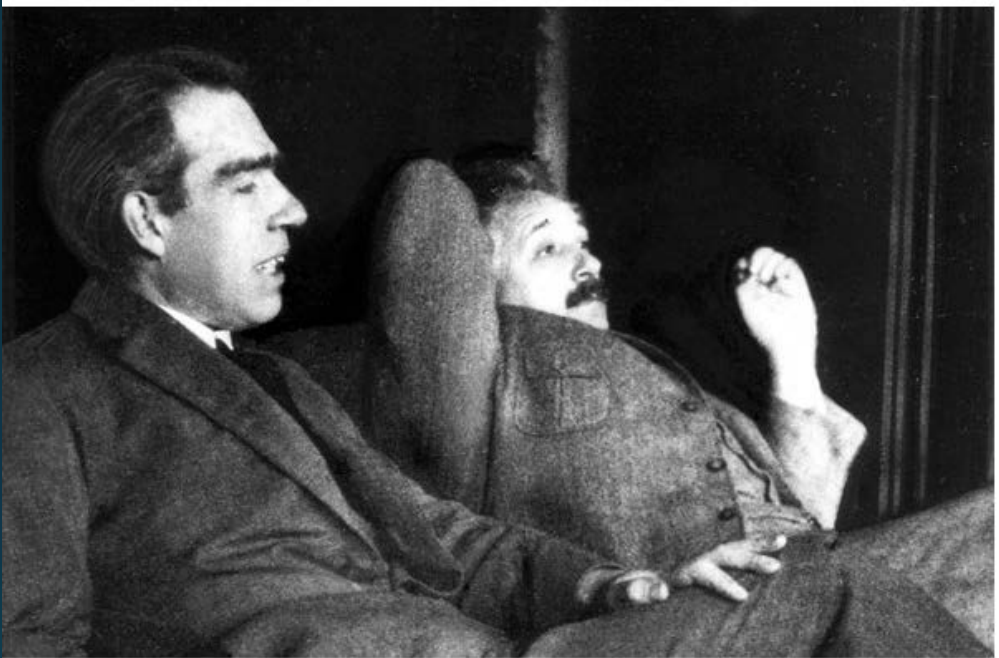


# Sistematização de Alarmes Wavelets para *Flash Crash*

Prof. Dr. Marco Antonio Leonel Caetano  
INSPER SÃO PAULO  
*marcoALC1@insper.edu.br*



Niels Bohr e Albert Einstein em fotografia de 1925 (Fonte da imagem: [Wikimedia Commons](#))

**Einstein:** “Deus não joga dados com o mundo”

**Bohr:** “Deus joga dados com o mundo e ainda esconde os dados”

# MUDANÇAS ABRUPTAS

## Abalos sísmicos

Pesquisadores vêem risco de virem para o Ibovespa em análise usada para prever terremotos e filtrar imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros. Por **Adriana Cottas**, de São Paulo

Os pesquisadores se baseiam no trabalho do geofísico francês Didier Valette, do Departamento de Física da Universidade de Caen, França, em 2008. Lá, ele criou o índice sísmico para o Brasil, que se baseia na análise de imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros. O índice é baseado na análise de imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros. O índice é baseado na análise de imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros.

Uma análise de risco sísmico para o Brasil foi feita por pesquisadores da Universidade de Caen, França, em 2008. O índice sísmico para o Brasil é baseado na análise de imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros. O índice é baseado na análise de imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros.

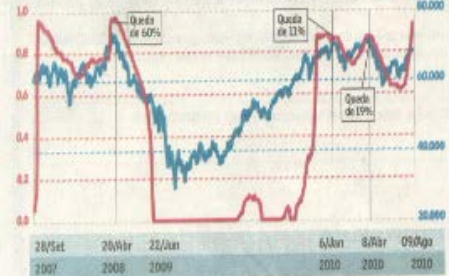


Com o avanço das pesquisas, o risco de virem para o Ibovespa em análise usada para prever terremotos e filtrar imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros. Por **Adriana Cottas**, de São Paulo

O índice sísmico para o Brasil é baseado na análise de imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros. O índice é baseado na análise de imagens espaciais aplicadas aos mercados financeiros.

## Perigo à vista

Índice sinaliza correção forte



Fonte: www.fundeb.com.br/analise

D2 Valor | Quarta-feira, 11 de agosto de 2010

## EU& Investimentos

# Crash à vista, alerta índice que prevê terremotos

### De olho na bolsa

Alessandra Bellotto



Depois de subir quase 10% em 11 pregões consecutivos e superar os 68 mil pontos, o Ibovespa parou durante uma semana. Nos últimos três dias, contudo, o índice perde 1,74%, sendo 0,94% só ontem, a 67.223

mede o risco de reversão de uma tendência de alta da bolsa. Quanto mais próximo de 1, maior a chance de queda brusca. O índice hoje marca 0,93 (ver gráfico abaixo). "Isso significa que a frequência está alta, talvez motivada por notícias contraditórias, abrindo espaço para a queda", explica Caetano. O pesquisador acrescenta que os fundamentos macroeconômicos globais corroboram a perspectiva de reversão de tendência. "O cenário lá fora é ruim." Ele destaca a fragilidade das economias americana e da Europa, além do desaquecimento na China.

**Indicador aponta para queda superior a 12% do Ibovespa**

GUIA SEMANAL DE INVESTIMENTOS

# Investidor Dinheiro



**Terremoto**  
Mede o grau de estresse das bolsas e mostra a hora de o investidor comprar ou vender ações. O indicador foi desenvolvido pelo pesquisador Marco Antonio Leone Caetano, professor de Sistemas de Informação do Insper em conjunto com Takashi Yamayama, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

# CONSEQUÊNCIAS

Produtos Editorial Análises Imagem Bovespa, Bolsas e Commodities Histórico IMA Introdução ao IMA Wavelets Espectro do Mercado Índice de Mudanças Abruptas Contato

## MUDANÇAS ABRUPTAS



Cadastro & Acesso



Agora para **IBOV**  
e **24** ações!

[www.mudancasabruptas.com.br](http://www.mudancasabruptas.com.br)







Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

Physica A

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/physa](http://www.elsevier.com/locate/physa)



## A new indicator of imminent occurrence of drawdown in the stock market

Marco Antonio Leonel Caetano<sup>a,\*</sup>, Takashi Yoneyama<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Ibmec São Paulo, Brazil*

<sup>b</sup> *ITA – São José dos Campos, Brazil*

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 28 October 2008

Received in revised form 12 May 2009

Available online 27 May 2009

#### Keywords:

Drawdown

Crashes

Stock market

Wavelets

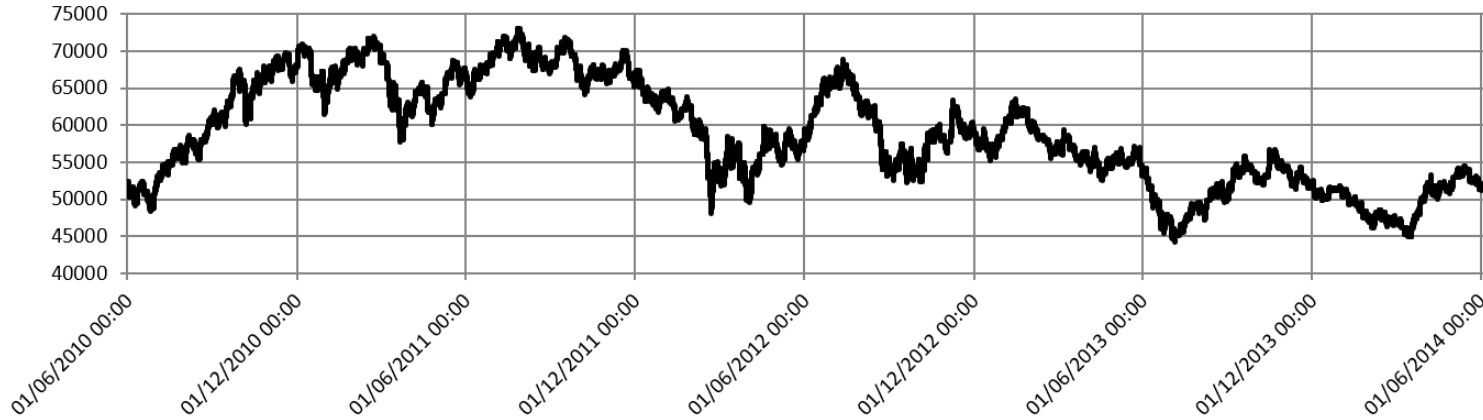
Indices

### ABSTRACT

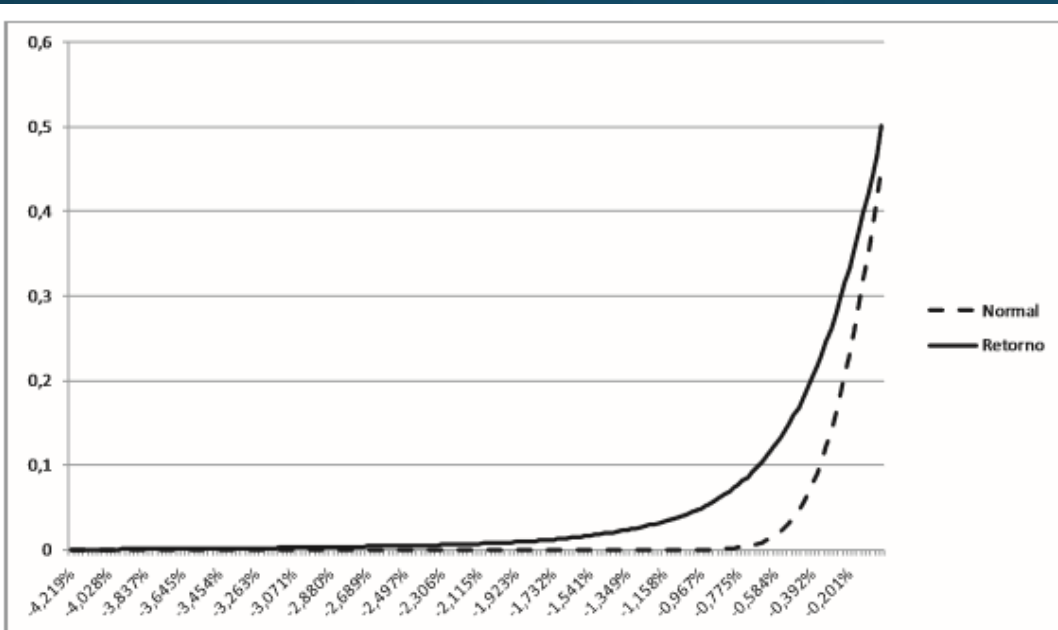
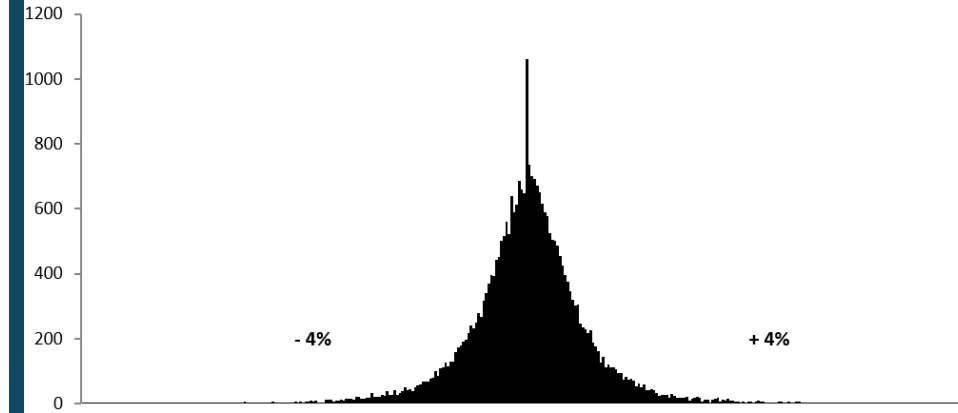
The crashes in financial markets have caught the attention of many researchers since 1929 and several mathematical models have been proposed to try to forecast the occurrence of these events. The main idea in this work is to use a wavelet transform to detect imminent abrupt changes in a financial time series, which may be eventually related to the possibility of a crash. Case studies are conducted using wavelet approaches with data covering pre-crash and post-crash 1929, as well as more recent Hang Seng and IBOVESPA data. The financial crisis of 2008 also is analyzed using this method. These time series provide useful insights into the behavior of wavelet coefficients under the possibility of short term crashes in stock market. However, it is not a trivial task to infer an imminent drawdown by simply examining the pattern of the wavelet transform coefficients. Hence, an index (a real number between 0 and 1) is proposed to aggregate the information provided by the wavelet coefficients. The new index presented good capability of monitoring crashes and drawdown with small error margins, at least in the studied cases.

# CÁLCULO TRADICIONAL DE RISCO

Ibovespa - intradiário (2010-2014)

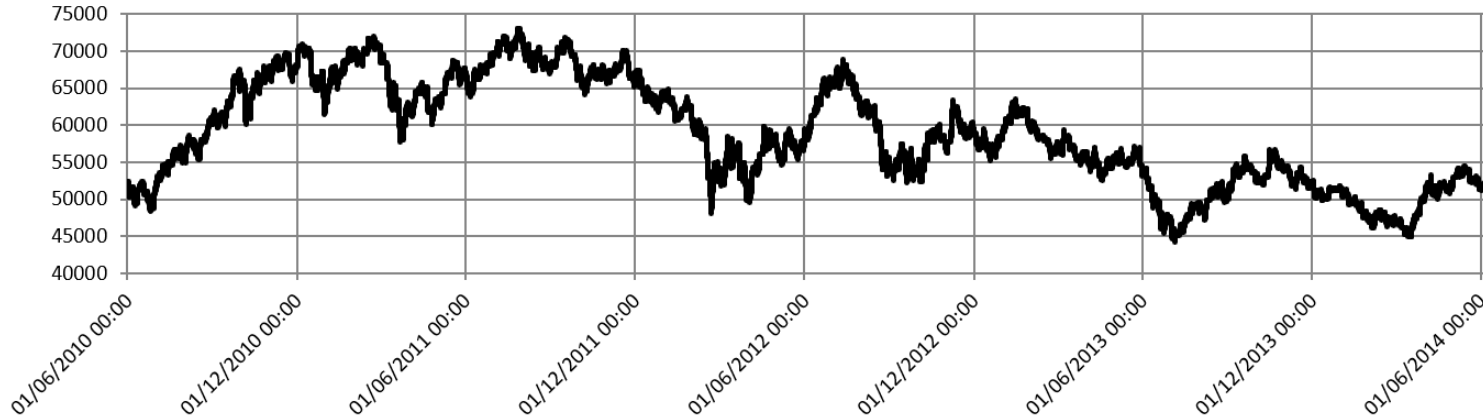


Ibovespa - intradiário (2010-2014)

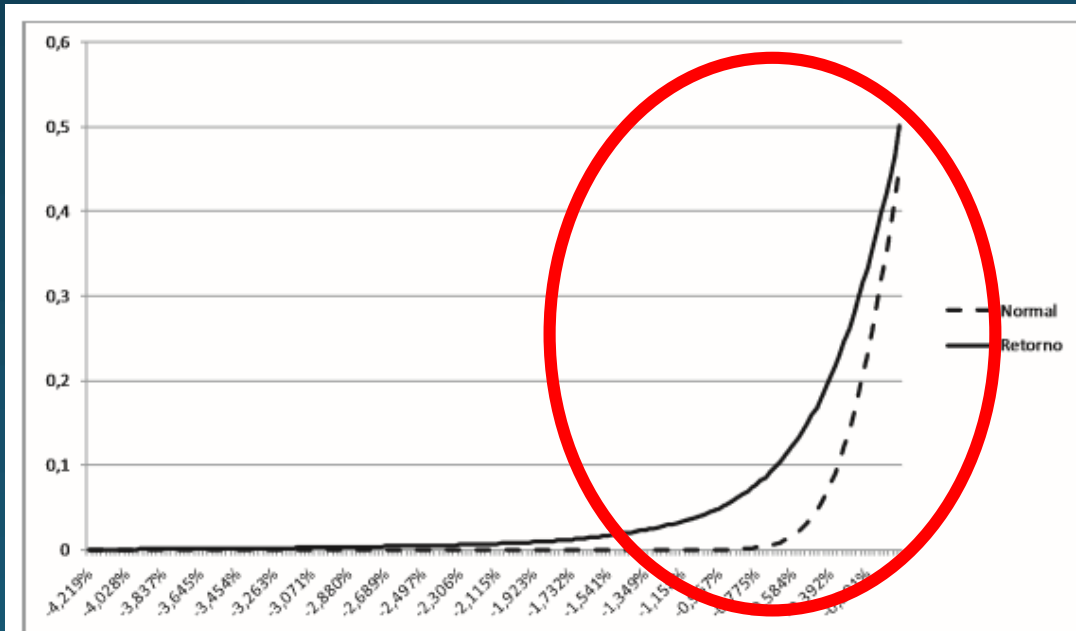
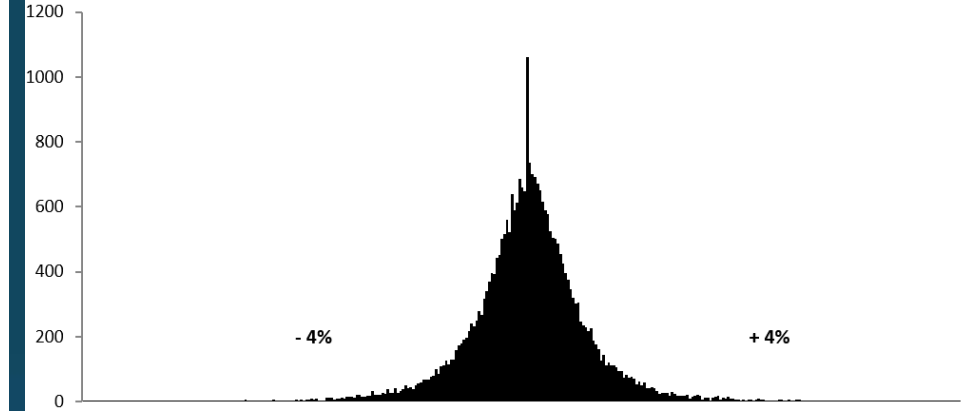


# CÁLCULO TRADICIONAL DE RISCO

Ibovespa - intradiário (2010-2014)



Ibovespa - intradiário (2010-2014)



