

3

Estratégias de Análise Técnica

Como foi visto no Capítulo 2, as estratégias dos investidores do mercado são compostas por dois fatores, a saber: o mecanismo de ativação $\sigma_i(t)$ (Eq. 2-10) e o mecanismo quantificador $\Lambda_i(t)$ (Eqs. 2-22 e 2-27), que caracterizam o perfil de atuação de um agente. Esse capítulo mostrará como é formado o mecanismo de ativação dos sinais de compra e venda de ações. Esse mecanismo determina também o ritmo de investimento do agente, e está ligado ao horizonte de tempo que ele deseja investir: investidores de longo prazo atuam com menor frequência do que investidores indecisos e de curto prazo (especuladores).

Este capítulo tem três objetivos: descrever os fundamentos das estratégias utilizadas pelos agentes técnicos, apresentar as estratégias realistas utilizadas em nossa simulação e avaliá-las quanto à eficiência preditiva, aplicando-as em séries temporais reais.

3.1

Análise Técnica de Investimentos

A Análise Técnica de Investimentos baseia-se na análise empírica da série passada dos preços com o objetivo de antecipar a tendência futura dos preços e o rumo do mercado. Estas previsões implicam em tomada de decisão pelo agente, traduzida por ordens de compra, venda ou de neutralidade.

Uma premissa importante da análise técnica é que o comportamento típico dos preços do mercado tende a se repetir, pois é resultado da ação e da psicologia dos investidores, que por sua vez são relativamente constantes, tendendo a apresentar recorrência de características similares de comportamento. Isto permite ao analista técnico identificar, através do cálculo de indicadores, comportamentos do mercado que antecedem uma tendência particular de movimento dos preços. Assim, para o analista técnico, não é importante conhecer o porquê dos preços se comportarem de uma determinada maneira, os motivos podem ser os mais diversos e na maioria das vezes são difíceis de serem avaliados. Para um analista técnico toda a informação relevante já está contida no preço: o preço “desconta” tudo!

A previsibilidade de retornos futuros a partir de retornos passados está em oposição à Hipótese de Mercado Eficiente da análise clássica de investimentos, que supõe que os agentes são completamente racionais e que o movimento dos preços segue um *random walk* em torno do seu valor fundamental, governado pelas informações externas imprevisíveis. Consequentemente, a variação previsível dos preços é economicamente e estatisticamente insignificante e lucros só ocorrem ao acaso.

Atualmente, as teorias econômicas modernas assumem racionalidade limitada dos agentes, havendo evidências de comportamento irracional do mercado. As ineficiências do mercado, nas quais os preços se afastam de seus valores fundamentais implicam em variação previsível dos preços, que pode vir a ser explorada pelos investidores.

A Análise Técnica é considerada como a análise de investimento mais antiga, cuja formulação original, que data do final do século XIX, é atribuída a Charles Dow. Muitas das técnicas usadas hoje foram desenvolvidas nos últimos 60 anos. Estas técnicas podem variar desde as mais simples até as muito elaboradas [10, 11] e podem ser divididas de acordo com os dois tipos básicos de estratégias:

- Análise Gráfica;
- Análise Técnica Computadorizada.

A Análise Técnica Gráfica consiste na identificação de padrões gráficos recorrentes nas séries de preços e da associação com uma tendência, de crescimento ou de queda nos preços, após a ocorrência destes padrões. Para isso, utilizam-se várias técnicas: gráficos de barras, gráficos *candlestick*, linhas de suporte, resistência e ondas de Elliot, apenas para citar algumas.

Os investidores que usam como ferramenta os padrões gráficos são chamados de “grafistas”. A maior crítica a tais estratégias é o seu caráter subjetivo de identificação dos padrões gráficos. Essas estratégias não serão tratadas aqui, apesar de já terem sido objeto de fundamentação estatística [12, 13] em trabalhos recentes.

A Análise Técnica Computadorizada utiliza como ferramenta os chamados indicadores técnicos, obtidos a partir de propriedades matemáticas das séries de preços, tais como: médias, máximos e mínimos, de acordo com várias janelas temporais. Os indicadores técnicos são utilizados para estabelecer critérios de compra ou de venda e a facilidade dos cálculos desses indicadores permite sua implementação computacional.

Nessa dissertação, quatro das mais simples estratégias técnicas muito utilizadas pelos investidores nos mercados, são consideradas:

- Média Móvel
- Média Móvel Exponencial
- Índice de Força Relativa (*Relative Strength Index* – *RSI*)
- Momento

3.2

Estratégias Técnicas

3.2.1

Média Móvel

Dada uma série temporal $x(t)$ definimos a média móvel de período τ no instante t como a média aritmética de $x(t)$ no instante t e seus $\tau - 1$ instantes anteriores.

$$M_{\tau}(t) = \sum_{i=0}^{\tau-1} \frac{x(t-i)}{\tau} \quad (3-1)$$

A idéia subjacente ao cômputo de médias móveis é suavizar séries muito voláteis. Deve-se ressaltar que a série temporal $x(t)$ pode ser tratada como uma média móvel com $\tau = 1$.

A evolução temporal da média móvel pode ser entendida como uma fila onde a cada novo instante o preço mais recente substitui o preço mais antigo. Quando uma média móvel cresce significa que o preço mais recente é maior do que o preço mais antigo.

A média móvel (Eq. 3-1) atua sempre de forma defasada com a série real, dando informação sobre o sinal passado. Quanto maior for o período da média móvel maior será essa defasagem. A Figura 3.1 ilustra essa propriedade.

