

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**DIRCEU EMANUEL MEZZAROBÀ**

**MERCADO DE CAPITAIS E OS FRACTAIS**

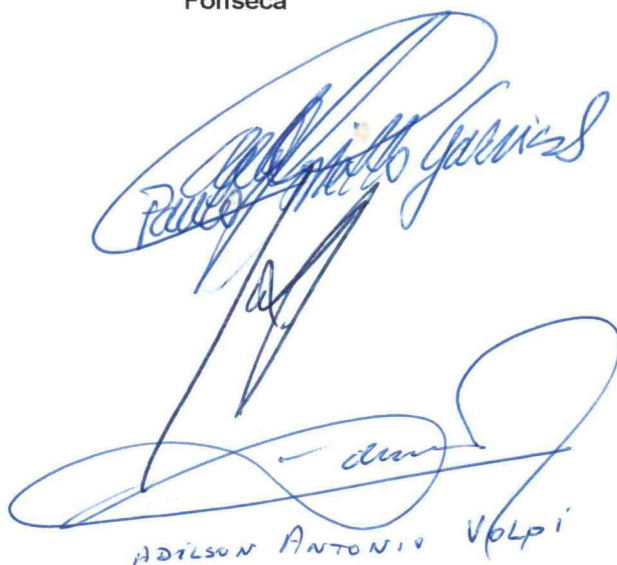
**CURITIBA**  
**2009**

DIRCEU EMANUEL MEZZAROBA

## MERCADO DE CAPITAIS E OS FRACTAIS

Monografia apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de bacharel em Ciências  
Econômicas da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José Wladimir Freitas da  
Fonseca



ADILSON ANTONIO VOLPI

CURITIBA  
2009

## DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, Dirceu e Rosi, por todo apoio, força e confiança que em mim depositaram durante todos os meus estudos, principalmente, pelo amor, carinho e oportunidades que sempre me proporcionaram, pensando em mim antes mesmo do que neles.

As minhas irmãs, Anny e Juliana, por todo o companheirismo, ajuda, preocupação e amor dedicados.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais diversos me apoiando, aconselhando, ouvindo e alegrando.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares e amigos, pelo apoio durante todos esses anos, ajudando-me sempre a manter um ritmo forte para alcançar meus objetivos.

Aos meus professores e ao meu orientador, Professor Doutor José Wladimir Freitas da Fonseca, obrigado por todo apoio, paciência e conhecimento. Vocês foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

E, ainda, a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para o desenvolvimento e realização desta monografia.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

RESUMO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. TEORIA DO CAOS .....	3
3. TEORIA FRACTAL .....	11
4. SISTEMA FINANCEIRO .....	16
4.1 BOLSA DE VALORES .....	17
4.1.1 Análise Fundamentalista .....	20
4.1.2 Análise Técnica ou Grafista .....	22
4.2 COMPORTAMENTO DOS PREÇOS .....	27
5. O MERCADO É SUBESTIMADO .....	30
6. APLICAÇÃO DOS FRACTAIS AO MERCADO DE CAPITALIS SEGUNDO MANDELBROT .....	33
7. CONCLUSÃO .....	38
REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
ANEXO A – DEFINIÇÃO DE DIMENSÃO HAUSDORFF	

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Uma simulação do experimento de Lorenz caracterizando o aumento em cascata do erro com o passar do tempo.....	6
FIGURA 2 – Roda d'água Lorenziana .....	8
FIGURA 3 – Atrator Estranho .....	9
FIGURA 4 – Formação de uma samambaia.....	12
FIGURA 5 – Ilustração do processo iterativo de construção do Triângulo de Sierpinski .....	13
FIGURA 6 – Auto-similaridade fractal.....	14
FIGURA 7 – Gerador de três fragmentos fractais.....	34
FIGURA 8 – Criação de Multifractais a partir de Unifractal.....	36
FIGURA 9 - Volatilidades.....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Tendência Baseada em Resistência e Suporte.....	24
GRÁFICA 2 – Média Móvel .....	25
GRÁFICO 3 – Desempenho Mensal do Ibovespa entre Dezembro de 1994 e Outubro de 2008.....	28

## RESUMO

O presente trabalho analisa as questões concernentes ao estudo da ciência fractal, sob a ótica comportamental dos preços dos ativos no mercado financeiro, identificando a lógica fractal nos gráficos de preços desses ativos. O autor procura expor a importância da utilização da interdisciplinaridade para analisar os mercados dinâmicos financeiros, com o objetivo de auxiliar uma melhor previsão do comportamento desses mercados. Para isso, parte-se de uma explanação sobre sistemas caóticos e ciência fractal, base para compreender a lógica existente no comportamento financeiro proposta por Benoit Mandelbrot. Na sequência, discorre-se sobre o funcionamento dos mercados financeiros, assim como algumas das técnicas de previsão mercadológicas utilizadas pelos profissionais da área financeira. Antes de concluir, aborda-se a visão de Mandelbrot do mercado de capitais a qual ele acredita ser a forma mais realista de encará-lo. Por fim, apresenta-se o trabalho elaborado por Mandelbrot sobre a relação entre comportamento de preços e o estudo dos fractais.

**Palavra-chave:** Caos, fractal, mercado de capitais, comportamento dos preços, previsão.

## ABSTRACT

This paper examines the issues concerning the fractal science study, from the viewpoint of the price behavior of assets on the stock market, identifying the fractal logic on asset prices graphics. The author makes an effort to demonstrate the importance of use the interdisciplinary to analyze the stock market dynamic, aiming to make better predictions about market behavior. For this, starts on the expianation about chaotic systems e fractal science, basis for understanding the existing logic on behavioral finance proposal by Benoit Mandelbrot. In sequence, writes about the financial market functionality, as well as some of the mercantiie way of prediction, used by finance professionals. Before concluded, talks about stock market Mandelbrot's point of view which he believes is more realistic. Concluding, presents the Mandelbrot's paper about price behavior and fractal relation.

**Keyword:** Chaos, fractal, stock market, price behavior, prediction.

## 1. INTRODUÇÃO

A teoria do caos afirma que qualquer acontecimento pode ser previsto em sua totalidade, porém apenas no curto prazo. No decorrer do tempo, os acontecimentos agregam efeitos de diversos fatores externos que ao certo geram resultados imprevisíveis. Isso pode ser exemplificado com a crise imobiliária americana, ou seja, em um primeiro momento as conseqüências puderam ser calculadas, entretanto o vínculo existente entre os mercados mundiais desencadeou uma reação em cadeia impossibilitando total controle sobre esse fato caracterizando uma não-linearidade das reações desse acontecimento.

Os fractais são formas geométricas de formas irregulares que se repetem de forma infinita, mesmo limitadas a áreas finitas. Benoit Mandelbrot cunhou a palavra fractal do latim fractus que significa quebrado, partido, irregular. Através deste conceito, Mandelbrot começou a contribuir com estudos no mercado financeiro com seu livro “Fractais and Scaling in Finance” (1997).

O mercado de capitais promove a intermediação de valores entre os agentes superavitários e deficitários através dos mercados primários e secundários. Este mercado permite a capitalização das empresas públicas e privadas e do governo através da negociação de títulos, debênture entre outros, os quais redirecionam recursos de indivíduos superavitários para indivíduos deficitários, proporcionando maior liquidez no mercado.

A busca por opções de investimentos pelos investidores baseia-se na minimização do risco associado com a maximização do retorno, o que muitos levam a afirmar que os propulsores do mercado de capitais são o medo e a ganância das pessoas, como abordado por Hersh Shefrin em seu livro “Beyond Greed and Fear” de 2002. Ao mesmo tempo em que a ganância atrai o investidor para determinados investimentos, o medo puxa-o para o outro lado, obrigando-o a ser mais cauteloso.

Visando a redução dos riscos embutidos em qualquer investimento neste mercado, os investidores têm à disposição as análises técnica e fundamentalistas sendo que cada uma tem seu objetivos. Enquanto a técnica é mais detalhista, portanto,

voltada para o mercado de curto prazo, a fundamentalista baseia-se em um estudo mais aprofundado da empresa e do mercado que o investimento corresponde, portanto, direcionada ao longo prazo.

Embora existam todos estes recursos para apoiar e garantir menor risco para os investidores existe um fator que não pode ser mensurado ou previsto, imponderavelmente. Segundo Benoit Mandelbrot, 95% das situações podem ser prevista através da teoria dos portfólios, entretanto os 5% restantes correspondem aos acontecimentos inesperados. Embora não seja possível reduzir em 100% o erro atribuído aos investimentos, uma análise mais detalhada permite ampliar o percentual possível. A partir deste ponto entra-se na chamada teoria dos caos baseada na interpretação da dinâmica do todo, conseqüentemente, do comportamento dos investidores.

O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicação da teoria do caos no mercado acionário. Destaca-se que para esta análise buscar-se-á estudar o modelo de fractais apresentado por Benoit Mandelbrot.

## 2. TEORIA DO CAOS

Na natureza identificamos com maior frequência que seus processos são gerados de forma *randômica*<sup>1</sup>. Por exemplo, observamos diversas árvores, da mesma espécie, porém com formas distintas, vistos em seus tamanhos, formas e ramificações. Estas diferenças ocorrem porque desde a semente até sua forma final, diversos fatores influenciaram em seu desenvolvimento, como o vento, nível de minerais, água e impactos. O que se pode concluir é que, independente das condições iniciais, para se obter sempre o mesmo resultado em todo e qualquer processo, faz-se necessário acompanhamento e controle de todas as variáveis envolvidas, caso contrário, o futuro torna-se totalmente imprevisível.

A teoria do caos constitui um estudo muito recente, o qual busca analisar de forma abrangente todos os fatores ou variáveis que envolvem os diversos processos dinâmicos observados na natureza, sociedade, economia, entre outros. O resultado destes processos deriva das diversas interações entre suas variáveis, conseqüentemente, alterando as condições iniciais, assim como todo o desenrolar do processo como um todo.

Roger Lewin (1994, p.29) busca exemplificar o mecanismo do caos da seguinte forma: "A medida que você se aproxima do limite e o cruza, você obtém de repente uma mudança de fase. Aqui você está numa fase, ali na outra, e isso muda muito rapidamente em razão de uma leve modificação das condições". O resultado sempre dependerá do quanto uma variável influenciará neste, sendo que esta poderá sofrer alterações a qualquer momento, caso não seja controlada.

A falta de controle que o ser humano apresenta em relação a um futuro distante desencadeou uma busca incessante por meios para compreendê-lo. Lorenz (GLEIK, 1990) afirma que "dado um conhecimento aproximado das condições iniciais de um sistema e um entendimento da lei natural pode-se calcular o comportamento aproximado desse sistema". Com isso, Lorenz buscou encontrar um padrão para definir a ordem de um sistema. Contudo o pesquisador acabou encontrando irregularidade na

---

<sup>1</sup> Randômico: Aleatório

ordem das coisas, ou seja, o sistema transcorria de forma que os agentes agiam independentes e distintos, sendo mais específico, acredita-se que o caos ocorre de forma dinâmica e não-linear.

Sistemas dinâmicos podem ser entendidos, segundo Marcelo A. Savi (2006, p. 53), como “a evolução de um campo vetorial  $x$ , que é continuamente transformado por uma função  $f$ ”. Matematicamente, este conceito pode ser traduzido na fórmula abaixo:

$$\dot{x} = f(x), x \in R^n$$

Onde  $x$  é qualquer número contido no conjunto dos números reais em um campo vetorial.

