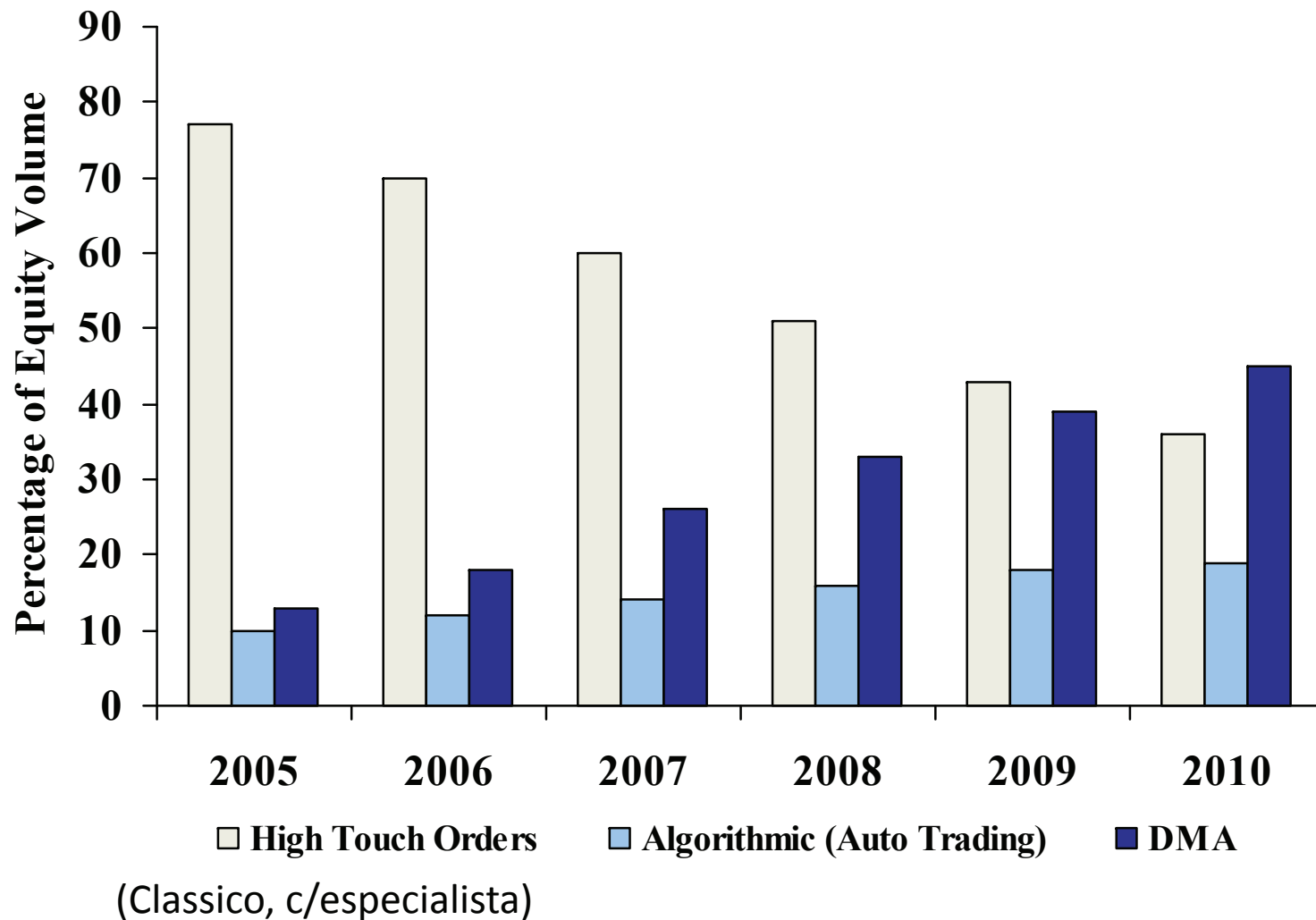


Avancos recentes na estrutura e modelizacao de Electronic Trading

Marco Avellaneda
New York University &
Finance Concepts LLC

Feira Annual de Solucoes Tecnologicas (FAST), BM&Fbovespa, Sep 21, 2010

Mercado US renda variável: percentagem do movimento devido a Algoritmos e DMA



O mercado em numeros

- Mercado US renda variavel opera entre 5 e 10 Bilhoes de titulos por dia.
- **1.2 – 2.5 Tri em acoes por ano.**
- **Movimento anual: USD 30 – 70 trilhoes (30.000 a 70.000 Bi)**
- Pelo menos 30% do movimento e algoritmico: 360 a 750 billhoes de acoes por ano.
- Uma corretora tipica ``sell side'' opera entre 1 e 5 USD Tri por ano usando algoritmos.
- Cada dia, entre 15.000 e 30.000 ordens sao processadas.
- Uma estrategia algoritmica pode ser parcelada em 500 – 1.000 ordens menores

Algoritmos de Trading

- Trading algoritmico: uso de programas e computador para negociar automaticamente grandes ordens de compra ou venda em mercados com acesso eletronico
- Ordens provem de clientes institucionais, fundos de hedge, e mesas de bancos.
- O objetivo principal do trading algoritmico nao e necessariamente de maximizar o lucro, mas de controlar os custos de execucao e o risco de mercado
- Algos comecaram como ferramentas para participantes institucionais no comeco dos anos 1990. ``Decimalizacao'', acesso direto ao mercado (DMA), mercados 100% electronicos, reducao de comissoes e emolumentos, descontos sobre emolumentos, mercados diferentes de NYSE e NASDAQ e **Reg NMS** levaram a uma explosao de algo trading no comeco da 1ra decada de 2000.

Hoje em dia, corretoras concorrem para captar comissoes sobre trading algoritmico globalmente -- um negocio de USD 400 - 600 milhoes por ano.

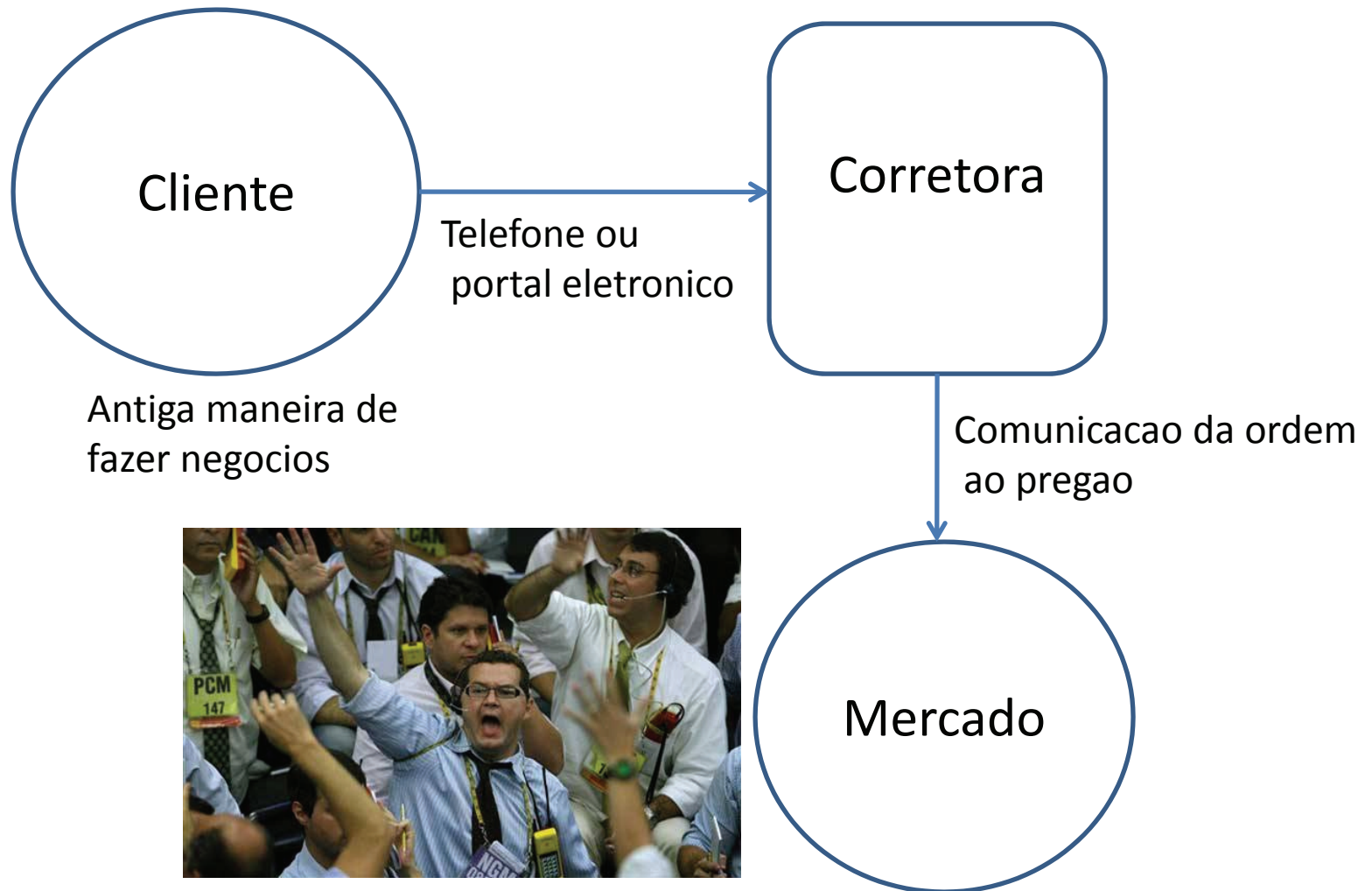
Porque Algoritmos?

- Clientes institucionais precisam operar grandes quantidades de acoes. Essas quantidades sao tipicamente maiores do que o mercado pode absorver instantaneamente sem impactar o preco.
- A demanda de grande quantidade de liquidez vai tipicamente afetar o custo da operacao de maneira negativa (“slippage”)
- Grandes ordens precisam ser parceladas em ordens menores que sao operadas eletronicamente durante o dia.
- O procedimento para executar essa ordem vai afetar o preco (custo) medio da operacao, dependendo do algoritmo utilizado
- Para avaliar o algoritmo devemos comparar o preco medio obtido na operacao com uma referencia de mercado (“media global” do preco durante o dia, preco no inicio da ordem, preco no fechamento, lucro de estrategias quantitativas)