Quando o mercado está com tendência de alta, (veja a Figura 3.1 logo após Jan/97) a média móvel acompanha esse comportamento, como se estivesse querendo alcançar a série real. Em um mercado em alta fica fácil observar a defasagem da média móvel, pois ela fica abaixo da série real, mostrando um “passado recente”. Por outro lado, em um mercado com tendência de queda (como ilustrado no período entre Fev/97 e Mar/97 da Figura 3.1) o comportamento se inverte e a média móvel fica acima da série real, novamente mostrando o “passado recente”. Assim, quando existe mudança de comportamento do mercado, ocorre um cruzamento entre a média móvel e a série real. Embora este cruzamento sempre ocorra após a mudança de comportamento do mercado, a observação desses cruzamentos ajuda a identificar alguns padrões no comportamento do mercado sendo úteis na formação das estratégias de investimento.

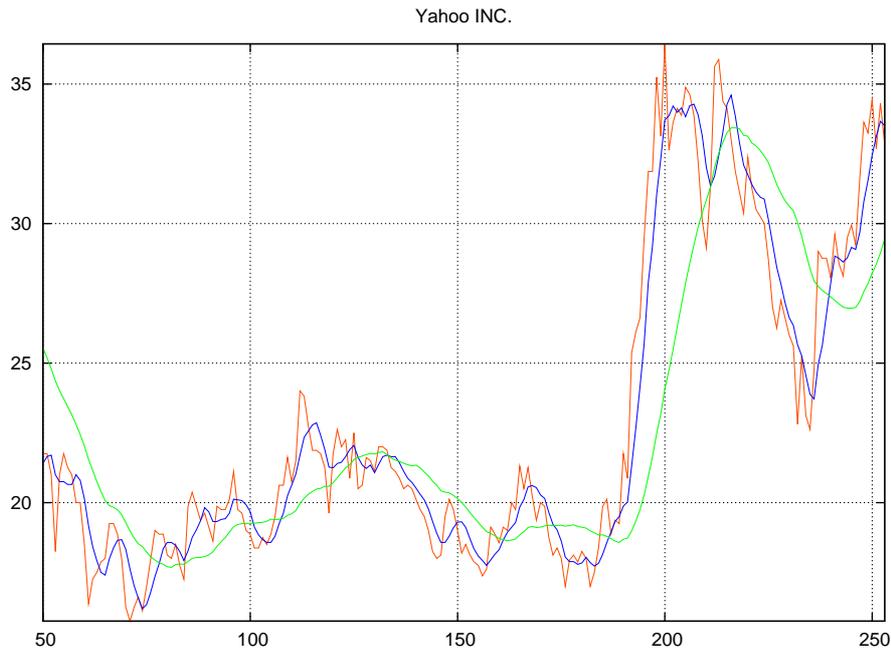


Figura 3.1: O gráfico mostra a série de preços diária do Yahoo INC. em vermelho, a média móvel curta de 5 dias (1 semana) em azul e a média móvel longa de 21 dias (1 mês) em verde.

São utilizadas duas médias móveis para fazer a análise técnica de uma série temporal $x(t)$: uma média móvel M_c com período curto c , e outra M_l com período longo l , onde $l > c$, que denotam o consenso do mercado no curto e no longo prazo, respectivamente. A estratégia é formada pela análise do comportamento dessas duas médias, uma em relação a outra, mais especificamente do cruzamento entre as duas médias, estendendo a análise apresentada sobre o cruzamento de uma das médias com a série real (que como já observado, pode ser considerada como uma média móvel de período $\tau = 1$).

A forma mais simples de tomada de decisão a partir dos indicadores M_c e M_l é a seguinte: quando a média móvel de curto prazo cruza ¹ uma média móvel de longo prazo um sinal de compra é enviado. No caso oposto, quando uma média móvel de longo prazo cruza uma média móvel de curto prazo um sinal de venda é emitido.

Para entender essa regra de decisão, considere o instante em que ocorre o cruzamento de uma média móvel curta com uma longa. Temos a ascensão da média móvel curta sobre a longa, logo o sistema está passando por uma alta recente, o mercado está mais otimista (*bullish*), o que é sentido pela

¹Considera-se o cruzamento de uma curva A sobre outra B quando a curva A corta a curva B de baixo para cima. Logo, quando uma média móvel curta cruza uma média móvel longa quer dizer que a média móvel de curto prazo passou a ser maior do que a média móvel de longo prazo.

média curta e ainda não percebido pela média longa. Logo, esse é um bom momento para compra. O caso oposto, quando uma média longa cruza uma curta, significa que o mercado estava em alta e começa a apresentar sinais de queda, entretanto, enquanto a média longa ainda registra os sinais da alta a média curta já apresenta tendência de queda recente. Logo, quando este cruzamento ocorre, um sinal de venda é enviado.

Em resumo, o mecanismo de ativação desta estratégia, denotada por $MA(c, l)$, é dado pela seguinte regra de decisão:

$$\sigma_i(t) = \begin{cases} +1 & \text{quando } M_c \text{ cruza } M_l \\ -1 & \text{quando } M_l \text{ cruza } M_c \\ 0 & \text{para qualquer outro estado} \end{cases} \quad (3-2)$$

A Figura 3.2 ilustra a emissão de sinais por essa estratégia, dada pela Eq. 3-2. A combinação de médias móveis com diferentes janelas temporais de curto e longo prazo, determina diferentes estratégias de média móvel.