# PREVISÃO DE CRASH EM 2008

QUEDAS ACIMA DE 11%



1 queda a cada 40 bilhões de ano



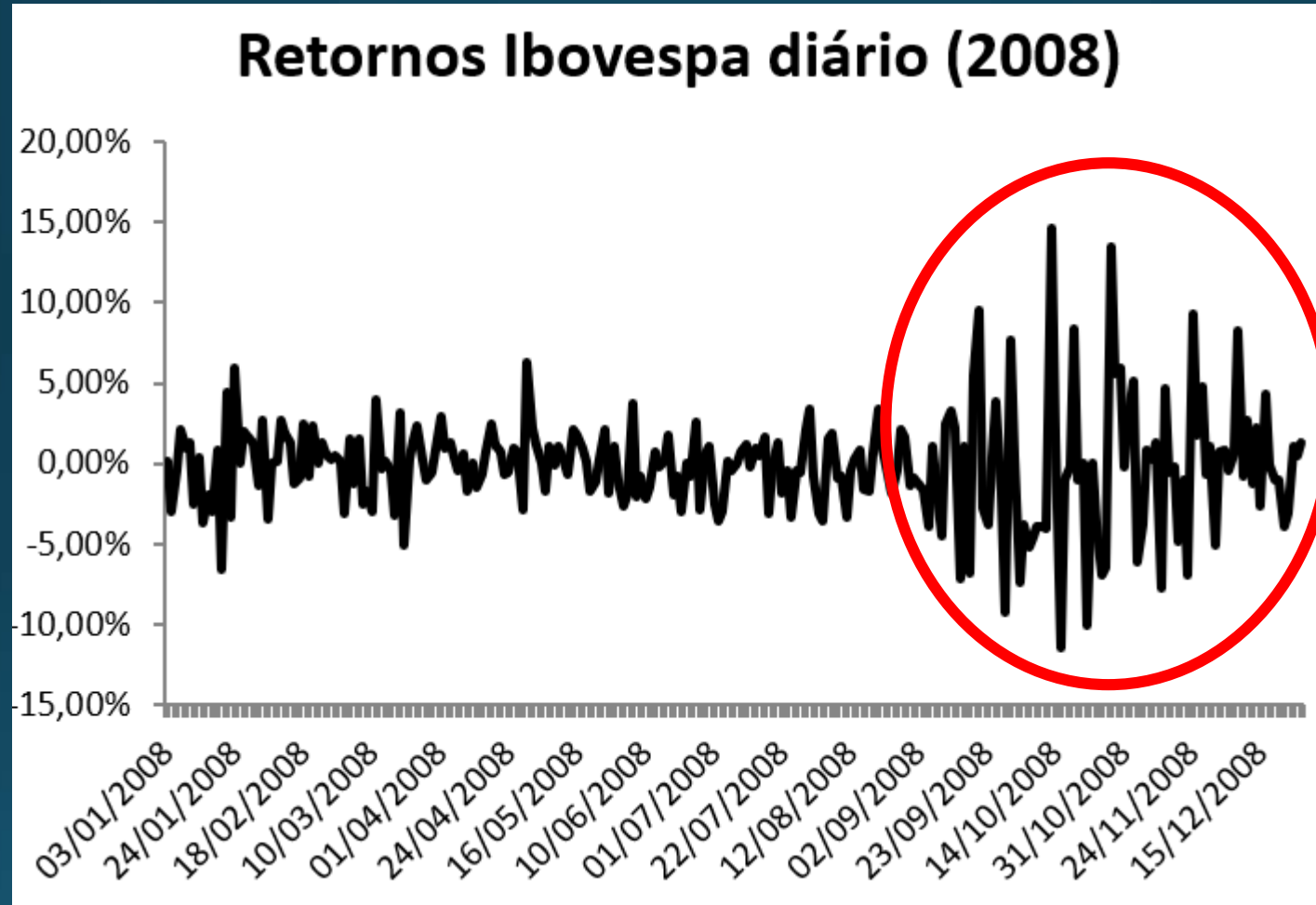
# PREVISÃO DE CRASH EM 2008

QUEDAS ACIMA DE 11%  1 queda a cada 40 bilhões de ano

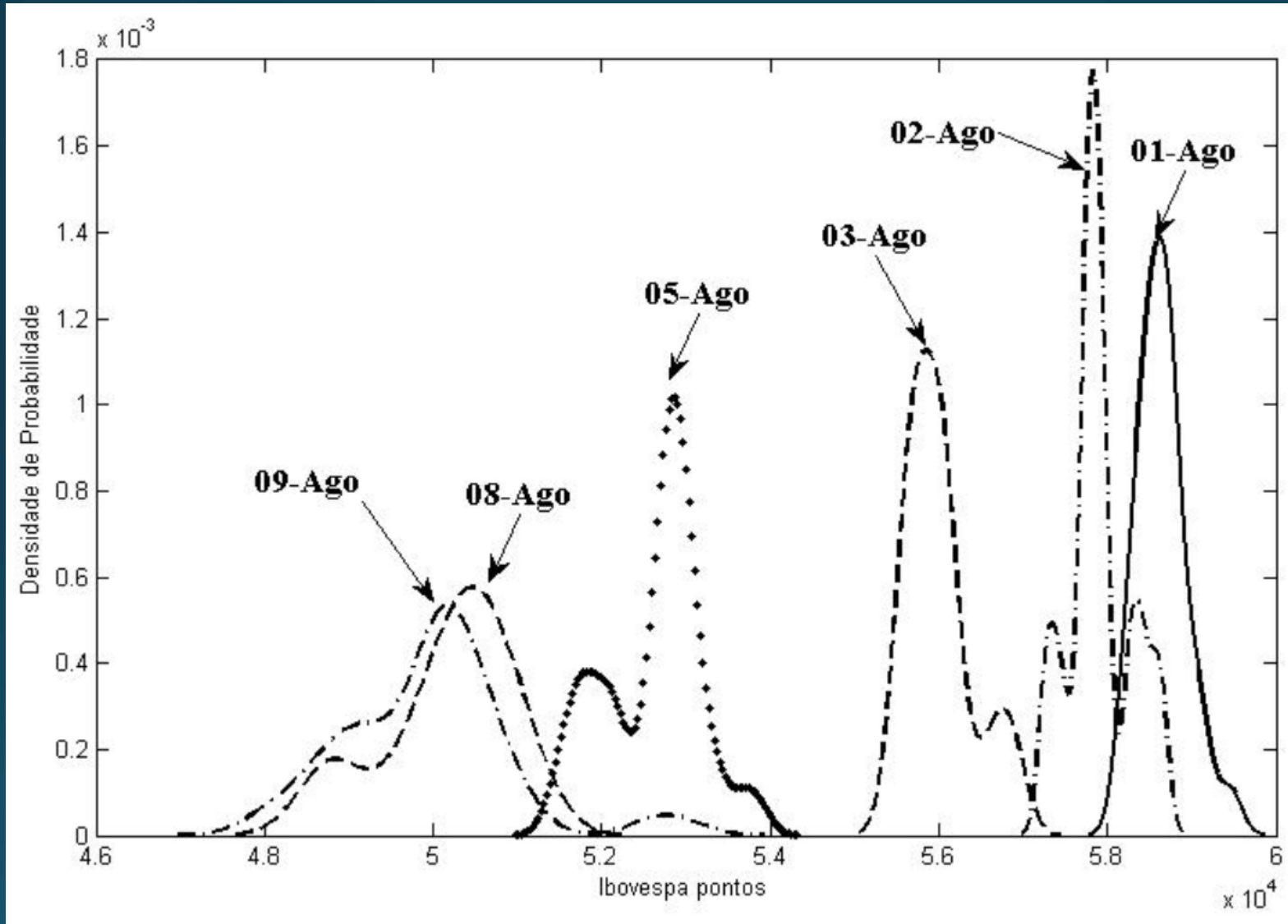
Em 2008 ocorreu :

- 1 queda de 11,39 %
- 15 quedas acima de 5%

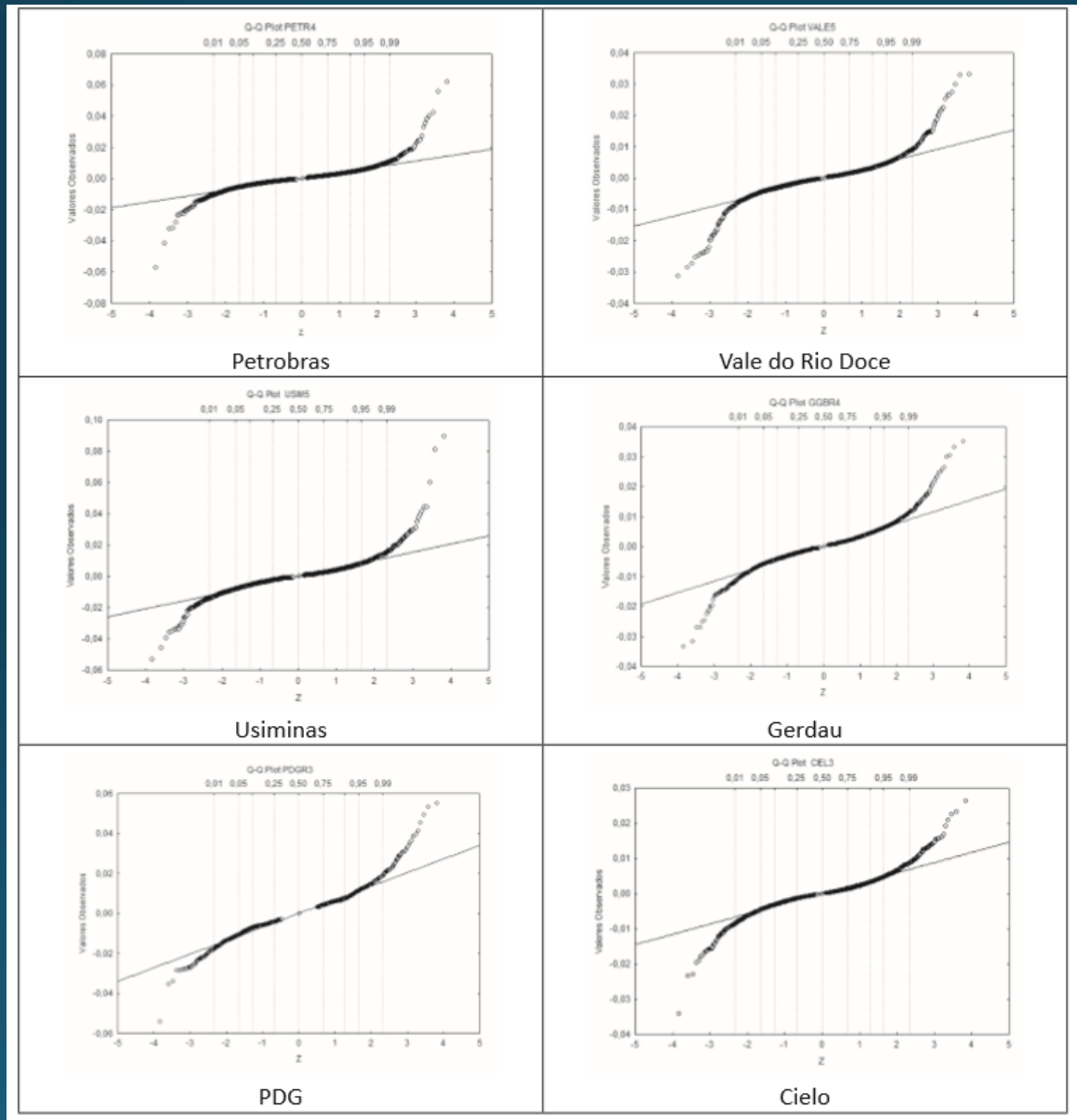
# RETORNOS DIÁRIOS 2008



# O Mercado *não* é Normal

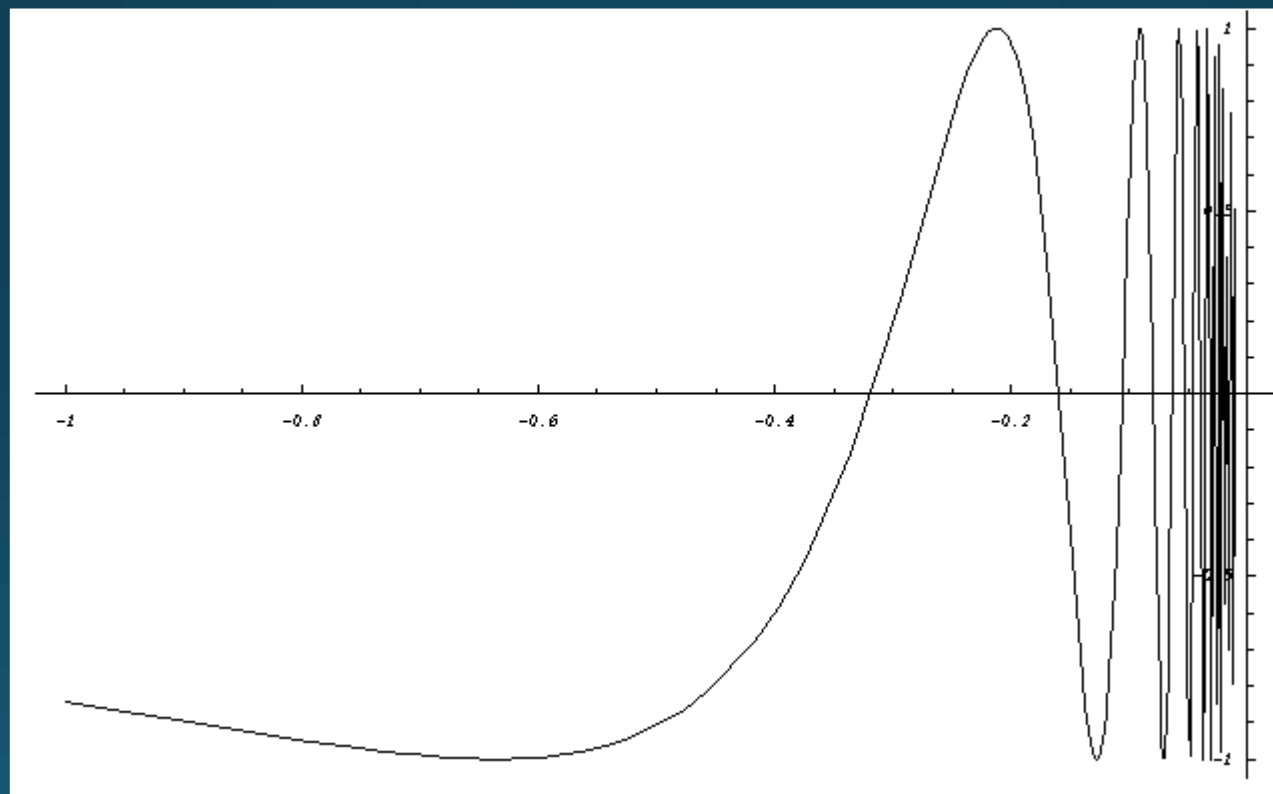


# O Mercado *não* é Normal



Onde tudo começa...

$$f(x) = \text{sen}\left(\frac{1}{x}\right)$$

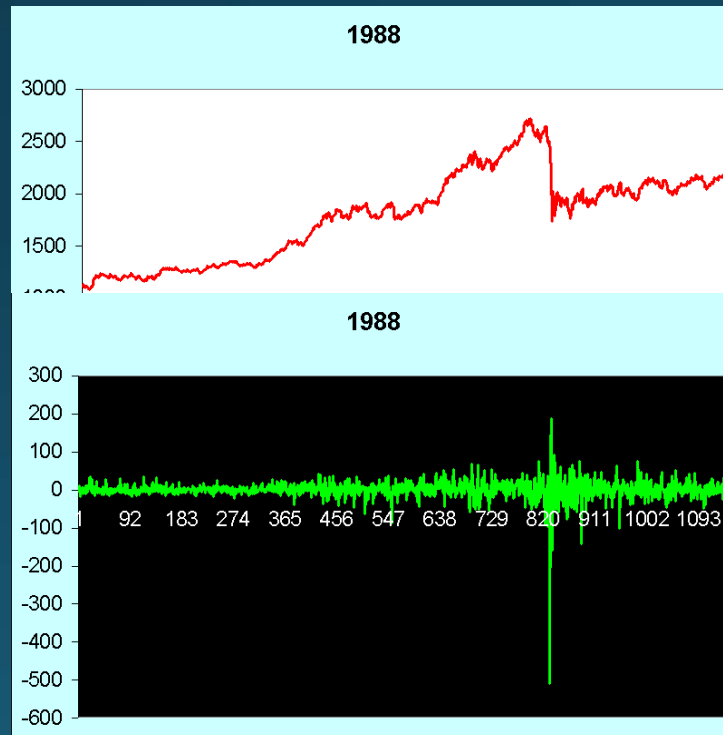




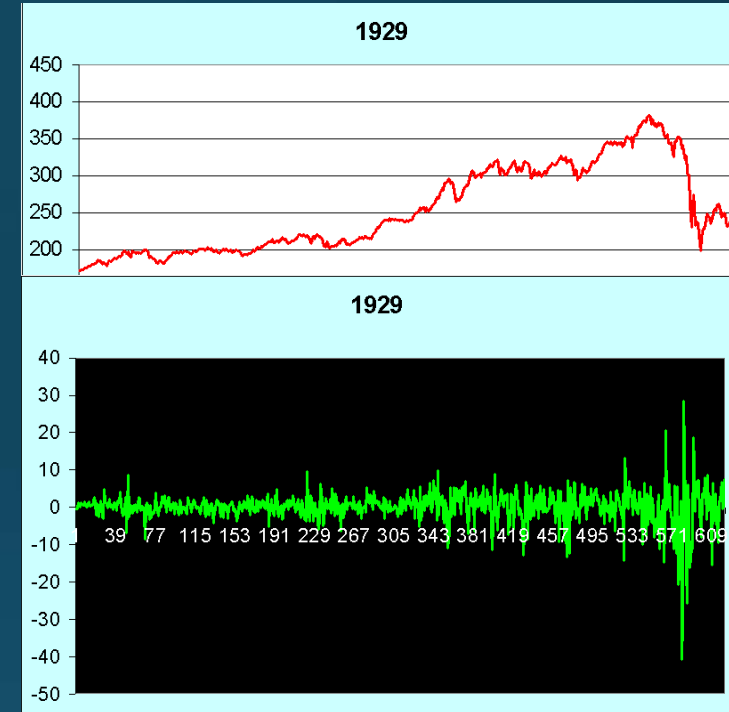
# Padrão?



Terremoto Kobe – Japão - 1995



Variação Diária - 1988



Variação Diária - 1929

# Fourier (1768)



- **Séries de Fourier**

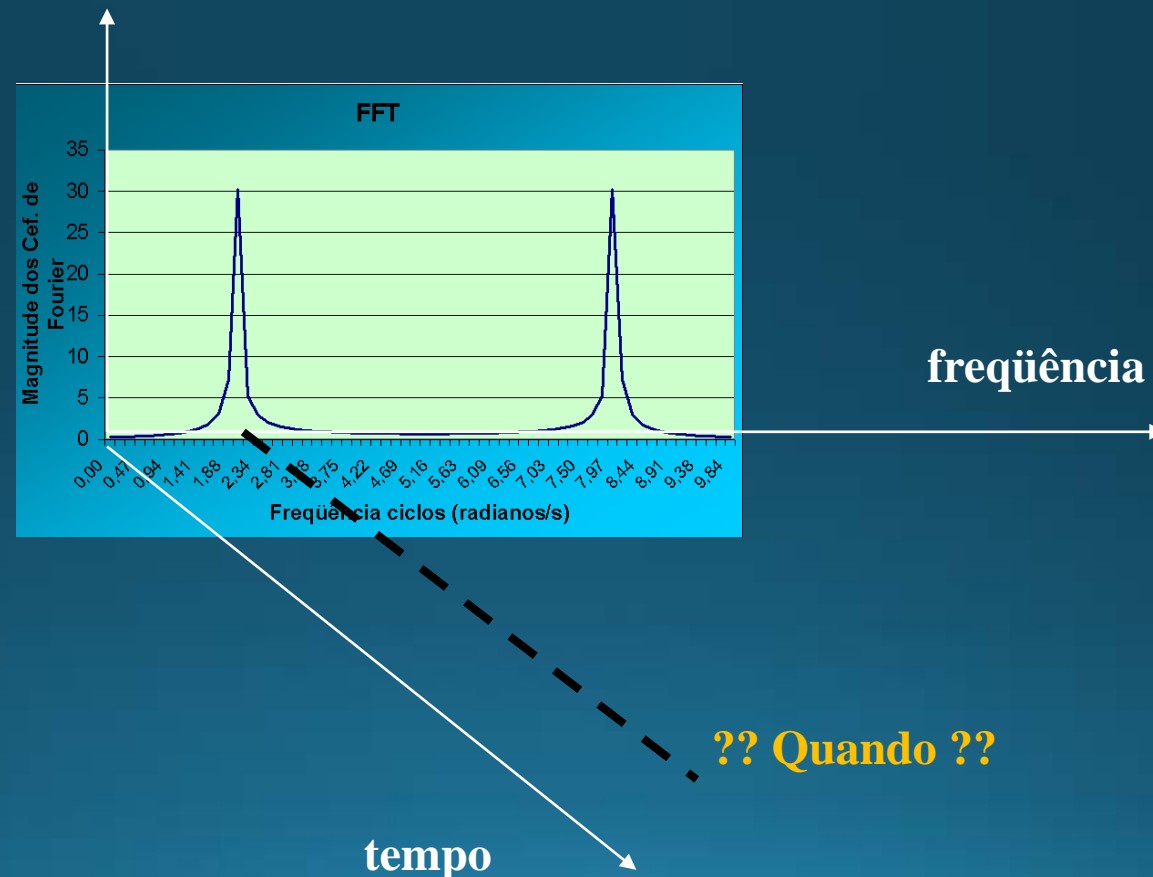
*Aproximação de dados por séries harmônicas.*

- **Transformadas de Fourier**

*Transforma dados no tempo dispostos em frequências*

# Problemas na Transformada de Fourier o Mercado Financeiro

Não é possível determinar quando irá ocorrer a frequência, ou ,  
se no momento da observação está ocorrendo a frequência  
dominante.