Entretanto, devido ao fato de sistemas dinâmicos serem considerados não-lineares quaisquer modificação em suas condições iniciais acabam gerando alterações que podem ser ampliadas ao longo do tempo.

Como descrevem Wynn, Wiggins, Harris e Maioli (2002, p.187), “a teoria do caos oferece um meio de enxergar a ordem e um padrão onde aleatoriamente só haviam sido observados o aleatório, o errático e o imprevisível – ou seja, o caótico”. Esta busca por “enxergar a ordem” presume que a teoria do caos reconhece a existência de uma “desordem ordenada”, ou seja, apesar da influência externa ocorrer de forma randômica, ela pode gerar resultados com tendências similares o que caracteriza uma ordem no processo.

Diversos pesquisadores buscaram abordar esta curiosa ciência do caos, tendo como ponto de partida as pesquisas astronômicas realizadas por Henri Poincaré, sendo ele seguido por diversos outros cientistas. Entretanto, um maior destaque foi dado as pesquisas de Edward Lorenz sobre meteorologia e fluídos de líquidos, realizados na década de 60.

O matemático Edward Norton Lorenz foi contratado pelo MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) com a responsabilidade de assumir um projeto de pesquisa o qual estudava a previsão estatística do tempo. Este estudo analisava a instabilidade do tempo baseado mais pelas observações do passado do que por

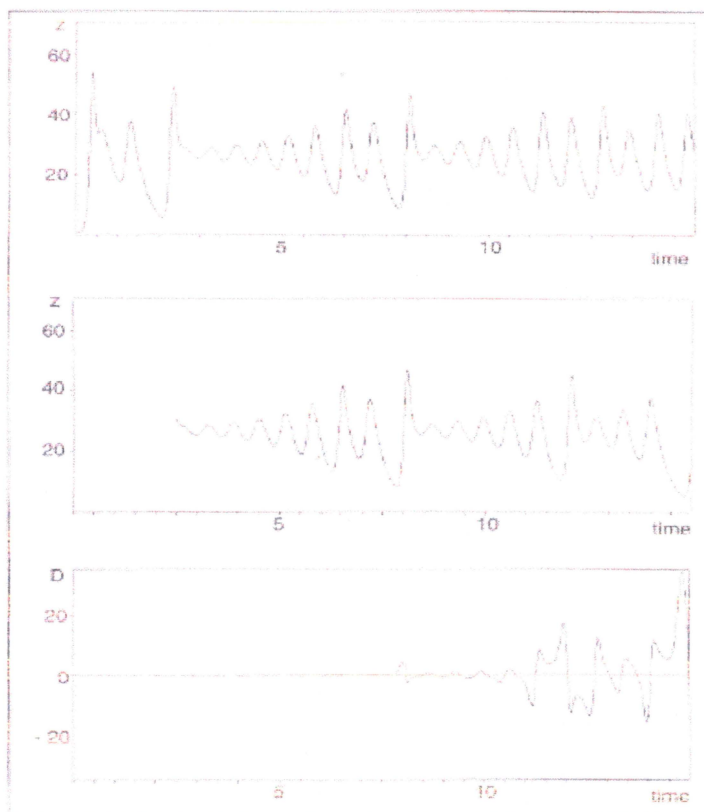
princípios físicos. Tal previsão era feita através de fórmulas de caráter linear, ou seja, para prever a temperatura, por exemplo, todas as constantes eram somadas e multiplicadas pela temperatura de hoje em outro local. Este modelo simplista limitava as atividades dos meteorologistas à, simplesmente, determinar os valores das constantes envolvidas na previsão de fenômenos meteorológicos.

Insatisfeito com o método adotado para as previsões devido aos sistemas lineares perfeitos sempre repetirem os mesmos valores apresentados no ciclo anterior, Lorenz decidiu fazer mudanças com o intuito de aproximar as previsões da realidade. A partir disso Lorenz elaborou 12 equações as quais expressavam relação entre temperatura e pressão, entre pressão e velocidade do vento. Devido à enorme quantidade de dados envolvidos no processamento de tais equações, foi disponibilizado à Lorenz um computador, o que tornariam os cálculos extremamente mais confiáveis e ágeis.

Com o auxílio do computador, Edward Lorenz reduzira o tempo atmosférico aos elementos essenciais. Os dados impressos pelo computador mostravam-se com padrões conhecidos, caracterizando um estado de ordem. Observou-se que, repetidamente quando uma variável decrescia de valor sem um salto, na sequência ocorria um salto duplo, parecendo, em um primeiro momento, que os meteorologistas haviam encontrado um padrão de previsão. Entretanto tais repetições não eram perfeitamente iguais, caracterizando o que chamaram de desordem ordenada.

Em certo momento do projeto, Lorenz decidiu parar a simulação e escolheu uma sequência de números gerada pelo simulador e iniciou a simulação com ela, o que deveria continuar gerando o padrão antes observado. Contudo com o passar do tempo, os resultados gerados divergiam cada vez mais, perdendo ao final de alguns meses as características existentes por completo. A figura abaixo representa uma simulação do trabalho de Lorenz:

FIGURA 1 – Uma simulação do experimento de Lorenz caracterizando o aumento em cascata do erro com o passar do tempo



FONTE: PEITGEN, JÜRGENS E SAUPE (1992)

O gráfico superior da figura 1 apresenta o início da simulação de Lorenz, sendo os dados utilizados integralmente, ou seja, arredondamentos. A imagem do meio apresenta dados com arredondamento que começam a apresentar irregularidade no decorrer do processo. Já a figura inferior, devido ao elevado nível de arredondamento, apresentou elevado nível de instabilidade comparando-se o início e o fim do processo.

Lorenz começou a pensar qual seria o problema existente para que uma sequência de números resultantes da mesma operação gerasse um resultado tão diferente. A conclusão que chegaram os cientistas foi de caráter simplesmente matemático, em outras palavras, Lorenz inseriu a nova sequência no simulador com dados arredondados.

Para a realização dos cálculos, o computador armazena em sua memória seis casas decimais, enquanto que na impressão são impressos apenas três casas. Esta diferença no arredondamento de apenas décimos de milésimos é quase imperceptível

no curto prazo, porém ao longo do tempo, a acumulação dos erros gera resultados completamente diferentes. Este fato caracteriza a chamada Dependência Sensível das Condições Iniciais, também chamado de Efeito Borboleta.

O efeito borboleta ocorrido no estudo de Lorenz surgiu a partir do momento que se optou por deixar de lado o sistema linear, o qual gera resultados previsíveis, e adotou-se um sistema não-linear, através das doze equações elaboradas.

Embora o efeito borboleta fosse uma descoberta com certo grau de importância, para a época, em um primeiro momento Lorenz se deparou com o mesmo problema do início de sua pesquisa, a imprecisão quanto à previsão das condições do tempo. Contudo, Lorenz viu algo a mais nos resultados obtidos pelo efeito borboleta o que o estimulou a voltar seu estudo a sistemas que nunca se encontravam em regime estacionário.

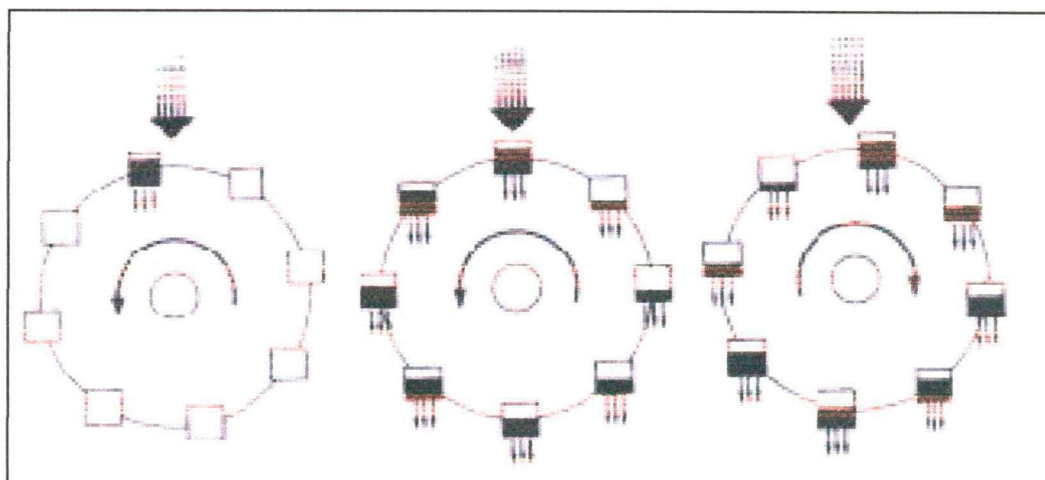
Abandonando os problemas climáticos, Lorenz então partiu para o estudo dos movimentos de fluidos, mais especificamente, a convecção, para o qual buscou simplificar ao máximo as equações antes definidas, reduzindo-as a três, observadas abaixo:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -\delta x + \delta y \\ \frac{dy}{dt} &= -xz + rx - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}$$

Onde  $x$ ,  $y$  e  $z$  são funções reais do tempo e  $\delta$ ,  $r$  e  $b$  parâmetros reais positivos.

Através dessas equações Lorenz conseguiu descrever com precisão o comportamento de uma roda da água, apresentado por Gleick (1990, p.24) na figura abaixo:

FIGURA 2 – Roda d'água Lorenziana



FONTE: GLEICK (1990)

Apesar desta roda d'água se mostrar aparentemente simples, ela assimila-se as propriedades do processo de convecção, em outras palavras, tanto a esta roda como o processo de convecção tem o comportamento, de longo prazo, dependentes da força de energia propulsora.

Segundo Gleick (1990, p.24), este processo pode ser descrito da seguinte forma:

“A água cai do alto, em escoamento constante. Se o fluxo da água for lento, a palheta ou caçamba do alto não se encherá nunca o suficiente para superar o atrito, e a roda nunca começará a girar.

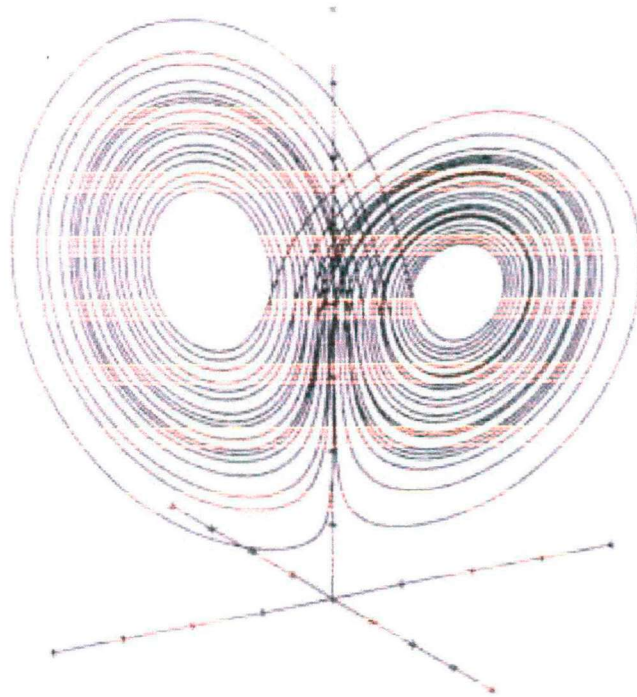
Se o fluxo for mais rápido, o peso da palheta superior coloca a roda em movimento (esquerda). A roda d'água pode estabilizar-se numa rotação que continua em ritmo constante (centro).