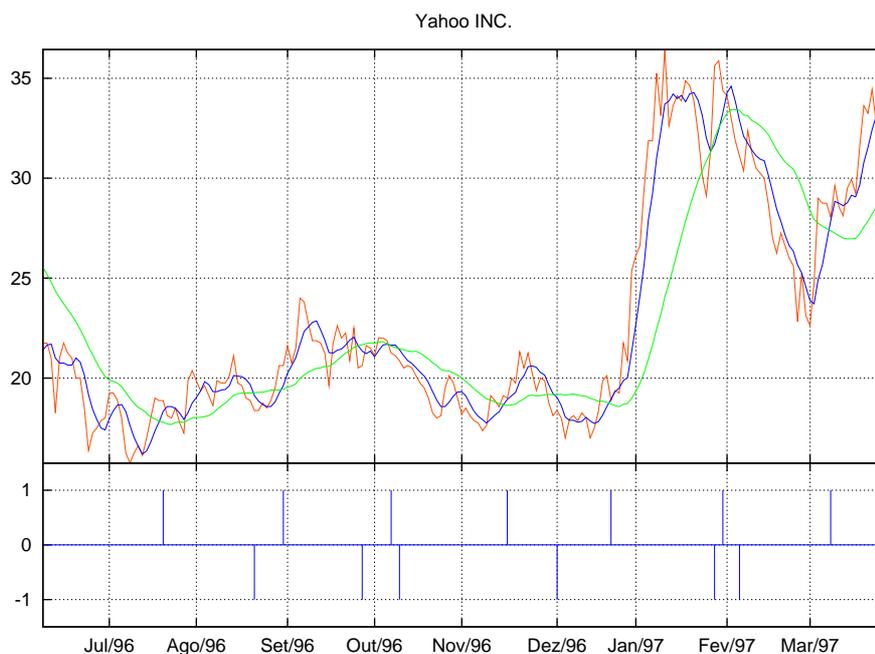


Figura 3.2: O gráfico mostra a série de preço diária do Yahoo INC. em vermelho, a média móvel curta de 5 dias (1 semana) em azul e a média móvel longa de 21 dias (1 mês) em verde. Embaixo está o gráfico de atividades produzido pela estratégia que se baseia no cruzamento das médias para a emissão de sinais de acordo com a Eq. 3-2.

3.2.2 Média Móvel Exponencial

Este indicador é uma extensão da média móvel, utilizando a suavização da mesma para reduzir a quantidade de sinais de compra ou venda. A média

móvel exponencial é uma média ponderada de observações passadas. Para uma série temporal $x(t)$ a média móvel exponencial é definida por:

$$E_\alpha(t) = \alpha x(t) + (1 - \alpha)E_\alpha(t - 1) \quad (3-3)$$

onde $0 \leq \alpha \leq 1$ é uma constante. A Figura 3.3 ilustra a média móvel exponencial aplicada a um série temporal real. Iterando essa equação é possível observar que E_α é uma combinação linear dos dados passados:

$$E_\alpha(t) = \alpha x(t) + (1 - \alpha)E_\alpha(t - 1) \quad (3-4)$$

$$= \alpha x(t) + \alpha(1 - \alpha)x(t - 1) + (1 - \alpha)^2 E_\alpha(t - 2) \quad (3-5)$$

$$= \alpha \sum_{i=0}^{T-1} (1 - \alpha)^i x(T - i) + (1 - \alpha)^T E_\alpha(0) \quad (3-6)$$

onde $E_\alpha(0)$ deve ser estimado. Para valores de T suficientemente grandes temos que $(1 - \alpha)^T E_\alpha(0)$ é próximo de zero e dessa maneira $E_\alpha(0)$ não precisa ser estimado. A equação da média móvel exponencial pode ser escrita como:

$$E_\alpha(t) = \alpha \sum_{i=0}^T (1 - \alpha)^i x(T - i) \quad (3-7)$$

Ao contrário da média móvel (Eq. 3-1) que atribui o mesmo peso a toda informação passada pertencente a uma janela τ , a média móvel exponencial, através da constante α , pode oferecer maior ou menor peso à informação mais recente. Esta é uma vantagem associada à média móvel exponencial, e faz com que muitos analistas técnicos a prefiram.

O papel da constante α da média móvel exponencial está relacionada ao papel do período τ da média móvel. Um α próximo de 1 na Eq. 3-7, torna a informação do instante atual, $x(t)$, muito representativa no cálculo de E_α , da mesma maneira que se fosse considerado $\tau = 1$ para o cálculo da média móvel. Já na situação oposta, onde $\alpha \ll 1$, tem-se que os pesos maiores serão atribuídos às observações passadas e, conseqüentemente, qualquer flutuação no presente exercerá um menor impacto em E_α , analogamente ao que ocorre para $\tau \gg 1$ na média móvel.

Uma equivalência entre os valores de α e τ pode ser obtida comparando-se as idades médias dos dados nas médias móveis [14]. Para uma média móvel de período τ a idade média é

$$\frac{1}{\tau} \sum_{k=0}^{\tau-1} k = \frac{\tau - 1}{2} \quad (3-8)$$

e para uma média móvel exponencial temos:

$$\alpha \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \alpha)^k k = \frac{1 - \alpha}{\alpha} \quad (3-9)$$

Igualando essas equações obtém-se:

$$\alpha = \frac{2}{\tau + 1} \quad (3-10)$$

Assim como a média móvel, a média móvel exponencial usa duas médias para definir de forma análoga a estratégia que produz a emissão dos sinais pelos agentes. Sendo E_c a média móvel exponencial referente ao período curto c e E_l a média móvel exponencial referente ao período longo l , a regra de decisão para o mecanismo de ativação dessa estratégia, denotada por $EMA(c, l)$ é:

$$\sigma_i(t) = \begin{cases} +1 & \text{quando } E_c \text{ cruza } E_l \\ -1 & \text{quando } E_l \text{ cruza } E_c \\ 0 & \text{para qualquer outro estado} \end{cases} \quad (3-11)$$