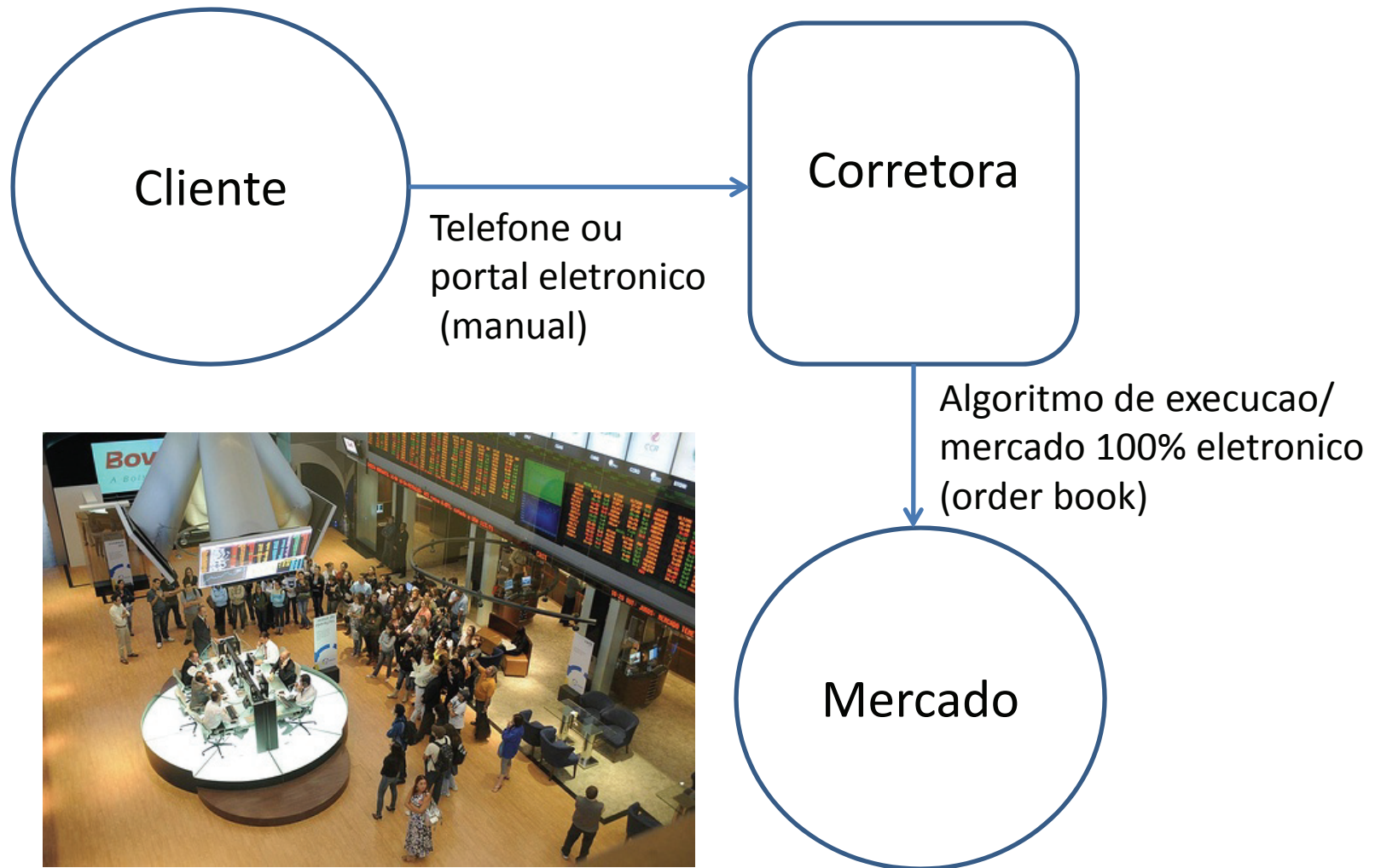
Elementos de Trading Algoritmico

- A decisao de como parcelar uma ordem e somente uma parte do algorithmic trading
- Uma vez que o algoritmo e escolhido, as ordens devem ser executadas no mercado
- Estrategias de operacao interagem com o mercado, e decidem como colocar ordens (Limite, Mercado,etc) e a que precos
- Objetivo: obter o ``melhor preco'' para cada ordem parcelada
- Mudancas na estrutura de mercado (em particular, diferentes fontes de liquidez), tornam as coisas um pouco mais interessantes e complicadas
- Dark Pools (fontes de liquidez sem mostrar o livro de ordens), ECNs (electronic communications networks) provedores de liquidez autonomos

1. Modelo "classico" de corretagem



2. Mercado eletrônico



Sistema eletrônico de passagem de ordens (cliente-corretora)

Simulated Trading - Interactive Brokers Trader Workstation - DU60008

SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING

File Page Ticker Order Trading Information Analytics View Chart Configure Help

Order Account Trades Lookup Msg. Center Trader Chat Features Configure

Portfolio Untitled Pending (All)

Select Account DU60008

Market Value

Currency	Cash	Stock	Options	Futures	FOPs	Net Liquidation Value	Unrealized P&L	Realized P&L
USD	10,510,613.92	73,361.75	0.00	0.00	0.00	10,582,651.15	-11,874.49	0.00

Order Management

Show zero position rows Show orders and trades for all accounts

Underlying	Exchange	Description	Position Allocation	Avg Price Method	Market Value Pct. Change	P&L Time in Force	Unrealized P&L Action	Realized P&L Quantity	Bid Size Type	Bid Lmt Price	Ask Destination	Ask Size Status	Last	Change	
TOTAL	DU60008	USD			73384.76		-11851.26								
XLK	SMART	Stock (ARCA)	12,709	21.5404	276,293.66	0.00	2536.72							C21.74	
RTH	SMART	Stock (ARCA)	1,361	92.465	125,818.89	0.00	34.82							C92.49	
OIH	SMART	Stock (ARCA)	1,000	101.307	107,140.00	0.00	5833.00							C107.14	
SMH	SMART	Stock (ARCA)	4,000	25.235	100,400.00	0.00	-540.00							C25.10	
JOYG	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	1,537	55.1174	99,689.82	0.00	14974.38							C64.86	
EL	SMART	Stock (NYSE)	1,509	55.9143	88,487.76	0.00	4113.08							C58.64	
PBI	SMART	Stock (NYSE)	4,356	19.365	87,555.60	0.00	3201.66							C20.10	
PEP	SMART	Stock (NYSE)	1,311	64.245	87,063.51	0.00	2838.31							C66.41	
RAI	SMART	Stock (NYSE)	1,518	55.725	86,571.54	0.00	1980.99							C57.03	
MRO	SMART	Stock (NYSE)	2,671	31.565	86,326.72	0.00	2016.60							C32.32	
STJ	SMART	Stock (NYSE)	2,378	35.615	85,512.88	0.00	820.41							C35.96	
VFC	SMART	Stock (NYSE)	1,132	74.5532	85,477.32	0.00	1083.10							C75.51	
BHI	SMART	Stock (NYSE)	2,162	39.205	85,161.18	0.00	399.97							C39.39	
MSFT	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	3,555	23.825	84,786.75	0.00	88.88							C23.85	
CNI	SMART	Stock (NYSE)	1,344	62.995	84,752.64	0.00	87.36							C63.06	
GPC	SMART	Stock (NYSE)	1,983	42.685	84,594.78	0.00	-49.57							C42.66	
TLM	SMART	Stock (NYSE)	5,161	16.405	84,537.18	0.00	-129.03							C16.38	
NKE	SMART	Stock (NYSE)	1,146	73.8028	84,517.50	0.00	-60.51							C73.75	
CP	SMART	Stock (NYSE)	1,370	61.8757	84,063.20	0.00	-706.51							C61.36	
AXP	SMART	Stock (NYSE)	2,084	40.635	83,755.96	0.00	-927.38							C40.19	
VNO	SMART	Stock (NYSE)	985	86.123	83,626.60	0.00	-1204.65							C84.90	
GLW	SMART	Stock (NYSE)	5,184	16.365	83,358.72	0.00	-1477.44							C16.08	
RYN	SMART	Stock (NYSE)	1,733	48.8385	83,062.69	0.00	-1574.43							C47.93	
QQQQ	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	769	46.585	35,835.40	0.00	11.54							C46.60	
TWC	SMART	Stock (NYSE)	0.67	26.32	37.09	0.00	19.58							C55.75	
AOL	SMART	Stock (NYSE)	0.36	24.8674	8.40	0.00	-0.64							C23.11	
MAR	SMART	Stock (NYSE)	0.17	22.0667	6.07	0.00	2.30							C35.51	
SWK	SMART	Stock (NYSE)	0.10	0.534	5.93	0.00	5.88							C59.29	
XLE	SMART	Stock (ARCA)	-885	54.505	-48,250.20	0.00	-13.28							C54.52	
APH	SMART	Stock (NYSE)	-1,830	46.345	-83,942.10	0.00	869.25							C45.87	
DISH	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	-4,524	18.705	-84,372.60	0.00	248.82							C18.65	
FIS	SMART	Stock (NYSE)	-3,085	27.445	-84,436.45	0.00	231.38							C27.37	
ORCL	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	-3,378	25.055	-84,618.90	0.00	16.89							C25.05	
CA	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	-4,279	19.775	-84,638.62	0.00	-21.40							C19.78	
BBBY	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	-2,102	40.275	-84,815.70	0.00	-157.65							C40.35	
MOT	SMART	Stock (NYSE)	-10,752	7.855	-85,155.84	0.00	-698.88							C7.92	
EP	SMART	Stock (NYSE)	-7,003	12.065	-85,296.54	0.00	-805.35							C12.18	
NOV	SMART	Stock (NYSE)	-2,099	40.365	-86,268.90	0.00	-1542.76							C41.10	

Last Login: Sep 10, 15:38

Market data 13:41:03

SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING

Start Gmail - Inbox (29... Google Maps - Wi... http://financialtr... Muere un joven ... BlackBerry@ Des... BlackBerry Desk... tickers_csv Control Panel ALGOTRADING McAfee Security ... Microsoft PowerP... Simulated Trad... 1:41 PM

IB Simulated Trading - Interactive Brokers Trader Workstation - DU60008

SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING SIMULATED TRADING

File Page Ticker Order Trading Information Analytics View Chart Configure Help

Order Account Trades Lookup Msg. Center Trader Chat Features Configure

Portfolio Untitled Pending (All)

Select Account DU60008

Market Value

Currency	Cash	Stock	Options	Futures	FOPs	Net Liquidation Value	Unrealized P&L	Realized P&L
USD	10,510,613.92	73,361.75	0.00	0.00	0.00	10,582,651.15	-11,874.49	0.00