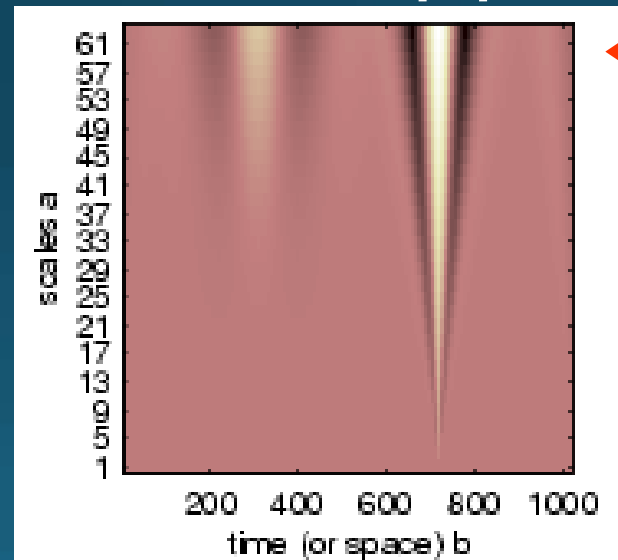
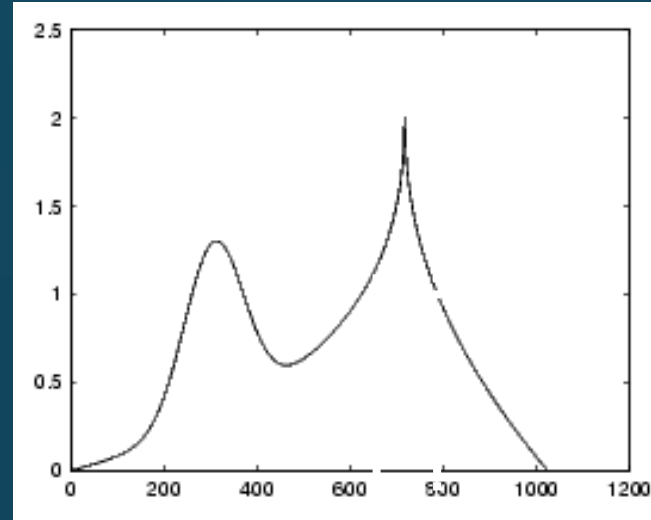


**SOLUÇÃO:**

**WAVELET !!**

# CARACTERÍSTICA DE UMA WAVELET

Partindo do estudo de Fourier



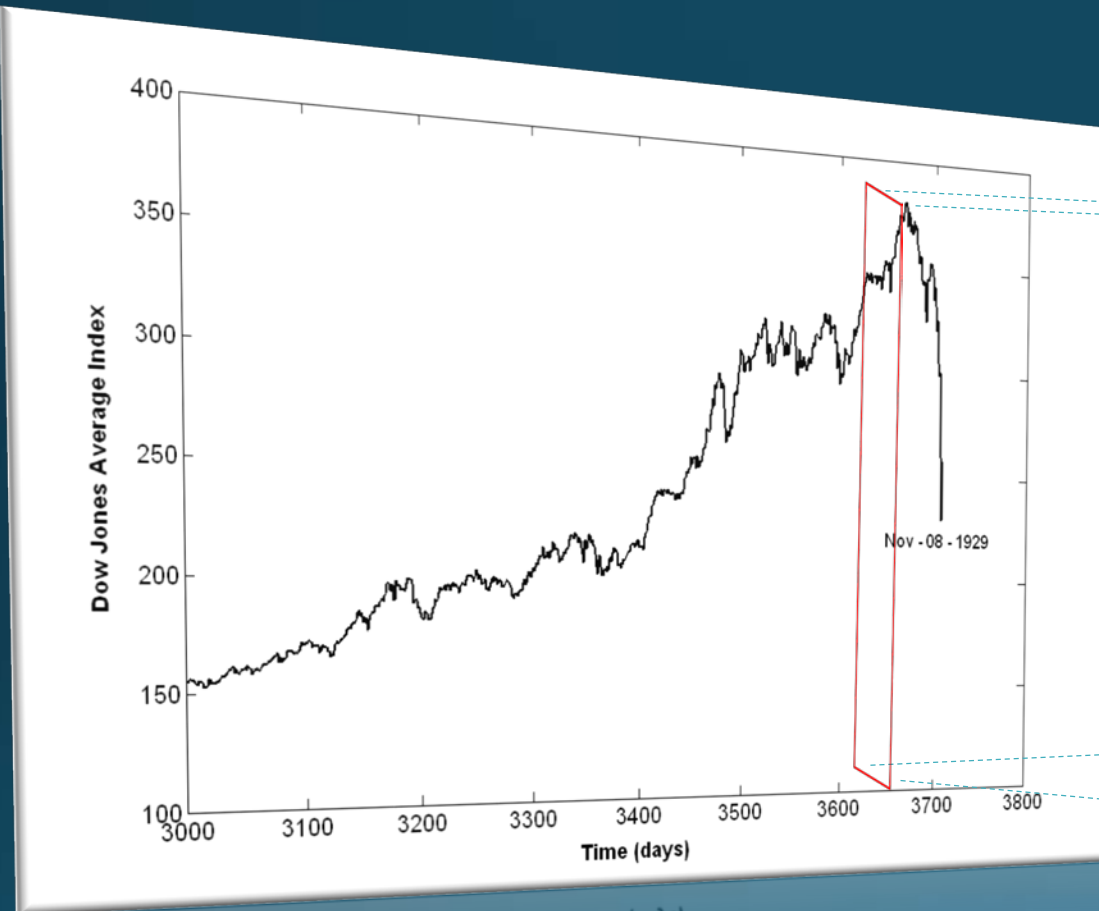
Baixa freqüência



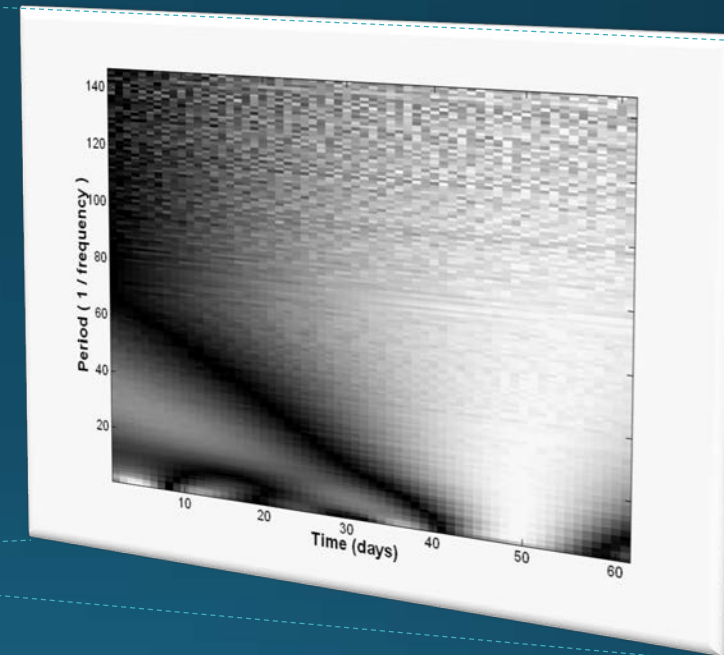
Alta freqüência



# WAVELET NO MERCADO FINANCEIRO

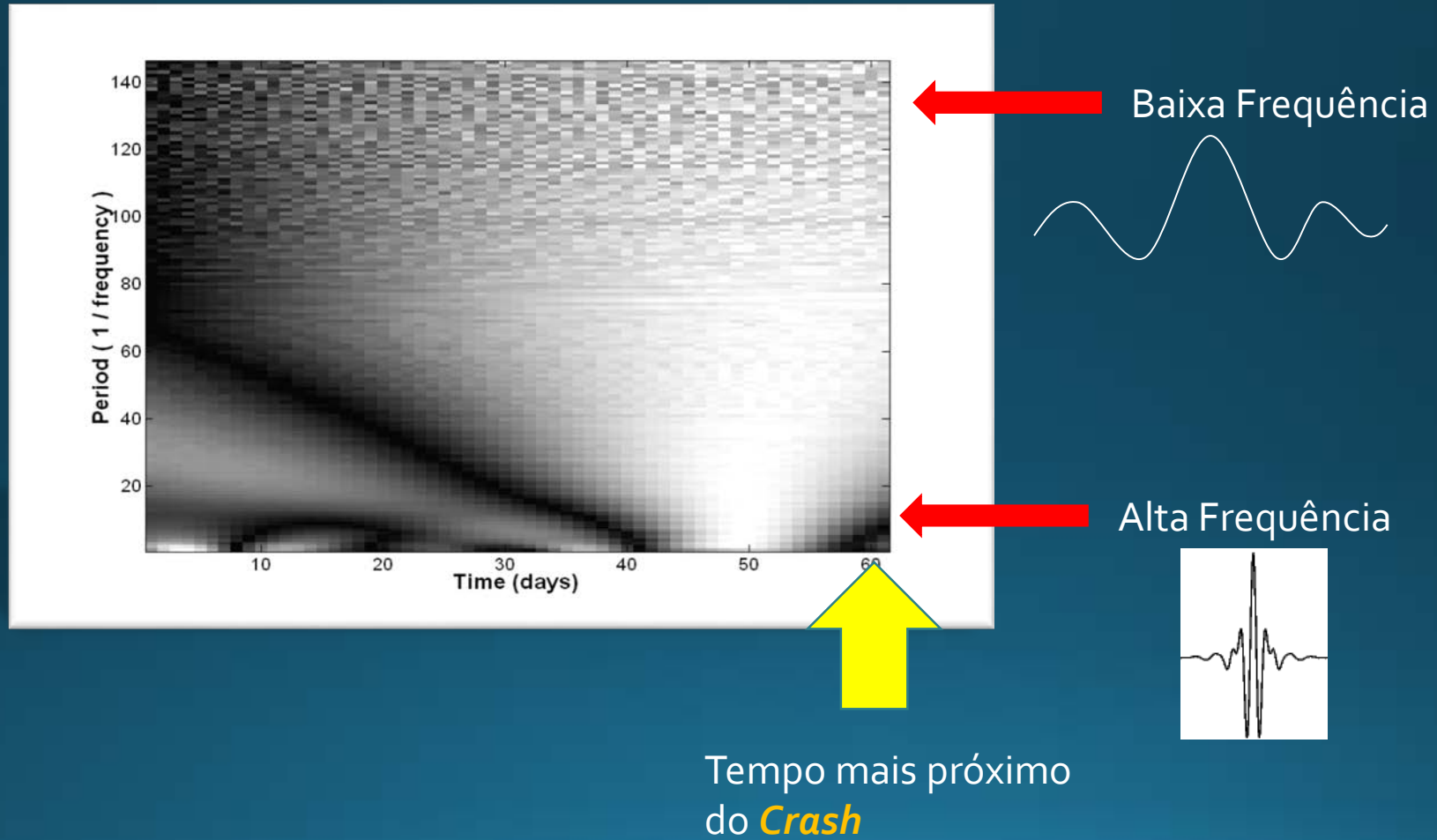


*Before Crash*



Dow Jones (1929)

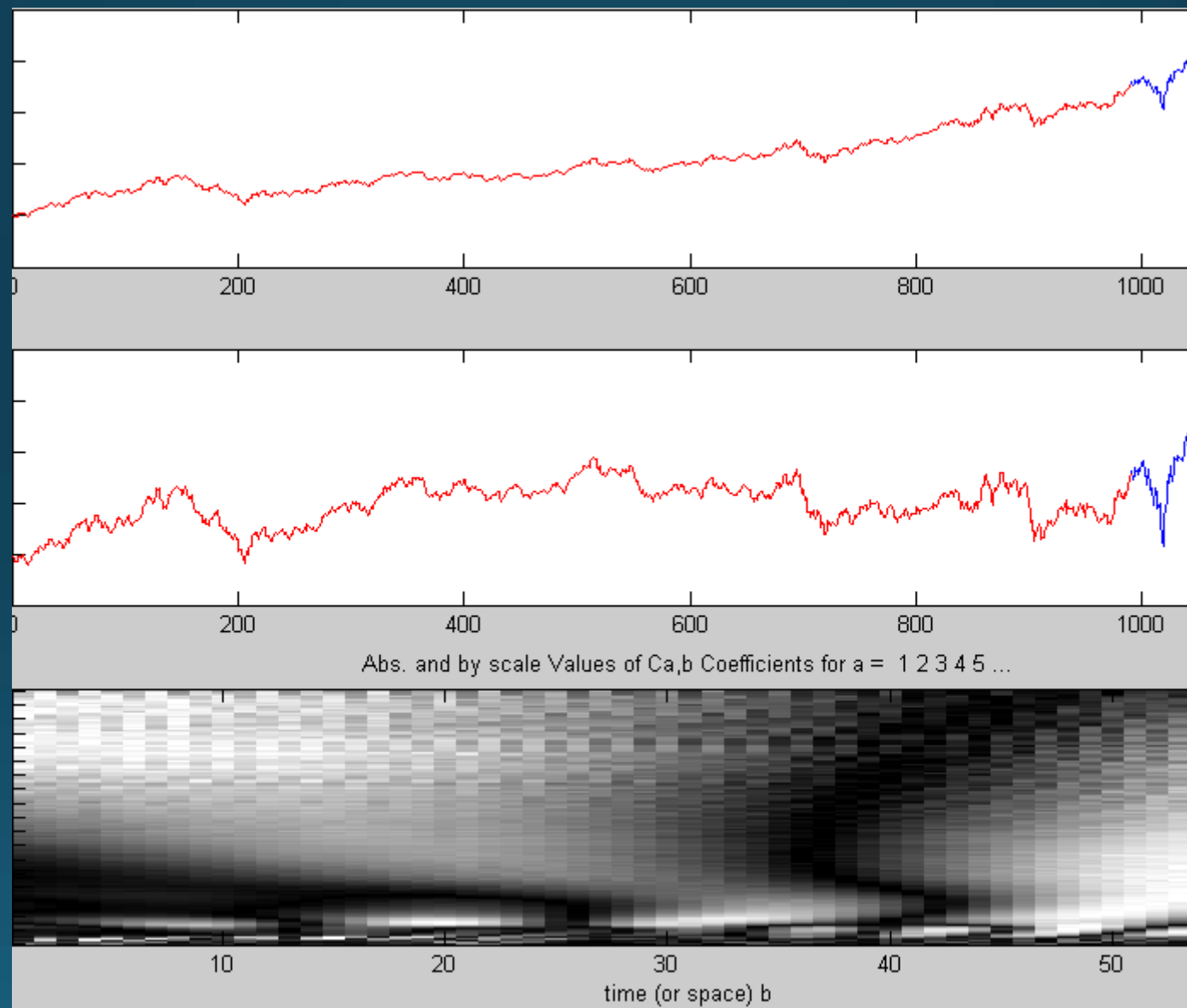
# Wavelet : Tempo x Escala



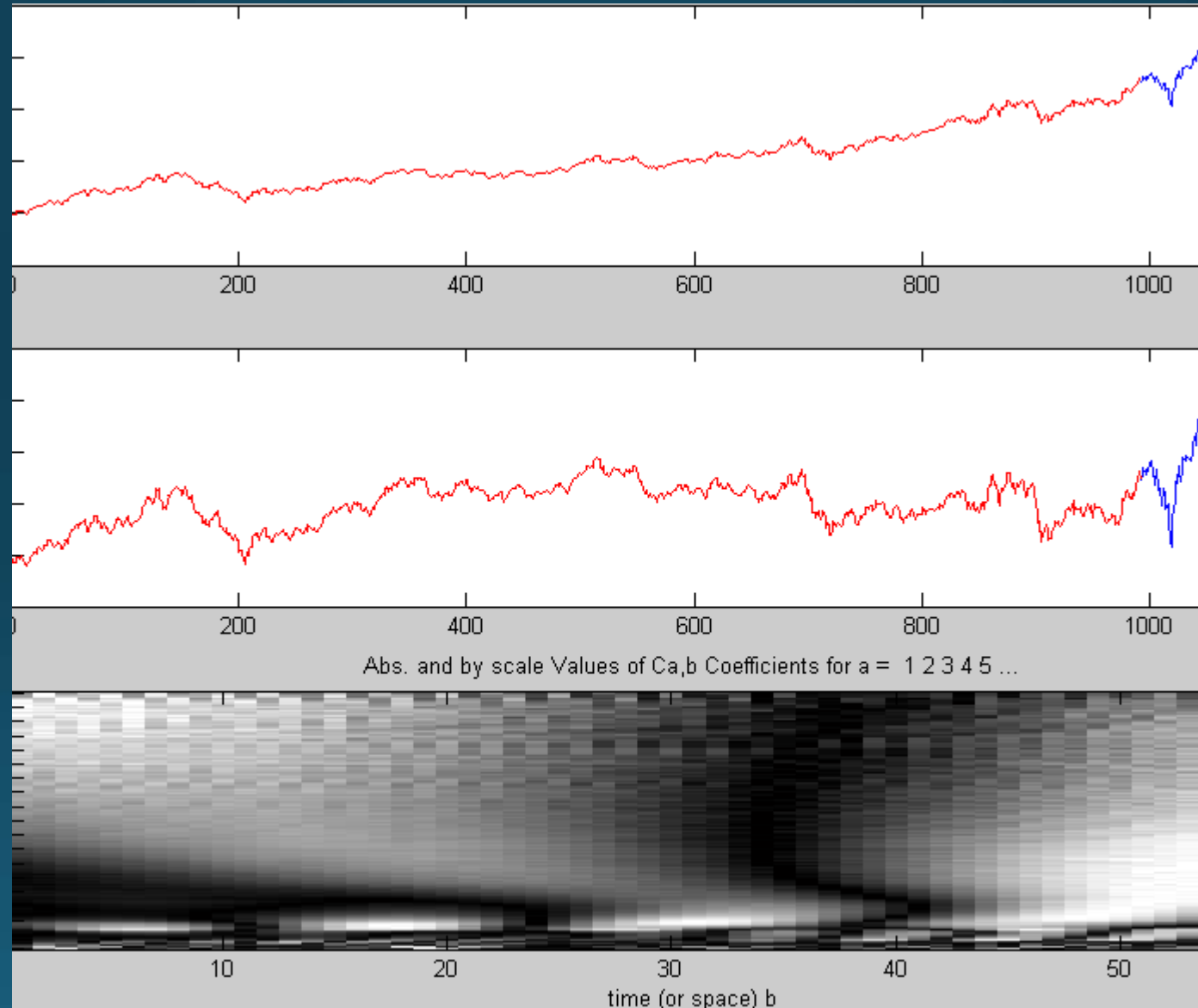
# **EVENTO** : *HANG SENG INDEX*

(Novembro – 2007)

