

Sistemas Dinâmicos Não-Lineares, Atratores em Espaço de Fase e a Mecânica Adversarial de Liquidez em Mercados Financeiros

Autor: Mikael Bradford S. R. Sepaul

ORCID: [0009-0005-9817-2488](https://orcid.org/0009-0005-9817-2488)

Afiliação: Sepaul Research & SunriseMGR Quantitative Research & Behavioral Governance

Contato: mikael@sepaulresearch.com | **Website:** sepaulresearch.com

Data: Setembro de 2026

Classificação JEL / AMS: C58, C61, D81, G41, 37D45

Resumo (Abstract)

Este artigo introduz uma formulação quantitativa original que conecta a teoria dos sistemas dinâmicos caóticos, o espaço de fase reconstruído de séries temporais financeiras e a microestrutura de mercado adversarial. Demonstra-se matematicamente que a linha *Tenkan-sen* (T_t) do sistema Ichimoku Kinko Hyo atua como um atrator determinístico estrutural de equilíbrio dinâmico de curto prazo. Em contraste com abordagens clássicas que tratam indicadores técnicos como meros filtros de tendência, este trabalho modela a *Tenkan-sen* como o vórtice de um sistema dissipativo não-linear, cuja força gravitacional é retroalimentada pela ineficiência e viés comportamental do fluxo de varejo (efeito disposição, aversão à perda assimétrica e caça tardia de rompimentos).

Apresenta-se a dedução da métrica de deformação elástica (Δ_t), a confluência estrutural pela fita de médias móveis ponderadas (WMA_{14} , WMA_{35} , WMA_{137}), a parametrização de regimes via Expoente de Hurst (H_{50}) e a formulação fechada do **Índice de Autodestruição Varejista** (Ω_t). Por fim, propõe-se um framework de governança comportamental onde a modelagem atua como um “freio de mão cognitivo” contra o *overtrading* e o *tilt*, resguardando a integridade do capital do operador.

Palavras-chave: Sistemas Dinâmicos, Atratores Estruturais, Espaço de Fase, *Tenkan-sen*, Expoente de Hurst, Toxicidade de Fluxo, Finanças Comportamentais, Índice de Autodestruição.

1. Introdução e Epistemologia da Não-Linearidade

A Hipótese do Mercado Eficiente (HME) e os modelos brownianos clássicos pressupõem que as variações de preços em ativos líquidos comportam-se como passeios aleatórios com distribuição

gaussiana de retornos. No entanto, dados empíricos de alta e média frequência revelam caudas pesadas (curtose excessiva), agrupamento de volatilidade (*volatility clustering*) e regimes de dependência temporal de longo alcance.

Mercados financeiros são, na realidade, **sistemas dinâmicos complexos, adaptativos e não-lineares**, caracterizados pela interação entre agentes heterogêneos dotados de horizontes temporais discrepantes e vieses psicológicos sistemáticos.

Sob essa ótica, os preços não oscilam no vácuo: eles orbitam em torno de centros gravitacionais instantâneos de liquidez. O fluxo de ordens do varejo — caracterizado por entradas tardias por FOMO (*Fear Of Missing Out*) e colocação inadequada de ordens de proteção (*Stop Loss*) — atua como a biomassa entrópica que alimenta os atratores institucionais de liquidez.

2. Reconstrução do Espaço de Fase

Seja P_t a série temporal de preços de fechamento de um ativo financeiro em uma escala de discretização homogênea. Pelo Teorema de Imersão de Takens, o espaço de fase subjacente de um atrator multidimensional pode ser reconstruído a partir de atrasos temporais e derivadas cinemáticas.

Definimos o **Vetor de Estado no Espaço de Fase** X_t como:

$$X_t = \begin{bmatrix} P_t \\ T_t \\ K_t \\ \sigma_t \\ \gamma_t \end{bmatrix}$$

Onde: - P_t : Preço de fechamento no timestamp t ; - T_t : Valor da *Tenkan-sen* (média extremal dos últimos 9 períodos):

$$T_t = \frac{\max_{i=0}^8 (H_{t-i}) + \min_{i=0}^8 (L_{t-i})}{2}$$

- K_t : Valor da *Kijun-sen* (média extremal dos últimos 26 períodos):

$$K_t = \frac{\max_{i=0}^{25} (H_{t-i}) + \min_{i=0}^{25} (L_{t-i})}{2}$$

- σ_t : Volatilidade realizada local calculada sobre uma janela rolante de 9 períodos (estimada via *True Range* normalizado):

$$\sigma_t = \text{ATR}_{14}(t)$$

- γ_t : Derivada cinemática da velocidade instantânea do preço:

$$\gamma_t = \frac{\partial P}{\partial t} \approx \frac{P_t - P_{t-1}}{\Delta t}$$

3. A Tenkan-sen como Atrator Determinístico e o Expoente de Hurst

Diferente de médias móveis exponenciais (EMA) ou aritméticas (SMA), a Tenkan-sen é construída com base no ponto médio entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo do ciclo curto ($N = 9$). Geometricamente, T_t representa a mediana do canal extremal de curto prazo, correspondendo ao **preço de consenso termodinâmico** do ciclo vigente.