Order Management

Show zero position rows Show orders and trades for all accounts

Underlying	Exchange	Description	Position Allocation	Avg Price Method	Market Value Pct. Change	P&L Time in Force	Unrealized P&L Action	Realized P&L Quantity	Bid Size Type	Bid Lmt Price	Ask Destination	Ask Size Status	Last	Change
TOTAL	DU60008	USD			73384.76		-11851.26							
XLK	SMART	Stock (ARCA)	12,709	21.5404	276,293.66	0.00	2636.72							C21.74
RTH	SMART	Stock (ARCA)	1,361	92.465	125,878.89	0.00	34.02		1,000	LMT	21.74	SMART	T	C92.49
OIH	SMART	Stock (ARCA)	1,000	101.307	107,140.00	0.00	5833.00							C107.14
SMH	SMART	Stock (ARCA)	4,000	25.235	100,400.00	0.00	-540.00							C25.10
JOYG	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	1,537	55.1174	99,689.82	0.00	14974.38							C64.86
EL	SMART	Stock (NYSE)	1,509	55.9143	88,487.76	0.00	4113.08							C58.64
PBI	SMART	Stock (NYSE)	4,356	19.365	87,555.60	0.00	3201.66							C20.10
PEP	SMART	Stock (NYSE)	1,311	64.245	87,063.51	0.00	2838.31							C66.41
RAI	SMART	Stock (NYSE)	1,518	55.725	86,571.54	0.00	1980.99							C57.03
MRO	SMART	Stock (NYSE)	2,671	31.565	86,326.72	0.00	2016.60							C32.32
STJ	SMART	Stock (NYSE)	2,378	35.615	85,512.88	0.00	820.41							C35.96
VFC	SMART	Stock (NYSE)	1,132	74.5532	85,477.32	0.00	1083.10							C75.51
BHI	SMART	Stock (NYSE)	2,162	39.205	85,161.18	0.00	399.97							C39.39
MSFT	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	3,555	23.825	84,786.75	0.00	88.88							C23.85
CNI	SMART	Stock (NYSE)	1,344	62.995	84,752.64	0.00	87.36							C63.06
GPC	SMART	Stock (NYSE)	1,983	42.685	84,594.78	0.00	-49.57							C42.66
TLM	SMART	Stock (NYSE)	5,161	16.405	84,537.18	0.00	-129.03							C16.38
NIKE	SMART	Stock (NYSE)	1,146	73.8028	84,517.50	0.00	-60.51							C73.75
CP	SMART	Stock (NYSE)	1,370	61.8757	84,063.20	0.00	-706.51							C61.36
AXP	SMART	Stock (NYSE)	2,084	40.635	83,755.96	0.00	-927.38							C40.19
VNO	SMART	Stock (NYSE)	985	86.123	83,626.50	0.00	-1204.65							C16.08
GLW	SMART	Stock (NYSE)	5,184	16.365	83,358.72	0.00	-1477.44							C47.93
RYN	SMART	Stock (NYSE)	1,733	48.8385	83,062.69	0.00	-1574.43							C46.60
QQQQ	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	769	46.585	35,835.40	0.00	11.54							C55.75
TWC	SMART	Stock (NYSE)	0.67	26.32	37.09	0.00	19.58							C23.11
AOL	SMART	Stock (NYSE)	0.36	24.8674	8.40	0.00	-0.64							C35.51
MAR	SMART	Stock (NYSE)	0.17	22.0667	6.07	0.00	2.30							

Order Wizard

TECHNOLOGY SELECT SECT SPDR (XLK) Stock

BUY 1,000 LMT 21.74

Basic

Action Set Action to: BUY or SELL

Quantity Enter Quantity 1,000

Day (DAY)

Last Login: Sep 10, 15:38

Order Preview

Order Description

BUY 1,000 XLK Stock (ARCA)
(TECHNOLOGY SELECT SECT SPDR)

Order Type LMT Routing SMART Time in Force DAY Account DU60008

Limit Price 21.74 Origin Customer

Current Price

Bid	Ask	Last	C21.74
-----	-----	------	--------

Amount

Amount	21,740 USD	Initial Margin	1,393,528.19
Commission (est.)	5 USD	Maintenance Margin	1,393,528.19
Total	21,745 USD	Equity With Loan	10,582,646.15

Margin Impact

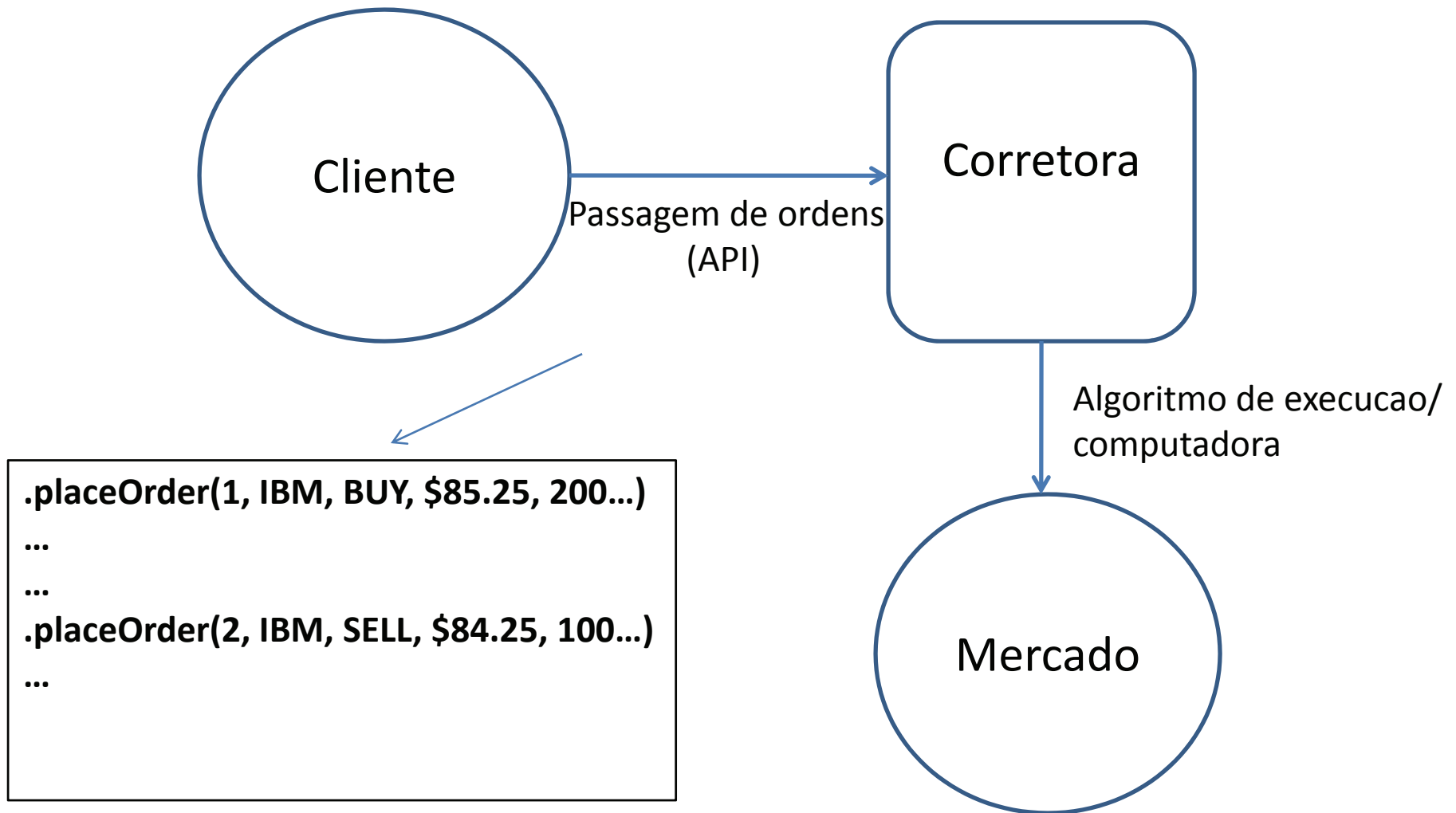
Transmit Close

Preview Transmit Cancel

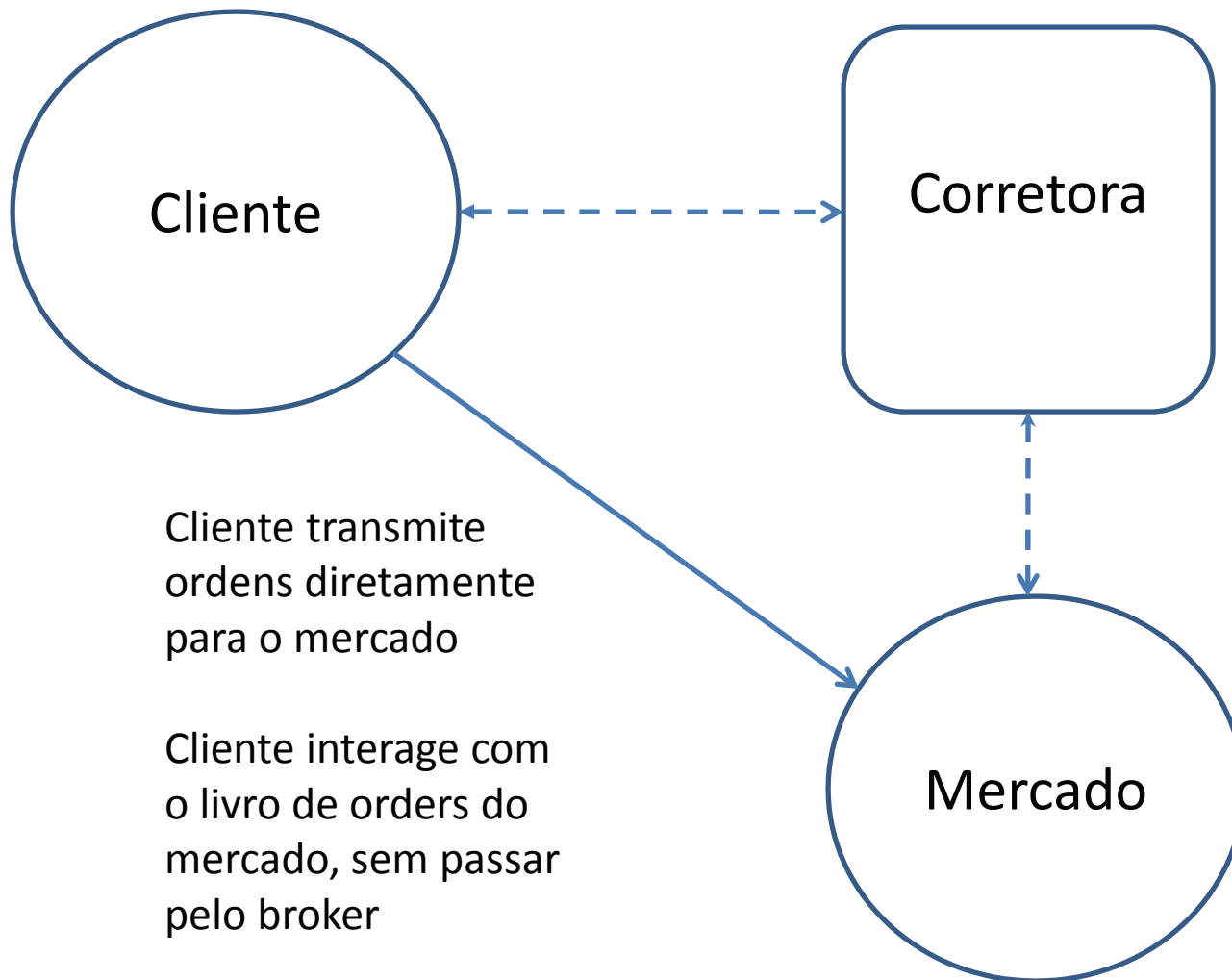
Clicando, o cliente constroi uma ordem e manda para a corretora, que executa a ordem conforme as instrucoes

Start How to Take a ... Google Maps ... http://financial... Muere un jove... BlackBerry@ D... BlackBerry Des... tickers_csv Control Panel ALGOTRADING McAfee Secur... Microsoft Powe... IB Simulated Tr... untitled - Paint 1:45 PM