# 11 DIAS ANTES DO CRASH....

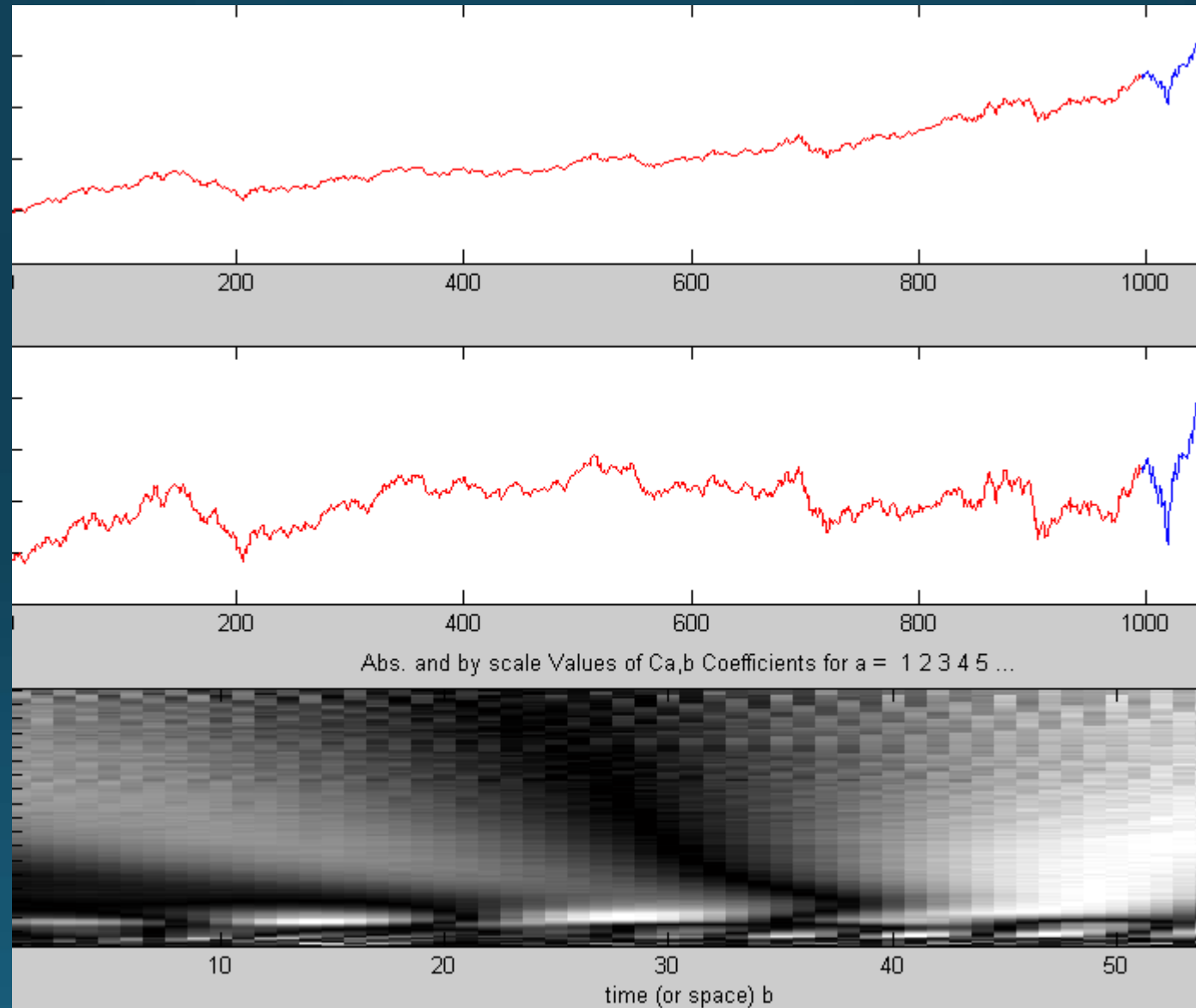


# 9 DIAS ANTES DO CRASH ...

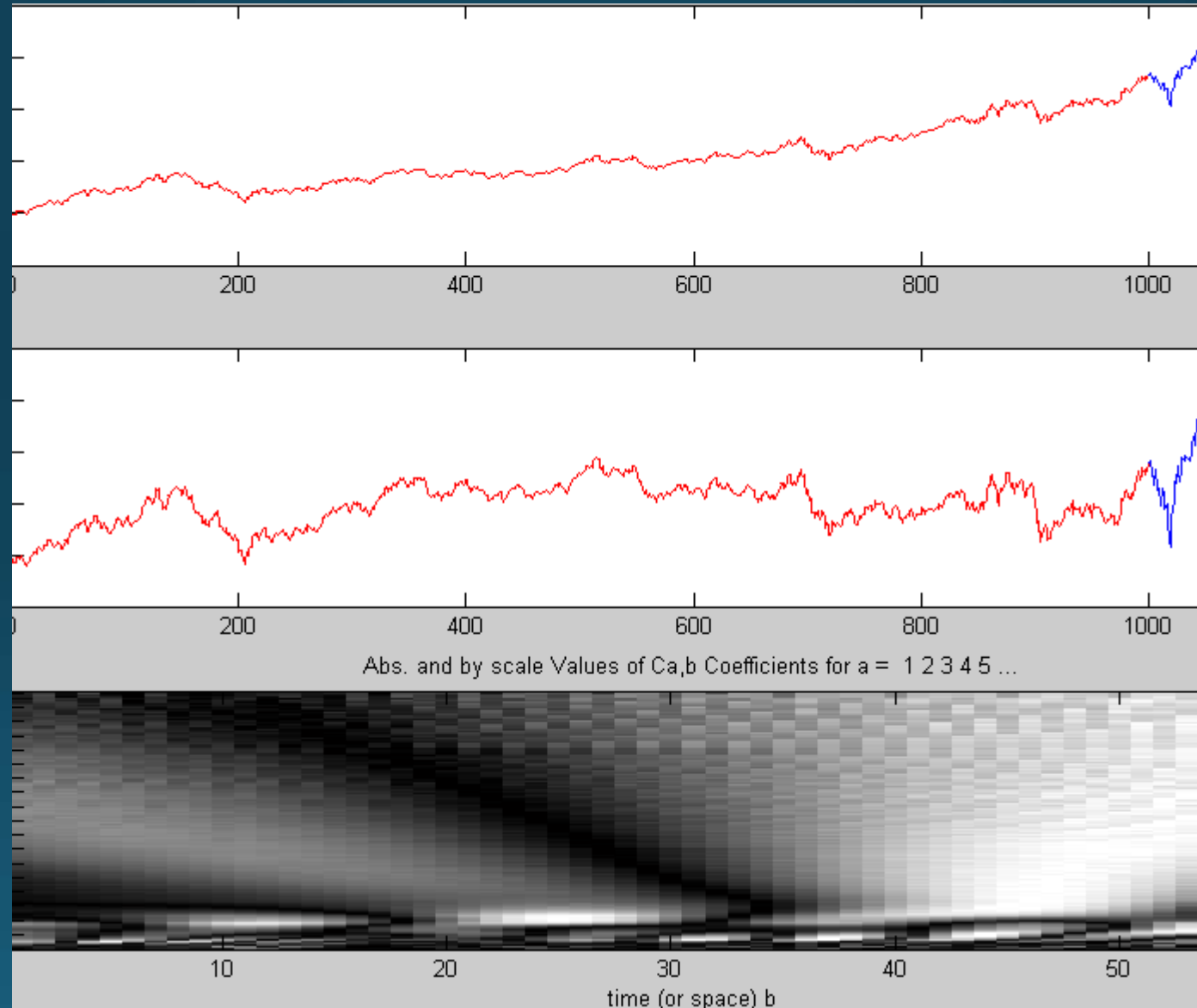




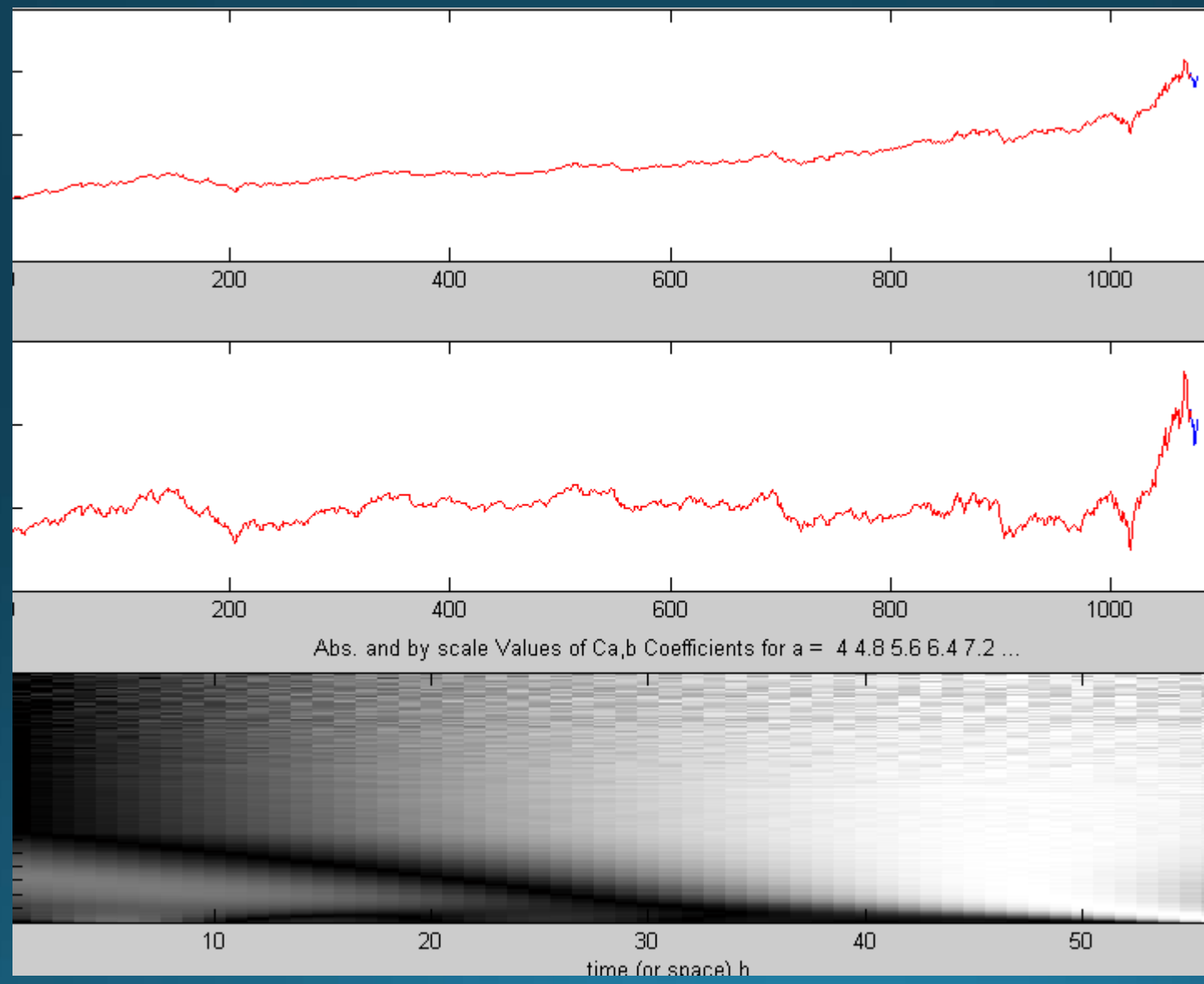
# 6 DIAS ANTES DO CRASH...



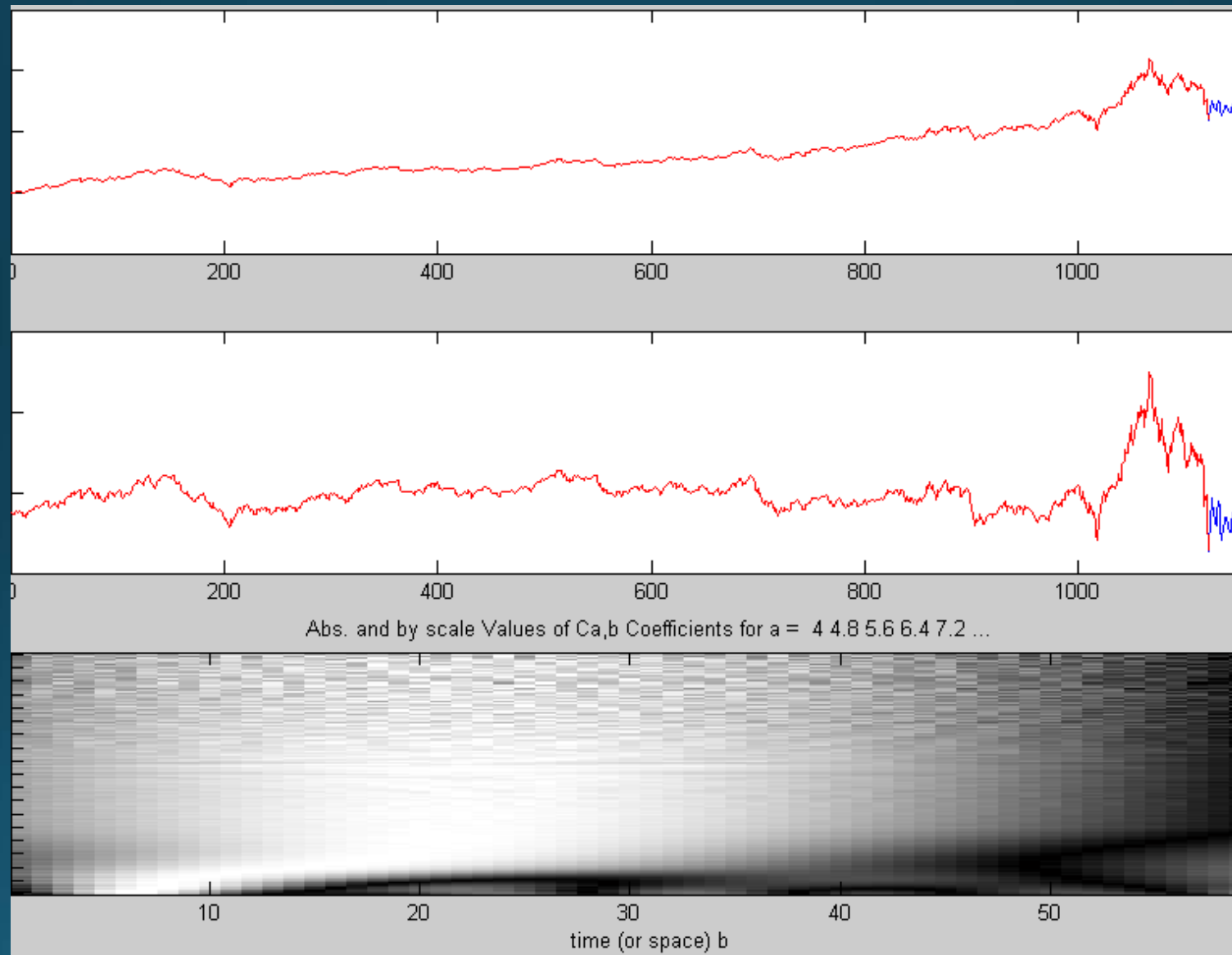
## 2 DIAS ANTES DO CRASH ...



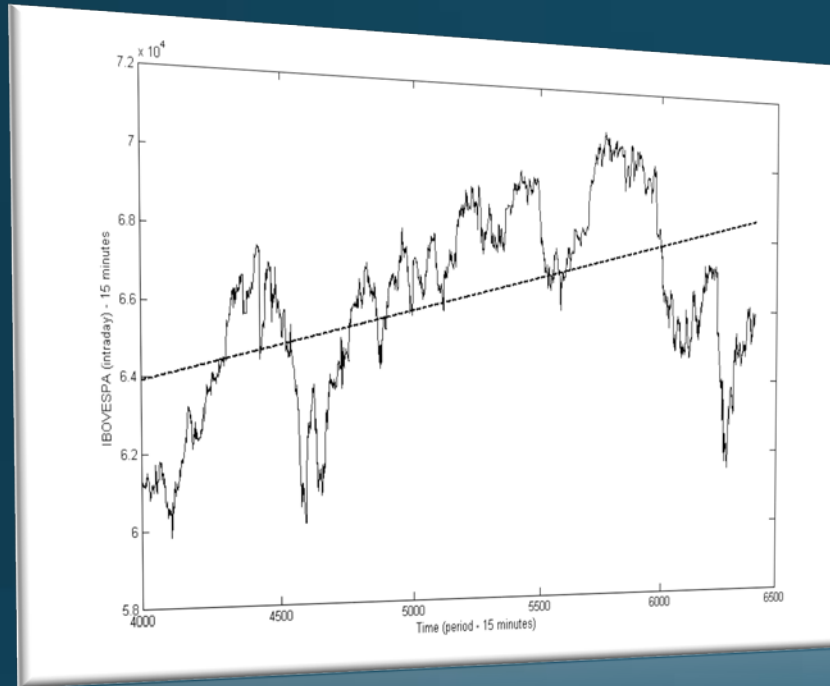
# E ... CRASH !