Se, porém, o fluxo for mais rápido ainda (direita), a rotação pode tornar-se caótica, em virtude dos efeitos não-lineares embutidos no sistema. Quando as palhetas passam sob o jorro d'água, as proporções em que se enchem dependem da velocidade de rotação. Se esta for rápida, as palhetas têm pouco tempo para se encherem (...). E ainda, se a roda está girando depressa, as palhetas podem começar a subir do outro lado antes de se esvaziarem. Conseqüentemente, palhetas pesadas do lado que sobe podem provocar diminuição da velocidade e inverter o movimento”.

Através deste estudo, Lorenz pode concluir que a rotação da roda pode inverter-se várias vezes no decorrer do processo, em ritmos alternados, e nunca repetindo um padrão previsível.

Todas as características acima observadas são identificadas em uma figura gerada através de três equações de três variáveis elaboradas por Lorenz, a qual ficou conhecida como atrator estranho. As três variáveis adotadas representavam a característica tridimensional da figura, desta forma foi observado que, enquanto os valores variavam, um traço era traçado formando um *loop* o qual se repetia infinitamente. Segundo Gleick (1990, p. 141), “o atrator era estável, de baixa dimensão e não-periódico”, representado por diversos *loops* com tamanhos variados e formas similares que se repetiam numa sequência aleatória e eram delimitados a uma área pequena.

FIGURA 3 – Atrator Estranho



FONTE: Wheatley (1997)

A atenção de Lorenz fixou-se no fato de o atrator estranho ser formado por um traço de comprimento infinito que se limitava a certa área. Esta figura não condizia com nada visto na geometria euclidiana, portanto deveria compor uma geometria de caráter irregular. Esta, por sua vez, foi abordada pelo físico Benoit Mandelbrot que reconheceu na natureza uma figura de proporções irregulares a qual foi denominada Fractal.

### 3. TEORIA FRACTAL

O estudo da geometria fractal foi introduzido pelo polonês Benoit Mandelbrot, o qual atribuiu o seguinte conceito ao objeto de estudo, o fractal: “Um conjunto é dito fractal se a dimensão Hausdorff<sup>2</sup> deste conjunto for maior do que sua dimensão topológica”. Entretanto, devido ao nível restrito desta definição, diversos outros pesquisadores tentaram criar outros conceitos, mas até hoje não foi adotada uma definição oficial.

O nome fractal, segundo Mandelbrot (Landulfo, p.143):

[...] foi cunhado em 1975 da palavra latina, *fractus*, que significa pedra quebrada, por apresentar uma forma (dimensão) fraturada e irregular. Fractais são figuras geométricas que, ao contrário da geometria intuitiva e comum fundada por Euclides, cerca de 2300 anos atrás, não são de forma alguma regulares. Primeiro, elas são inteiramente irregulares. Segunda, apresentam o mesmo grau de irregularidade em todas as escalas. Um objeto fractal parece o mesmo quando examinado de longe ou bem próximo – ele é auto-similar.

De forma geral, os fractais consistem em estruturas fragmentadas e irregulares as quais se dividem em diversas partes menores semelhantes ao objeto inicial. De acordo com Stewart (1996, p.12) “os fractais são formas geométricas que repetem sua estrutura em escalas cada vez menor”. De forma mais abrangente, Benoit Mandelbrot (2004, p. 119) afirma que a geometria fractal serve para “identificar padrões repetidos, de analisá-los, de quantificá-los e de manipulá-los”

Em seu livro, “*The Fractal Geometry of Nature*” (1983), Benoit Mandelbrot reconhece a existência dos fractais em vários objetos da natureza, como nuvens e linhas costeiras. Além disso, o conceito de fractais tem caráter multidisciplinar, ou seja, pode ser aplicado em diversas áreas como hidráulica, física e economia.

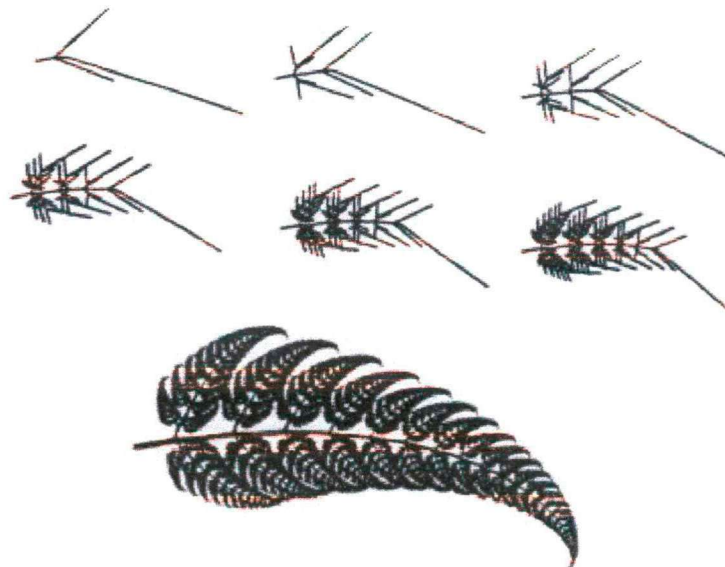
---

<sup>2</sup> Definição de dimensão hausdorff vide Anexo A.

Segundo CHRISTOFOLLETI (1997) “ao criar a geometria fractal, Benoit Mandelbrot (1982) estabelecia as bases para o estudo focalizando as formas fragmentadas, fraturadas, rugosas e irregulares. Tais categorias de formas são normalmente geradas por uma dinâmica caótica, de modo que a geometria fractal descreve os traços e as marcas deixadas pela passagem dessa atividade dinâmica.”

A existência de fractais podem ser, rotineiramente, identificadas na natureza, porém muitas vezes passam despercebidas. Objetos como couve-flor, brócolis e árvores têm suas formações caracterizadas por um processo fractal. A figura 4, apresenta a formação de uma samambaia a qual observada passo a passo ilustra a criação de um fractal. Observa-se que a partir de uma estrutura inicial partem ramificações muito semelhantes a esta estrutura as quais se repetem até formar a samambaia como a conhecemos.

FIGURA 4 – Formação de uma samambaia



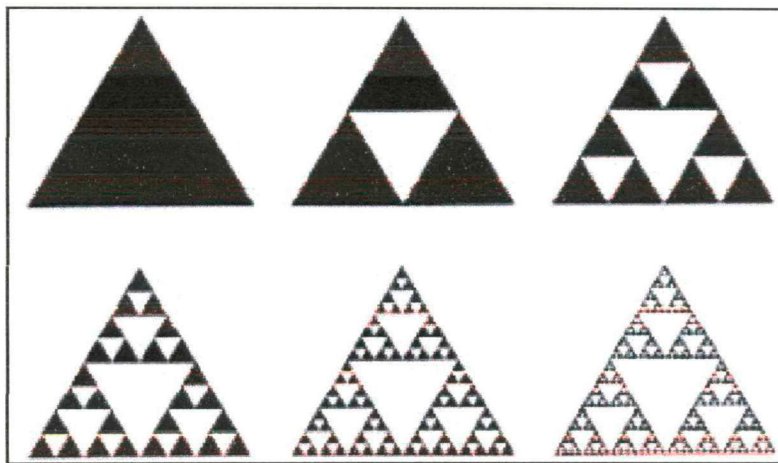
FONTE: Capra, Eichemberg (2000)

A teoria dos fractais foi aplicada por Waclaw Sierpinski, matemático polonês, na elaboração do chamado Triângulo de Sierpinski. Como a maioria dos fractais, este

começa com uma forma básica chamada de iniciador, neste caso um triângulo equilátero preto. Na sequência vem o gerador, que corresponde à metade do triângulo original, o qual deve ser inserido dentro do iniciador, criando assim um gabarito para o fractal. Depois o gerador é clonado mais três vezes, sendo estes também encaixados dentro dos espaços pretos do triângulo. Esta operação é repetida varias vezes, em escalas cada vez menores, obtendo-se como resultado um padrão rendilhado.

O processo descrito anteriormente pode ser identificado na figura abaixo:

FIGURA 5 – Ilustração do processo iterativo de construção do Triângulo de Sierpinski



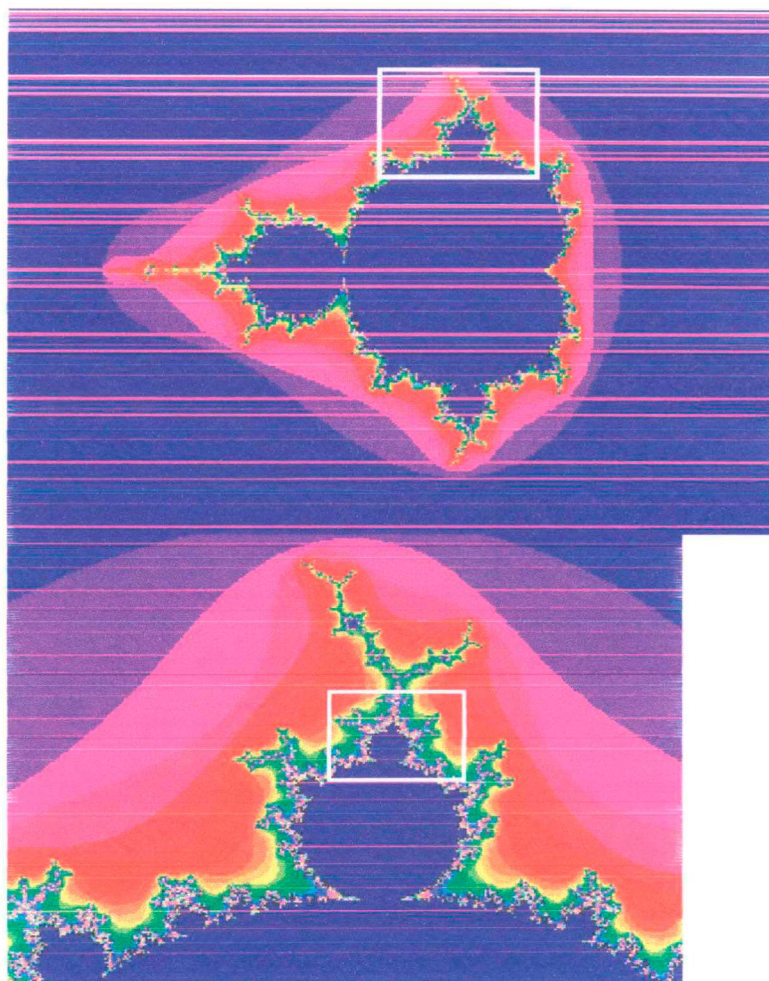
FONTE: SITE: VISÃO COMPUTACIONAL

Em seu livro, “Fractais Gerados por Sistemas Dinâmicos Complexos” (1997), Elizabeth W. Karas atribui aos fractais quatro características em comum: estrutura fina; auto-afinidade; simplicidade na lei de formação; e, difícil descrição.

A estrutura fina diz respeito ao grau de detalhamento do fractal. Assim como mencionado anteriormente, pelo fato dos fractais serem resultado de inúmeras divisões, gerando estruturas idênticas às iniciais, porém em tamanho menor, a cada divisão do fractal este aumenta seu grau de detalhamento fazendo necessária a utilização de ferramentas computacionais para que tal detalhamento torne-se nítido para, desta forma, tornar-se passivo de observação e análise.