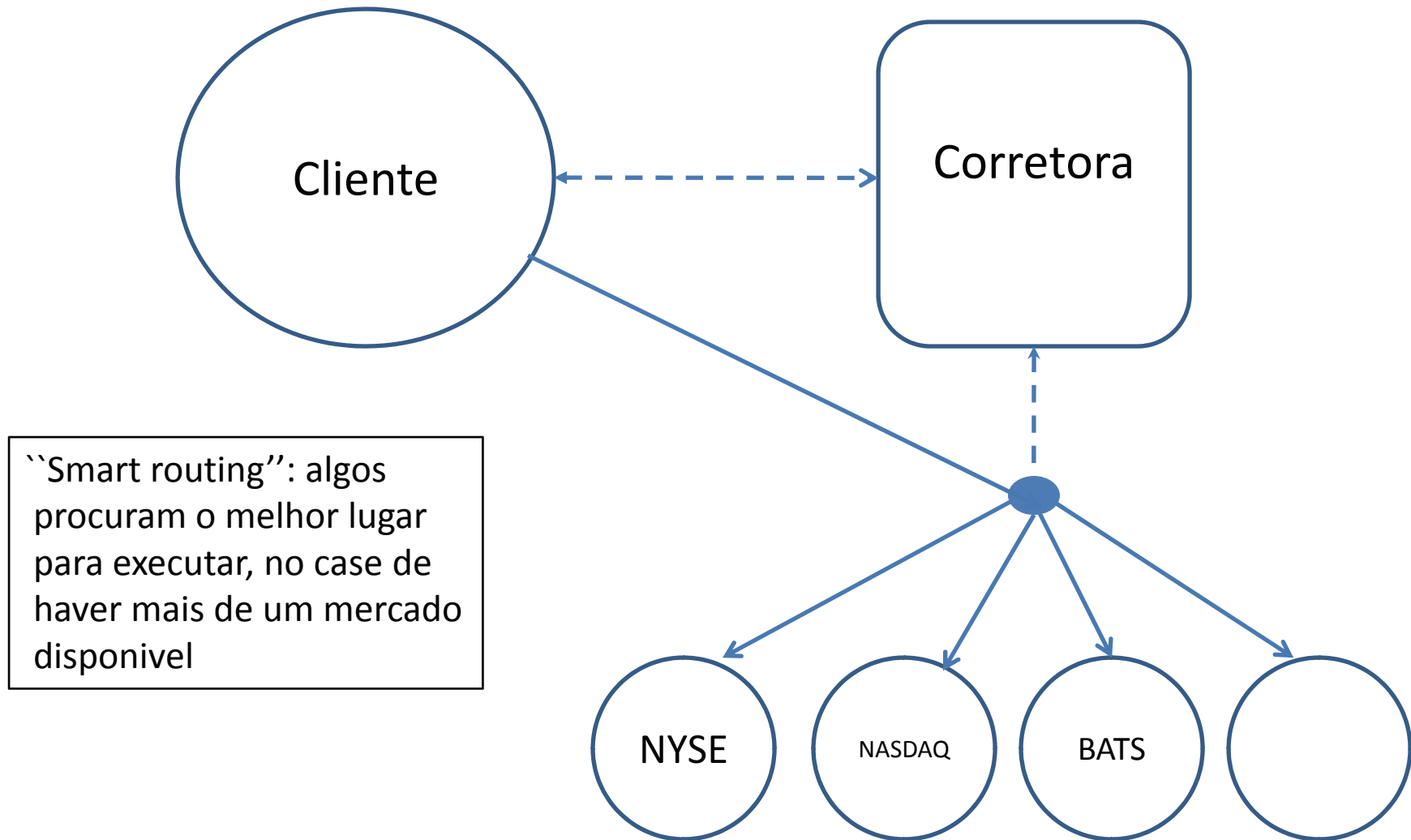
3. Modelo eletrônico com API



3. Modelo “Direct Market Access” (DMA)



ECNs, Dark Pools, acceso a varios mercados



Fontes de liquidez no mercado de acoes US

- ARCA-NYSE: plataforma eletronica da NYSE (antigamente Archipelago)
- BATS: (Kansas)
- BEX: Boston Equity Exchange
- CBSX: CBOE Stock Exchange
- CSXZ: Chicago Stock Exchange
- DRCTEDGE: Direct Edge (Jersey City, NJ)
- ISE: International Securities Exchange
- ISLAND: Faz parte de Nasdaq desde 2003
- LAVA: pertence a Citigroup
- NSX: National Stock Exchange (chicago)
- NYSE: New York Stock Exchange
- TRACKECN: Track ECN

Regulation NMS (``National market system'')

Order Protection Rule (Trade-thru rule) - protects visible liquidity at the top of book of automated market centers (SROs + ADF participants) from being traded through by executions outside each market's BBO.

Access Rule - caps access fees for top of book access at \$.003

Sub-Penny Rule - prohibits market centers from accepting quotes or orders in fractions under \$.01 for any security priced greater than \$1.00.

Market Data Rule - changes the allocation of market data revenue to SROs for quotes and trades

SRO: NYSE, NASD, FINRA

ADF: Alternative Display Facility/ consolidacao de NYSE/NASDAQ

As tres etapas de negociacao com algoritmos

Estrategia de trading algoritmica
(Macrotrader)

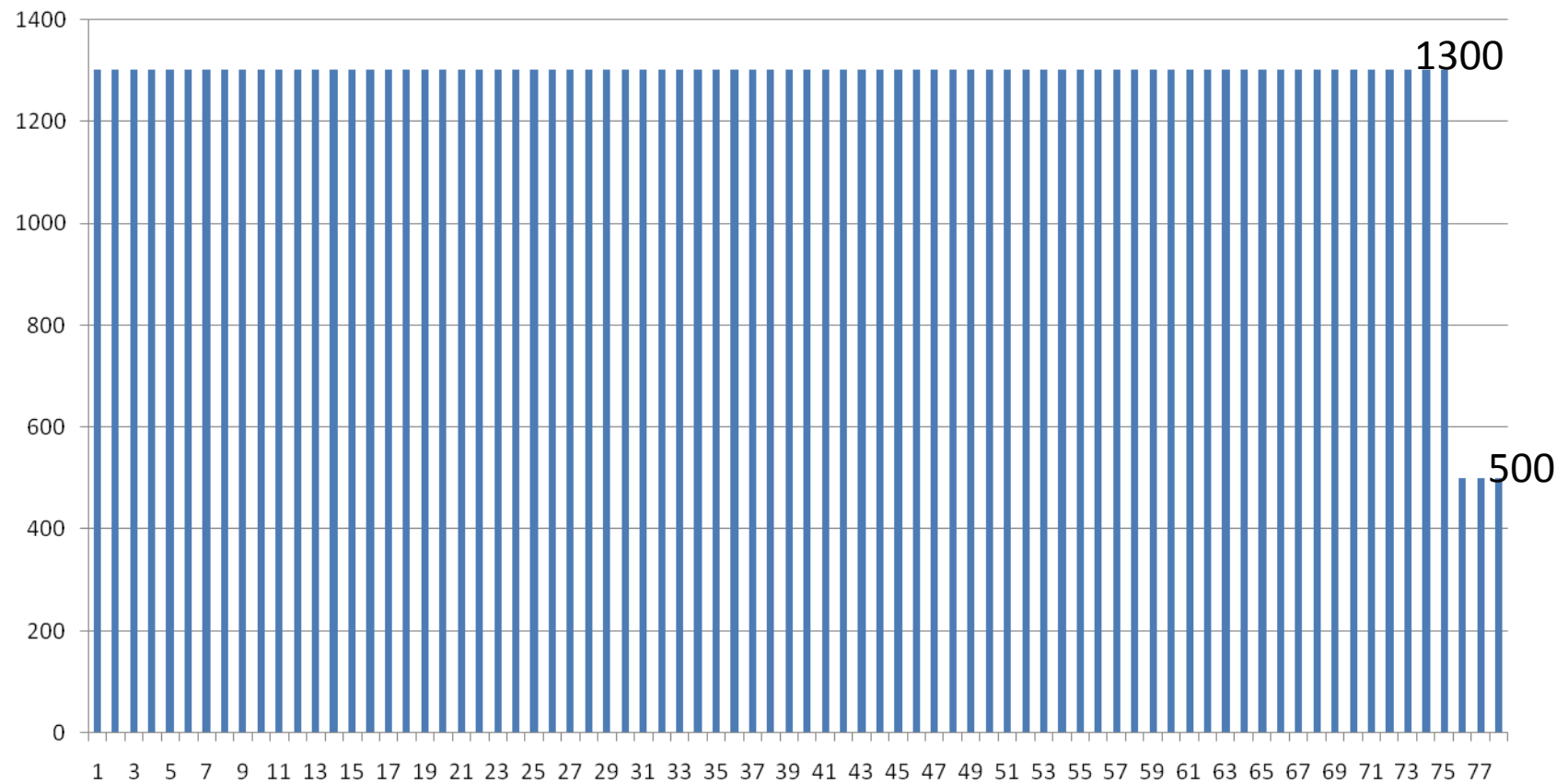
Algoritmos de colocacao de ordens
(Microtrader)

Algos de ``routing'' no caso de mais de uma fonte de liquidez

Time-weighted average price (TWAP)

Igual quantidade de acoes em cada periodo de tempo.

Exemplo: 100.000 acoes TWAP/dia inteiro



Intervalos consecutivos de 5 minutos



O movimento e maior no começo do dia e tambem no fim do dia

Volume-weighted average price (VWAP)

O volume negociado muda ao longo do dia (menos volume no meio do dia).

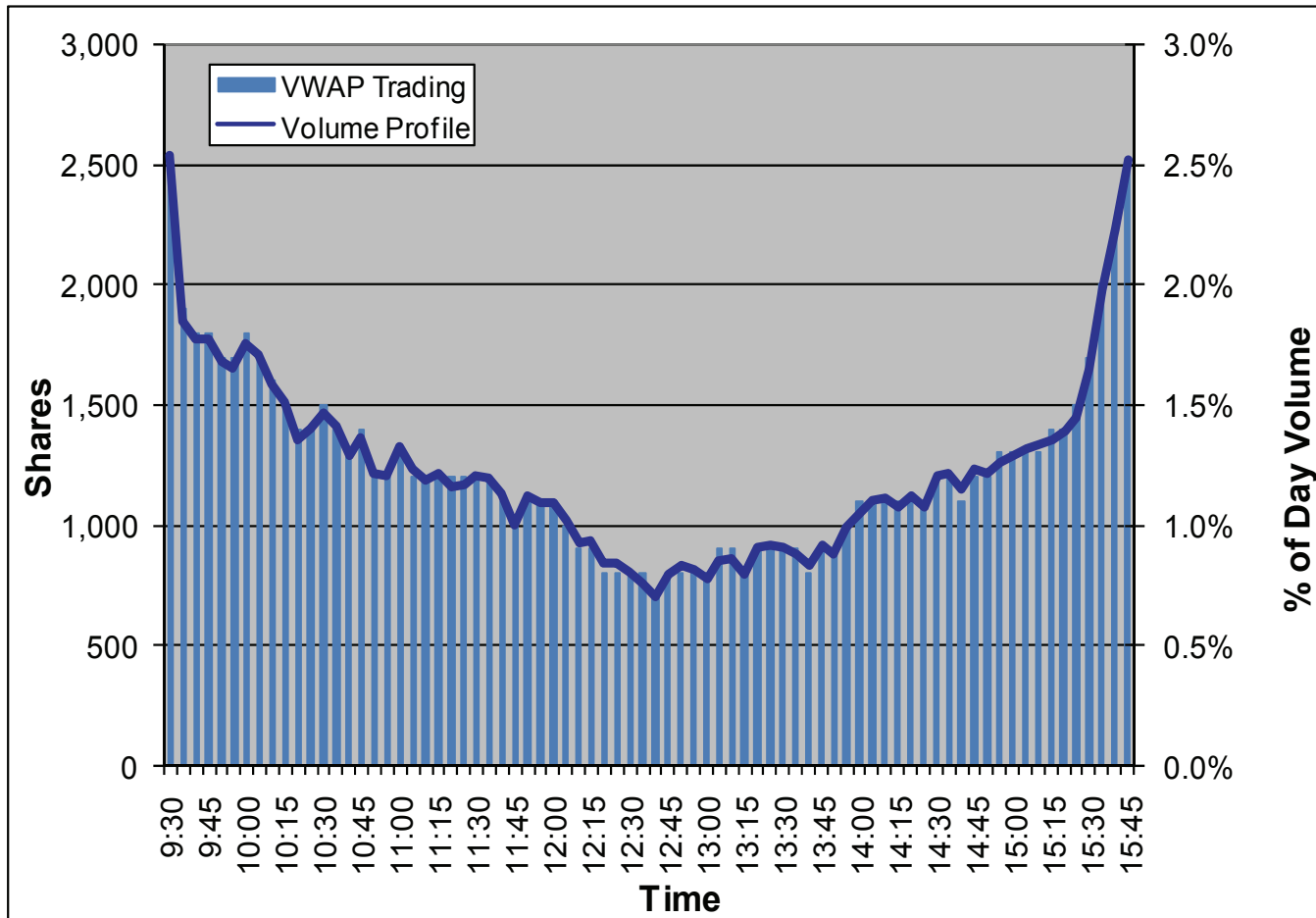
VWAP: Na execucao de uma ordem grande, a maneira como a ordem e parcelada vai depender da hora do dia, para minimizar impacto.