A Figura 3.4 apresenta o gráfico de atividades produzido por esta regra de

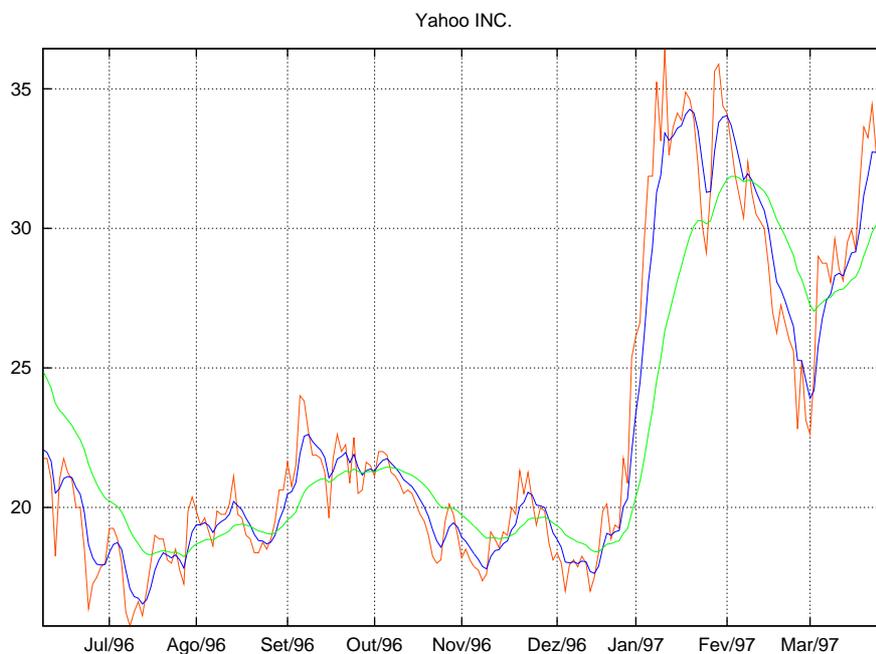


Figura 3.3: O gráfico mostra a série de preços diária do Yahoo INC. em vermelho, a média móvel exponencial curta de 5 dias (1 semana) em azul e a média móvel exponencial longa de 21 dias (1 mês) em verde.

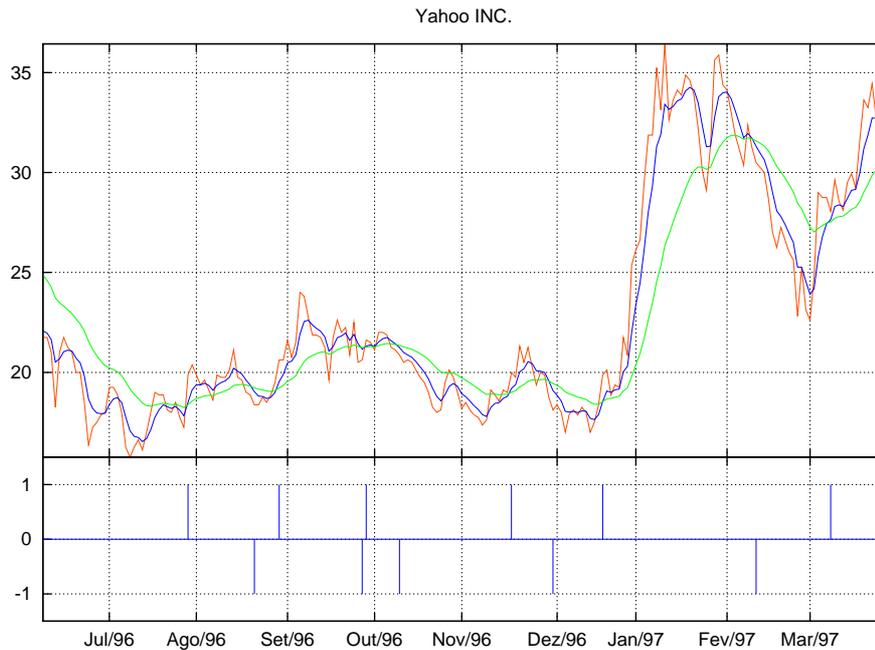


Figura 3.4: Em cima: gráfico mostra a série de preço diária do Yahoo INC em vermelho, a média móvel exponencial curta de 5 dias (1 semana) em azul e a média móvel exponencial longa de 21 dias (1 mês) em verde. Embaixo: o gráfico de atividades produzido pela estratégia que se baseia no cruzamento das médias para a emissão de sinais de acordo com a Eq. 3-11.

decisão (Eq. 3-11) aplicada a uma série temporal real.

Através dos diagramas de ativação das Figuras 3.2 e 3.4, é possível observar que as médias móveis, aritmética e exponencial, apresentam uma semelhança nos sinais emitidos pelas estratégias, no entanto, os sinais são emitidos próximos uns dos outros e não simultaneamente (ver entre Ago/96 a Out/96). Outro ponto é que a média móvel exponencial envia menos sinais do que a média móvel (ver entre Jan/97 a Mar/97).

3.2.3 Momento

O Momento é um indicador que mede a “velocidade” do movimento do preço passado, comparando preços em t com preços em $t - \tau$ de acordo a seguinte equação:

$$R_{\tau}(t) = \frac{x(t) - x(t - \tau)}{\tau} \quad (3-12)$$

Essa equação define o momento de período τ . Este indicador avalia se os preços estão se movendo rápido ou devagar. A Figura 3.5 ilustra o indicador momento aplicado a uma série temporal real.

