

- **Transformações:**

- Raiz quarta em “Volume”; raiz quadrada em “Distância ao fechamento”.
- StandardScaler em atributos contínuos; binários mantidos.
- Outliers mantidos para preservar eventos extremos.

3.3 Modelagem e Treinamento

- **AutoML (PyCaret):** avaliação inicial de 13 modelos; LDA e Regressão Logística alcançaram Accuracy≈93,6 %, Precision≈94,9 %.
- **Seleção para otimização:** Regressão Logística (OvR), Random Forest, LDA.
- **Grid Search + 5-fold CV:**
 - **Regressão Logística:** acurácia CV 96,6 %; teste: precision topo≈71 %, fundo≈64 %, F1-score geral≈0,93.
 - **LDA:** acurácia CV 95,8 %; teste: precision topo/fundo≈87–89 %, F1-score geral≈0,94.
 - **Random Forest:** acurácia CV 97,4 %; teste: precision topo≈73 %, fundo≈69 %, F1-score geral≈0,94.
 - **Voting Classifier (soft):** resultados similares ao LDA sem ganho expressivo.

3.4 Avaliação de Desempenho

- **Matrizes de Confusão:** principais erros entre classes extremas ↔ neutra; nenhum “fundo” confundido com “topo”.
- **Curvas ROC/AUC:** $\geq 0,96$ em todas as classes; LDA atingiu $AUC \geq 0,97$.
- **Threshold Tuning:** elevação do limiar aumenta precision, alcançando ~80 % em topos e ~70 % em fundos.
- **Curvas de Aprendizado:** convergência estável sem sinais de overfitting.

4. Pontos-Chave e Insights

- **Antecipação de Reversões:** ML em Renko consegue reduzir o delay de confirmação de topos/fundos, com ~70 % de acerto.
- **Simplicidade do LDA:** atende ao princípio de Navalha de Occam, facilitando execução em tempo real.
- **Tratamento de Desbalanceamento:** undersampling no treino e foco em métricas de precision evitam vieses da classe majoritária.
- **Implementação Prática:** uso de joblib e MetaTrader 5 garante replicabilidade e integração direta em plataformas de trading.

- **Validação Contínua:** teste em períodos distintos e em outros ativos é crucial para robustez.

5. Recomendações / Próximos Passos

- Exportar e carregar o modelo LDA via joblib em um script Python integrado ao MetaTrader 5.
- Automatizar geração de bricks Renko e cálculo de indicadores em tempo real.
- Implementar ajuste dinâmico de threshold conforme volatilidade e volume de mercado.
- Conduzir backtests adicionais e forward tests em janelas distintas e outros contratos futuros.
- Conciliar sinais de reversão com indicadores de momentum e gerenciamento de risco (stop loss/take profit).
- Desenvolver dashboard visual com alertas de topos, fundos e neutros para suporte ao trader.