# DEPOIS DO CRASH ....



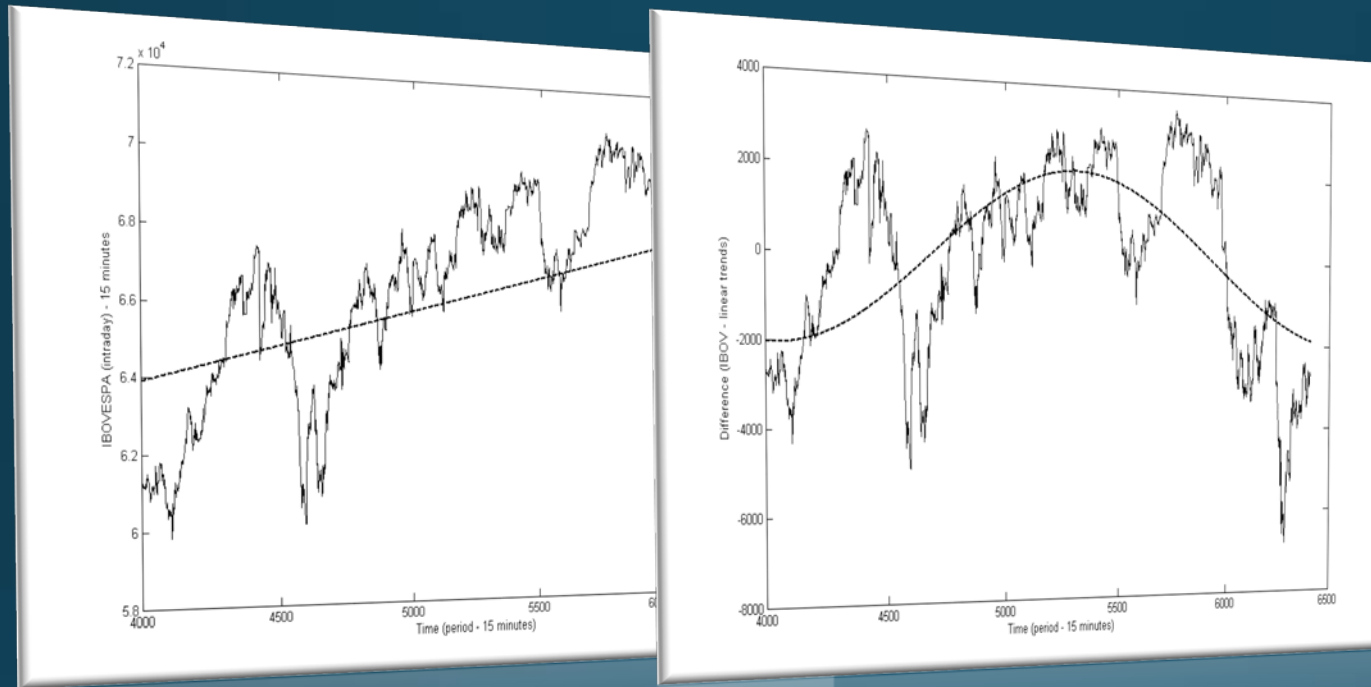
# PASSOS PARA O ÍNDICE DE MUDANÇAS ABRUPTAS (IMA)



*1- Remove linha de tendência*



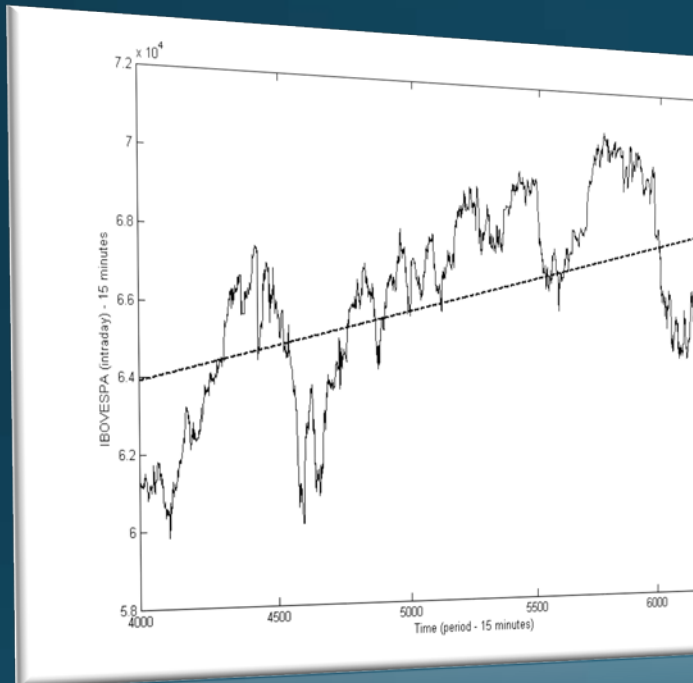
# PASSOS PARA O ÍNDICE DE MUDANÇAS ABRUPTAS (IMA)



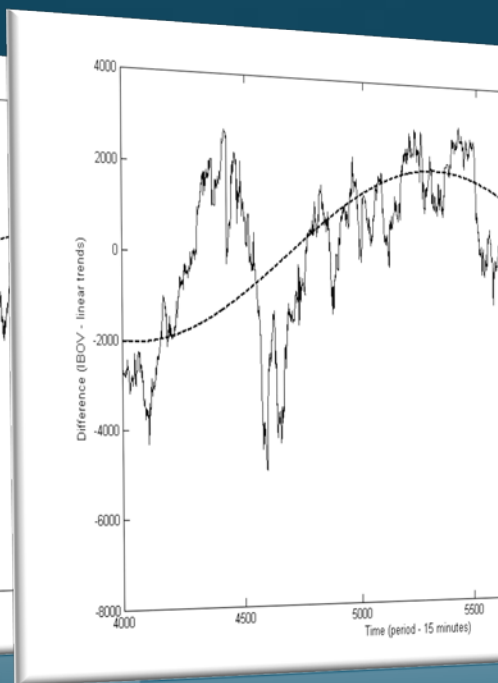
*1- Remove linha de tendência*

*2- Remove componente cíclica*

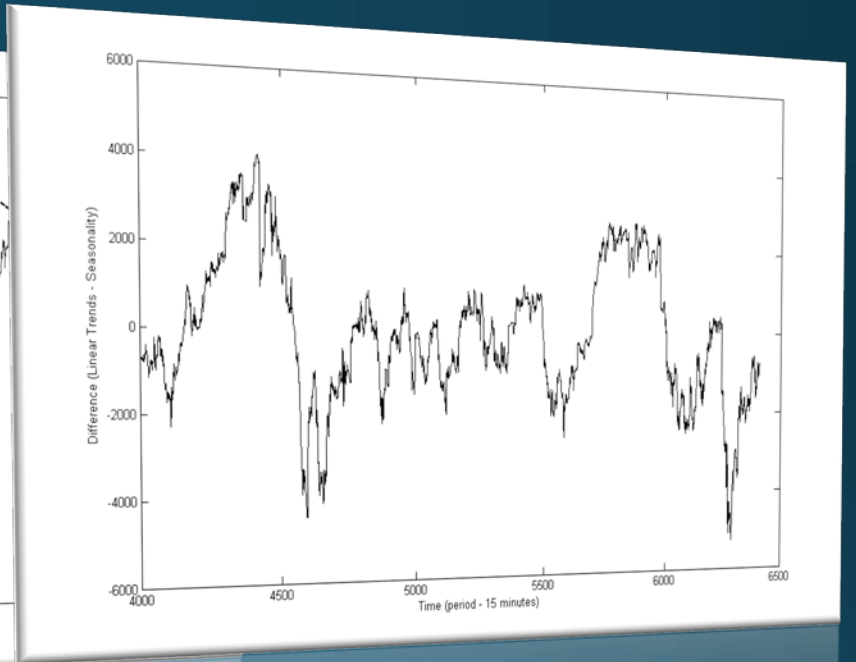
# PASSOS PARA O ÍNDICE DE MUDANÇAS ABRUPTAS (IMA)



*1- Remove linha de tendência*



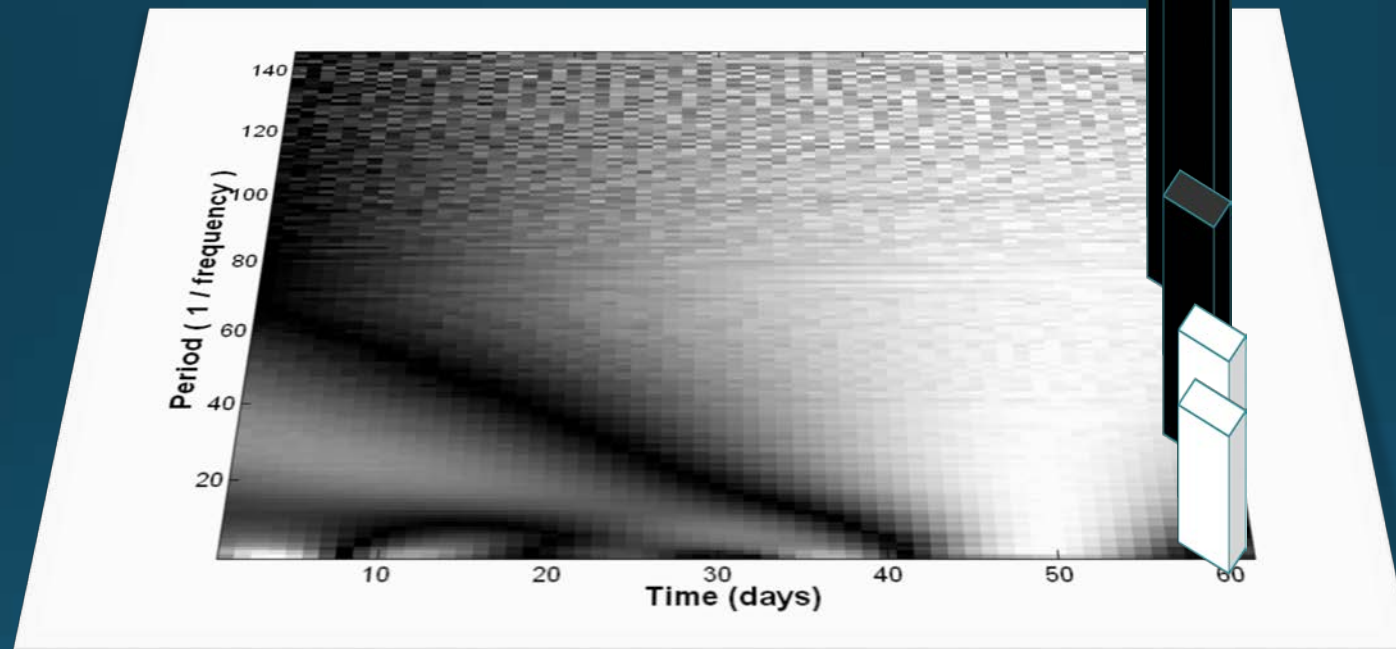
*2- Remove componente cíclica*



*3- Ruído no espectro wavelet*

# IMA – ÍNDICE DE MUDANÇAS ABRUPTAS

$$\zeta(t) = \frac{n(t)}{N}$$

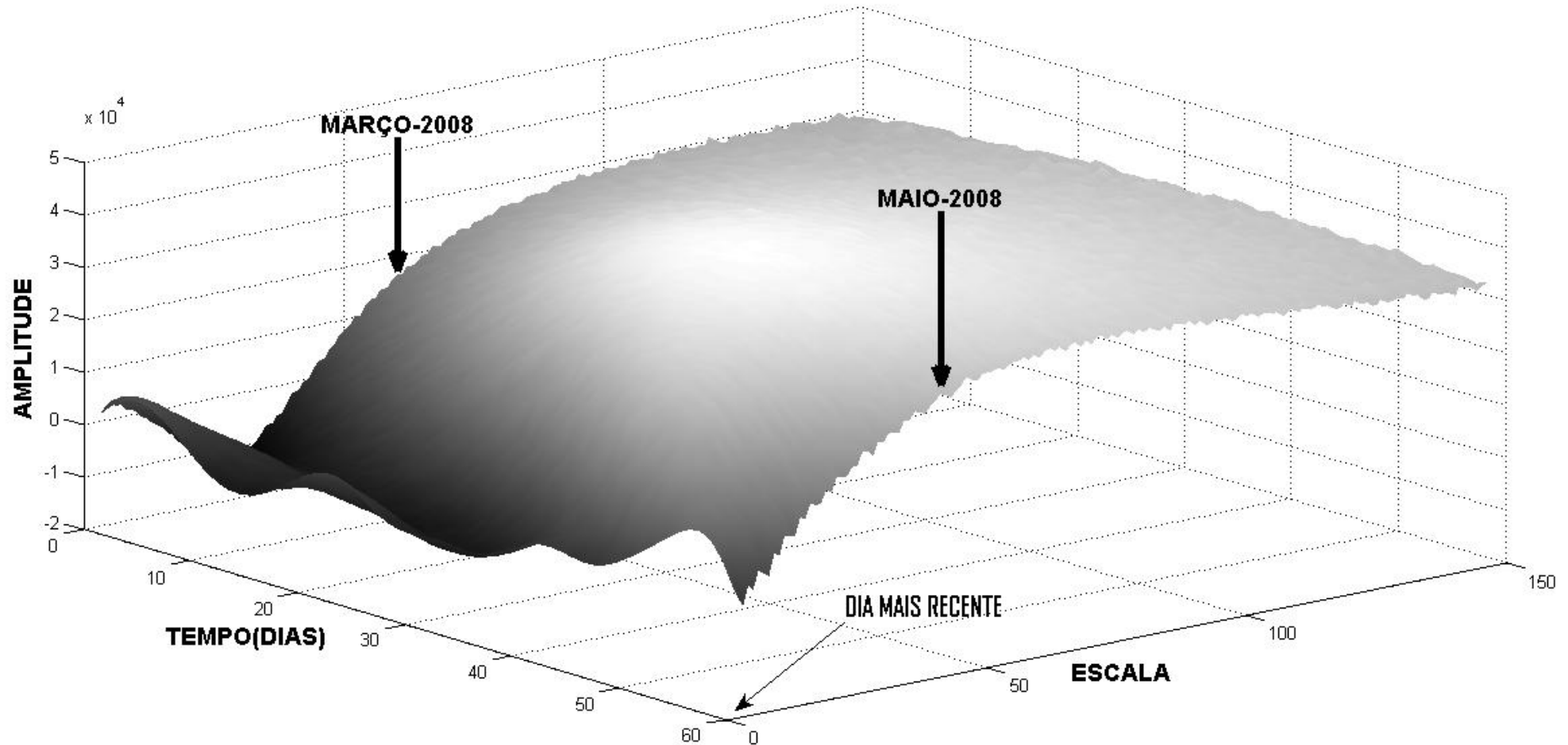


$n(t)$  número de coeficientes maior do que um limiar adotado

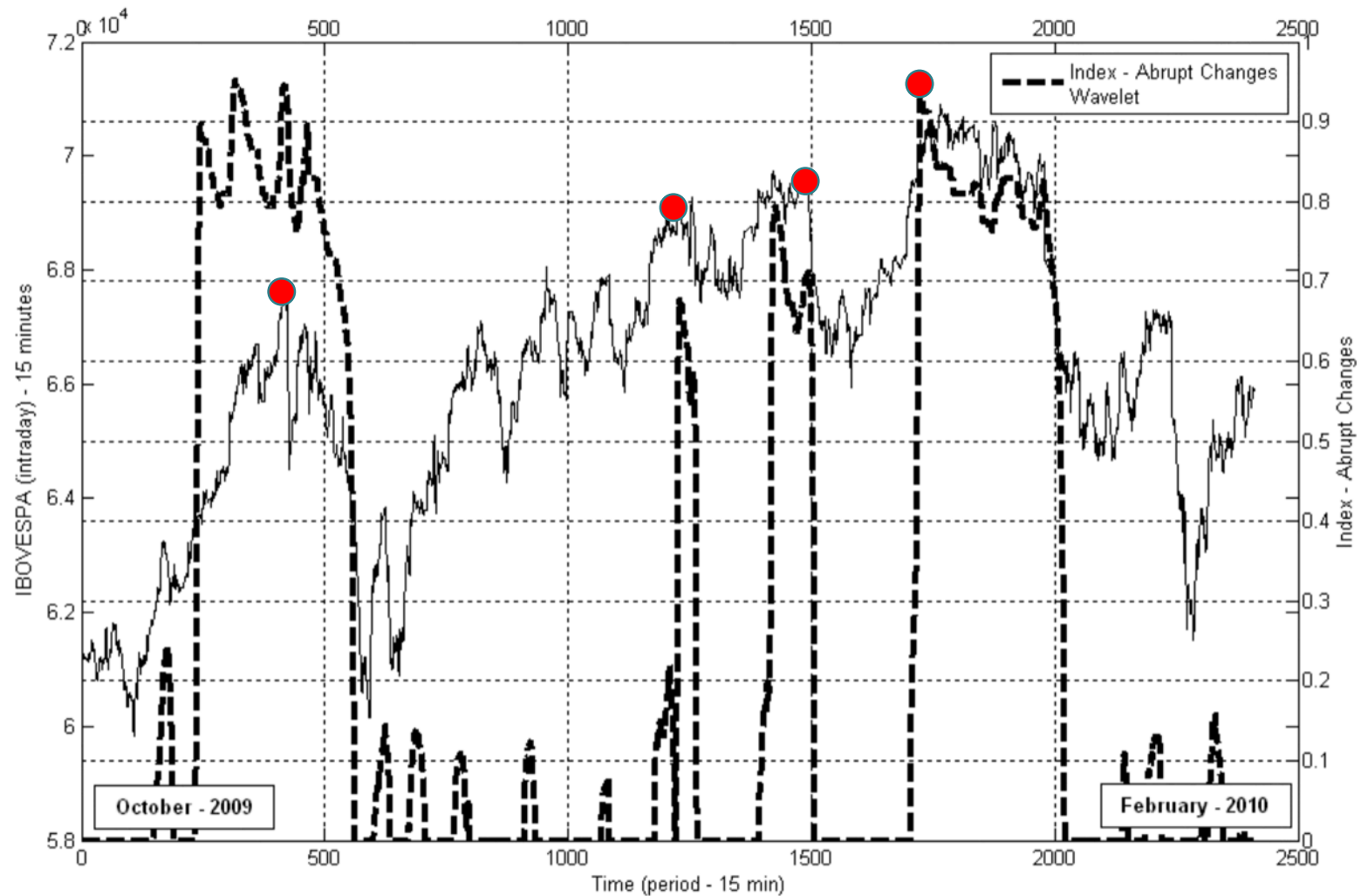
$N$  número total de coeficientes na faixa do espectro

$\zeta$  encontra-se no intervalo  $[0,1]$

# IMA – ÍNDICE DE MUDANÇAS ABRUPTAS (3D)



# IBOVESPA– INTRADAY 15 minutes



# PRIMEIROS MONITORAMENTOS DO MERCADO

Optimization terminated:  
the current x satisfies the termination criteria using OPTIMON:1  
and F(X) satisfies the convergence criteria using OPTIMONS:1

Iteration	Func-count	min f(x)
0	1	8.42991e+11
1	4	8.42991e+11

Iteration Func-count min f(x)  
0 1 1.08071e+06  
1 5 752794  
2 6 762974

2	6	711677
3	7	730198
4	9	730198
5	11	684283
6	12	390614
7	14	390614
8	16	133188
9	17	2691.63
10	18	2691.63

the current x satisfies the termination criteria using OPTIMON:1  
and F(X) satisfies the convergence criteria using OPTIMONS:1

Iteration	Func-count	min f(x)
0	1	7.94829e+09
1	4	7.94829e+09
2	6	6.61207e+09
3	7	6.61207e+09
4	9	5.68965e+09
5	11	3.67319e+09
6	12	3.67319e+09
7	14	1.14824e+09
8	16	1.83276e+07
9	17	1.83276e+07
10	19	1.83276e+07

the current x satisfies the termination criteria using OPTIMON:1  
and F(X) satisfies the convergence criteria using OPTIMONS:1

Iteration	Func-count	min f(x)
0	1	8.62318e+09
1	4	8.62318e+09
2	6	7.19884e+09

Iteration	Func-count	min f(x)
0	1	8.62417e+09
1	4	8.62417e+09
2	6	7.18873e+09
3	7	7.18873e+09
4	9	6.88455e+09
5	11	

Iteration	Func-count	min f(x)
0	1	9416
1	4	7865
2	6	7467
3	7	9469
4	9	6884

Iteration	Func-count	min f(x)	Procedure
0	1	9.95277e+09	
1	4	9.95277e+09	
2	6	8.3826e+09	
3	7	8.3826e+09	
4			

