

## Profitability Metrics - Return

---

Return (retorno) é o próprio resultado, mas em variação percentual. Também é normalmente calculado de forma diária (em relação ao dia anterior) ou acumulada (em relação ao início do período)

$$ret_t = Pnl_t / PV_{t-1}$$

Retorno acumulado:

$$ret_t^{acc} = Pnl_t^{acc} / PV_0$$

## Profitability Metrics - log-return

---

Pode também calcular o log-retorno, conhecido como retorno contínuo:

$$ret_t^{log} = \ln(PV_t/PV_{t-1})$$

Vantagens:

- Aditividade no tempo
- Simetria e estabilidade matemática
- Compatibilidade com modelos contínuos no tempo

Desvantagens:

- Mais contraintuitivo que o discreto
- Possui distorção para valores elevados

## Profitability Metrics - CAGR

---

CAGR (Compound Annual Growth Rate): retorno médio anualizado da estratégia. É muito útil para comparar com benchmarks

$$CAGR = (K_t / K_0)^{dt/d} - 1$$

Onde:

- $K_t$ : dinheiro em caixa no instante  $t$
- $K_0$ : dinheiro em caixa no início do período
- $d$ : número de dias (no Brasil usa-se dias úteis)
- $dt$ : número de dias base em 1 ano (Brasil: 252, EUA: 360)

## Profitability Metrics - Number of Trades

---

**Número de trades (NT)** é a quantidade de **posições abertas e encerradas** em um determinado período.

- Um **novo trade** inicia-se quando a posição em um instrumento passa de **0 para não-0**.
- Alterações de quantidade (aumento ou redução de posição) **não contam** como novos trades.
- Um **trade se encerra** apenas quando a posição retorna a **zero**.

O trade se encerra apenas quando a quantidade é zerada.

$$NT = \sum_i | \{t \mid q_{t-1}^i = 0 \wedge q_t^i \neq 0\} |$$

**NT** não é a quantidade de ordens enviadas e nem a quantidade de preenchimento de ordens. Significa um ciclo completo de alocação e desalocação.



## Profitability Metrics - Accuracy

---

Accuracy (acurácia), também conhecida com Hitting Ratio, é a taxa de acerto do modelo, ou seja, a quantidade de trades bem sucedidos (lucrativos) em relação ao total de trades.

$$HR_t = NT_t^+ / NT_t$$

Onde  $NT^+$  é o número de trades bem sucedidos.

Essa métrica também é conhecida como *win rate*.

## Profitability Metrics - Average Return

---

**Average Return per Trade** é o retorno médio por trade realizado. É útil para avaliar a eficiência de cada operação individual.

$$AvgRet = \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^{NT} ret_i$$

Onde  $ret_i$  é o retorno do trade  $i$  e  $NT$  é o número total de trades.

Variações:

- **Average Winning Return:** retorno médio apenas dos trades vencedores
- **Average Losing Return:** retorno médio apenas dos trades perdedores

$$AvgWin = \frac{1}{NT^+} \sum_{i \in Wins} ret_i$$

$$AvgLoss = \frac{1}{NT^-} \sum_{i \in Losses} ret_i$$

## Profitability Metrics - Win/Loss Ratio

---

**Win/Loss Ratio** compara o retorno médio dos trades vencedores com o retorno médio dos trades perdedores.

$$WL = \frac{AvgWin}{|AvgLoss|}$$

Interpretação:

- **WL > 1**: trades vencedores rendem mais (em média) que trades perdedores perdem
- **WL < 1**: trades perdedores perdem mais que trades vencedores ganham
- **WL = 1**: ganhos e perdas médias são equilibrados

Relaciona-se com a **Accuracy**: estratégias com baixa acurácia podem ser lucrativas se WL for alto (poucos trades vencedores, mas muito lucrativos).

## Risk Metrics - Max Drawdown

---

**Maximum Drawdown (MDD)** é a maior perda percentual observada entre um pico e o vale subsequente durante o período analisado.

$$MDD = \max_{t \in [0, T]} \left( \frac{Peak_t - PV_t}{Peak_t} \right)$$

Onde  $Peak_t = \max_{s \leq t} PV_s$  é o maior valor do portfolio até o momento  $t$ .

Características:

- Sempre negativo ou zero
- Mede o **pior cenário** de perda consecutiva
- Importante para **dimensionamento de risco** e **gestão de capital**
- Indicador de **stress test** da estratégia

**Drawdown Duration:** tempo necessário para recuperar do drawdown máximo.

## Risk Metrics - Average Recovery

---

**Average Recovery Time** é o tempo médio necessário para a estratégia se recuperar de drawdowns e atingir novos máximos históricos.

$$AvgRecovery = \frac{1}{N_{peaks}} \sum_{i=1}^{N_{peaks}} (t_{peak_i} - t_{valley_i})$$

Onde:

- $t_{peak_i}$ : momento do i-ésimo novo máximo histórico
- $t_{valley_i}$ : momento do vale que antecede este pico
- $N_{peaks}$ : número de novos máximos históricos

Interpretação:

- **Menor tempo:** estratégia se recupera rapidamente de perdas
- **Maior tempo:** estratégia demora para voltar aos patamares anteriores
- Relaciona-se com a **resiliência** e **consistência** da estratégia

## Risk Metrics - Volatility

---

**Volatilidade** mede a dispersão dos retornos da estratégia, indicando o grau de incerteza/risco associado.

Volatilidade dos retornos (desvio padrão):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ret_i - \overline{ret})^2}$$

Onde  $\overline{ret}$  é a média dos retornos e  $n$  é o número de observações.