A auto-similaridade consiste na semelhança observada entre o objeto inicial e as estruturas obtidas através de suas fragmentações. Esta característica se refere à estrutura do objeto, sendo este formado por diversas “repetições” do mesmo objeto, porém em proporções menores. Mais precisamente, Carvalho e Silva (1986) explicam que, independente da proporção e da escala, os fractais repetem-se dentro de si mesmos, caracterizando a auto-semelhança entre eles.

FIGURA 6 – Auto-similaridade fractal



Fonte: Site: Teoria do Caos – Fractais

Na figura acima é possível a visualização da auto-similaridade fractal. Observa-se que o fragmento menor, resultado de uma divisão, é idêntico ao objeto inicial em proporção menor.

A simplicidade na lei de formação faz referência ao fato da formação dos fractais consistirem em processos relativamente simples, podendo ser baseada em algoritmos simples. Para melhor formação de fractais, o computador se torna uma ferramenta muito útil e prática.

Por fim, a dimensão fractal se refere às estruturas fracionárias do fractal e o quão densamente um conjunto destas estruturas ocupam um determinado espaço. Como exposto anteriormente, os fractais são compostos por inúmeros fragmentos que se mostram semelhantes à estrutura inicial, contudo, todos estes fragmentos geram outros fragmentos de dimensões menores que farão parte da estrutura como um todo. Assim, a dimensão fractal faz alusão ao quanto os inúmeros fragmentos conseguirão ocupar um mesmo espaço métrico.

#### 4. SISTEMA FINANCEIRO

O Sistema Financeiro Nacional teve seu início no período colonial com a fundação do primeiro Banco do Brasil em 1808. Abrange de uma forma geral, as instituições que se dedicam de alguma forma a propiciar condições satisfatórias para um fluxo de recursos entre os agente superavitários e os deficitários. Assim o mercado financeiro, o elemento ativo no processo de crescimento econômico, permite que estes agentes interajam entre si, estabelecendo condições satisfatórias para manter um fluxo de recursos entre eles. Pode-se então definir como funções do Sistema Financeiro:

- Captar recursos financeiros;
- Distribuir e circular valores e títulos mobiliários, e;
- Regular este processo.

O Sistema Financeiro Nacional, a fim de realizar tais funções, subdivide-se em Subsistema Normativo e Subsistema Operativo. O subsistema normativo é responsável por regular, controlar e exercer a fiscalização das instituições de intermediação, disciplinando todas as modalidades e operações de crédito, assim como a distribuição de valores mobiliários. Dentre os órgãos normativos encontram-se:

- Conselho Monetário Nacional, responsável pela fixação das políticas monetárias, creditícias, fiscal e cambial do país;
- Banco Central do Brasil, responsável por cumprir e fazer cumprir os regulamentos que norteiam o sistema financeiro;
- Superintendência de Seguros Privados, e;
- Superintendência de Previdência Complementar.

O subsistema operativo é constituído pelas instituições que atuam no mercado financeiro, tendo como atividade principal ou acessória a intermediação de recursos financeiros próprios ou de terceiros

Todavia, consideram-se Instituições Financeiras as pessoas jurídicas e privadas, onde tenham como atividade principal ou acessória a coleta, a intermediação ou a aplicação de recursos financeiros próprios ou de terceiros, em moeda nacional ou estrangeira, e a custódia de valor de propriedade de terceiros.

Essas instituições se dividem em dois grandes grupos: intermediários financeiros; e, instituições auxiliares.

Os Intermediários Financeiros são instituições que emitem seus próprios passivos coletando poupança direta do público por sua própria iniciativa e responsabilidade, depois aplicam esses recursos para as empresas e demais agentes através de empréstimos e financiamentos. Incluem os Bancos Comerciais, de Investimentos, de Desenvolvimentos, as Caixas Econômicas Estaduais e Federais, a Sociedade de Crédito Imobiliário e as Associações de Poupança e Empréstimos.

As Instituições Auxiliares são as que facilitam o acesso entre os poupadores e investidores. Nesse caso a Bolsa de Valores tem grande participação que atua na colocação de papéis das empresas junto ao público que incluem as Sociedades Corretoras e Distribuidoras.

#### 4.1 BOLSA DE VALORES

A bolsa de valores é uma associação em que se negociam títulos e ações, destacando dentre a mais importante as de Nova Iorque, Londres, Paris e Tóquio. A Comissão de Valores Mobiliários regula, através das resoluções 2690/00 e 2709/00, que Bolsa de Valores são “associações civis sem fins lucrativos, constituídas pelas corretoras de valores para fornecer a infra-estrutura do mercado de ações”.

A importância da Bolsa de Valores para a economia apóia-se no fato de permitir a canalização rápida das poupanças e investimentos, o que permite que as empresas de capital aberto possam gerar maior liquidez no mercado através do redirecionamento do capital poupado pelo investidor em investimentos que contribuam para o desenvolvimento da empresa.

Todas as operações realizadas pela Bolsa de Valores, embora sejam autônomas, funcionam sobre a fiscalização Comissão de Valores Mobiliários, órgão responsável pela normatização do sistema financeiro.

Os objetos de negociação pelas Bolsas de Valores são títulos, podendo estes serem ações e debêntures. Ações são papéis que correspondem à parcela do capital social da uma empresa, enquanto que a debênture são títulos correspondentes às

dívidas da companhia. A circulação destes títulos pelo mercado se dá através de dois mercados. O mercado primário, responsável por captar recursos para a empresa, é a “porta de entrada” do investimento, pois corresponde a primeira transação de um título. O mercado secundário, responsável pela liquidez do título, é aquele onde os títulos são transacionados entre os investidores.

No Brasil a bolsa de valores existente é a BM&FBOVESPA, resultado da fusão entre a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) e a Bovespa em 2007. Esta operação de fusão contribuiu para que a Bolsa de Valores brasileira aumentasse seu volume de negociações e aumentasse seu alcance de mercado, fortalecendo ainda mais as relações de troca entre investidores nacionais e internacionais. Apesar da fusão destaca-se que a instituição criada manteve suas operações separadas entre o Mercado Bovespa e o Mercado BM&F.

A BM&FBOVESPA atua em quatro tipos de mercados: mercado à vista, mercado a termo, mercado de opções e mercado futuro. A seguir definiremos as diferenças entre estes mercados.

O mercado à vista corresponde às negociações de liquidação imediata. Segundo Fortuna (1999, p.400) a liquidação física é feita no segundo dia útil (D + 2) após a negociação, e a financeira no terceiro dia útil (D + 3) após a negociação. Este imediatismo é que estabelece um valor atual aos títulos e commodities, assegurando a eficiência no funcionamento da economia. O risco relacionado a este mercado está associado a volatilidade dos preços à vista.

O mercado a termo é realizado através da negociação de determinado volume de ações via contrato, no qual é fixado o preço e o prazo de liquidação do ativo. Nas operações contratadas, uma das partes assume a posição de vendida e compromete-se a vender o ativo pelo preço e prazo pré-determinados, enquanto que a contraparte assume posição de compradora, comprometendo-se em comprar o ativo segundo os termos do contrato. Segundo Lilian Chew (1999, p. 6) “um contrato a termo permite ao seu comprador a definição, na data atual, do preço futuro de um ativo, seja ele uma taxa de câmbio, taxa de juros, um bem ou uma commodity”. Observa-se que independente das condições do mercado ser favoráveis ou desfavoráveis aos termos do contrato, o preço negociado será o mesmo acordado no firmamento do contrato.

Destaca-se o fato de não poder ocorrer pagamentos ou transferências de recursos antecipados.

O mercado de opções mostra-se muito dinâmico, propiciando grande liquidez aos ativos. Este mercado negocia o direito de compra (call) ou de venda (put) de um ativo com prazo e preço pré-definidos. O titular de uma opção de venda ou de compra paga um prêmio e pode exercer sua opção apenas na data de vencimento, ou pode revendê-la no mercado durante o período de validade da opção. A opção é, portanto, um instrumento que dá a seu titular um direito futuro sobre um ativo, mas não uma obrigação; e, a seu lançador, uma obrigação futura, caso solicitado pelo comprador da opção.

O mercado futuro é descrito por Fortuna (1999, p.407) como sendo onde se negociam lotes padrão de ações com datas de liquidação futura, escolhidas dentre aquelas fixadas periodicamente pela bolsa. A diferença entre os mercados futuro e a termo é que enquanto o primeiro é transacionado em bolsa, no caso brasileiro a BM&F, seguindo assim um padrão, o segundo é contrato de balcão sendo ele adaptado de acordo com as necessidades do comprador. Na compra de um contrato futuro, devido a mudanças do mercado é normal a ocorrência de um pagamento inicial e outros pagamentos complementares, chamados pagamentos de margem.

Segundo Lilian Chew:

“Há três tipos de margem em contratos futuros – inicial, ajuste e manutenção. Todas as bolsas exigem que seus clientes depositem uma margem inicial através de sua corretora para poder transacionar na Bolsa. Essa margem pode ser depositada através de títulos públicos, dinheiro ou fiança bancária. Essa margem é fixada a um nível alto o suficiente para cobrir a variação diária do contrato a ser comercializado. Todos os dias a corretora avalia o valor de todas as suas posições abertas. Se o valor do contrato tiver caído a um nível inferior ao nível de margem de manutenção – o nível mínimo que deve ser mantido (normalmente bem pouco abaixo do nível da margem inicial), o cliente deve depositar mais recursos para trazer sua conta ao nível da margem inicial. Esses pedidos de depósito de margem são conhecidos como margens de ajuste ou ajustes de margem. Os clientes devem atender a esses pedidos de depósito de margem imediatamente: caso contrário, a Bolsa tem o direito de fechar os contratos. Entretanto, se o valor do contrato aumentar, o cliente tem o direito de retirar de sua conta o valor que exceder os níveis de margem inicial. As margens não são estáticas: quando os mercados são voláteis, as Bolsas tendem a aumentar as margens exigidas. E as margens em

diferentes contratos também variam: ações exigem margens maiores do que títulos públicos, por exemplo”.

As diversas opções de mercado proporcionam maior diversidade na hora do investidor escolher a melhor forma de atuar isso porque ele possui um perfil próprio que varia de investidor para investidor. Este perfil baseia-se na intensidade de risco a qual ele está disposto a assumir, podendo ser classificado em: conservador, moderado, e, agressivo.

O investidor conservador não gosta de assumir grandes riscos. Ele busca rendimentos modestos, porém seguros, entendendo que para isso seu risco de perda do capital investido é reduzido. O investidor conservador tem a segurança como ponto decisivo para as suas aplicações, ele aceita ter um menor retorno associado a um menor risco.

O investidor moderado gosta de equilibrar rentabilidade com riscos, procura segurança em suas aplicações. É o investidor que prefere a segurança da Renda Fixa, mas também quer participar da rentabilidade da Renda Variável. Para esse investidor a segurança é importante, mas também quer retornos acima da média. Um risco médio é aceitável.

O investidor agressivo está buscando sempre alta rentabilidade mesmo que corra riscos de perder parte do patrimônio. Ele geralmente está alavancado, gosta do risco e da emoção da adrenalina do mercado.

Observa-se que o risco norteia as decisões dos investidores, pois ele tem relação direta com o nível de ganhos ou perdas. Portanto, para que os investidores não encarem o mercado apenas como um jogo de apostas, as decisões são tomadas com base em estudos e indicadores os quais têm a finalidade de interpretar o comportamento do mercado. Estes estudos são obtidos por meio de duas opções de análise, fundamentalista e técnica.