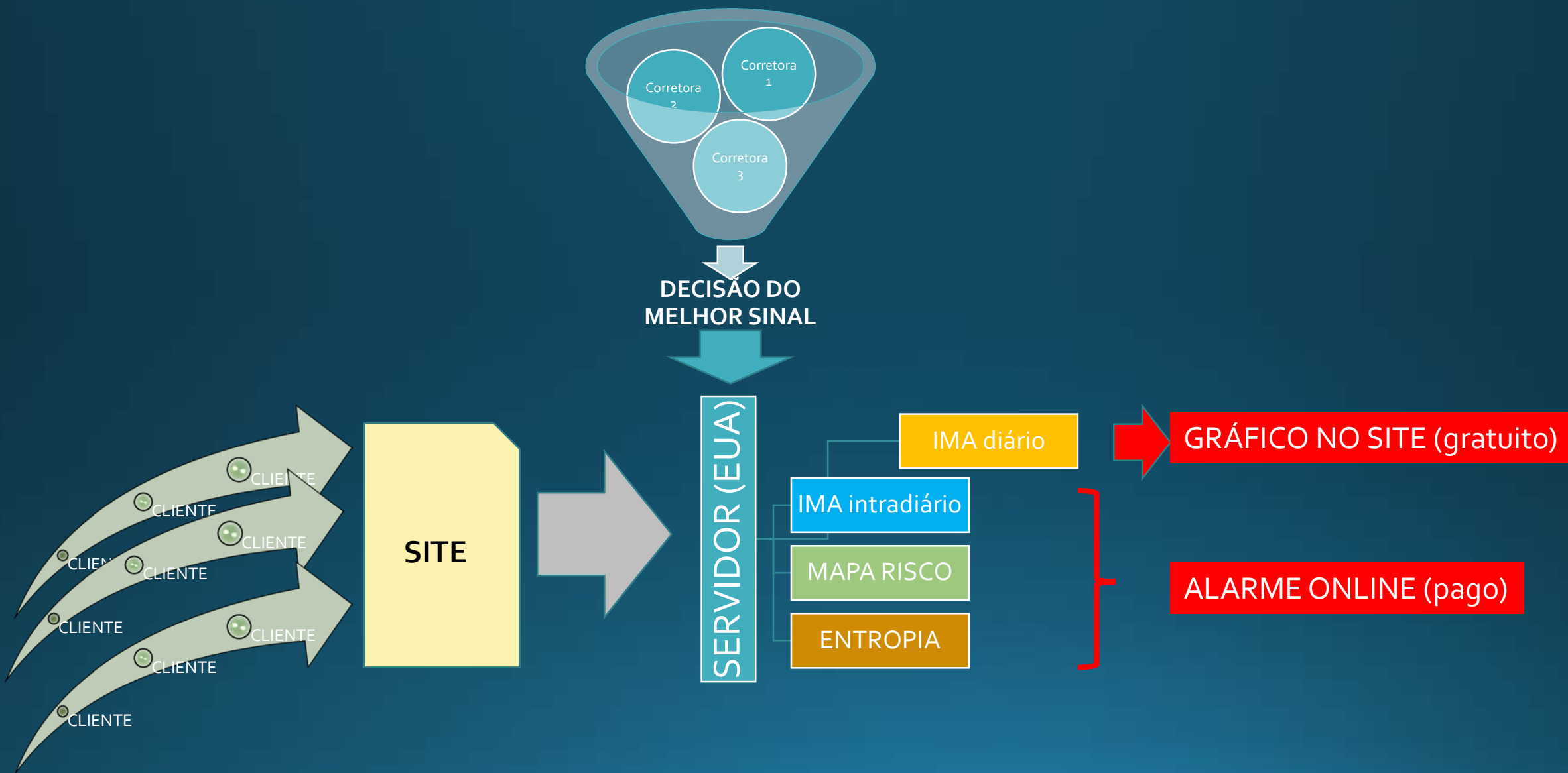
23	49	242128	contract	inside
23	49	288791	contract	inside
24	49	9118741	contract	inside
25	51	98281.1	contract	inside
26	53	34919.1	contract	inside
27	55	34919.1	contract	inside
29	59	17933.3	contract	inside
29	59	1992363	contract	inside
30	61	9648.68	contract	inside
31	63	7648.68	contract	inside
32	65	7648.68	contract	inside

Optimization terminated:  
the current x satisfies the termination criteria using OPTIMON:1  
and F(X) satisfies the convergence criteria using OPTIMONS:1

Iteration	Func-count	min f(x)	Procedure
0	1	1.08922e+10	
1	4	7.98805e+09	initial simplex



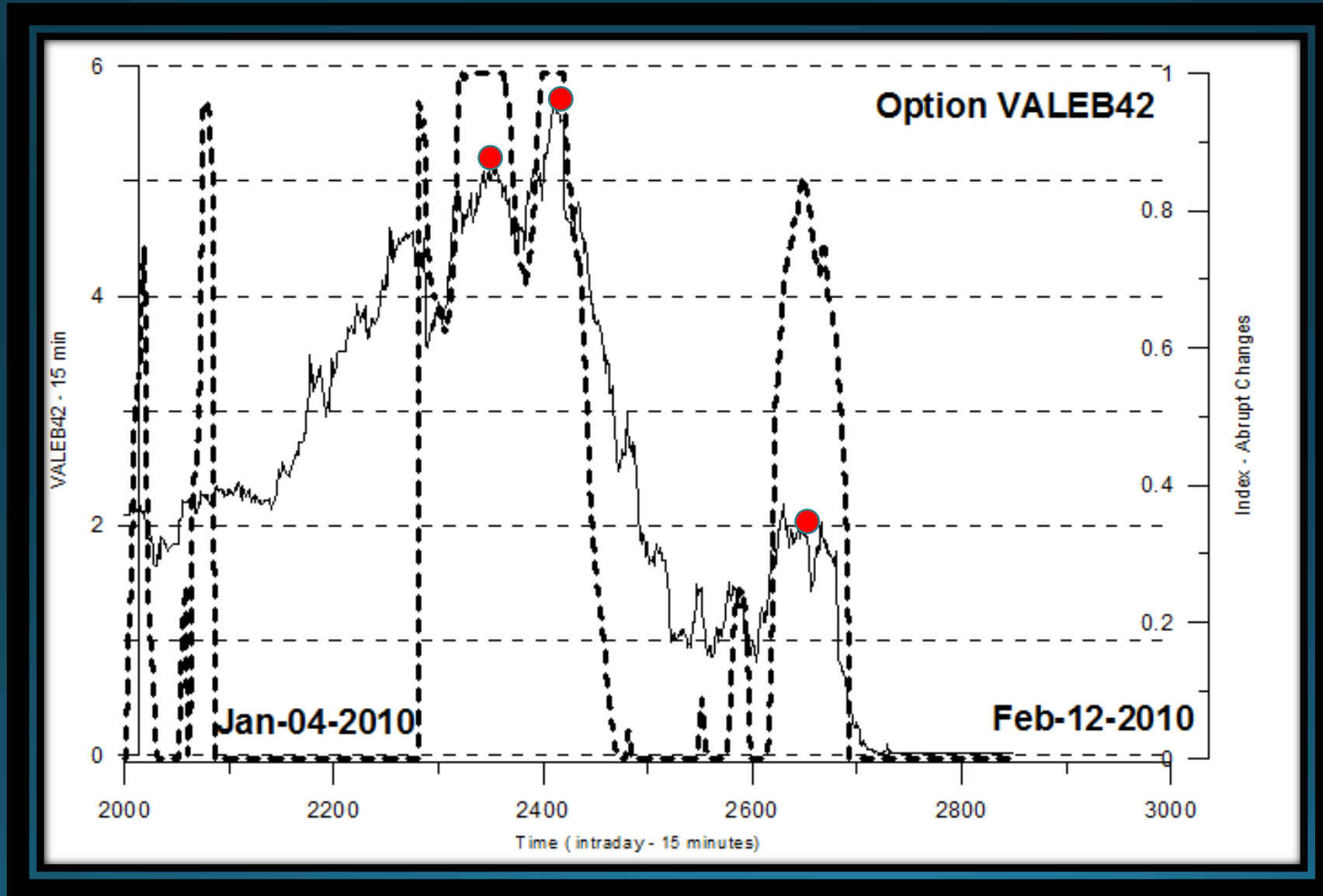
# AUTOMAÇÃO DO MONITORAMENTO E ALARMES



# IMA PARA OPÇÕES (intraday – 15 minutes)

Option VALEB42

VALE DO RIO DOCE

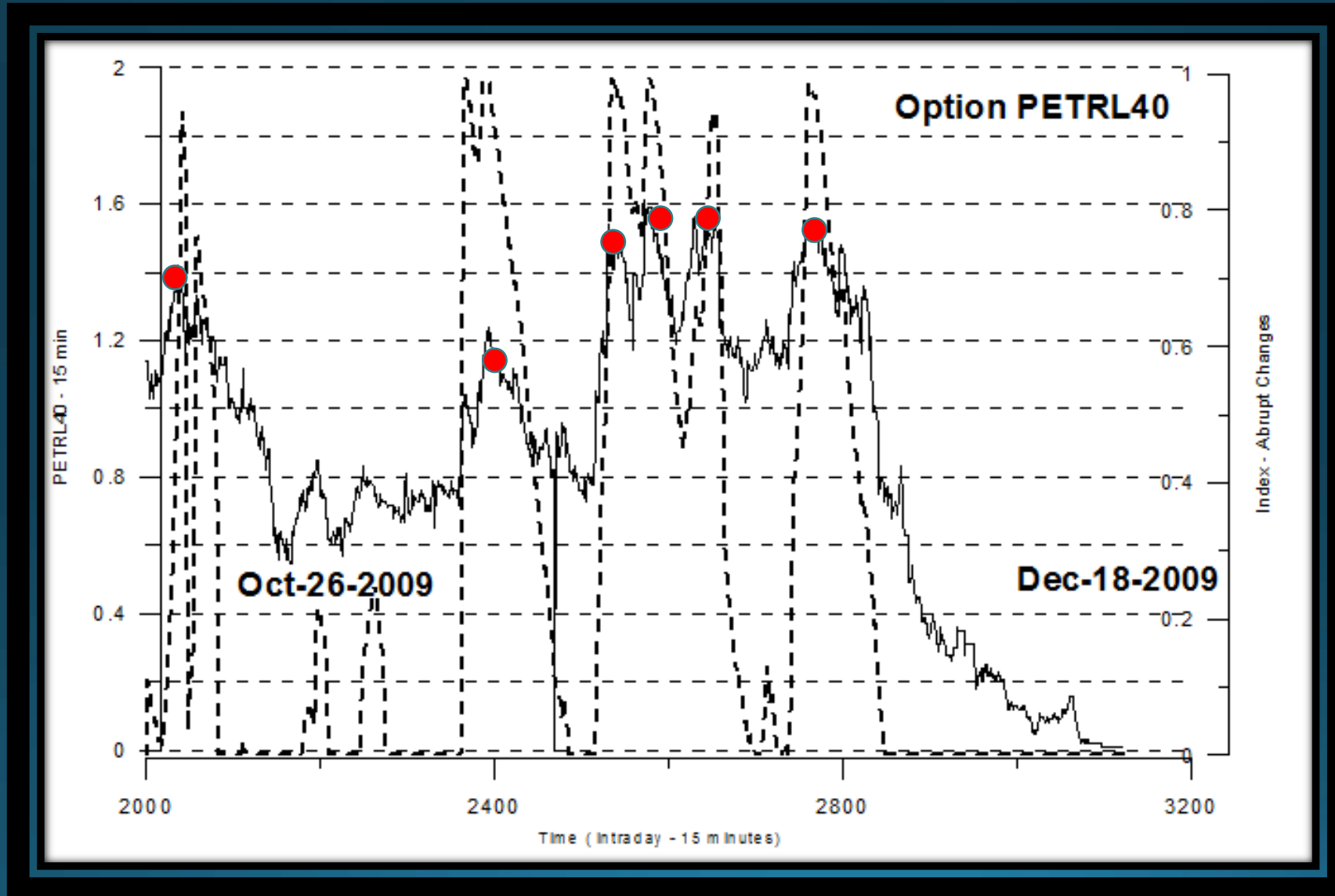




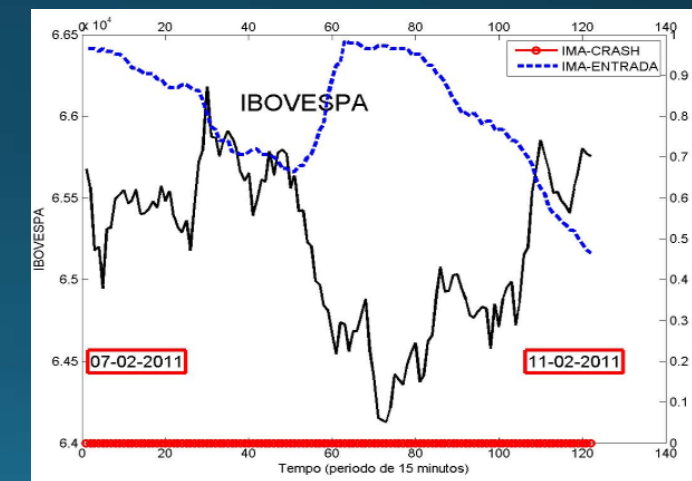
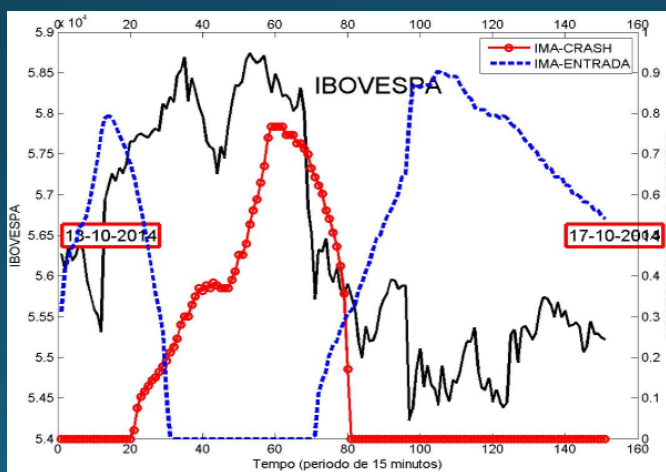
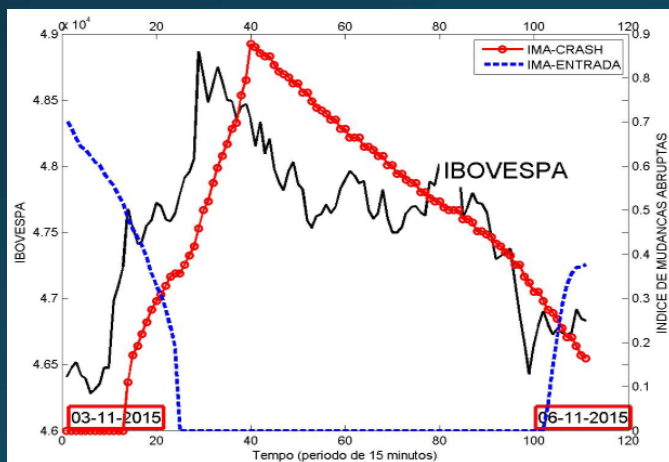
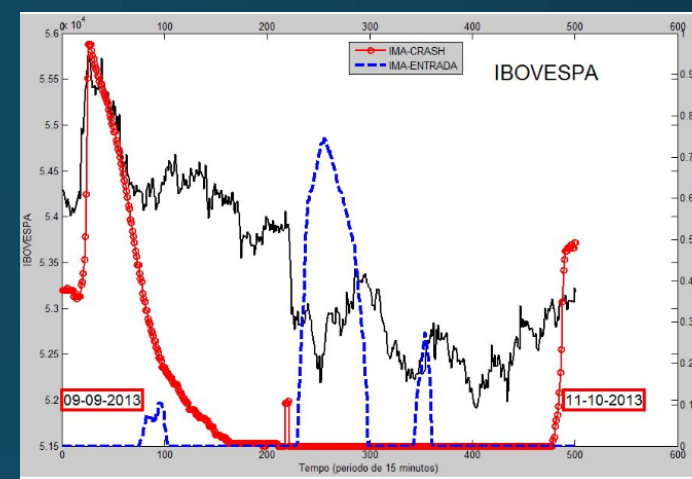
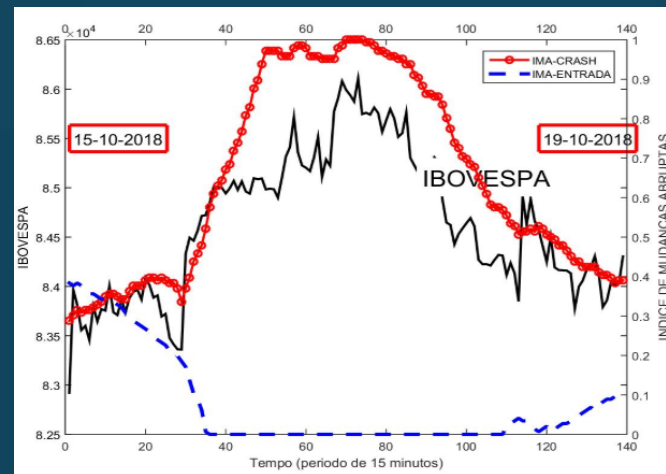
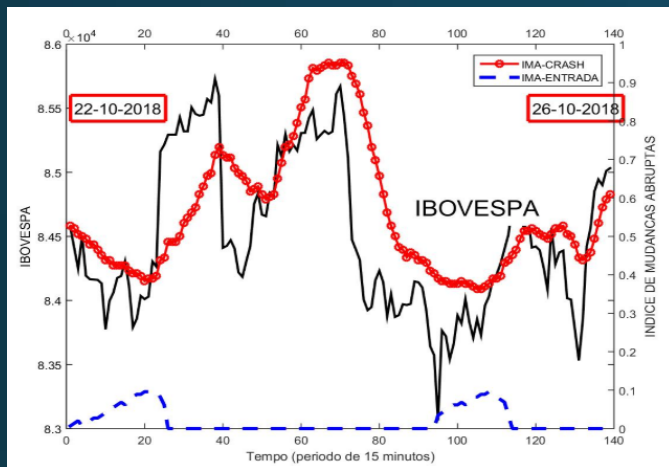
# IMA PARA OPÇÕES (intraday – 15 minutes)

*Option* PETRL40

PETROBRAS - Oil Sector



# IMA IBOVESPA (intraday – 15 minutes)



# IMA AÇÕES (intraday – 15 minutos)



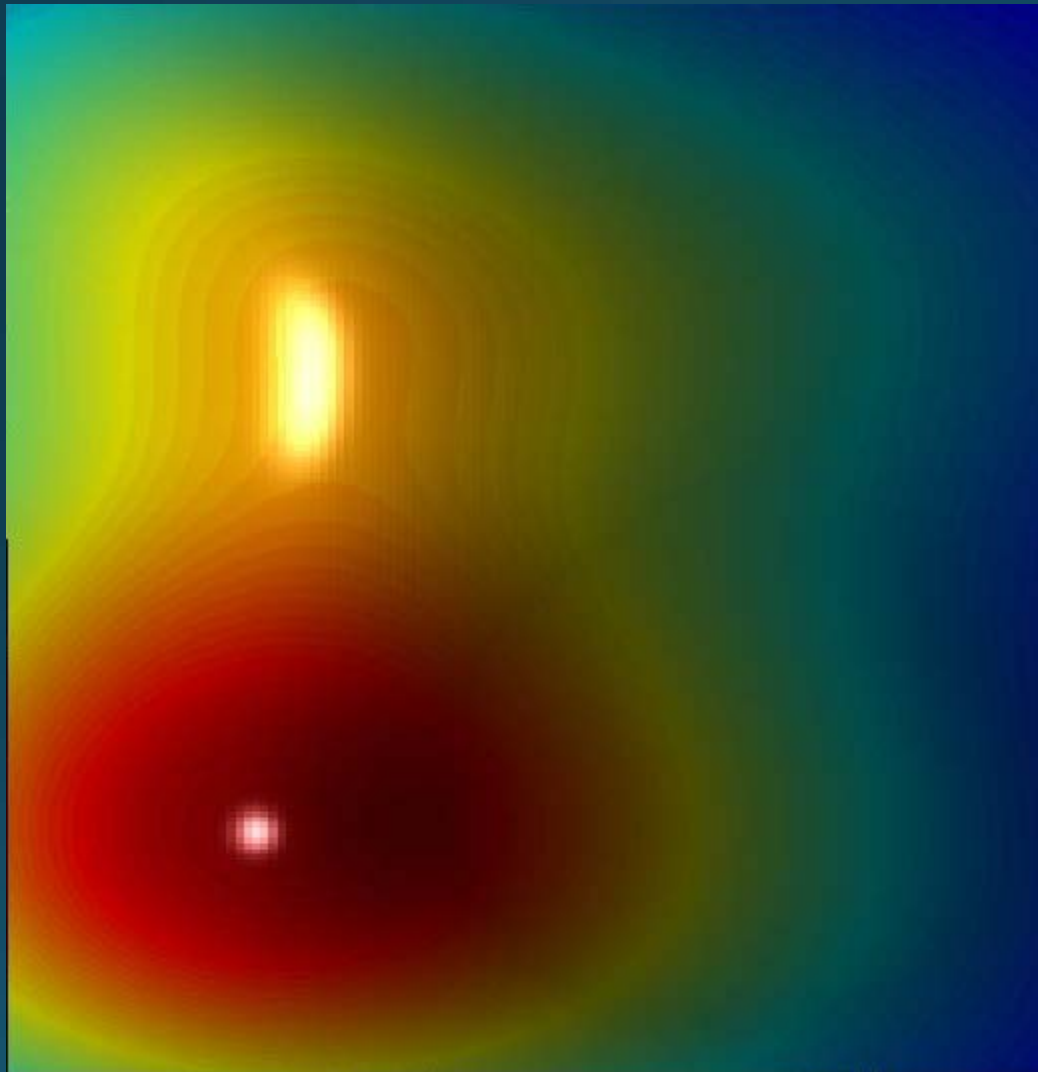
APÓS 889.781 DADOS ...