Objetivo: obter um preco medio ``ponderado pelo volume'' (por acao negociada).

Algoritmo: 1. estimar o volume medio negociado em cada interval durante o pregao. 2. Operar uma quantidade proporcional ao volume em cada intervalo de tempo.

Propriedades:

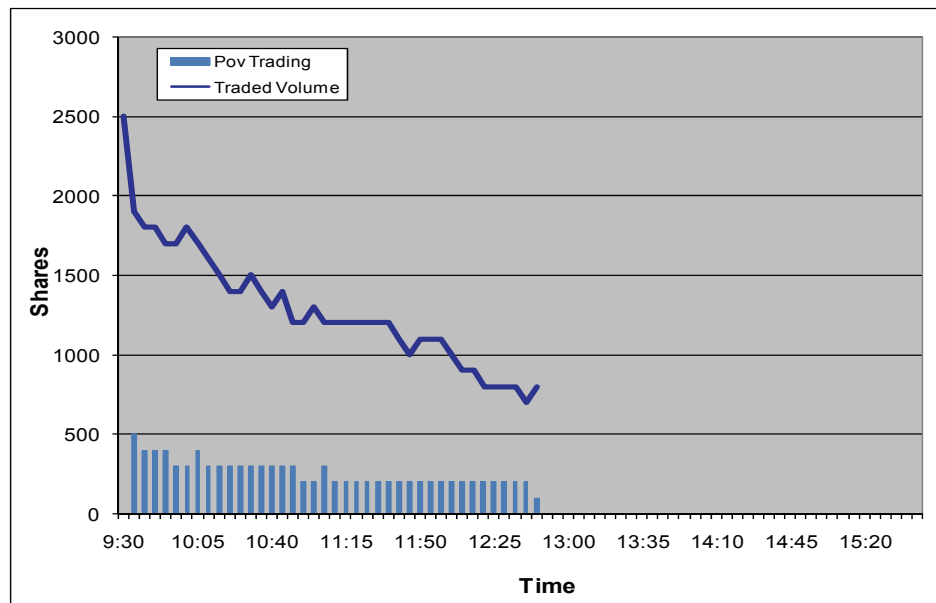
1. o algoritmo sempre acaba de executar.
2. deve-se estimar o volume negociado em cada intervalo usando dados historicos. Porem, pode nao corresponder exatamente ao VWAP (ex-post).



$$VWAP(t_1, t_2) = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} \delta V(t) P(t)}{\sum_{t=t_1}^{t_2} \delta V(t)}$$

Percentage of Volume (POV)

- O algoritmo PoV (Percentage of Volume) encara o problema de VWAP usando o volume negociado no dia como referencia para a quantidade que dever ser operada. A ideia e ter uma participacao constante no mercado (em %).
- Se a quantidade que falta negociar e Q , e a razao de participacao e γ , em cada unidade de tempo, o algo calcula o volume operado no intervalo $(t - \Delta T, t)$ e opera a quantidade $q = \min(Q, V * \gamma)$



$V(t)$ = volume total operado pelo mercado ate o tempo t

$Q(t)$ = quantidade que ainda se deve negociar. ($Q(0)$ = quantidade inicial)

$$Q(t + \delta t) - Q(t) = -\min[\gamma(V(t) - V(t - \delta t)), Q(t)]$$

$$\begin{cases} \frac{dQ}{dt} = -\gamma \frac{dV}{dt} & ; Q(t) > \gamma \frac{dV}{dt} \delta t \approx 0 \\ \frac{dQ}{dt} = 0 & ; Q(t) \leq \gamma \frac{dV}{dt} \delta t \approx 0 \end{cases}$$

$$\frac{dQ}{dt} = -\gamma \frac{dV}{dt} \quad \therefore Q(T) - Q(0) = -\gamma \cdot V(T) \quad \therefore Q(0) = \gamma \cdot V(T)$$

$$\frac{dQ}{dt} p(t) = -\gamma \frac{dV}{dt} p(t) \quad \therefore \int_0^T \left| \frac{dQ}{dt} \right| p(t) = \gamma \int_0^T \frac{dV}{dt} p(t)$$

$$\frac{\int_0^T \left| \frac{dQ}{dt} \right| p(t)}{Q(0)} = \frac{\int_0^T \frac{dV}{dt} p(t)}{V(T)}$$

POV e semelhante a VWAP se a razao de participacao e pequena

Almgren-Chriss (‘‘Expected Shortfall’’)

Efeito de impacto combinado com ‘‘urgencia de execucao’’ (risco de preco)

$$dp(t) = \underline{a}v(t)dt + \sigma dZ(t) \quad v(t) = -\frac{dQ(t)}{dt} \quad \text{Dinamica do preco c/impacto (''impacto permanente')}$$

$$\underline{p}(t) = p(t) - \underline{b}|v(t)| \quad \text{Preco de execucao (''impacto temporario')}$$

$$E = -\mathbf{E} \left\{ \int_0^T \underline{p}(t) \frac{dQ(t)}{dt} dt \right\} = -\mathbf{E} \left\{ \int_0^T p(t) \frac{dQ(t)}{dt} dt \right\} + b \int_0^T \left(\frac{dQ(t)}{dt} \right)^2 dt \quad \text{Custo de execucao esperado}$$

$$V = \sigma^2 \int_0^T (Q(0) - Q(t))^2 dt \quad \text{Risco de execucao}$$

$$\min_Q \{E + \lambda V\}$$

Problema de otimizacao

Solucao analitica

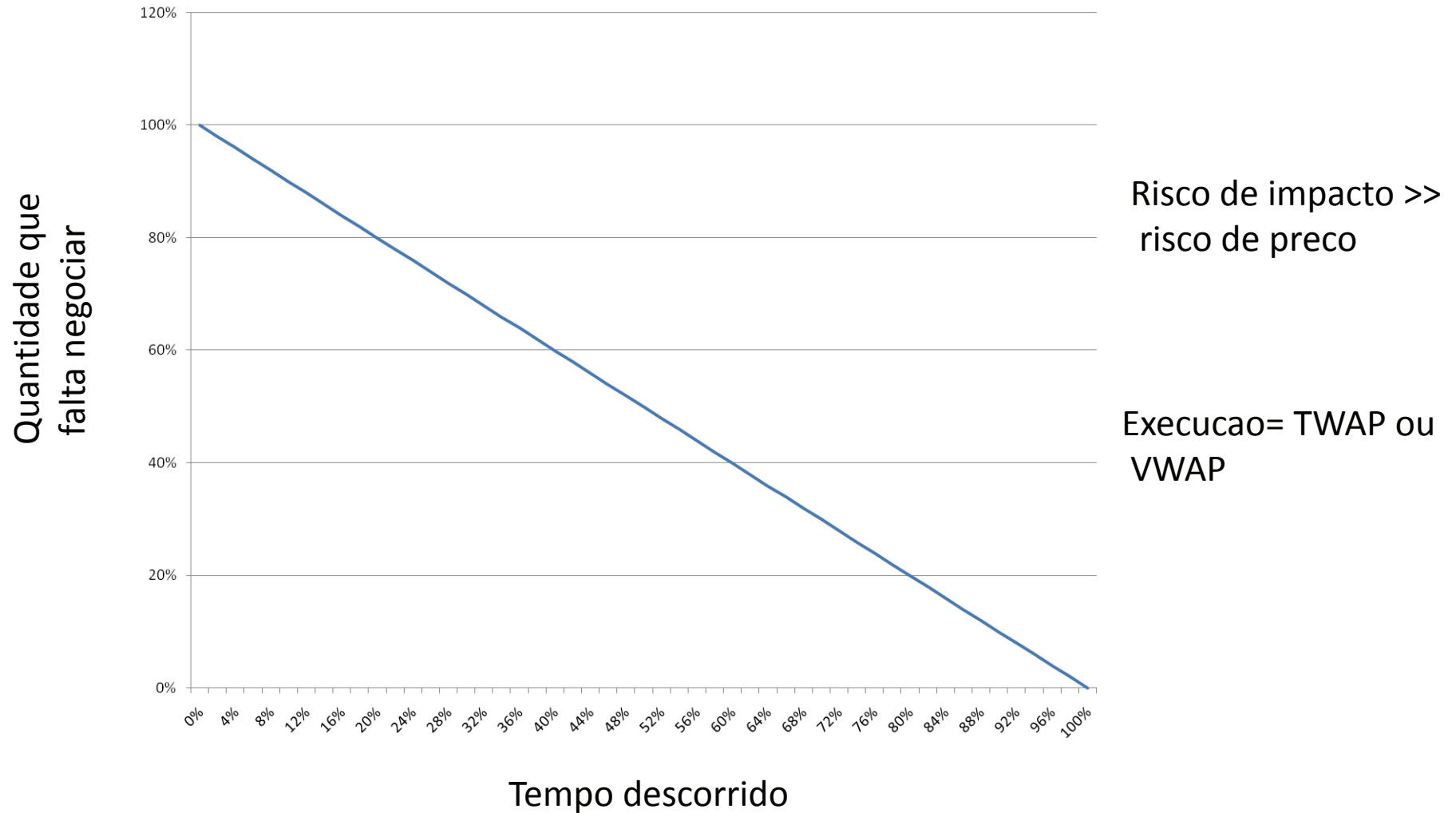
$$Q(t) = Q(0) \frac{\sinh\left(\sqrt{\frac{\lambda\sigma^2}{a+b}}(T-t)\right)}{\sinh\left(\sqrt{\frac{\lambda\sigma^2}{a+b}}T\right)}$$

$$\frac{Q(t)}{Q(0)} = \frac{\sinh(\Omega(1-\tau))}{\sinh\Omega}, \quad \Omega = T\sqrt{\frac{\lambda\sigma^2}{a+b}}, \quad \tau = \frac{t}{T}$$