**Volatilidade Anualizada:**

$$\sigma_{anual} = \sigma_{diário} \times \sqrt{252}$$

Tipos relacionados:

- **Upside/Downside Volatility:** volatilidade apenas dos retornos positivos/negativos
- **Rolling Volatility:** volatilidade calculada em janelas móveis

## Performance Metrics - Sharpe Ratio

---

**Sharpe Ratio** mede o retorno em excesso por unidade de risco (volatilidade). É uma das métricas mais utilizadas para avaliar estratégias de investimento.

$$Sharpe = \frac{\overline{ret} - rf}{\sigma}$$

Onde:

- $\overline{ret}$ : retorno médio da estratégia
- $rf$ : taxa livre de risco (CDI, Selic, etc)
- $\sigma$ : volatilidade dos retornos

Interpretação:

- **Sharpe > 1**: considerado bom
- **Sharpe > 2**: considerado muito bom
- **Sharpe < 0**: estratégia perde para o ativo livre de risco

**Limitation:** assume distribuição normal dos retornos e penaliza igualmente volatilidade positiva e negativa.

## Performance Metrics - Sortino Ratio

---

**Sortino Ratio** é uma variação do Sharpe Ratio que considera apenas a **volatilidade dos retornos negativos** (downside risk), sendo mais apropriada para estratégias com retornos assimétricos.

$$Sortino = \frac{\overline{ret} - rf}{\sigma_{downside}}$$

Onde  $\sigma_{downside}$  é o desvio padrão apenas dos retornos abaixo da taxa livre de risco:

$$\sigma_{downside} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{ret_i < rf} (ret_i - rf)^2}$$

Vantagens sobre Sharpe:

- **Não penaliza** volatilidade positiva (upside)
- Mais adequada para estratégias com **retornos assimétricos**
- Foca no **risco de perda** real



## Performance Metrics - Calmar Ratio

---

**Calmar Ratio** relaciona o retorno anualizado com o máximo drawdown, oferecendo uma perspectiva de **retorno por unidade de pior cenário**.

$$Calmar = \frac{CAGR}{|MDD|}$$

Onde:

- *CAGR*: Compound Annual Growth Rate (retorno anualizado)
- *MDD*: Maximum Drawdown (máximo drawdown)

Características:

- Foca no **pior cenário** de perda ao invés da volatilidade geral
- Especialmente útil para estratégias com **tail risk** (risco de cauda)
- **Calmar > 1**: significa que o retorno anual supera o pior drawdown
- Complementa Sharpe e Sortino ao considerar **perdas máximas consecutivas**

## Trading & Execution Quality

---

Custos:

- **Custo por ordem enviada:** taxa de corretora por envio de ordem (mesmo que não seja executada)
- **Custo por execução (fill):** taxa por cada ordem parcialmente ou totalmente executada
- **Custo de manutenção:** custos recorrentes de manter posições (ex.: aluguel de ações, financiamento, funding em futuros)
- **Impostos:** tributação sobre ganhos ou movimentações (ex.: IR, IOF, etc)
- **Margem:** capital imobilizado para garantir posições alavancadas

## Slippage

- Diferença entre o **preço teórico esperado** e o **preço efetivamente executado**
- Pode vir de:
  - **Spread bid-ask:** custo mínimo de transacionar
  - **Market impact:** piora do preço devido ao próprio tamanho da ordem
- Mede quão eficiente é a execução no mercado

## Capacity

- Refere-se ao **tamanho máximo de capital** que pode ser alocado sem comprometer a estratégia
- Limitações típicas:
  - **Liquidez:** maior volume, mais impacto nos preços
  - **Market depth:** falta de ordens suficientes no book para absorver execução
- Estratégias podem ser lucrativa em pequena escala, mas inviável em grande escala

## Trading & Execution Quality - Capacity?

---

**I found a way to make 60% return on investment**

Just here to brag

I found a cheat code in savings accounts.

I put 0.2 USD in a 5% savings account. That's 1 cent a year, just a fraction of a cent each month. But the system has to pay every month, and it can't handle fractions, so it gifts you a whole cent. Every month.

I put in 20 cents and I make 12 cents a year. That's 60% annually.

While other investors struggle with a 4% savings rate or a 10% return from an index fund, I get 60%.

So I don't save. I multiply. One account, 0.2 USD. Then another. Then another. A hundred tiny accounts, each drip-feeding me a cent a month.

Thanks to the banks' broken math, they are a tool for me to get to the tippity top.

I probably made 20 USD over the last 3 years in passive income.

### OOS – Out of Sample (Walk-Forward Analysis)

- Separação de dados em **in-sample** (treino/otimização) e **out-of-sample** (validação).
- Reotimização periódica e validação em blocos fora da amostra.
- Evita overfitting e verifica consistência no tempo.

## Monte Carlo Simulation

- Testa a **robustez estatística** da estratégia.
- Técnicas comuns:
  - **Randomização da ordem das operações** (shuffling de trades)
  - **Bootstrap de retornos**
  - **Simulação de preços/volatilidade**
- Avalia dispersão de métricas como CAGR, Sharpe e Max Drawdown sob cenários alternativos.

## Testes de Hipóteses

- Verificam se o desempenho é **estatisticamente significativo** frente a um benchmark.
- Exemplo: **Diebold–Mariano (DM test)** para comparar acurácia de previsões entre estratégias.
- Outros: t-test, p-values, bootstrap de significância.



## Análise de Regimes de Mercado (Regimes Stability)

- Testa a estratégia em **diferentes regimes**:
  - Bull markets (alta)
  - Bear markets (queda)
  - Sideways/flat (lateralidade)
- Permite avaliar se a estratégia é **dependente de cenário** ou resiliente a mudanças de regime.

## Material

---

Jupyter Notebook no Blackboard

Não se esqueça de fazer o *download* dos arquivos de dados também

## Próxima aula

---

Continuação...