# ESTATÍSTICA DOS ALARMES PARA O IBOVESPA- Intraday 15 minutos

Estatística dos Alarmes – Dias de observação = 2125



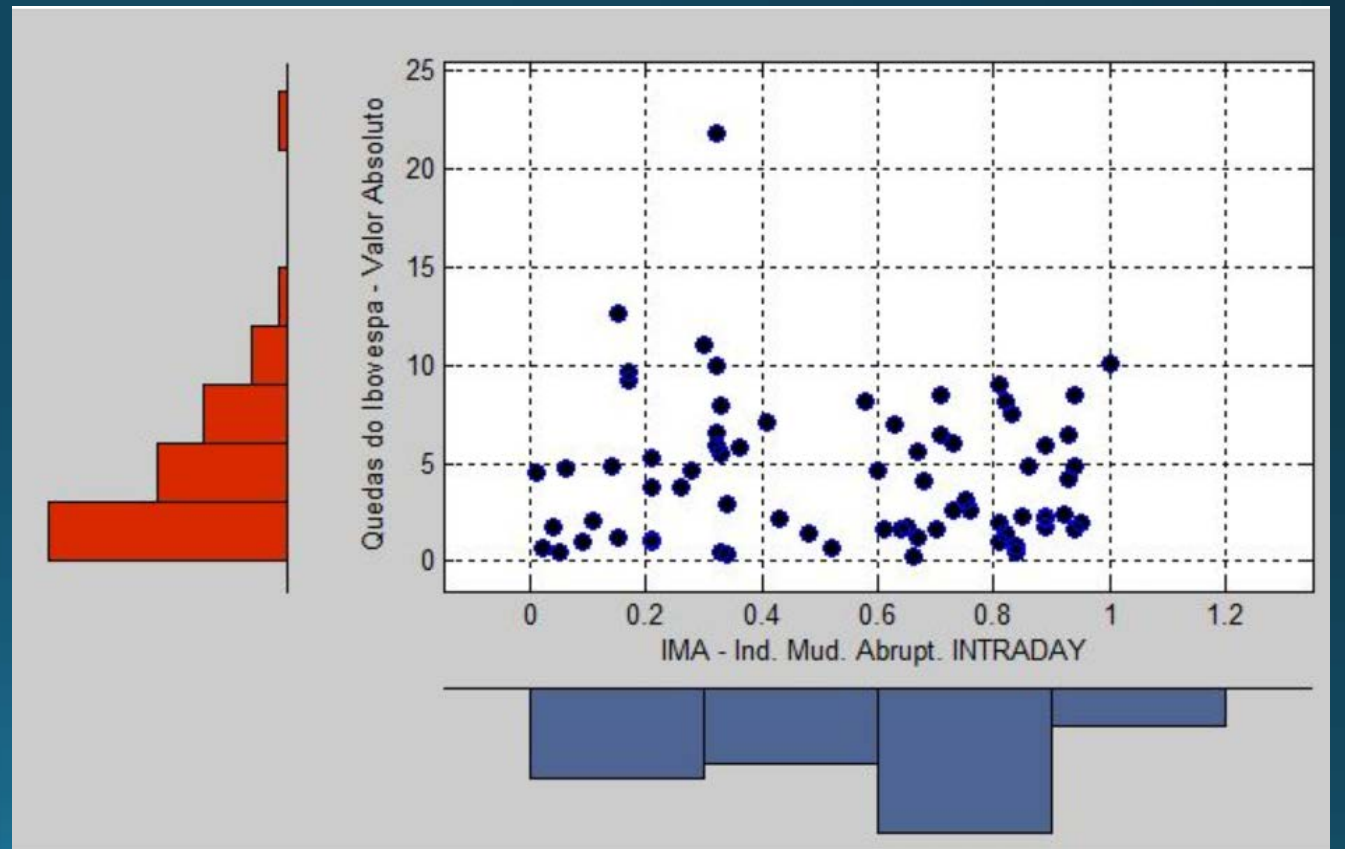
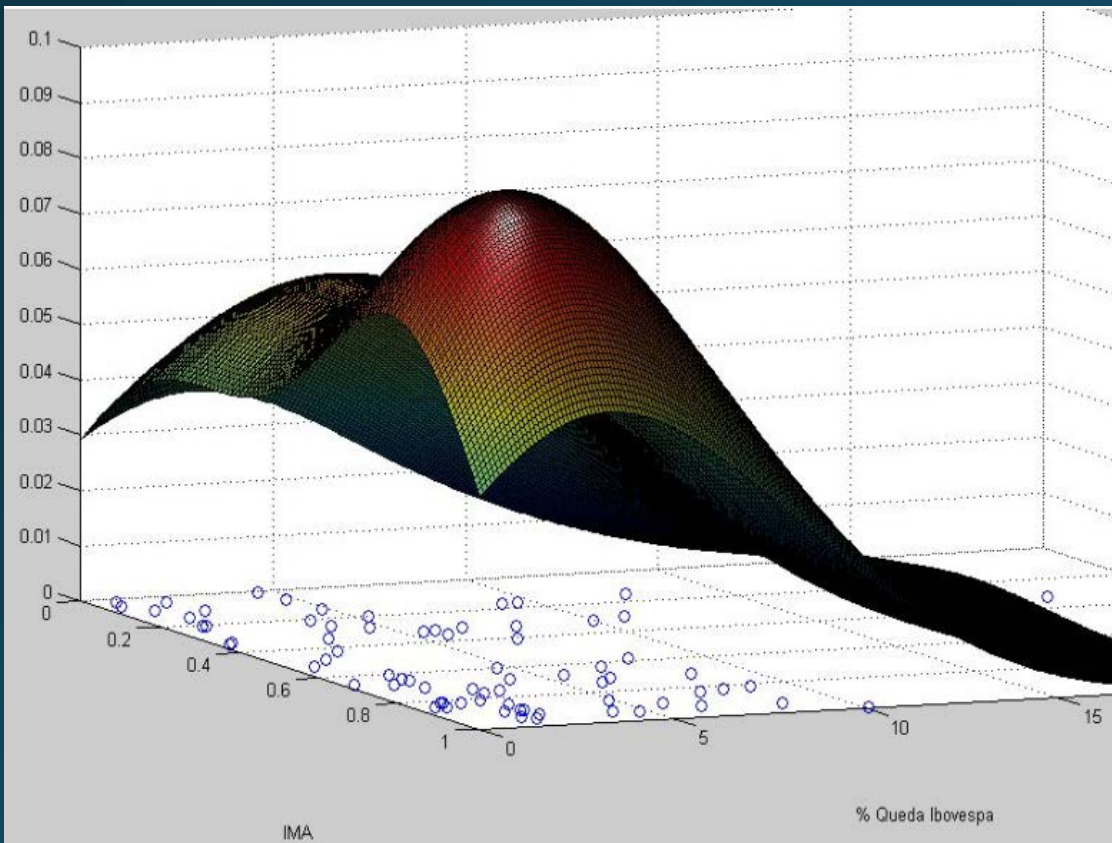
*Cinco mil horas depois ...*



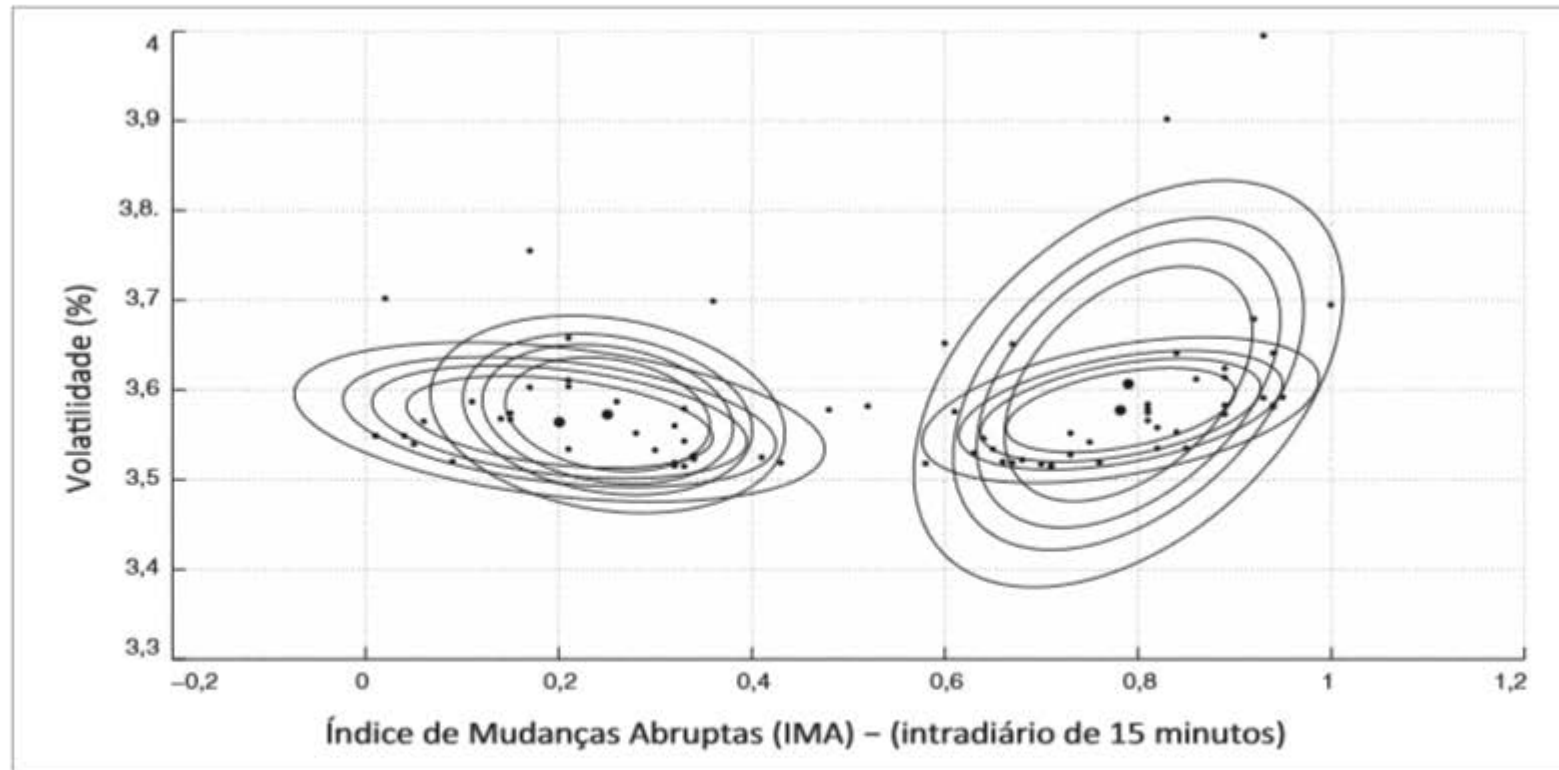
Mapa de Risco



# DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE CONDICIONAL



# CLUSTER PARA IMA x VOLATILIDADE



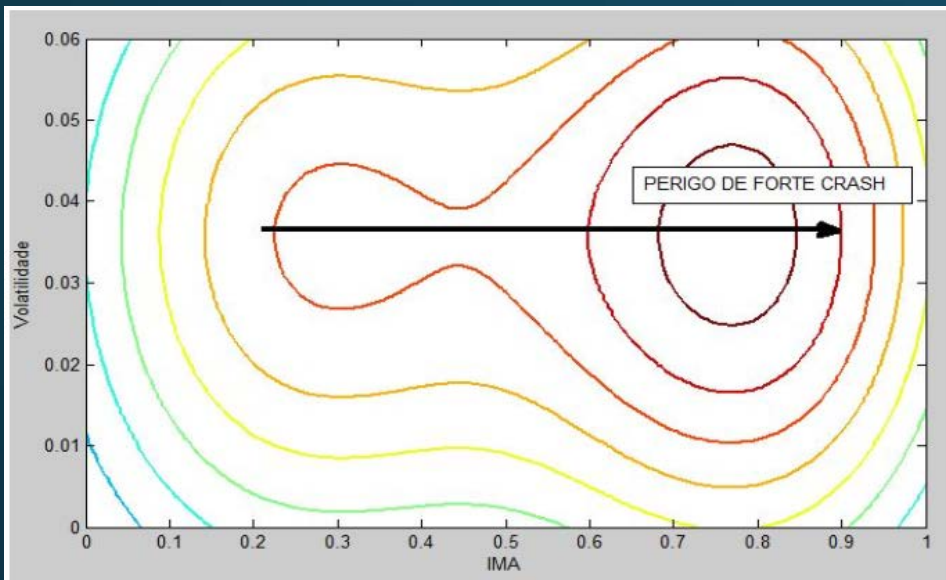
**Figura 8.2** – Relação entre volatilidade (%) e IMA do Ibovespa intradiário (15 minutos).



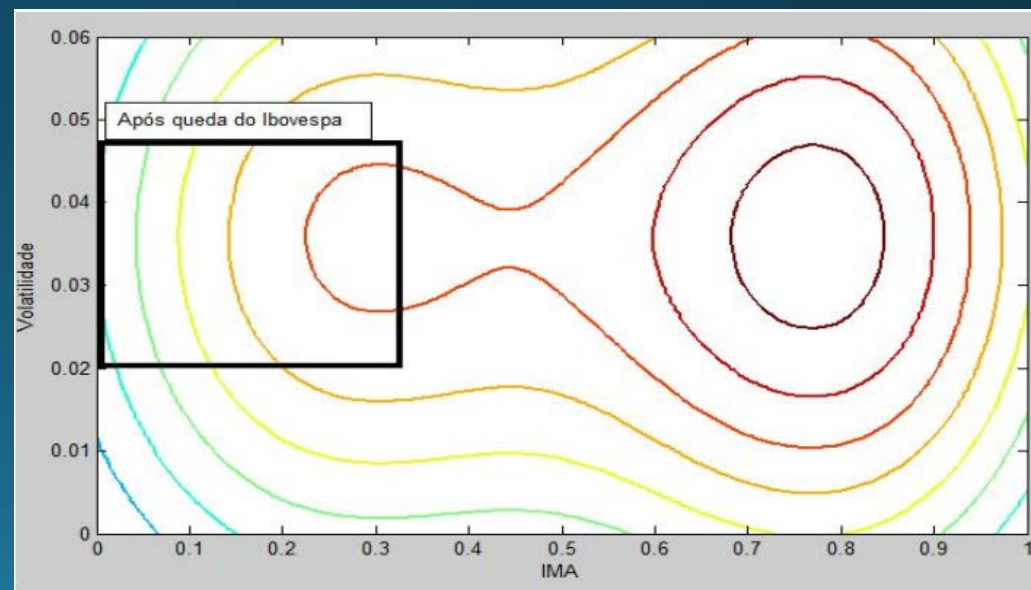
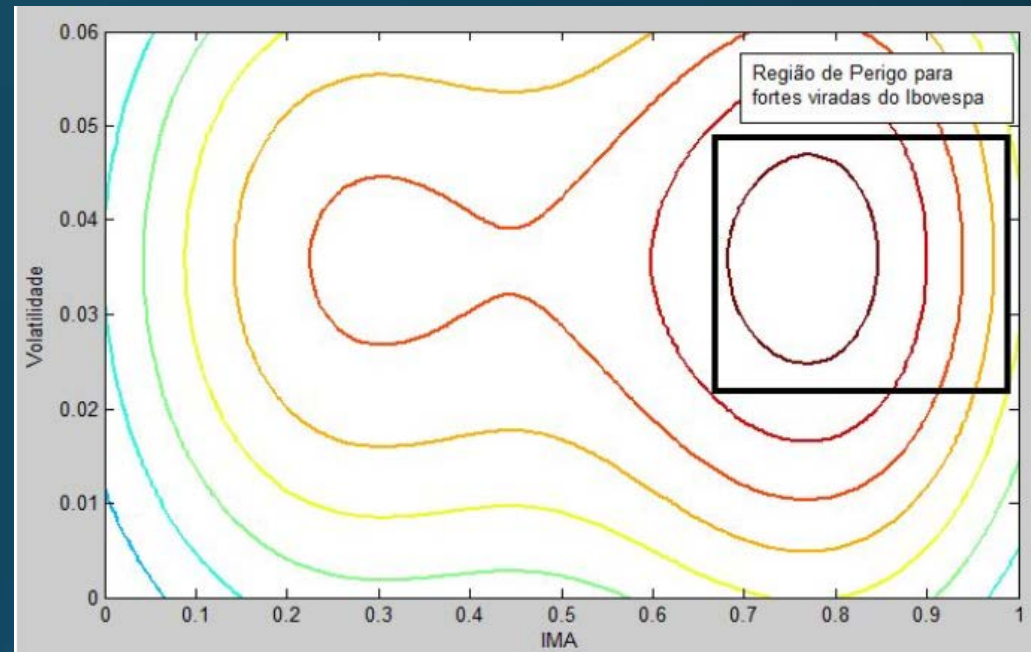
# PROBABILIDADE DE QUEDAS - ALARME

**Tabela 8.1 – Probabilidade condicional de quedas do Ibovespa**

<b>Probabilidade de o Ibovespa cair mais de...</b>	<b>0,5%</b>	<b>1%</b>	<b>1,5%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>5%</b>
<b>IMA = 0,1</b>	95%	91%	86%	82%	72%	53%
<b>IMA = 0,2</b>	95%	91%	87%	83%	73%	55%
<b>IMA = 0,3</b>	95%	91%	87%	83%	74%	55%
<b>IMA = 0,4</b>	95%	91%	87%	83%	73%	54%
<b>IMA = 0,5</b>	95%	91%	86%	81%	71%	51%
<b>IMA = 0,6</b>	94%	90%	85%	80%	70%	49%
<b>IMA = 0,7</b>	94%	90%	85%	80%	69%	48%
<b>IMA = 0,8</b>	94%	90%	85%	80%	69%	48%
<b>IMA = 0,9</b>	94%	90%	85%	80%	69%	48%
<b>IMA = 1,0</b>	95%	90%	85%	80%	70%	49%