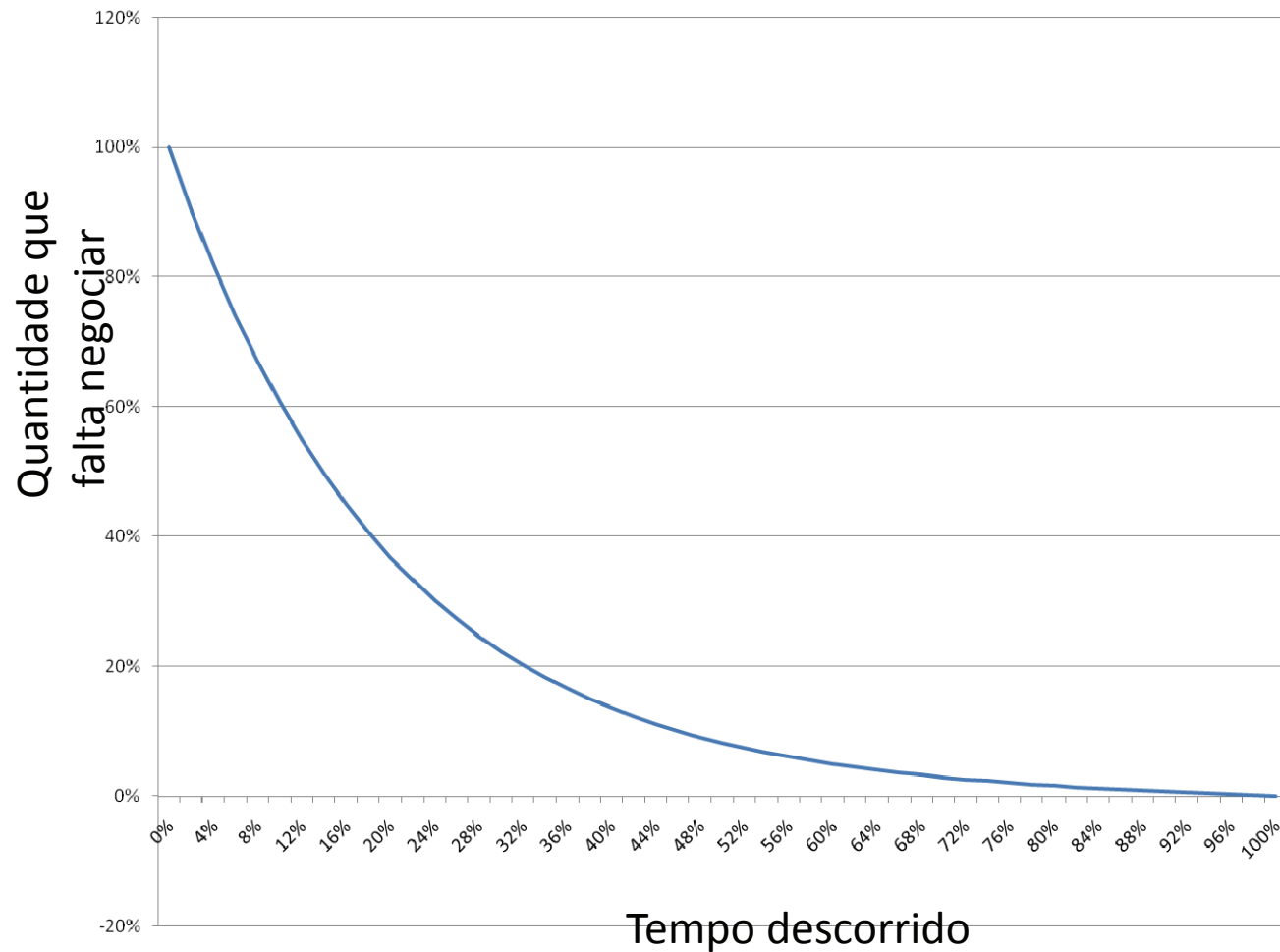
Omega: proporcional ao tempo de execucao, varia diretamente com aversao ao risco e volatilidade, inversamente aos parametros de impacto

$$\text{Omega} = (\text{risco de preco})/(\text{risco de impacto})$$

Caso $\Omega = 0$, TWAP (VWAP)



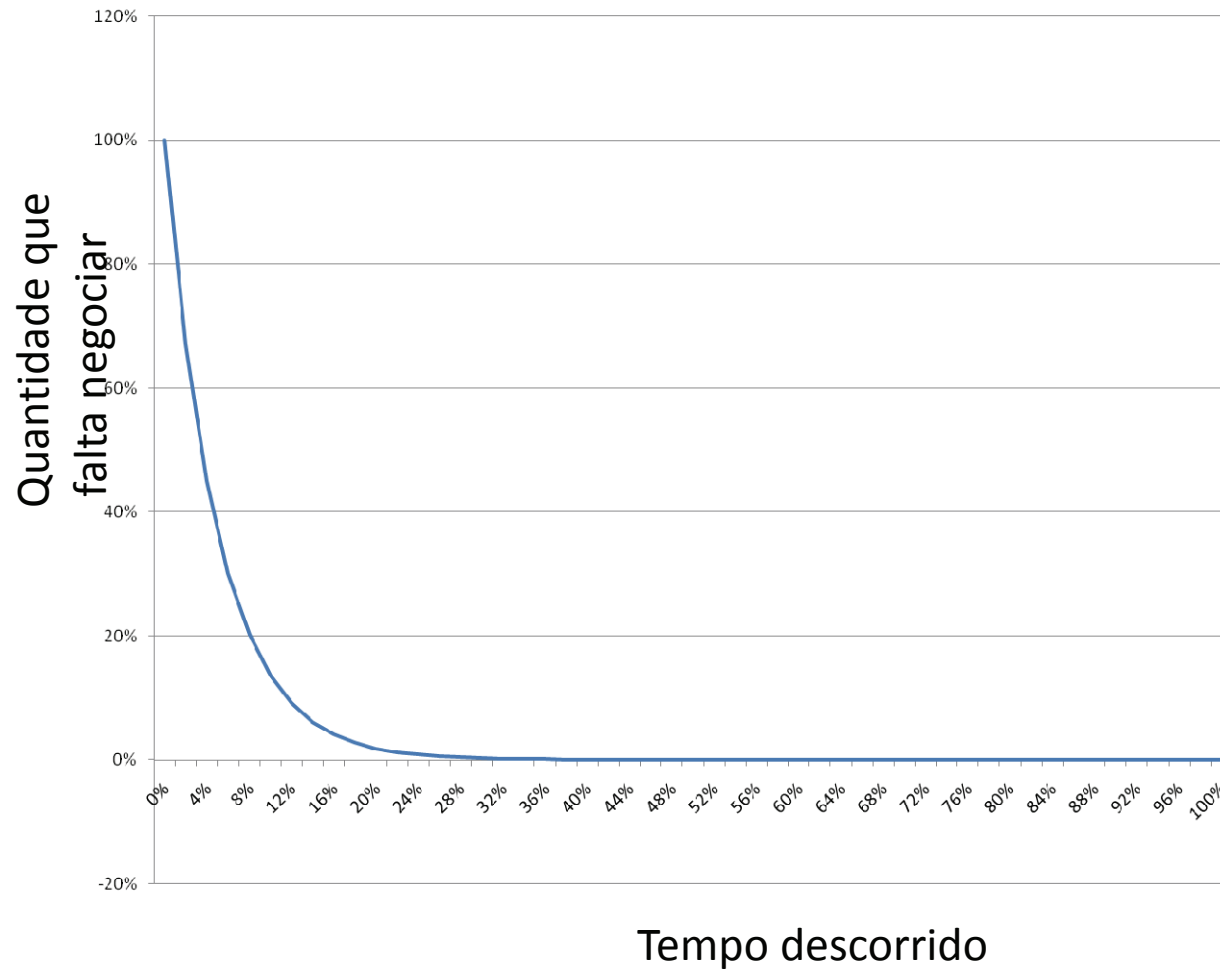
Caso $\Omega = 10$



Risco de mercado
significante

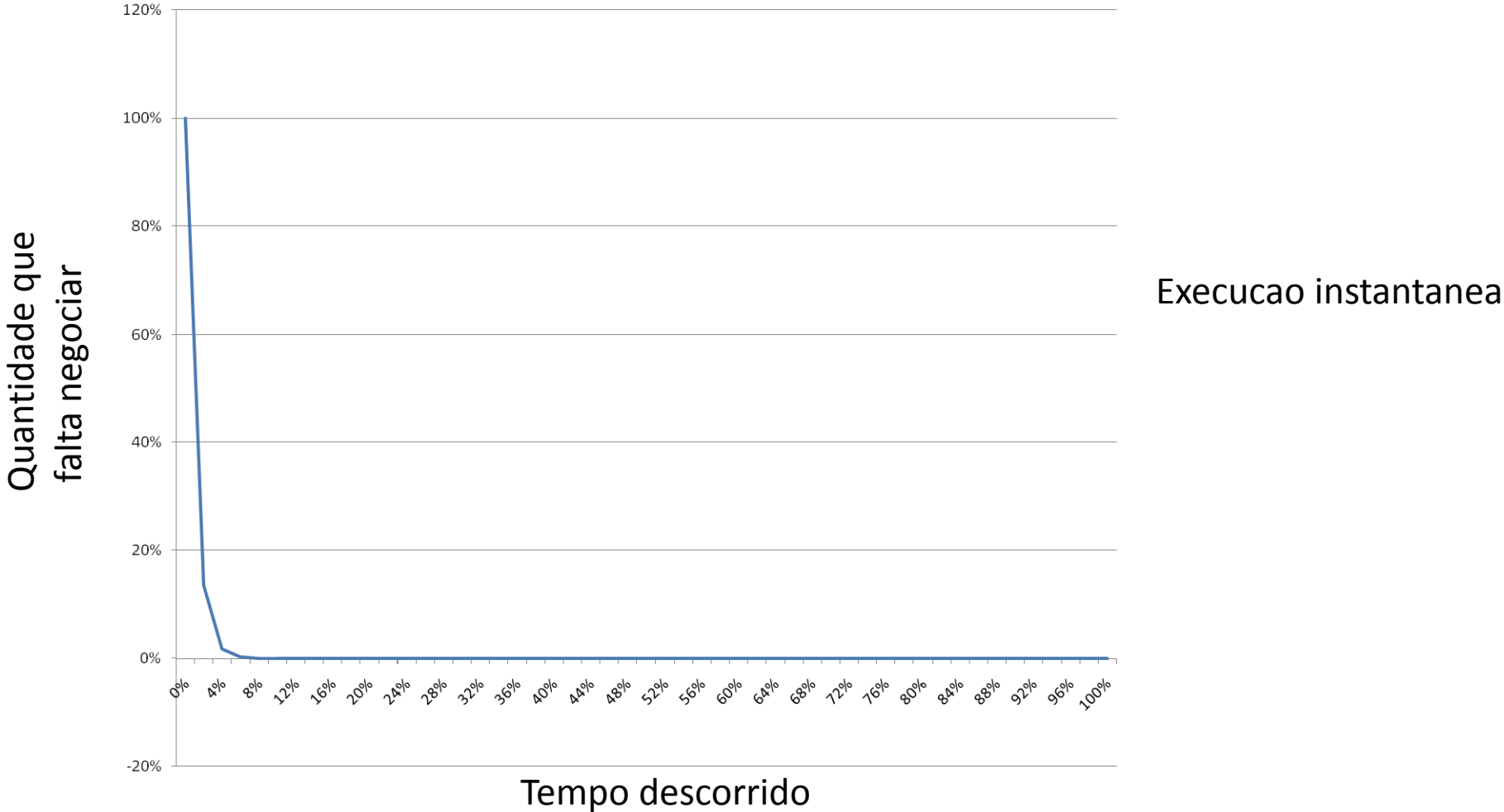
Execucao deve ser
mais rapida

Caso $\Omega = 20$



Execucao mais
rapida ainda

Caso $\Omega = 100$



Generalizacoes do algoritmo de parcelamento de Almgren-Chriss

- Incorporar volume intra-diaro no impacto (modificacao de VWAP)
- Incorporar tendencia no preco (momentum)
- Incorporar emolumentos, etc e outros custos
- Almgren-Chriss (e generalizacoes) faz parte do arcabouco de algoritmos oferecidos por vendedores de software de execucao e pelas corretoras