Diferentemente das médias móveis analisadas, o indicador momento não

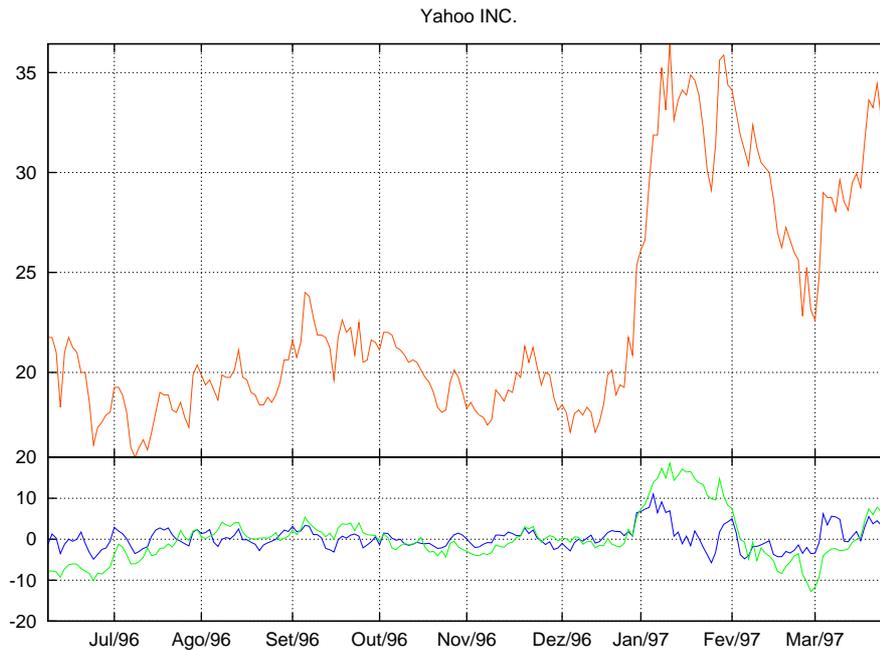


Figura 3.5: Em cima: O gráfico mostra a série de preço diária do Yahoo INC. Embaixo: O gráfico do momento para $\tau = 5$ (azul) $\tau = 21$ (verde).

tenta acompanhar a tendência dos preços, o seu objetivo é informar os pontos de inflexão deste comportamento. Por outro lado, semelhantemente à média móvel, o momento também atua de maneira defasada com a série real, informando o comportamento de um passado recente, de janela temporal τ .

Quanto menor for o período τ do momento, mais rapidamente as inflexões da série de preços são notadas. Para períodos longos o momento mostra inflexões em tendências mais amplas, como é possível observar na Figura 3.5 no período entre Jan/97 e Fev/97, onde apresentamos o comportamento de $R_\tau(t)$ para $\tau = 5$ e $\tau = 21$.

Analisando o comportamento de $R_\tau(t)$, observa-se que quando o mercado está em alta, as diferenças de preços entre $x(t)$ e $x(t - \tau)$ são sempre positivas, e nesse caso o momento acompanha a tendência (veja a Figura 3.5 em Jan/97). No entanto, quando o comportamento do mercado muda, eliminando a tendência de alta, as diferenças entre os preços continuam positivas, porém, começam a diminuir. Quando a série de preços inicia uma tendência de queda, a diferença entre o preço em t para o preço em $t - \tau$ diminui até ficar negativa, quando o preço em t passa a ser menor do que o preço em $t - \tau$ (veja a Figura 3.5 em Fev/97). O instante no qual ocorre essa mudança no sinal do momento, reflete a mudança na tendência dos preços na escala temporal τ .

Como é possível observar na Figura 3.5 o indicador momento oscila entorno de 0, de forma que quando ele se afasta muito da origem o mercado

apresenta forte tendência (tanto de alta como de baixa), ao passo que ao se aproximar da origem o mercado aponta para uma inversão de tendência.

A regra de decisão que utiliza o indicador momento é baseada na mudança do sinal do indicador, que informa que o comportamento do mercado já apresentou inversão de tendência. Quando o momento cruza a origem mudando o sinal de negativo para positivo, significa que o mercado passou de uma tendência de baixa para de alta, e assim, nesse instante um sinal de compra é emitido. Na situação contrária, onde o momento muda o sinal de positivo para negativo, o mercado passa de uma tendência de alta para uma de baixa, e nesse instante um sinal de venda é emitido. A formação da estratégia para este indicador, cuja notação é $MO(\tau)$, segue portanto a seguinte regra de decisão:

$$\sigma_i(t) = \begin{cases} +1 & \text{quando } R_\tau(t) \text{ fica positivo} \\ -1 & \text{quando } R_\tau(t) \text{ fica negativo} \\ 0 & \text{para qualquer outro estado} \end{cases} \quad (3-13)$$

A Figura 3.6 ilustra a emissão de sinais para a estratégia de momento utilizando a Eq. 3-13.

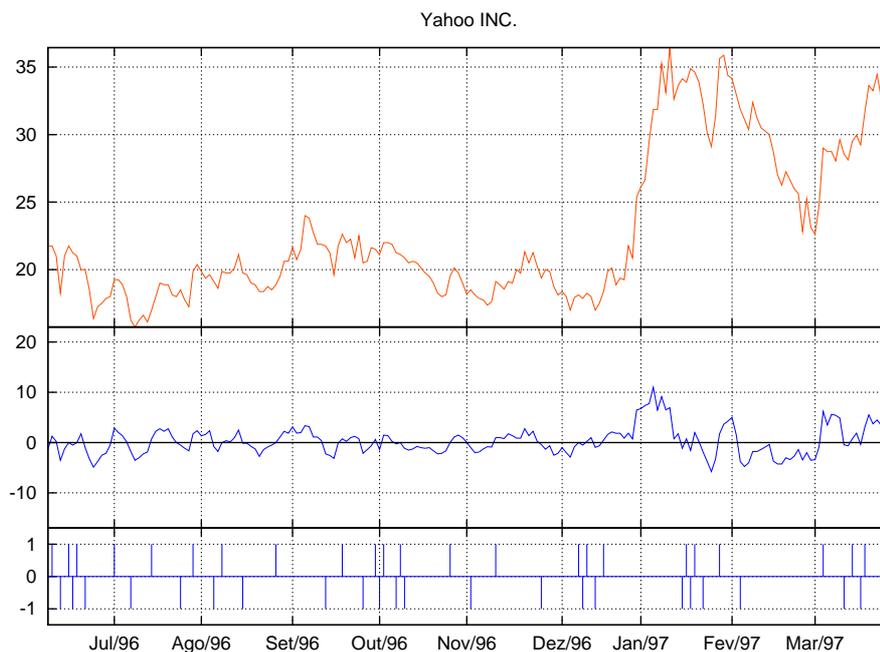


Figura 3.6: Em cima: O gráfico mostra a série de preço diária do Yahoo INC. No meio: O gráfico do momento para $\tau = 21$. Embaixo: O gráfico de atividades produzido pela estratégia do momento para a emissão de sinais de compra ou venda, dada pela Eq. 3-13.