#### 4.1.1 Análise Fundamentalista

A análise fundamentalista tem por objetivo elaborar de forma abrangente informações consistentes, as quais incorporam diversos fatores do mercado que

influenciam oferta e demanda de um ativo, contribuindo assim para determinar o verdadeiro valor de mercado deste. Devido à necessidade de consolidação de diversas variáveis, que demoram para serem totalmente processadas, esta análise incorpora um caráter de longo prazo, o que impede a definição exata para comprar ou vender um ativo. Tosini (2007, p.41), interpreta a análise fundamentalista como provedora de uma “visão mais prospectiva e aumenta a possibilidade de antecipar o comportamento de preços futuros dos títulos”.

A análise abordada acima é baseada na escola fundamentalista a qual repousa na tese de que existe uma correlação lógica entre o valor intrínseco de uma ação e seu preço de mercado. O valor intrínseco para a escola fundamentalista é representado pela avaliação do patrimônio da empresa, seu desempenho e sua posição no respectivo setor de atuação, pela intensidade da concorrência e pela existência de produtos ou serviços alternativos, pelo grau de atualização tecnológica do empreendimento, pelo nível de intervenção estatal na área de atuação, por seu programa de investimentos, por sua política de distribuição de lucros e pelo cálculo do valor presente dos lucros futuros estimados.

Segundo Hall e Lieberman (2003, 473), a análise fundamentalista “se concentra nas forças fundamentais que impulsionam os lucros futuros de uma firma e no valor atribuído a esses lucros por participantes no mercado de ações”. Sendo assim, esta avaliação começa pelo ambiente em que a empresa está inserida, o mercado que representa, e por último são analisados os indicadores referentes ao desempenho da empresa. A partir disso, o investidor precisa fazer sua avaliação da quão líquida é a situação da empresa no mercado.

Sendo obrigatório às empresas de capital aberto divulgarem seus demonstrativos financeiros, os analista fundamentalistas utilizam estes dados para a elaboração de índices de avaliação da empresa. Alguns dos índices mais utilizados são listados abaixo:

Índice Preço/Lucro (P/L): Este índice resulta, através da divisão do preço pelo lucro, no prazo para integralizar o investimento, ou seja, quanto tempo demora até que o investimento retorne para o investidor. A sua análise mostra mais viável quanto menor mostra-se este índice.

Índice Preço/Valor Presente Líquido (P/VPL): Como seu nome indica, este índice avalia se o valor da ação mostra-se condizente ao valor da empresa.

Rentabilidade do Patrimônio (L/PL): Consiste no quociente entre o lucro gerado pela empresa e o valor de seu patrimônio integralizado. Este índice indica quanto tempo a empresa demora para gerar o valor investido na empresa.

#### 4.1.2 Análise Técnica ou Grafista

A análise técnica ou grafista tem sua origem na Teoria Dow, desenvolvida por Charles Dow. A Teoria de Dow afirma que antes da confirmação de qualquer tendência ou reversão de mercado surgem formações possíveis de serem identificadas limitando-se a expressar uma alta em uma pressão de demanda e uma baixa em uma pressão de oferta. Elder (1993, p.250) apresenta a classificação do mercado de ações, segundo Dow através de três tendências: “A tendência de longo prazo durava vários anos, a tendência de médio prazo se estendia por alguns meses e qualquer coisa mais curta do que isso era uma tendência secundária”.

Para a visualização das tendências criadas pelo mercado se faz necessária a elaboração de gráficos que traçassem detalhadamente as oscilações dos preços dos ativos. Definido o gráfico, os analistas começaram a observá-lo e retirar o máximo de dados possíveis através de diversas ferramentas as quais passaram a fazer parte da chamada Análise Técnica.

Análise técnica ou grafista (derivada do estudo dos gráficos) se baseia no estudo do comportamento dos preços dos ativos ao longo do tempo. Através destes comportamentos os analistas traçam gráficos ou elaboram índices através dos quais é feita uma avaliação de como o mercado tende a reagir.

Segundo Debastiani (2008, p.26) a análise técnica ou grafista “é o conjunto de métodos e ferramentas, que busca, por meio da observação do comportamento passado do mercado, identificar tendências para o futuro”. Portanto, pode-se dizer que esta ferramenta admite que o comportamento dos preços no futuro tende a apresentar padrões que podem ser previstos devido a sua relação com comportamentos passados.

Achelis (2000, p. 3) conceitua a análise técnica da seguinte forma:

“Technical analysis is the process of analyzing a security’s historical prices in an effort to determine probable future prices. This is done by comparing current price action (...) with comparable historical price action to predict a reasonable outcome”.

O fato de esta análise buscar antecipar o futuro baseado em dados coletados do passado resulta em uma necessidade de tomar decisões muito rápidas, pois o comportamento dos preços se mostra intensamente dinâmico o que acaba por gerar padrões em prazos muito curtos. Por esta razão, o analista técnico precisa estar sempre atento ao mercado e realizar operações muito rápidas, caracterizando uma operação de curto prazo com retorno, na maioria das vezes, baixos.

Assim como afirma Constance M. Brown (1999, p. 4) em seu livro “Technical Analysis for the Trading Professional”, “a análise técnica tem se difundido devido ao fato de ter se tornado cada vez mais difícil de gerenciar o volume global de fatores e as ramificações do “cross-market”.

Além de diversos índices e mecanismos utilizados pelos analistas, uma técnica básica utilizada na análise gráfica é a utilização das retas de suporte e resistência. Citando Debastiani (2008, p. 171), resistência é “a região de preços marcada por uma linha imaginária, acima da qual os preços não conseguirão avançar num passado recente”, resultando com que pressão vendedora torna-se mais forte que a compradora. Quanto ao suporte, Debastiani (2008, p. 171) conceitua-o como “a região de preços marcada por uma linha imaginária, abaixo da qual os preços não descenderam num passado recente”, situação a qual pode ser identificada no mercado por compras fortes o suficiente para evitar um processo de queda Este mecanismo corresponde a uma espécie de memória do comportamento dos preços, podendo-se presumir que os preços tendem a ficar em um determinado intervalo.

GRÁFICO 1 – Tendência Baseada em Resistência e Suporte

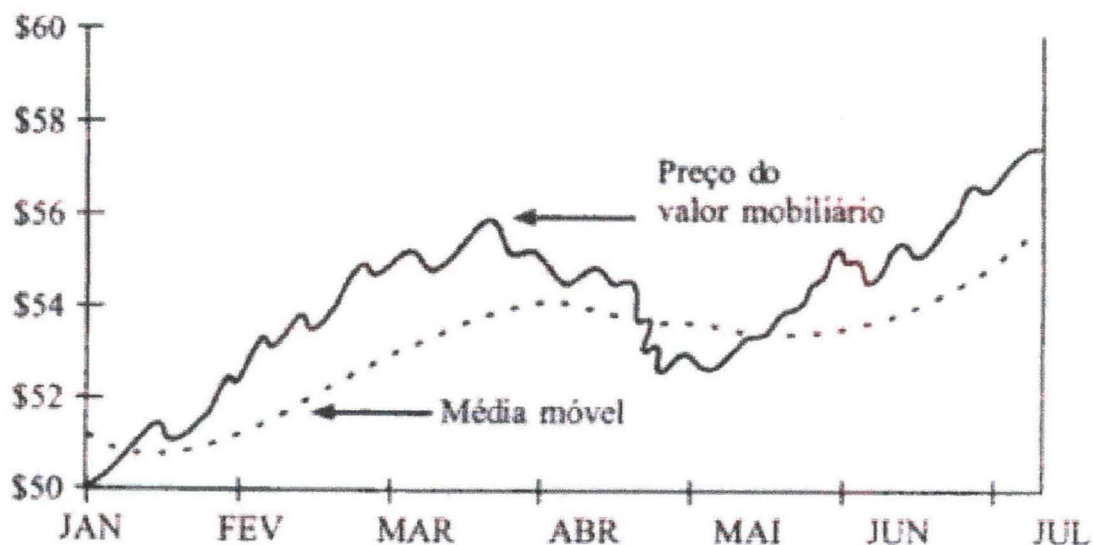


FONTE: Site: mac4

Através dos gráficos é possível utilizar uma série de indicadores baseados em cálculos matemáticos e equações que também evidenciam as tendências do mercado. Este indicadores podem ser: média móvel; índice de força relativa; estocástico; on balance volume (OBV); e fibonacci.

A média móvel, para Downes e Goodman (1993, p.312), consiste na média dos preços de um valor mobiliário ou commodity avaliada durante um período de alguns dias ou vários anos e exibindo as tendências do intervalo anterior. A deficiência deste indicador é que, como é um rastreador de tendência a média móvel possui uma inércia natural não sendo recomendável para apontar rápidas reversões.

GRÁFICA 2 – Média Móvel



FONTE: John Downes e Jordan E. Goodman (1993)

O Índice de Força Relativa (IFR) tem por objetivo identificar pontos de reversão dos preços. Debastiani (2008, p. 122-123) explica que:

“Uma vez que um ativo ou índice está sobrecomprado, o cenário tenderá a um resfriamento na demanda de compra, fato que provavelmente causará uma reversão na tendência estabelecida. Quando estiver em situação de sobrevenda, o efeito será equivalente deixando o mercado propenso a um movimento de alta pela redução na pressão de venda.”

O indicador estocástico, segundo Elder (1993, p. 165), “monitora a relação de cada preço de fechamento com a faixa máxima-mínima recente”, presumindo-se que em mercados de alta os preços de fechamento tendem a estar mais próximos às máximas do pregão e mercados de baixa próximos às mínimas.

O *On-Balance Volume* (OBV), segundo Lukeman (2000, p.125) busca traçar relação entre o volume de ações e suas alterações no decorrer do dia. Este conceito é fundamentado por acreditar-se que um crescimento no volume das ações, representará um aumento nos preços.

A sequência de Fibonacci é utilizada para análise do comportamento de preços devido a relação existente entre seus números. Assumindo um determinado número da sequência e dividindo-o pelo seu sucessor, no decorrer da sequência, o resultado tende a estabilizar-se no número 0,618, como visto abaixo:

$$\begin{aligned}1/2 &= 0,5 \\2/3 &= 0,66 \\3/5 &= 0,60 \\5/8 &= 0,625 \\8/13 &= 0,615 \\13/21 &= 0,619 \\21/34 &= 0,618 \\34/55 &= 0,618 \\55/89 &= 0,618\end{aligned}$$

O número 0,618, também conhecido como número PHI, representa a razão de ouro a qual é observada na construção das pirâmide e até mesmo no corpo humano.

Os números aproximados 0,618 e 0,382, seu complemento, podem ser usados para prever movimentações de alta e de baixa. Eles devem ser considerados percentualmente, ou seja, 61,8% e 38,2%. Além dos percentuais já mencionados, também podemos utilizar 50% e com menor frequência os extremos 23,6% e 78,6%.

Cabe enfatizar neste trabalho que a análise técnica também busca identificar a ação de componentes emocionais no processo de decisão do investidor. Este componentes norteiam o comportamento do investidor e sua postura frente as situações do mercado. Entretanto, pelo fato de ser impossível prever como cada investidor irá reagir à determinada ocasião, utilizam-se os gráficos formados através das volatilidades dos preços para que possa ser identificada, de forma generalista, qual a tendência de comportamento dos investidores e qual seu reflexo na volatilidade do preço.