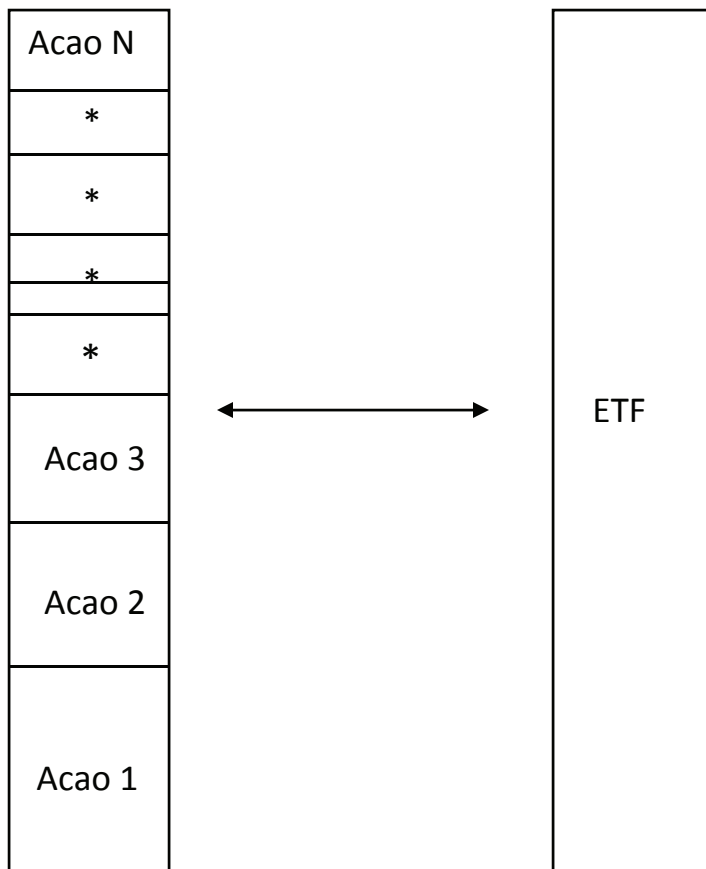
Exemplos de estrategias quantitativas que utilizam algoritmos

- Arbitragem de indices e ETFs
- Arbitragem estatística (“Stat Arb”)
- Providenciar liquidez (“Liquidity providing”)
- Estrategias de prediccao de alta-frequencia

ETFs

- ETF: Investimentos semelhantes a fundos de investimento, mais operam no mercado como ações
- Operação é semelhante a ações (financiamento, venda a descoberto, margem)
- Começaram como trackers de índices, porém se generalizam a commodities, moedas e estratégias ativas (com futuros, por exemplo)
- Estrutura: **participantes autorizados ('authorized participants')** podem **criar ou resgatar** ETFs, mantendo assim a relação entre a ETF e a cesta de papéis correspondente
- "creation units": 25K to 100K ações
- Participantes autorizados tipicamente atuam também como fazedores de mercados providenciando liquidez

Arbitragem de ETFs contra a cesta



Arbitragem de ETF:

1. Compra/venda de ETF contra a cesta de acoes
2. Criacao/resgate de acoes para zerar a operacao

Isto necessita tecnicas de execucao algoritmicas em alta-frequencia

Statistical Arbitrage

Long-short acoes/etfs – neutro ao mercado

Sector	ETF	Num of Stocks	Market Cap		
			Average	Max	Min
Internet	HHH	22	10,350	104,500	1,047
Real Estate	IYR	87	4,789	47,030	1,059
Transportation	IYT	46	4,575	49,910	1,089
Oil Exploration	OIH	42	7,059	71,660	1,010
Regional Banks	RKH	69	23,080	271,500	1,037
Retail	RTH	60	13,290	198,200	1,022
Semiconductors	SMH	55	7,303	117,300	1,033
Utilities	UTH	75	7,320	41,890	1,049
Energy	XLE	75	17,800	432,200	1,035
Financial	XLF	210	9,960	187,600	1,000
Industrial	XLI	141	10,770	391,400	1,034
Technology	XLK	158	12,750	293,500	1,008
Consumer Staples	XLP	61	17,730	204,500	1,016
Healthcare	XLV	109	14,390	192,500	1,025
Consumer discretionary	XLY	207	8,204	104,500	1,007
Total		1417	11,291	432,200	1,000

January, 2007

Statistical Arbitrage (II)

componente
sistemática

componente
idiosincrática

$$\frac{dS_i(t)}{S_i(t)} = \beta_i \frac{dI(t)}{I(t)} + \varepsilon_i(t)$$

Rendimento da ação e comparado com a
ETF sectorial correspondente (regressão)

$$\varepsilon_i(t) = \alpha_i dt + dX_i(t)$$

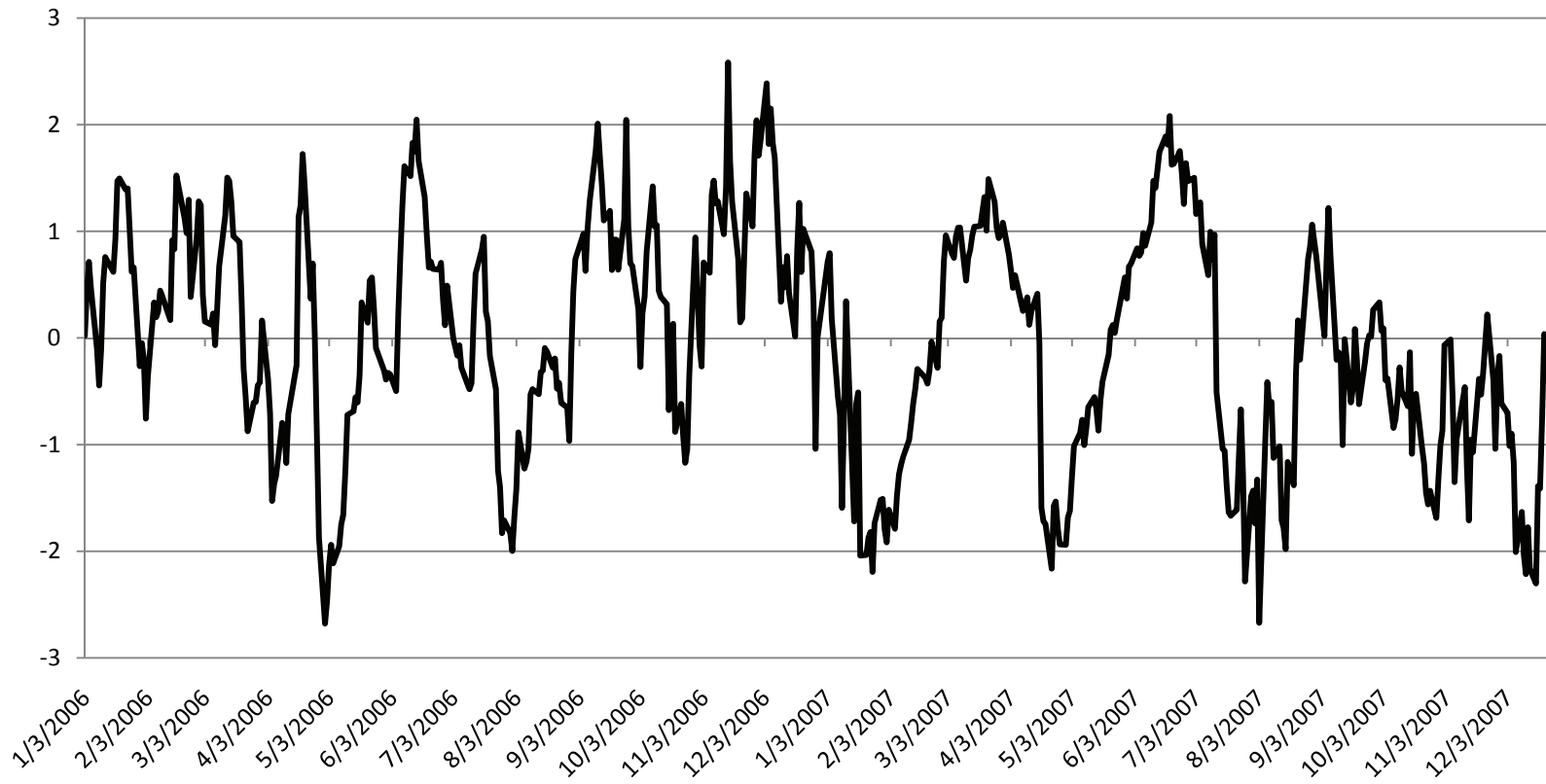
Resíduos: modelados como uma tendência +
incremento de um processo com retorno
a média

$$dX_i(t) = \kappa_i (m_i - X_i(t)) dt + \sigma_i dW_i(t)$$

Ornstein-Uhlenbeck
processo AR-1

Exemplo de amostra para estimação = 3 meses (~ 60 dias de mercado)

Processo $X(t)$ para JPM/XLF (ETF financeira da State Street)



Construcao de estrategias de investimento Stat-Arb

- Universo diversificado de acoes, ``boa escolha'' dos pares acao/ETF
- Operar de maneira a comprar ou vender o spread entre a acao e a ETF conforme o model estatistico
- Gestao de risco e alavancamento, usando VaR em tempo real
- Execucao tipo VWAP ``observando o volume negociado durante o dia''.
- Ter em conta o volume negociado e importante para evitar ``selecao adversa'' [razoes fundamentais para divergencia de $X(t)$].