O agente que utiliza a estratégia de momento, assim como a de média móvel, é um seguidor de tendência de preços, cuja decisão depende da tendência dos preços passados. Assim, este agente especula que se o preço está subindo,

deve continuar subindo, e se os preços estão caindo, continuarão caindo. Portanto, tais especuladores apresentam comportamento de *herding*.

A tendência do mercado é avaliada em geral para o intervalo temporal $\tau \geq 5$, de forma que estes agentes não consideram variações de preços imediatas, mas em tendências mais estáveis.

3.2.4

RSI - Índice de Força Relativa

O indicador RSI é calculado através de:

$$RSI_{\tau}(t) = 100 - \frac{100}{1 + RS_{\tau}(t)} \quad (3-14)$$

onde,

$$RS_{\tau}(t) = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{\tau} (x_{t-i} - x_{t-i-1}) I(x_{t-i} > x_{t-i-1})}{\sum_{i=1}^{\tau} I(x_{t-i} > x_{t-i-1})}}{\frac{\sum_{i=1}^{\tau} (x_{t-i-1} - x_{t-i}) I(x_{t-i} \leq x_{t-i-1})}{\sum_{i=1}^{\tau} I(x_{t-i} \leq x_{t-i-1})}} \quad (3-15)$$

e $I(\cdot)$ é uma função indicadora:

$$I(s) = \begin{cases} 0 & \text{se } s = \textit{falso} \\ 1 & \text{se } s = \textit{verdadeiro} \end{cases} \quad (3-16)$$

De acordo com a Eq. 3-15 o fator $RS_{\tau}(t)$ mede a razão entre as médias das variações positivas e negativas do preço dentro de uma janela de período τ . Este fator mostra a tendência dentro da janela observada, ou seja, quando $RS_{\tau}(t)$ é alto significa que a média das altas nesse período superaram a média das quedas e vice-versa.

Pela Eq.(3-14) observa-se que

$$\begin{aligned} RS_{\tau}(t) \rightarrow 0 & \implies RSI_{\tau}(t) \rightarrow 0 \\ RS_{\tau}(t) \rightarrow \infty & \implies RSI_{\tau}(t) \rightarrow 100 \end{aligned} \quad (3-17)$$

ou seja, o indicador $RSI_{\tau}(t)$ mapeia o fator $RS_{\tau}(t)$ para o intervalo $[0, 100]$.

O indicador $RSI_{\tau}(t)$ é ilustrado pela Figura 3.7, onde observam-se valores crescentes nas faixas de tendência de crescimento de preços e analogamente, valores decrescentes nas faixas de tendência de queda dos preços.

O indicador RSI_{τ} informa o potencial de crescimento do ativo. Assim, quando o RSI_{τ} atinge um valor acima de um determinado nível, L_{sup} , significa que o preço já subiu bastante, logo, o potencial de valorização é menor e o momento é bom para vender (veja Figura 3.7 entre Nov/96 e Dez/96). Por

outro lado, quando o RSI_τ atinge um valor abaixo de um determinado nível, L_{inf} , significa que o preço já caiu bastante, logo, o ativo tem grande potencial de valorização e o momento é bom para comprar (veja Figura 3.7 após Jul/96 e antes de Nov/96).

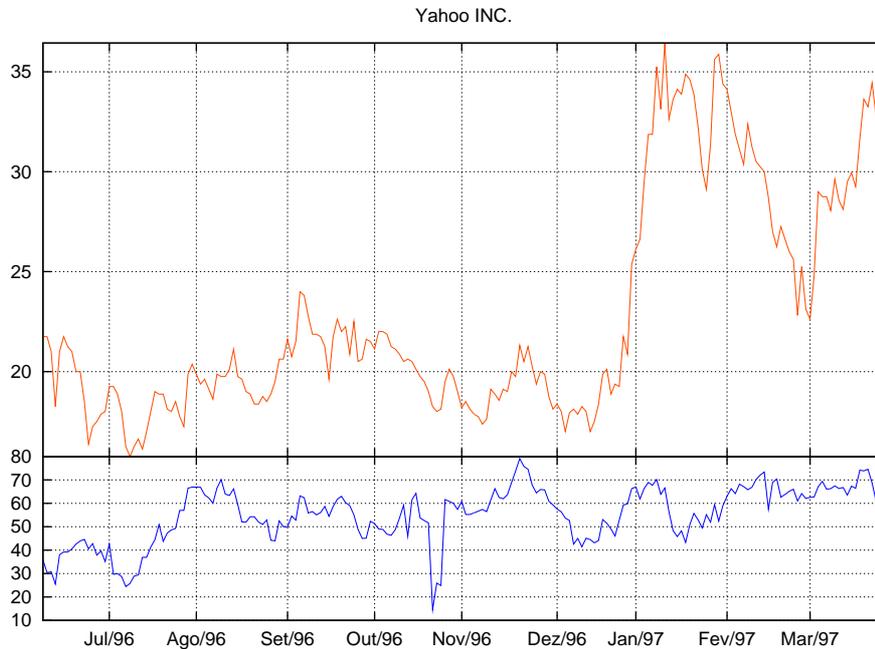


Figura 3.7: Em cima: O gráfico mostra a série de preço de fechamento diária do Yahoo INC. Embaixo: O gráfico do indicador RSI para $\tau = 14$.

De acordo com essa análise, o mecanismo de ativação da estratégia baseada neste indicador, denotada por $RSI(\tau, L_{inf}, L_{sup})$, é dado pela seguinte regra de decisão:

$$\sigma_i(t) = \begin{cases} +1 & \text{quando } RSI_\tau(t) < L_{inf} \\ -1 & \text{quando } RSI_\tau(t) > L_{sup} \\ 0 & \text{quando } L_{inf} < RSI_\tau(t) < L_{sup} \end{cases} \quad (3-18)$$

Os valores L_{inf} e L_{sup} indicam os pontos a partir dos quais considera-se o ativo sub- ou super-valorizado. Essas duas variáveis são escolhidas pelo agente e constituem mais dois parâmetros da estratégia. A Figura 3.8 ilustra a emissão de ordens de compra e venda de acordo com a Eq. 3-18, juntamente com a série de preços real.