*Mapa de Risco*



# ESTRUTURA DO MAPA

# EM DIREÇÃO AO CRASH

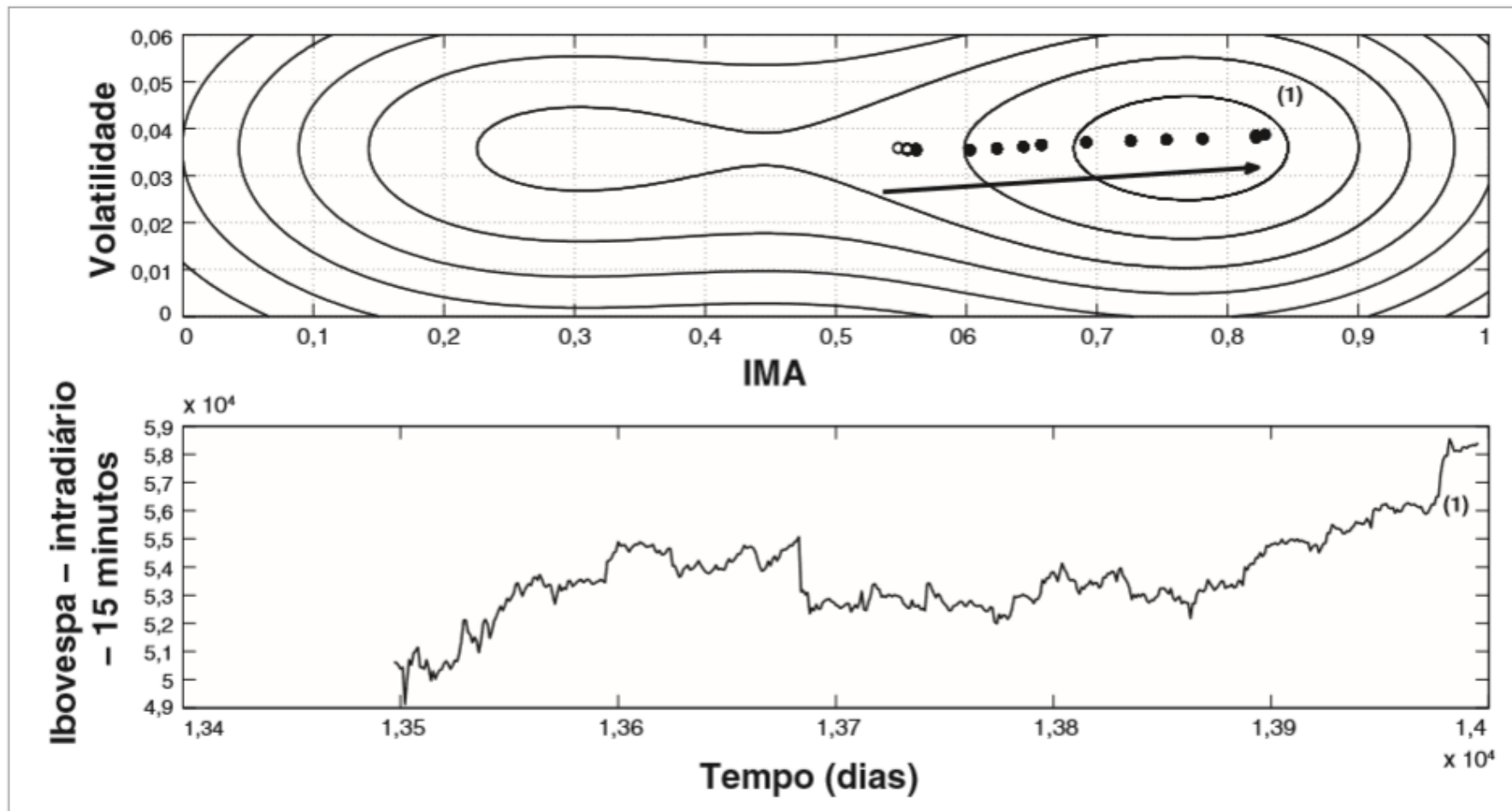


Figura 8.10 – Dados reais do Ibovespa em um dia antes do *crash*, com nível de alerta aumentando.

# INÍCIO DO CRASH

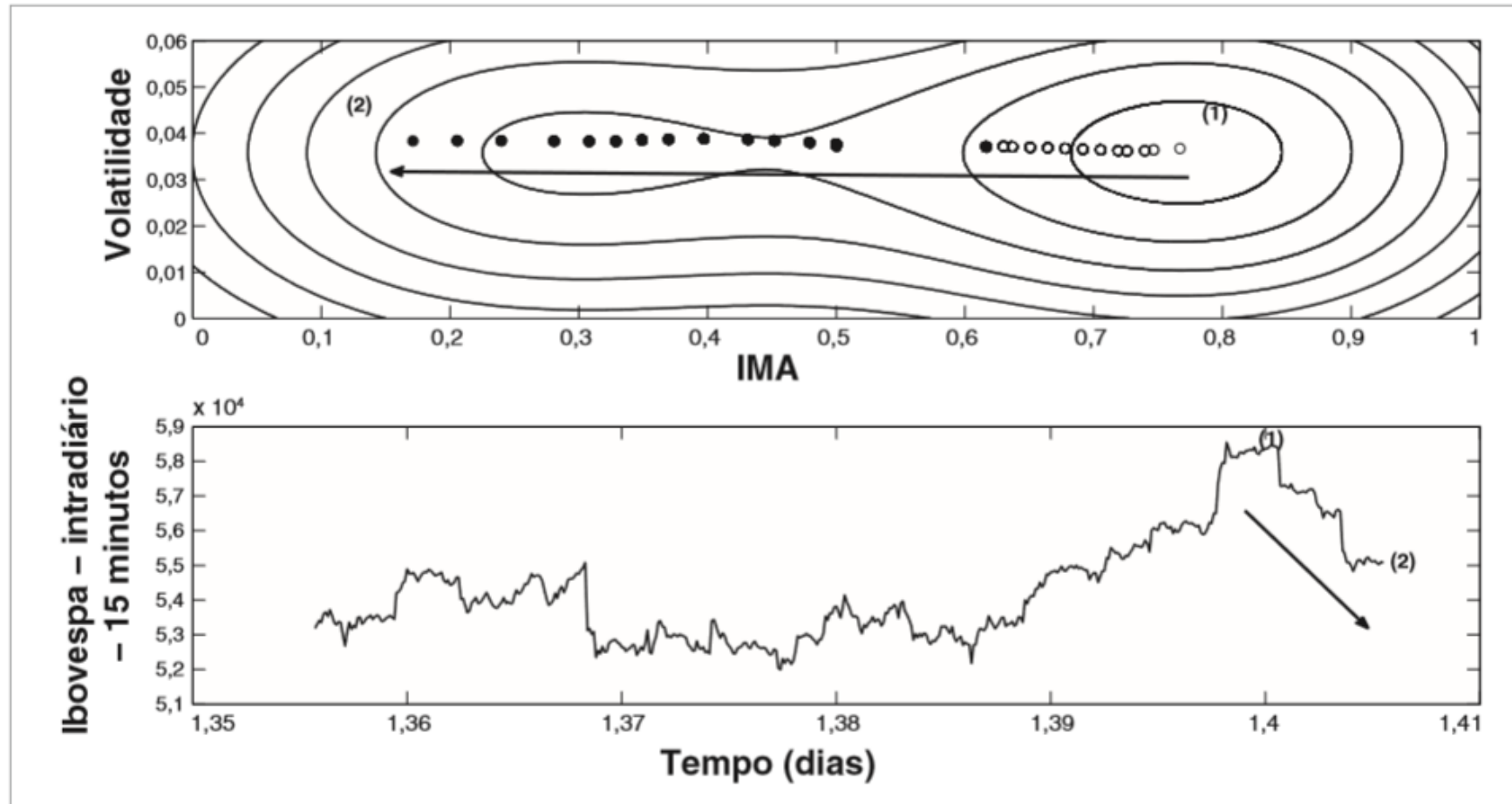
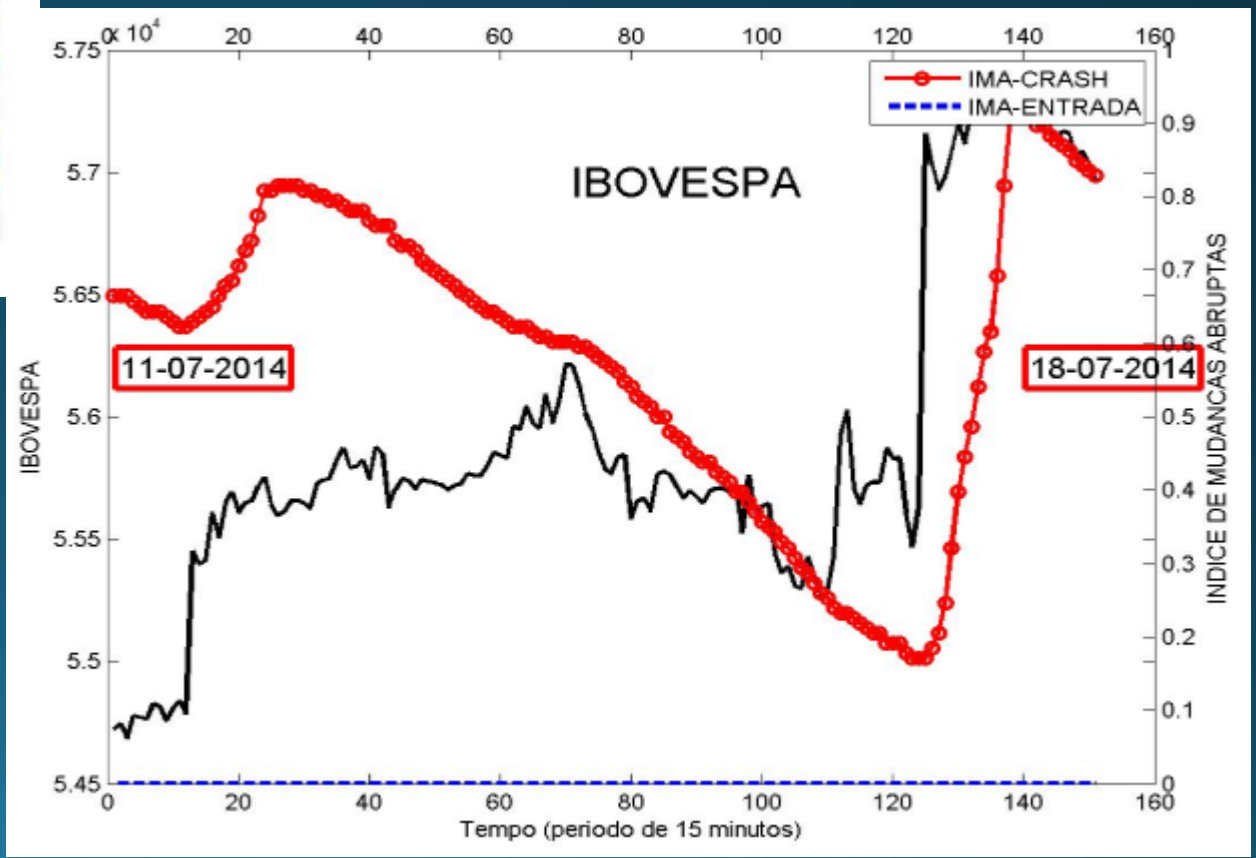
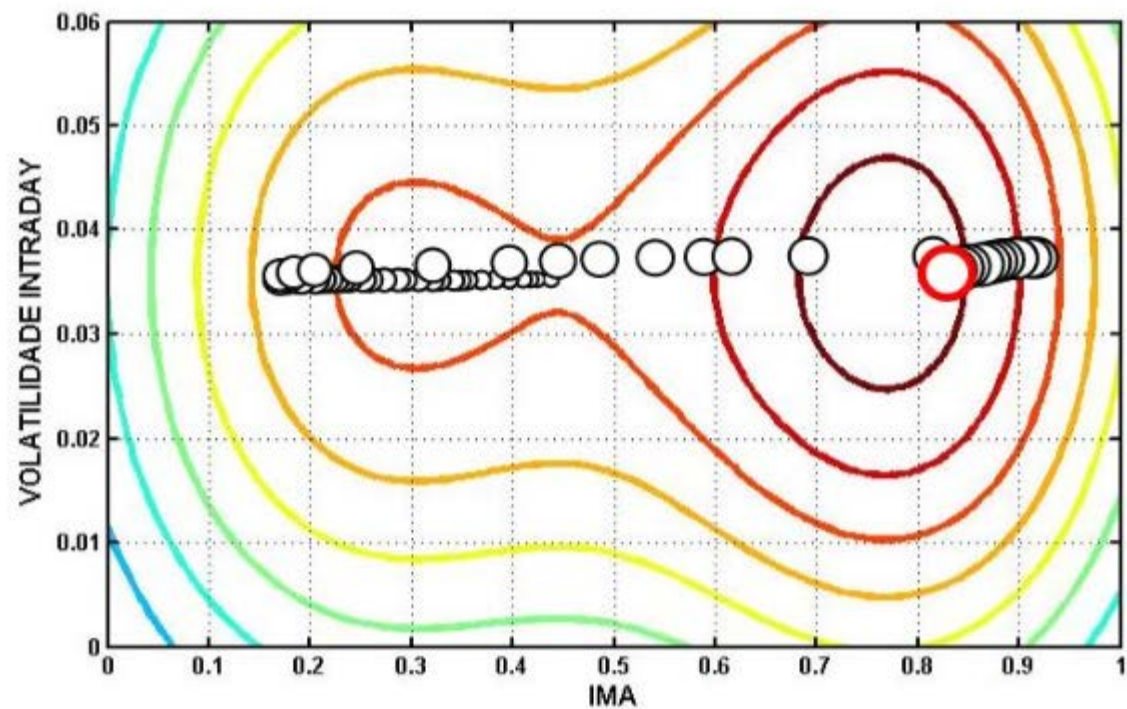


Figura 8.11 – Dados reais do Ibovespa em um dia após o *crash*, com nível de alerta diminuindo.

# MAPA RISCO





# Novo crash ?

do IZB. Hoje, isso não é possível. Com o modelo proposto, um Bancos (Febraban) e da Associação taxas aplicáveis às operações de ros nas operações com cartão de lução antes do próximo ano.

Investimentos Pesquisador prevê correção em modelo que mede terremotos

## Índice de 'crash' sinaliza novos tombos para bolsa

Adriana Cotias  
De São Paulo

A calmaria aparente que dominou as bolsas mundiais após as correções lideradas por Wall Street no começo do mês está longe de linar o investidor de novas turbulências. Apesar de o Ibovespa ter ficado mais próximo das suas máximas recentes ao superar os 84 mil pontos na semana passada, pela análise dos sinais — técnica habitualmente usada por diversas áreas de engenharia para filtrar imagens e pela sismologia na análise e alertas de terremotos —, o mercado de ações local está às vésperas de um colapso.

É o que o pesquisador e professor do Insper Marco Antônio Leonel Caetano enxerga no índice de "crash" — o Índice de Mudanças Abruptas (IMA). Criado em conjunto com Takashi Yoneyama, do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), o indicador é o primeiro no Brasil a analisar o grau de estresse das bolsas em períodos que antecedem crises utilizando a técnica das "wavelets", ou ondaletas, ro-

se se convencionou em português. É usado por gestores de recursos e orientadoras como apoio a decisões de investimentos.

Conforme explica, a técnica consiste em avaliar graficamente ondas pequenas, adaptadas aos sinais reais, para medir a frequência com que as oscilações mudam com o passar do tempo. "Quanto mais as ondas vão ficando próximas umas das outras, é sinal de que a tendência vai mudar. Se a bolsa tiver subindo, muda para queda. Se tiver caído, muda para alta."

O índice de crash, que varia entre zero e 1, mede o risco de reversão. Quanto mais próximo de 1, maior a chance de queda brusca da bolsa. Na medição de longo prazo mais recente, estava em 0,93. "Isso mostra que o mercado está superarriscado", resume Caetano. A despeito do forte rally que atingiu as bolsas do mundo em janeiro, incluindo a B3, ele observa que desde o ano passado o IMA aponta para a possibilidade de um forte "crash".

Os pesquisadores brasileiros se basearam no trabalho do geofísico francês Didier Sornette, do Departamento de Ciências Terrestres e

Espaciais da Universidade da Califórnia, que em 2005 já previa o estouro da bolha imobiliária nos EUA e os efeitos adversos sobre o mercado acionário. Foi Sornette quem adaptou o modelo de terremotos para as bolsas, incorporando alguns ciclos periódicos.

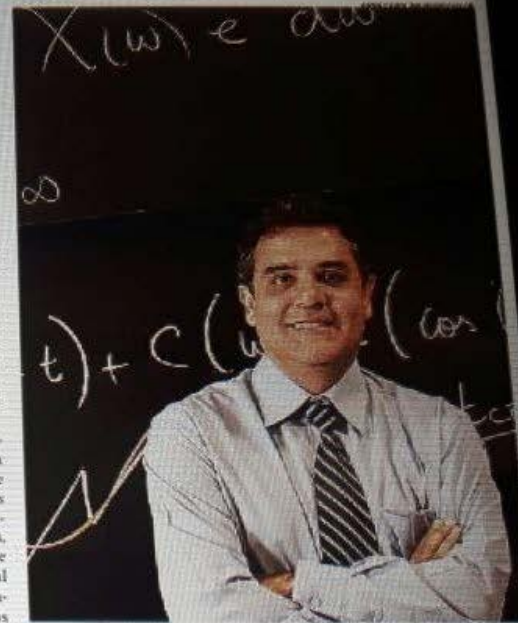
Autor dos livros "Mudanças Abruptas no Mercado Financeiro" (na lista dos 10 melhores do prêmio Jabuti em 2014) e "Análise de Risco em Aplicações Financeiras", Caetano expôs num artigo em 1º de fevereiro que nenhum terremoto forte acontece sem aviso. "Os tremores de terra vão começando bem devagar, vêm lentamente, por volta de 2 a 4 na escala Richter e muitas vezes tem-se uma enorme pausa com pequenos tremores de 2 pontos. E então, de repente, um tremor de 7 ou 8 pontos acontece". No mercado financeiro, ocorre o mesmo fenômeno, diz. As bolsas vão lentamente ganhando energia e acumulando tensão com notícias e aportes monumentais de dinheiro.

Ao verificar que o índice de crash brasileiro ficou próximo do modelo de Sornette (chama-

do de log-periódico) e ajustar os parâmetros para o conjunto de dados do Ibovespa, Caetano chegou a um prazo de 183 dias úteis, a partir de 1º de fevereiro, para a bolsa engatilhar um período de sérias e perigosas turbulências. O estudo aponta para 19 de outubro, que coincide com o período eleitoral no Brasil.

Vale lembrar que quando Caetano fez tal exercício, o Ibovespa chegou a bater a máxima de 86.028 pontos no dia 1º e entre as correntes tradicionais do mercado, fundamentalista ou técnica, ninguém parecia suspeitar o que viria logo depois, com o principal termômetro de ações locais caindo à mínima de 79.690 pontos em 9 de fevereiro, arrastado pelas desvalorizações de Wall Street e discussões sobre os rumos da política monetária americana.

O modelo simulado numericamente apontava que a primeira baixa no Ibovespa diário seria da ordem de 10%. Então começaria uma nova fase de alta expressiva, que, entre pequenas quedas e valorizações, chegaria a uma alta de 22%. Por fim viria um tombo mais acentuado, perto de 15%.



Caetano, do Insper, modelo mostra que mercado está superarriscado

Para além das abstrações matemáticas, é no mundo real que o pesquisador do Insper encontra argumentos para as potenciais correções nos mercados de ações. No exterior, ele cita que muitos investidores se alavancaram a tal ponto durante o ciclo de alta que, na hora do ajuste, não conseguem parar em pé. Cita os casos de dois fundos, um do Nomura e outro do

Credit Suisse, que decidiram liquidar aplicações atreladas a índice (exchange traded note, ou EIN) após perdas de mais de 90%.

No Brasil, apesar do corte significativo da Selic, de 14,25% para 6,75% ao ano, ele considera que estruturalmente o país ainda não mudou. A taxa de desemprego segue elevada e o crédito não chega às mãos de quem precisa.

'Econômi' financeiro progno neatura defensivo em 2019

# IMA-Crash diário 14-Maio - 2019