Exemplo de estrategia Stat Arb

Simulated Trading - Interactive Brokers Trader Workstation - DU60008

File Page Ticker Order Trading Information Analytics View Chart Configure Help

Order Account Trades Lookup Msg. Center Trader Chat Features Configure

Portfolio Untitled Pending (All)

Select Account DU60008

Market Value

Currency	Cash	Stock	Options	Futures	FOPs	Net Liquidation Value	Unrealized P&L	Realized P&L
USD	10,616,280.57	-15,647.94	0.00	0.00	0.00	10,599,148.96	-2,695.35	0.00

Order Management

Show zero position rows Show orders and trades for all accounts

Underlying	Exchange	Description	Allocation	Avg Price	Pct. Change	Time in Force	P&L	Unrealized P&L	Realized P&L	Bid Size	Bid	Ask	Ask Size	Last	Change
EIN	SMART	Stock (NYSE)	1,070	79,1597	85,728.40	423.00	1027.52			4	80.11	80.15	2	80.12	+0.40
FIS	SMART	Stock (NYSE)	-3,085	27.445	-84,837.50	-30.85	-169.68			29	27.49	27.50	30	27.50	+0.01
FRX	SMART	Stock (NYSE)	-2,764	30.635	-86,236.80	-663.36	-1561.66			37	31.20	31.21	52	31.20	+0.24
GLW	SMART	Stock (NYSE)	5,184	16.365	88,076.16	-207.36	3240.00			233	16.99	17.00	173	16.99	-0.04
GPC	SMART	Stock (NYSE)	1,983	42.685	86,498.46	614.73	1854.10			13	43.61	43.63	3	43.62	+0.31
IMO	SMART	Stock (AMEX)	2,225	38.1241	83,526.50	-1134.75	-1299.62			3	37.53	37.54	2	37.54	-0.51
IYR	SMART	Stock (ARCA)	-5,872	53.7025	-316,618.24	-469.76	-1277.16			7	53.92	53.93	359	53.92	+0.08
JOYG	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	1,537	55.1174	103,286.40	1752.18	18570.96			2	67.20	67.23	3	67.20	+1.14
KIM	SMART	Stock (NYSE)	-5,348	15.835	-86,156.28	-1069.60	-1470.70			91	16.10	16.11	17	16.11	+0.20
KO	SMART	Stock (NYSE)	1,476	57.445	84,929.04	44.28	140.22			72	57.54	57.55	42	57.54	+0.03
LBTYA	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	2,879	29.455	85,132.03	1266.76	331.09			61	29.56	29.57	12	29.57	+0.44
MAR	SMART	Stock (NYSE)	0.17	22.0667	6.11	0.09	2.35			14	35.79	35.80	13	35.80	+0.50
MOT	SMART	Stock (NYSE)	-10,752	7.855	-90,424.32	0.00	-5967.36			1,272	8.40	8.41	1,082	8.41	0.00
MSFT	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	3,555	23.825	89,479.35	-568.80	4781.48			519	25.16	25.17	545	25.17	-0.16
MXIM	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	-4,999	16.905	-84,533.09	-449.91	-24.99			59	16.90	16.91	80	16.91	+0.09
NHP	SMART	Stock (NYSE)	2,158	39.285	84,226.74	0.00	-550.29			1	39.02	39.04	8	39.03	0.00
OIH	SMART	Stock (NYSE)	-800	107.695	-86,648.00	-424.00	508.00			3	107.05	107.07	6	107.06	+0.53
ORCL	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	-3,378	25.055	-91,847.82	-6181.74	-7212.03			223	27.19	27.20	1,302	27.19	+1.83
PEP	SMART	Stock (NYSE)	1,282	66.085	85,060.70	-333.32	339.73			18	66.34	66.35	22	66.35	-0.26
QQQQ	SMART	Stock (NASDAQ.NMS)	769	46.585	36,942.76	76.90	1118.90			787	48.03	48.04	3,356	48.04	+0.10
ROK	SMART	Stock (NYSE)	-1,588	53.185	-94,835.36	-509.16	-10377.58			2	59.72	59.74	3	59.72	+0.32
RTH	SMART	Stock (ARCA)	1,361	92.465	128,818.65	-231.37	2973.79			20	94.64	94.65	2	94.66	-0.16
RYN	SMART	Stock (NYSE)	1,733	48.8385	86,008.79	883.83	1371.67			2	49.63	49.64	2	49.63	+0.51
SMH	SMART	Stock (ARCA)	6,500	25.6696	172,315.00	-260.00	5462.60			746	26.50	26.51	25	26.51	-0.04
SPG	SMART	Stock (NYSE)	894	94.745	84,786.96	223.50	84.93			2	94.82	94.86	2	94.84	+0.25
STJ	SMART	Stock (NYSE)	2,378	35.615	88,009.78	546.94	3317.31			12	37.01	37.02	12	37.01	+0.23
SWK	SMART	Stock (NYSE)	0.10	0.534	5.95	0.02	5.89			3	59.48	59.49	12	59.48	+0.18
TLM	SMART	Stock (NYSE)	5,161	16.405	84,124.30	-1393.47	-541.91			91	16.30	16.31	102	16.30	-0.27
TWC	SMART	Stock (NYSE)	0.67	26.32	34.26	0.35	16.75			10	51.49	51.50	14	51.49	+0.53
TWX	SMART	Stock (NYSE)	-2,654	31.905	-83,494.84	-132.70	1181.03			59	31.46	31.47	34	31.46	+0.05
VNO	SMART	Stock (NYSE)	985	86.123	84,975.95	137.90	144.79			5	86.27	86.30	3	86.27	+0.14
WMB	SMART	Stock (NYSE)	4,433	19.125	81,833.18	88.66	-2947.95			159	18.45	18.46	55	18.46	+0.02
XLE	SMART	Stock (ARCA)	-4,665	54.6079	-251,630.10	2192.55	3115.75			209	53.93	53.94	632	53.94	-0.47
XLF	SMART	Stock (ARCA)	-3,206	13.8259	-46,903.78	288.54	-2577.94			50,421	14.62	14.63	10,575	14.63	-0.09
XLI	SMART	Stock (ARCA)	-6,867	30.1772	-210,404.88	-480.69	-3178.05			6,498	30.63	30.64	108	30.64	+0.07
XLK	SMART	Stock (ARCA)	12,422	21.5404	279,619.22	248.44	12044.37			8,857	22.50	22.51	7,757	22.51	+0.02
XLP	SMART	Stock (ARCA)	-5,529	27.4311	-152,710.98	1105.80	-1044.43			4,085	27.61	27.62	3,197	27.62	-0.20
XLV	SMART	Stock (ARCA)	-3,019	29.9131	-90,388.86	483.04	-81.21			269	29.94	29.95	2,060	29.94	-0.01
XLY	SMART	Stock (ARCA)	-6,921	32.3297	-226,731.96	69.21	-2978.11			255	32.75	32.76	399	32.76	-0.16

Last Login: Sep 17, 11:45

Market data 12:38:58

Start Risk 2002 ISDA StatArb Search Results 4 Internet E... 4 Microsoft ... Agenda_for... McAfee Secur... ACCESS.CIM... psftp TexnicCenter ... Microsoft Exc... 2 Adobe Acr... Simulated T... 12:39 PM

Provisao de liquidez (“alta frequencia”)

Colocacao estrategica de ordens limites (liquidez) no order book

Quote Panel

Underlying: QQQQ Exchange: SMART

Buttons: Close Position, Reverse Position, View Account, Modify Allocation

Deep Book Buttons: ArcaBook, NASDAQ TotalView, Others

Orders Log Trades Portfolio

Allocation	Time in Force	Action	Quantity	Type	Lmt Price	Aux. Price	Destination	Status
<hr/>								
Bid					Ask			
MM Name	Price	Size	Cum Size	Avg Price	MM Name	Price	Size	Cum Size
NSDQ	47.96	68	68	47.960	NSDQ	47.97	1,281	1,281
NSX	47.96	2	70	47.960	EDGEA	47.97	243	1,524
BATS	47.96	12	82	47.960	CHX	47.97	58	1,582
DRCTEDGE	47.96	1	83	47.960	CBSX	47.97	20	1,602
ARCA	47.96	128	211	47.960	NSX	47.97	112	1,714
NSDQ	47.95	906	1,117	47.952	BEX	47.97	359	2,073
EDGEA	47.95	123	1,240	47.952	ARCA	47.97	1,127	3,200
CHX	47.95	58	1,298	47.952	BATS	47.97	1,241	4,441
CBSX	47.95	35	1,333	47.952	DRCTEDGE	47.97	424	4,865
BEX	47.95	152	1,485	47.951	NSDQ	47.98	1,649	6,514
ARCA	47.95	858	2,343	47.951	ARCA	47.98	1,376	7,890
NSDQ	47.94	1,626	3,969	47.946	NSDQ	47.99	1,562	9,452
ARCA	47.94	1,314	5,283	47.945	ARCA	47.99	1,348	10,800
NSDQ	47.93	1,550	6,833	47.941	NSDQ	48.00	1,448	12,248
ARCA	47.93	1,313	8,146	47.940	ARCA	48.00	1,285	13,533
TMBR	47.92	10	8,156	47.940	NSDQ	48.01	1,494	15,027
NSDQ	47.92	1,473	9,629	47.937	ARCA	48.01	1,241	16,268
ARCA	47.92	1,201	10,830	47.935	NSDQ	48.02	1,323	17,591
UBSS	47.91	1	10,831	47.935	NSDQ	48.03	1,322	18,913
HDSN	47.91	1	10,832	47.935	NSDQ	48.04	1,061	19,974
NSDQ	47.91	1,504	12,336	47.932	TMBR	48.05	10	19,984
NSDQ	47.90	1,362	13,698	47.929	UBSS	48.05	5	19,989
NSDQ	47.89	1,384	15,082	47.925	NSDQ	48.05	1,022	21,011
NSDQ	47.88	1,177	16,259	47.922	HDSN	48.05	1	21,012
NSDQ	47.87	934	17,193	47.919	NSDQ	48.06	965	21,977
NSDQ	47.86	923	18,116	47.916	NSDQ	48.07	1,043	23,020
UBSS	47.85	10	18,126	47.916	UBSS	48.08	4	23,024
NSDQ	47.85	882	19,008	47.913	NSDQ	48.08	901	23,925
NSDQ	47.84	940	19,948	47.909	NSDQ	48.09	940	24,865
NSDQ	47.83	800	20,748	47.906	UBSS	48.10	9	24,874
UBSS	47.82	40	20,788	47.906	NSDQ	48.10	571	25,445
NSDQ	47.82	520	21,308	47.904	NSDQ	48.11	482	25,927

Predicao do preco em HF?

- Modelizacao da dinamica do livro de ordens
- Modelizacao de ``liquidez escondida''
- Calculo da probabilidade condicional de movimento do do preco dadas as quantidades no bid e no ask (Avellaneda, Stoikov, Reed, 2010)

Bid	Q(bid)=x	Ask	Q(ask)=y
100.01	527	100.03	31

Exemplo de formula simples que estamos testando com dados HF

$$P(\uparrow) = \frac{H + x}{2H + (x + y)}$$

$H =$ ``liquidez escondida''

Trading algoritmico e o “flash crash”?

5 de Maio 2010



A razão do “crash das 2:15” é ainda desconhecida mas é atribuída ao recuamento dos provedores de liquidez eletrônicos em reação a queda inicial de preços.

Conclusões

- O trading algorítmico é um fenómeno que permite aumentar consideravelmente o volume de negócios no mercado. Mais de 50% do volume em renda-variável nos USA consiste em trading algorítmico.
- O tratamento algorítmico de ordens bloco representa uma alternativa importante que permite executar ordens com disciplina e sistematicamente
- A ideia principal é o parcelamento de ordens de acordo com a liquidez do mercado em diferentes pontos do pregão, acompanhando o volume (em geral)
- Trading algorítmico é fundamental para implementação de estratégias quantitativas, baseadas em regras, preço, volume, livro de ordens
- Com o trading algo alta-frequência, surgem provedores de liquidez autónomos
- Diferentes questões regulatórias estão sendo estudadas nos USA, em particular com o surgimento de provedores de liquidez eletrónicos que representam um volume considerável, mais a tecnologia já está implementada