3.3 Teste de Significância

Foram descritos algumas estratégias de Análise Técnica e todas elas apresentam características importantes que devem ser consideradas na análise de séries temporais financeiras. No entanto, a princípio, não é possível afirmar

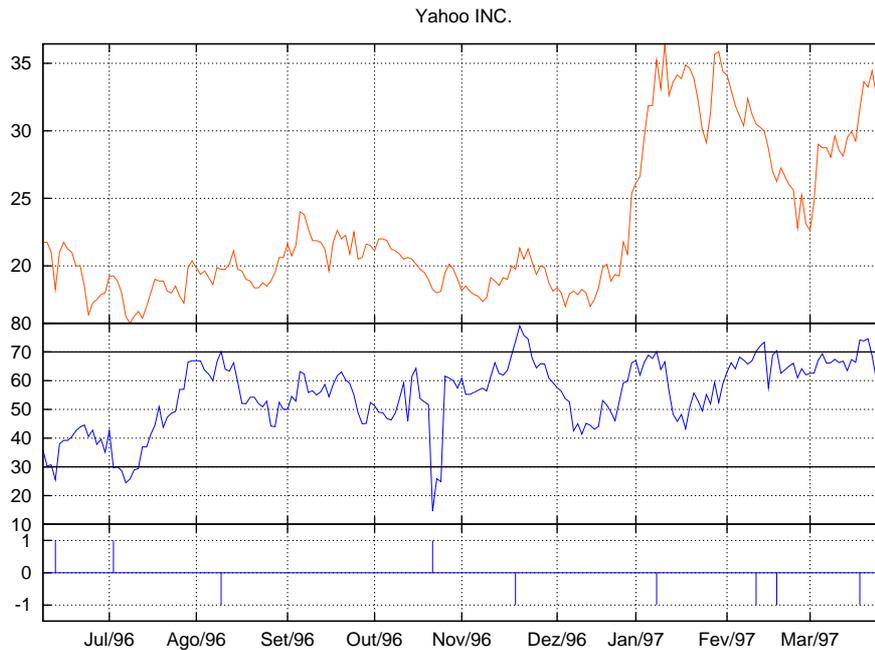


Figura 3.8: Em cima: O gráfico mostra a série de preço de fechamento diária do Yahoo INC. No meio: O gráfico do $RSI_{\tau}(t)$ para $\tau = 14$. Embaixo: O gráfico de atividades do $RSI_{\tau}(t)$ para $L_{inf} = 30$ e $L_{sup} = 70$ e para a estratégia de compra ou venda dada pela Eq. 3-18.

que uma estratégia proporciona uma performance superior a outra estratégia. Alguns indicadores podem apresentar um desempenho superior quando uma série temporal apresenta características favoráveis à estratégia que adotada o indicador. Por exemplo, a média móvel é um bom indicador de tendências e o momento detecta eficientemente as inversões do mercado, logo, em um período de tendência bem definida, a média móvel pode apresentar resultados superiores ao do momento. Todavia, as séries temporais financeiras apresentam um comportamento bastante heterogêneo – devido ao seu caráter estocástico – o que torna difícil estabelecer uma estratégia ótima de previsão.

Com o objetivo de analisar as estratégias técnicas, foram desenvolvidos diversos testes de habilidade preditiva [15, 16] que avaliam a hipótese de superioridade preditiva destas regras de decisão como forma de investimento. Os resultados destas análises não são conclusivos, algumas apresentando evidências de performance positiva consistente [17], enquanto outras sugerem que a performance das estratégias técnicas é fruto do acaso [15].

Para comparar-se a eficiência relativa das estratégias, deve-se utilizar uma determinada medida de performance, como por exemplo, o erro quadrático médio das previsões ou o excesso de retorno de uma estratégia em relação a uma estratégia de referência.

Testamos o desempenho de uma dada estratégia avaliando sua habilidade

em produzir retornos superiores à estratégia de referência “comprar e esperar”. Vamos considerar que as estratégias sejam aplicadas a uma série diária de tamanho N . Utilizamos como medida de performance:

$$f(t) = \log [1 + r(t)s(\sigma_1(t))] - \log [1 + r(t)s(\sigma_0(t))] \quad (3-19)$$

onde $r(t)$ é o retorno diário e $s(\cdot)$ é uma função que converte os sinais emitidos pelas estratégias, $\sigma_0(t)$ (da estratégia de referência) e $\sigma_1(t)$ (da estratégia de análise técnica), nas seguintes posições de mercado: -1 (vendido), 0 (fora do mercado) e +1 (comprado).²

A estratégia de referência “comprar e esperar” significa comprar a ação em $t = 1$ e permanecer com ela até o final da série, quando $t = N$. Um investidor que adote tal estratégia estará sempre comprado e a função $s(\sigma_0(t))$ será igual a +1 em todos os instantes. Neste caso, a performance de referência corresponde aos retornos incondicionais.

Uma estimativa positiva da performance em relação à estratégia de referência indica superioridade preditiva da estratégia analisada. Porém devemos avaliar se esta estimativa é estatisticamente significativa. Uma forma bastante simples de fazermos esta avaliação é através da estatística- t [18].

O teste com a estatística- t avalia se a performance, f , é estatisticamente positiva. A hipótese nula, H_0 , é a de ausência de superioridade preditiva da estratégia, e a hipótese alternativa, H_1 , é a de eficiência preditiva da análise técnica:

$$H_0 : E[f] \leq 0 \quad (3-20)$$

$$H_1 : E[f] > 0 \quad (3-21)$$

onde $E[f]$ é o valor esperado da medida de performance f .