## 4.2 COMPORTAMENTO DOS PREÇOS

Os investidores que participam do mercado de ações devem saber que este é um mercado que exige muita atenção nas tomadas de decisões, pois os preços dos papéis variam o tempo todo. A volatilidade dos preços varia de ação para ação, em outras palavras, enquanto as ações com risco maior apresentam maior volatilidade as que apresentam menores riscos possuem menores volatilidades.

Cada ação possui sua própria volatilidade e risco sendo eles dependentes das movimentações do mercado. Contudo, o mercado em si possui diversos fatores que influenciam o comportamento dos preços, podendo assim dizer que este comportamento se apresenta randômico, aleatório.

Apresentando de forma generalizada, pode-se dizer que os fatores envolvidos na variação dos preços podem ser: fatores conjunturais; fatores relativos ao setor e às empresas; e, comportamento do investidor.

Os fatores conjunturais geralmente apresentam natureza política ou econômica. Decisões do governo ou até mesmo escândalos que o envolvem tem influência direta no mercado devido a possíveis impactos na confiança do investidor, principalmente, o estrangeiro. Por exemplo, podemos citar o que ocorre nas eleições para a presidência do Brasil. A gráfico 3 apresenta o desempenho mensal do índice Ibovespa entre dezembro de 1994 até outubro de 2008. Destacam-se os períodos que compreendem as eleições dos anos de 1998, 2002 e 2006 sendo todos eles caracterizados por um decréscimo do índice. Isso se dá pela possível troca do governo gerar insegurança por parte dos investidores quanto às decisões que serão tomadas pelo próximo governo e a influência destas na economia do país.

As decisões econômicas também apresentam forte impacto na volatilidade dos preços. Em cenários de inflação, por exemplo, uma elevação da taxa de juro tende a pressionar as ações. Quando a inflação sobe, os investidores preferem aplicar em investimentos mais estáveis, pois não vale à pena correr os riscos da bolsa nesse cenário.

GRÁFICO 3 – Desempenho Mensal do Ibovespa entre Dezembro de 1994 e Outubro de 2008



FONTE: SITE DA BOVESPA

Os fatores relativos ao setor e à empresa se baseiam nas perspectivas que o investidor impute ao setor escolhido, baseadas nas informações divulgadas pela empresa, sendo indispensável que estas informações sejam simétricas. Qualquer inovação ou decisão relacionada ao setor que contribua para seu desempenho será reconhecida pelo investidor como um atrativo. Entretanto muitas vezes a volatilidade da ação está relacionada a fatores relativos a própria empresa, por exemplo: novas perspectivas após o anúncio de resultados abaixo ou acima do esperado; alteração de seu rating pelas agências de classificação de risco; anúncio de conversão de ações; mudança no controle acionário; compra de outra empresa; e, anúncios ou rumores de privatização .

Outro fator que desempenha papel importante nas variações dos preços dos ativos é o comportamento do investidor, em outras palavras, como os investidores pensam e atuam frente à dinâmica do mercado. Este fenômeno é chamado pelos

especialistas de “*behavioral finance*”, pois visa explicar como o investidor racionaliza com as variáveis do mercado.

Partindo da suposição que existe simetria<sup>3</sup> de informação no mercado, acredita-se que o comportamento dos investidores funciona da mesma forma, gerando uma corrente majoritária. Issaoui e Moneme (2007, p.39) afirmam que “esse comportamento, que os anglos-saxões chamam de “*mainstream*”, tem tendência para se auto-nutrir e participar da formação dos movimentos”. Portanto, acredita-se que a adoção de decisões semelhantes pela maioria cria uma tendência “auto-realizável”, fazendo com que os preços dos ativos flutuem segundo as decisões dos investidores.

---

<sup>3</sup> Simetria: correspondência, em grandeza, forma e posição relativa de partes situadas em lados opostos de uma linha ou plano médio, ou, ainda que se acham distribuídas em volta de um centro ou eixo; harmonia resultante de certas combinações e proporções regulares. Remete à igualdade, à semelhança entre fatos.

## 5. O MERCADO É SUBESTIMADO? INTRODUÇÃO A TEORIA DE MANDELBROT

A estruturação do mercado de capitais e o modo como as informações são apresentadas aos investidores pressupõe que o mercado é algo que pode ser controlado e manipulado apenas com a interpretação correta de algumas ferramentas. Os investidores julgam que as decisões que estão tomando são as melhores possíveis o que maximiza seus lucros, porém o mercado é apresentado de forma limitada o que torna tal julgamento equivocado. A melhor forma de dizer é que os investidores obtêm os melhores resultados julgando as informações que possuem, porém tais informações não são todas confiáveis, segundo o que afirma Mandelbrot.

A finança moderna “impõe” aos investidores que a melhor forma de atuar no mercado é a partir da teoria do portfólio a qual Ramesh (2000, p. 176-177) afirma que “a single security or portfólio can be identified in the universe of securities or portfólios such that no other security or portfólio of assets offers higher expected returns the the same (or lower) risk, or one that has lower risk with the same (or higher) expected return”.

Esta teoria baseia-se em cinco premissas sobre o comportamento do investidor, listadas abaixo:

- a. As opções de investimento são consideradas de acordo com as probabilidades dos retornos esperados durante um determinado período;
- b. O investidor busca a maximização dos lucros;
- c. O investidor utiliza a variabilidade dos retornos esperados para estimar o risco do portfólio;
- d. As decisões de investimento são baseadas apenas nos riscos e retornos esperados;
- e. Investidores preferem maiores retornos e menores riscos para dado nível de retorno.

Embora a teoria do portfólio tenha mecanismos para suportarem suas premissas, autores como Edwards, Magee e Bassetti (2001, p. 316) desacreditam na importância desta teoria para os investidores em geral. Tal descrédito é baseado na afirmação de

Benoit Mandelbrot em seu artigo “A Multifractal Walk Down Wall Street” onde o autor afirma que a teoria moderna descarta 5% das estatísticas, as quais podem ter impactos relevantes no longo prazo.

A argumentação de Mandelbrot que a explicação de 95% dos acontecimentos aparenta ser algo excelente, porém a teoria do caos aponta que pequenas falhas, representada pelos outros 5%, podem corresponder a grandes turbulências. Um exemplo a ser citado do nosso cotidiano é a crise imobiliária americana a qual começou a incorporar os riscos gerados pelos analistas apenas depois de tomar uma amplitude quase incontrolável. Esta falta de controle pode ser observada com as diversas tentativas de amenizar este caos as quais não surtem efeito.

Mandelbrot acredita que tanto os investidores como os analistas subestimam o mercado, deixando de lado informações importantes. Por isso, em seu livro “Mercados Financeiros fora de Controle” o autor apresenta as “dez heresias em finanças”, segundo sua interpretação do mercado, sendo elas apresentadas abaixo:

- a. Os mercados são turbulentos: o mercado sofre a influência de diversos elementos, estes agindo de forma independente. Acontecimentos randômicos como desastres naturais ou atentados tem impactos surpreendentes sobre a o comportamento do mercado;
- b. Os preços dão pulos, não deslizam: os gráficos induzem os investidores a pensar que os preços flutuam conforme uma linha, seguindo um trajeto, porém seu comportamento varia por saltos. Cada acontecimento afeta diretamente os preços o que resulta em uma mudança repentina de um valor para outro, sem intermediários.
- c. Os mercados são mais arriscados do que imaginam as teorias convencionais: O mercado convive com o risco de um efeito surpresa o qual pode surgir e, de repente, fazer com que os preços desabem, acabando com quaisquer chances de previsão, impactando direto nos investimentos, conseqüentemente, gerando um temor coletivo no mercado;
- d. O “timing” do mercado é importante: assim como afirmado anteriormente, os preços movem-se em saltos o que em um curto intervalo de tempo pode ser convertido em grandes ganhos ou grandes perdas;

- e. O tempo dos mercados é flexível: cada investidor possui seu próprio tempo de mercado, por isso, cada operação realizada em um determinado momento apresenta um impacto qualquer. Aplicando a teoria dos fractais ao tempo, um momento deve ser expandido para análise quanto maior for o número de operações que o compreendem;
- f. Todos os mercados funcionam da mesma forma: independente do mercado a ser analisado, embora possam ser em intensidades diferentes, os mecanismos tendem a reagir da mesma forma;
- g. Os mercados são intrinsecamente incertos e as bolhas são inevitáveis: os mercados possuem constantes mudanças de escala. Certo movimento na bolsa agora pode ter impacto diferente em alguns minutos. As decisões tornam-se difíceis ao observar que todas as escalas envolvidas, tempo, dinheiro, investidor entre outro, estão em constante mudança.
- h. Os mercados são “traíçoeiros”: no mercado viva desconfiado, pois que agora pode parecer um aperto de mãos pode tornar-se uma rasteira. O mercado prega peças que devem ser tratadas com cautela.
- i. A idéia de valor tem valor limitado: embora os investidores busquem otimizar seus retornos, eles nunca sabem qual é o valor ótimo. Muitas vezes o preço oscila entre o valor ideal, mas o importante é saber que para cada momento existe um valor determinado que representa um valor um momento específico.

A análise do mercado de Mandelbrot tem objetivo de mudar o modo como os agentes observam o mercado e seu funcionamento, reconhecendo que ele vai além do que se vê no dia a dia. Desta forma, o modelo apresentado pelo pesquisador explora o comportamento dos preços com abrangência, ou seja, busca-se retirar dos dados obtidos no mercado maior detalhamento para que, assim, crie-se um cenário mais próximo da realidade.

## 6. APLICAÇÃO DOS FRACTAIS AO MERCADO DE CAPITAIS SEGUNDO MANDELBROT

A busca por compreender o comportamento da natureza, levou Mandelbrot, apesar de muito criticado, a explorar novas ciências, inclusive a econômica. O que mais atraía a atenção do físico era a imprevisibilidade quanto ao comportamento dos preços. Devido a isso, Mandelbrot agregou conceitos físicos às finanças modernas os quais contribuíram para o seu entendimento sobre o comportamento dos preços<sup>4</sup>.

Assim como mencionado anteriormente, os preços flutuam devido a diversos fatores muitas vezes não identificáveis ou não manipuláveis, caracterizando a presença do caos. A partir desse ponto Mandelbrot insere a teoria dos fractais para melhor interpretar as flutuações e assim melhorar os dados que contribuem para a elaborar as previsões.

O conceito de fractal para ser introduzido na economia, necessita apenas de uma reformulação. Ao observar nos gráficos o comportamento dos preços, observa-se que os movimentos se apresentam basicamente da mesma forma, porém com amplitudes diferentes, sendo impossível distinguir, simplesmente observando, qual o tempo exato desse movimento. Segundo Mandelbrot (1999) esta característica é que define os gráficos como curvas fractais e torna disponível a análise através de diversas ferramentas matemáticas e computacionais. Cada ponto no gráfico corresponde a um momento, este por sua vez pode ser desdobrado para identificar o preciso momento da transação, conseqüentemente, melhor analisando sua intensidade.

Mandelbrot descreve seu estudo sobre a aplicação dos fractais no mercado de capitais no artigo "A Multifractal Walk Down Wall Street", publicado na edição de fevereiro de 1999 da Scientific American, o qual será apresentado na sequencia.