Os resultados do teste de hipótese são sujeitos a erro, que no entanto, podem ser controlados. Para isso considera-se a probabilidade α de se rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira. Temos portanto:

$$\alpha = P(\text{rejeitar } H_0 \mid H_0 \text{ é verdadeira}) \quad (3-22)$$

²Os termos comprado e vendido são muito utilizados no mercado. Eles definem um estado no qual um investidor pode se encontrar. Estar comprado significa que o investidor está de posse de ações, ele somente terá lucro se conseguir vender a ação por um valor superior ao que ele pagou. Se ele vende todas as ações que possui, ele fica fora do mercado. Estar vendido significa que o investidor vendeu uma ação que não possuía inicialmente, e ele somente realizará lucros caso compre as ações a um valor inferior ao que foi vendido.

A estatística- t consiste no cálculo amostral de:

$$T = \frac{\bar{f} - E[\bar{f}]}{S_N} \sqrt{N} \quad (3-23)$$

onde $\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N f(t)$ é a média amostral da medida de performance, $E[\bar{f}]$ é o valor esperado de \bar{f} . Tem-se que $E[\bar{f}] = E[f]$. S_N é o estimador do desvio padrão da amostra:

$$S_N = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (f(t) - \bar{f})^2} \quad (3-24)$$

As Eqs. 3-20 e 3-21 definem um teste de hipótese para a performance f , cuja variável de teste T depende do valor verdadeiro $E[f]$. Como não conhecemos $E[f]$, neste caso, o melhor teste é aquele que utiliza o maior valor possível para $E[f]$ quando avaliado sob H_0 , isto é, $E[f] = 0$. Substituindo esse valor na Eq. 3-23 temos:

$$T = \frac{\bar{f}}{S_N} \sqrt{N} \quad (3-25)$$

Se a performance da estratégia é ocasional (obedecendo uma distribuição normal), esta estatística obedece à distribuição $t - Student$ com $N - 1$ graus de liberdade [18].

A partir da distribuição $t - Student$, obtém-se o valor crítico da variável aleatória t_α para a qual a probabilidade acumulada da cauda da distribuição seja α :

$$P(T > t_\alpha) = \alpha \quad (3-26)$$

Se a série real produzir alto valor da variável T (Eq. 3-25), isto significa que a performance da estratégia não deve ser fortuita, sugerindo assim a rejeição da hipótese nula H_0 . No entanto, de acordo com a Eq. 3-26, para $T > t_\alpha$, existe probabilidade α de que H_0 seja verdadeira, isto é, de que este valor tenha sido produzido ao acaso. Assim, de acordo com a Eq. 3-22, a hipótese nula é rejeitada a nível de significância α , isto é, com $(1 - \alpha)\%$ de nível de confiança.

A distribuição t -Student é uma distribuição conhecida e possui valores tabelados para a Eq. 3-26. Logo, para um valor de α fixo é possível obter o valor de t_α e com isso verificar se o valor obtido na amostra, T , atende a Eq. 3-26, a um nível de significância α . Em particular $t_{0.05} = 1.64$ e $t_{0.1} = 1.28$.

3.3.1

Resultados dos Testes de Significância

As estratégias descritas anteriormente foram aplicadas a várias séries temporais de preços de fechamento, e a performance das estratégias, $f(t)$, foi calculada de acordo com a Eq. 3-19, considerando a estratégia de referência “comprar e esperar”.

A Tabela 3.1 ilustra a performance obtida das estratégias técnicas aplicadas a duas séries: a do S&P500 (GSPC) e a do Bank of America (BAC), no período de de Jan/1996 a Dez/2005.

Estratégia	Série	\bar{f}	T	α
MA(5,21)	BAC	0.04%	0.63	30%
	GSPC	0.04%	1.11	15%
EMA(5,21)	BAC	0.04%	0.60	30%
	GSPC	0.05%	1.31	10%
MO(5)	BAC	0.05%	1.82	5%
	GSPC	0.01%	1.05	15%
RSI(21,30,70)	BAC	0.03%	1.91	5%
	GSPC	0.03%	1.39	10%

Tabela 3.1: Estatística- t da performance das estratégias de análise técnica.

Pelos valores apresentados na Tabela 3.1, apenas dois dentre os oito testes rejeitam a hipótese nula de ausência de performance positiva a um nível de significância 5%. Assim, é possível concluir que a hipótese de ineficácia das estratégias técnicas pode ser fracamente rejeitada, apesar dos valores obtidos para \bar{f} serem positivos. Esse resultado indica a existência de uma performance marginal das estratégias, o que significa que existem pequenas ineficiências no mercado, traduzidas por um grau de previsibilidade marginal da série de preços.

Apesar de ser possível encontrar estratégias com performance significativa em algumas séries, elas só podem ser consideradas como tendo habilidade preditiva superior caso seja observada performance significativa para várias séries temporais. No entanto, não encontramos evidências deste resultado em nossa análise.

Outro ponto importante na análise dos testes de performance é a impossibilidade em afirmar que uma estratégia é sempre superior a outra nas previsões futuras dos preços. Por exemplo, a média móvel apresenta um resultado inferior ao momento quando aplicados a BAC, no entanto, ambas as estratégias apresentam uma significância semelhante quando aplicados a GSPC. A mesma análise pode ser feita para o RSI e a média móvel exponencial. Considerando que estas estratégias serão utilizadas como mecanismo de emissão de sinais dos agentes, conclui-se que teremos um “jogo limpo” (*fair*

play). Isto significa que, como não existe uma estratégia que produza sempre ao agente os melhores retornos, existe garantia de continuidade do jogo, pois, caso contrário, esse grupo privilegiado minaria todo o capital e comprometeria a dinâmica do mercado. Este resultado é portanto fundamental para a boa evolução da dinâmica do mercado, como poderá ser comprovado no capítulo seguinte onde os resultados do modelo serão apresentados.

Finalmente, considerando que não há previsibilidade quanto à estratégia vencedora, a simulação da atuação conjunta das estratégias em um mercado artificial torna-se ferramenta importante para podermos inferir o resultado deste jogo limpo.