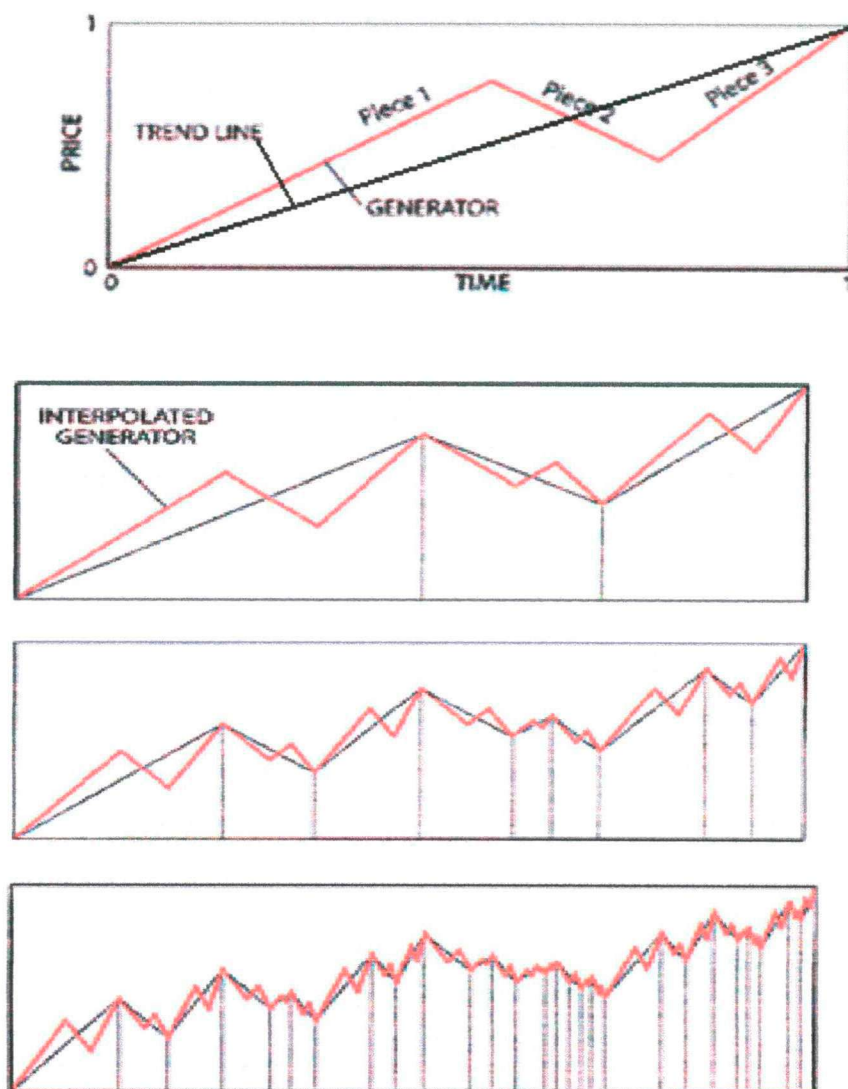
Mandelbrot propôs a criação de um gráfico simples de flutuação de preços, compreendendo o instante do momento  $t=0$  à  $t=1$ , independente do intervalo de tempo.

Inicialmente, insere-se no gráfico uma linha de tendência (trend line) compreendida no intervalo de tempo definido, identificada na figura 7.

---

<sup>4</sup> Este capítulo visa apresentar o estudo elaborado por Benoit Mandelbrot e sua contribuição para a economia, não objetivando qualquer comparação com as técnicas anteriormente apresentadas, análises fundamentalista e técnica.

FIGURA 7 – Gerador de três fragmentos fractais



FONTE: Mandelbrot (1999)

Em seguida, uma linha chamada gerador é utilizada para criar o padrão correspondente à oscilação sobe-desce-sobe de um preço. O gerador consiste em três fragmentos inseridos ao longo da linha de tendência. Na sequência, repete-se o processo em cada um dos três pedaços do gerador, reproduzindo sempre o mesmo formato.

Este processo pode ser repetido, teoricamente, infinitamente. Entretanto, na prática do mercado de capitais não existe razão para interpolar segmentos até

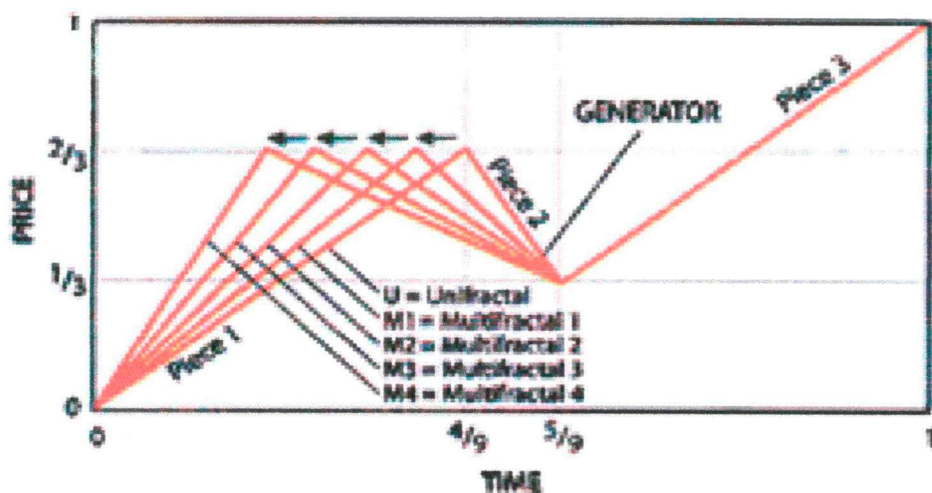
intervalos menores do que o tempo da transação, o que pode ser em menos de um minuto. Claramente, cada pedaço acaba grosseiramente se parecendo com o todo, havendo invariância quanto à escala. A novidade e surpresa é que estas curvas fractais exibem uma riqueza de estrutura – um fundamento tanto da geometria dos fractais como da teoria do caos.

Alguns geradores selecionados produzem estas curvas chamadas unifractais, que exibem um quadro relativamente tranqüilo do mercado financeiro, quadro este que sustenta a teoria moderna do portfolio. Mas tranqüilidade se manifesta sob extraordinárias e especiais condições satisfeitas apenas por estes geradores especiais. Os problemas por traz deste modelo simplificado são alguns dos erros centrais da teoria do portfolio. É como se uma teoria sobre as ondas do mar proibisse a formação de ondas com mais de dois metros.

A importância da geometria dos fractais é que ela possibilita um modelo genérico o suficiente para reproduzir os padrões que caracterizam os mercados de baixa volatilidade da teoria do portfolio assim como as situações tumultuadas de maior volatilidade, com quedas ou subidas rápidas e elevadas. O método previamente descrito para se criar um modelo fractal de preços pode ser alterado para mostrar como a atividade dos mercados pode se tornar mais veloz ou mais lenta - a essência da volatilidade. Esta variabilidade é o motivo pelo qual se insere o prefixo "multi-" à palavra "fractal".

Para se criar um multifractal a partir de um unifractal, o passo chave é alongar ou encurtar o eixo de tempo horizontal tal que os pedaços do gerador sejam esticados ou comprimidos. Ao mesmo tempo, o eixo vertical de preço deve permanecer o mesmo. Na figura 10, o primeiro pedaço do gerador unifractal é progressivamente encurtado, automaticamente alongando o segundo pedaço. Após estes ajustes, o gerador se torna multifractal (M1 até M4). Pela figura 8, pode-se ver que volatilidade aumenta dada a elevação do preço mais rápida no intervalo de tempo representado pelo primeiro fragmento do gerador e redução mais lenta no intervalo de tempo correspondente ao segundo fragmento.

FIGURA 8 – Criação de Multifractais a partir de Unifracal



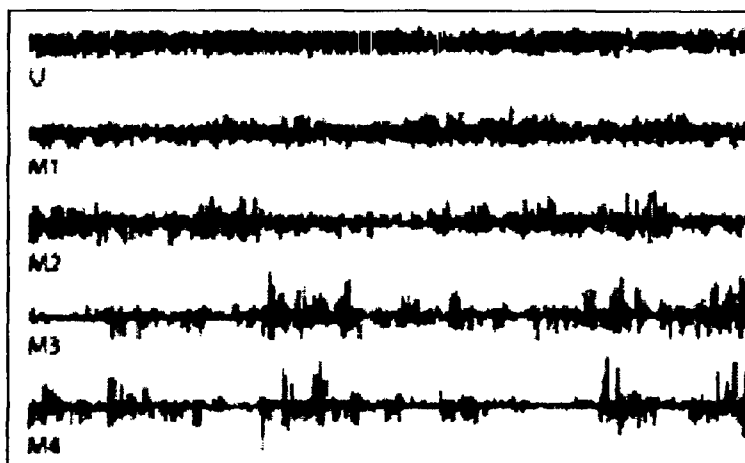
FONTE: MANDELBROT (1999)

Mandelbrot (1999) afirma que:

“Such an alteration to the generator can produce a full simulation of price fluctuations over a given period, using the process of interpolation described earlier. Each time the first piece of the generator is further shortened — and the process of successive interpolation is undertaken — it produces a chart that increasingly resembles the characteristics of volatile markets”

Este cenário pode ser visto na figura 9, baseada na volatilidade analisada para as situações unifracal e multifractais.

FIGURA 9 - Volatilidades



FONTE: Mandelbrot (1999)

Na figura 9, a volatilidade do unifractal U corresponde a tranqüilidade vista nos mercados regidos pela teoria dos portfólios. Segundo Mandelbrot (1999), as variações nos preços segue a chamada “random walk” regida pela curva normal e a teoria dos portfólios. Entretanto, a análise da volatilidade dos multifractais (M1, M2, M3, M4) se caracteriza por uma crescente instabilidade a qual se deve às diversas variáveis determinantes do preço agirem de forma mais expressiva.

Pode-se dizer que o método criado por Mandelbrot realmente torna os gráficos mais condizentes com a realidade, pois os diversos geradores interpolados criam cenários baseados em acontecimentos mais detalhados do passado. Com isso, uma análise baseada no método dos fractais incorpora variáveis “mascaradas” nos gráficos regidos pela curva de distribuição normal, elevando ainda mais a credibilidade das informações geradas.

É importante destacar que, o método de Mandelbrot não oferece informações prontas, ele é uma ferramenta que incorpora aos dados existentes efeitos que não puderam ser analisados separadamente e, por isso, tendo as intensidades de alguns destes efeitos subestimadas.

## 7. CONCLUSÃO

No início desse trabalho, esperava-se que a literatura necessária fosse bem limitada devido ao fato de ser um assunto polêmico e recente, porém a realidade encontrada foi outra. Diversos autores citam os estudos de Benoit Mandelbrot para fundamentar seus trabalhos. Isso caracteriza a importância da multidisciplinaridade nas pesquisas o que contribui para que sejam descobertos novos caminhos a serem traçados.

Baseando-se no conteúdo exposto, conclui-se que o método dos fractais, desenvolvido por Benoit Mandelbrot, para análise das oscilações dos preços permite uma visão mais realista do mercado por incorporar fatores muitas vezes não identificáveis pela teoria moderna.

A ferramenta elaborada por Mandelbrot busca minimizar os efeitos do chamado efeito borboleta através da simulação do comportamento dos preços expondo flutuações “neutralizadas” pelos gráficos pontualmente criados. Para Mandelbrot, o que vemos nos gráficos não representa a totalidade dos efeitos do comportamento dos preços, apenas a resultante de diversas interações que ocasionaram aquele preço, uma com maior intensidade e outras com menor.

Dizer que o trabalho de Mandelbrot resolve todos os problemas de previsão é prepotência, pois isso indicaria a solução para o problema do caos mundial. Enfim, este estudo serve como ferramenta de análise de mercado a qual deve ser incorporada a outros métodos para que informações importantes possam ser processadas.

Assim como a moderna teoria do portfólio explica 95% do comportamento do mercado, pode-se dizer que a aplicação do estudo de Mandelbrot elevará essa porcentagem. Embora não podendo ser definida uma porcentagem específica, seguindo o pensamento da teoria do caos, a mínima elevação do percentual alcançada pode evitar um cenário desastroso.

Ressalta-se que não cabe a este trabalho julgar qual o melhor método de avaliação de mercado, o ideal sempre foi processar o maior número de métodos possíveis, traçando assim um futuro mais condizente com a realidade, minimizando ao máximo os riscos.

A multidisciplinaridade caracteriza uma quebra de paradigmas os quais podem resultar em conclusões inesperadas que serão criticadas independentes de sua viabilidade ou não. Os pesquisadores devem explorar todos os ramos da ciência existentes e observá-los, não separadamente, mas como extensão umas das outras criando novas oportunidades de estudos, pois acima de tudo os seres humanos vivem em um mundo sistêmico onde todos os elementos interagem, direta ou indiretamente.

## REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHELIS, Steven B. **Technical Analisis from A to Z: Covers Every Trading Tool from the Absolute Breadth Index to the Zig Zag**. McGraw-Hill Professional, 2000.

BROWN, Constance M. **Technical Analisis for the Trading Professional: Strategies and Techniques for Today's Turbulent Financial Markets**. McGraw-Hill Professional, 1999.

CAPRA, Fritjof; Eicheberg, Newton R. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. Ed. Cultrix, 2000.

CARVALHO, M. C. C. S.; SILVA, A. **Fractais: uma breve introdução**. 1. Ed. São Paulo: Ed. Da Faculdade São Judas, 1986.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. - **Análise fractal e multifractal da estrutura de estações chuvosas em localidades do estado de São Paulo**. Rio Claro: IGCE/ Unesp, 1997.

DEBASTIANI, Carlos A. **Análise técnica de ações – Identificando oportunidades de compra e venda**. Ed. Novatec, 2008.

DOWNES, John; Goodman, J. E. **Dicionário de Termos financeiros e de investimento**. Ed. Novel, 1993.

EDWARDS, R. R.; MAGEE, John; BASSETTI, W. H. C. **Technical Analisis of Stock Trends**. Ed. CRC Press, 2001.

ELDER, Alexander. **Trading for a living: Psychology, Trading Tactics, Money Managment**. John Wiley and Sons, 1993.

FORTUNA, Eduardo. **Mercado Financeiro**. 13 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1999.

GLEICK, James. **Caos**. A criação de uma nova ciência. Rio de Janeiro: Campos, 1990.

HARRIS, Sydney; MAIOLI, Rogers; WIGGINS, Arthur W.; WYNN, Charles M. **As Cinco Maiores Idéias da Ciência**. Prestígio, 2002.

KARAS, Elisabeth; SERRA, Celso P. **Fractais gerados por sistemas dinâmicos complexos**. Curitiba: Champagnat, 1997.

ISSAOUI, Tarek; MONEME, Ivan. **Ditados Para Entender a Bolsa**. Nobel, 2007.

LANDULFO, Eduardo. **Meio ambiente e física**. 1 ed. Senac, 2005.

LEWIN, Roger. **Complexidade. A vida no limite do caos**. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

LIEBERMAN, Marc; Hall, Robert E. **Microeconomia: princípios e aplicações**. Learning Editores, 2003.

LILIAN, Chew; **Gerenciando os Riscos de Derivativos: Uso e Abuso da Alavancagem**. Rio de Janeiro. Qualitymark Editora Ltda, 1999.

LUKEMAN, Josh. **The Market Maker's Edge: Day Trading Tactics from Wall Street Insider**. McGraw-Hill Professional, 2000.

MANDELBROT, Benoit B. **A multifractal walk down Wall Street**. *Scientific American*, February 1999. p.50-53.

MANDELBROT, Benoit; HUDSON, Richard. **Mercados Financeiros Fora de Controla: a teoria dos fractais explicando o comportamento dos mercados.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2004

PEITGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, Hartmut; SAUPE, Dietmar. **Chaos and fractais, new frontiers of science.** New York: Springer Verlag, 1992.

PRIGOGINE, Ilya. **O fim das certezas.** São Paulo: UNESP, 1996

RAMESH, Ram. **Financial Analyst's Indispensable Pocket Guide.** Ed. McGraw-Hill Professional, 2000.

STEWART, I. **OS NÚMEROS DA NATUREZA:** a realidade irreal da imaginação matemática. Rio de Janeiro: Ed. Rocco, 1996.

SAVI, Marcelo A. **Dinâmica Não-linear e Caos.** 1 ed. E-papers, 2006

TOSINI, M.F.C. **Risco ambiental para as instituições financeiras.** Annablume, 2007

WHEATLEY, Margaret J. **Liderança e a nova ciência.** São Paulo: Cultrix, 1997

## **ANEXO A – DEFINIÇÃO DE DIMENSÃO HAUSDORFF**

## Definição de Dimensão Hausdorff

“Nós nos restringiremos à definição de dimensão Hausdorff do conjunto  $A$  que está incorporado ao espaço Euclidiano

$$R^n = \{x \mid x = (x_1, \dots, x_n), x_i \in R\}$$

Por algum número natural  $n$ . Nós precisamos alguma definição matemática para chegar a definição. Primeiramente, existe uma função distância  $d(x, y)$ , a distância Euclidiana de  $x$  e  $y$  nos  $R^n$ ,

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - y_i)^2}$$

Em seguida, existe um superior e inferior no subconjunto  $X$  dos números Reais,

$$\inf\{x \in X\} = \text{Limite inferior de } X$$

$$\sup\{x \in X\} = \text{Limite superior de } X$$

Isto significa que  $a = \inf\{x \in X\}$  desde que  $a \leq x$  para todo  $x \in X$  e para todo  $\varepsilon > 0$  existe  $x \in X$  tal que  $x - a < \varepsilon$ . Similarmente,  $b = \sup\{x \in X\}$  desde que  $b \geq x$  para todo  $x \in X$  e para todo  $\varepsilon > 0$  existe um  $x \in X$  tal que  $b - x < \varepsilon$ . Usando tais noções nós podemos agora definir o diâmetro de um subconjunto  $U$  dos  $R^n$ .

$$\text{diam}(U) = \sup\{d(x, y) \mid x, y \in U\}.$$

A última noção necessária é uma tampa aberta de um subconjunto  $A$  de  $R^n$ . O subconjunto  $U$  dos  $R^n$  é dito aberto fornecido que para qualquer  $x \in U$  existe uma bola pequena  $B_\varepsilon(x) = \{y \in R^n \mid d(x, y) < \varepsilon\}$  de raio  $\varepsilon > 0$ . Uma família de subconjuntos abertos  $\{U_1, U_2, U_3, \dots\}$  é chamado de “open cover” (contável) de  $A$  fornecido.

$$A \subset \bigcup_{i=1}^{\infty} U_i$$

Agora nós estamos preparados para definir a Dimensão Hausdorff de  $A$ : permita que  $s$  e  $\varepsilon$  sejam positivos e números reais. Então defina

$$h_{\varepsilon}^s(A) = \inf \{ \sum_{i=1}^{\infty} \text{diam}(U_i)^s \mid \{U_1, U_2, \dots\} \text{ "open cover" de } A \text{ com } \text{diam}(U_i) < \varepsilon \}$$

Deste modo, o "maior limite inferior" estende-se por todas as aberturas de  $A$  pelo qual a cobertura do conjunto  $U_i$  tem diâmetro menor que  $\varepsilon$ . Para cobrir cada uma delas nós tomamos os diâmetros das aberturas da cobertura do conjunto, aumentando para a potencia de  $\varepsilon^s$ , e pega-se a soma. Esta soma pode ser finita ou infinita. Como nós diminuimos  $\varepsilon$  a classe de cobertura admissível de  $A$  e reduzida. Portanto, o "maior limite inferior" é aumentado e então aborda um limite como  $\varepsilon \rightarrow 0$  o qual pode ser infinito ou um número real. Nós escrevemos

$$h^s(A) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} h_{\varepsilon}^s(A).$$

O limite  $h^s(A)$  é chamado de "s-dimensional Hausdorff measure" de  $A$ . Em particular, segue-se que "s-dimensional Hausdorff measure" de conjuntos vazios is 0 e  $h^s(A) < h^s(B)$  se  $A \subset B$ . Além disso,  $h^1(A)$  é o comprimento de uma curva plana  $A$ ;  $h^2(A)$  é a área de uma superfície plana  $A$  acima de um fator de  $\pi/4$ ;  $h^3(A)$  é o volume de uma cópia tridimensional plana  $A$  acima de um fator  $\pi/3$ . Outra propriedade importante é esta:

Se  $f : A \rightarrow \mathbb{R}^n$  satisfaz a condição Hölder para todos os pares  $x, y \in A$ , i.e.,

$$d(f(x), f(y)) \leq c(d(x, y))^{\alpha}$$

para algumas constantes  $c > 0$  e  $\alpha > 0$ , então

$$h^{\frac{s}{\alpha}}(f(A)) \leq c^{\frac{s}{\alpha}} h^s(A).$$

Por exemplo, se  $f$  é uma transformação similar com fator contração  $0 \leq c < 1$ , então  $f$  satisfaz a condição de Hölder com  $\alpha = 1$ , e  $h^s(f(A)) \leq c^s h^s(A)$ . Além disso, Hausdorff provou que para qualquer conjunto  $A$  o seguinte é válido. Existe um número  $D_H(A)$  tal que

$$h^s(A) = \begin{cases} \infty & \text{para } s < D_H(A) \\ 0 & \text{para } s > D_H(A) \end{cases}$$

O número  $D_H(A)$  é definido como Dimensão Hausdorff

$$D_H(A) = \inf\{s \mid h^s(A) = 0\} = \sup\{s \mid h^s(A) = \infty\}.$$

Se  $s = D_H(A)$ , então  $h^s(A)$  pode ser zero, infinito ou algum número real positivo. Nós finalmente coletamos algumas propriedades fundamentais da dimensão Hausdorff:

- (1) Se  $A \subset \mathbb{R}^n$ , então  $D_H(A) \leq n$ .
- (2) Se  $A \subset B$ , então  $D_H(A) \leq D_H(B)$ .
- (3) Se  $A$  for um conjunto contável, então  $D_H(A) = 0$ .
- (4) Se  $A \subset \mathbb{R}^n$  e  $D_H(A) < 1$ , então  $A$  é totalmente desconectado.
- (5) Assuma  $C_\infty$  sendo o conjunto Cantor. Então

$$D_H(C_\infty) = \log 2 / \log 3.$$

Deixe-nos dar um argumento heurístico para a propriedade (5), assumindo  $0 < h^s(C_\infty) < \infty$  para  $s = D_H(C_\infty)$ . Note que  $C_\infty$  divide-se em duas partes,  $C_L = C_\infty \cap [0, \frac{1}{3}]$  e  $C_R = C_\infty \cap [\frac{2}{3}, 1]$  os quais são ambos similares para  $C_\infty$  mas escalonado por um fator de  $c = 1/3$ . Deste modo

$$h^s(C_\infty) = h^s(C_L) + h^s(C_R) = c^s h^s(C_\infty) + c^s h^s(C_\infty).$$

Agora dividimos por  $h^s(C_\infty) \neq 0$  e obtêm-se  $1 = 2c^s$ , ou  $s = \log 2 / \log 3$ .