3.1 Métrica de Deformação Elástica (Δ_t)

A distância adimensional normalizada no espaço de fase entre o vetor de preços e o atrator é formulada como:

$$\Delta_t = \frac{|P_t - T_t|}{\sigma_t}$$

Onde: - Se $\Delta_t \leq 1.0$: O sistema está em regime de coerência orbital; o preço oscila dentro do envelope de equilíbrio estocástico. - Se $1.0 < \Delta_t < 2.5$: O sistema exibe tensão elástica progressiva. - Se $\Delta_t \geq 2.5$: O sistema atinge **estiramento supercrítico**. A probabilidade estatística de reversão à média (*mean reversion*) em direção ao vórtice T_t cresce assintoticamente, a menos que ocorra uma bifurcação estrutural.

3.2 O Expoente de Hurst (H) como Discriminador de Bifurcações

Para determinar se o afastamento $\Delta_t \geq 2.5$ culminará em um colapso em direção ao atrator (reversão) ou em uma fuga hiperbólica (rompimento sustentado), calcula-se o Expoente de Hurst (H) sobre uma janela de $N = 50$ observações via Análise de Variância Reescalada (R/S):

$$E \left[\frac{R(n)}{S(n)} \right] \propto n^H \quad \text{quando } n \rightarrow \infty$$

A dinâmica classifica-se rigorosamente em três estados discretos:

FIGURA 1: DIAGRAMA DE TRANSIÇÃO DE FASE & ESTADOS DO ATRATOR TENKAN-SEN (T_t)**1. Estado α (Atrator Determinístico Ativo / Reversão Elástica):**

- Condições: $H_t < 0.43$, $\Delta_t \geq 2.5$, $|\gamma_t| \rightarrow 0$.
- Diagnóstico: O atrator T_t exerce gravidade máxima. Ordens abertas a favor do estiramento possuem risco de ruína crítica.

2. Estado β (Órbita Caótica / Confinamento Estocástico):

- Condições: $H_t \in [0.43, 0.55]$, $|T_t - K_t| < 0.5\sigma_t$.
- Diagnóstico: Regime browniano/ruído. A Tenkan-sen é o centro barimétrico; proíbe-se caçar rompimentos direcionais.

3. Estado γ (Fuga do Atrator / Bifurcação Estrutural):

- Condições: $H_t > 0.57$, $\frac{d\Delta}{dt} > 0$.
- Diagnóstico: Transição de fase. O atrator é invalidado como alvo e converte-se em barreira de arraste dinâmico (*trailing boundary*).

4. A Fita Estrutural de Inércia: WMA 14, WMA 35 e WMA 137

Para complementar a leitura dinâmica do atrator T_t , introduz-se a **Fita Ponderada de Inércia Institucional** baseada em Médias Móveis Ponderadas Linearmente (*Weighted Moving Averages* — WMA). A escolha de pesos lineares decrescentes garante que candles recentes possuam primazia matemática sem o atraso exponencial excessivo:

$$\text{WMA}_k(t) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (k-i) \cdot P_{t-i}}{\frac{k(k+1)}{2}}$$

A tríade de períodos foi calibrada por Sepaul com base nas frequências harmônicas de microestrutura:

- WMA₁₄ (**Inércia Tática**): Vetor de pressão imediata do fluxo agressor;
- WMA₃₅ (**Fronteira Estrutural de Pullback**): Zona média de recuo e sustentação de liquidez;
- WMA₁₃₇ (**Âncora Institucional Macro**): Barreira macroscópica de regime tendencial.

Coerência de Leque (*Ribbon Confluence Index* — $\mathcal{C}_{wma}$)

O alinhamento harmônico é avaliado por:

$$\mathcal{C}_{wma} = \text{sgn}(P_t - \text{WMA}_{14}) + \text{sgn}(\text{WMA}_{14} - \text{WMA}_{35}) + \text{sgn}(\text{WMA}_{35} - \text{WMA}_{137})$$

- $\mathcal{C}_{wma} = +3$: Leque de Alta Plena (*Bullish Ribbon Expansion*);
- $\mathcal{C}_{wma} = -3$: Leque de Baixa Plena (*Bearish Ribbon Expansion*);
- $|\mathcal{C}_{wma}| < 3$: Compressão estrutural; proibição estrita de apostas direcionais alavancadas.

5. Modelagem Adversarial e o Índice de Autodestruição (Ω_t)

O pilar central da tese de Sepaul reside na premissa de que **o varejo financeiro alimenta o atrator com capital ineficiente**.

O operador amador sofre de duas distorções cognitivas fundamentais: 1. **Efeito Disposição**: Mantém posições perdedoras na esperança vã de retorno, mas encerra operações vencedoras precocemente com lucros residuais. 2. **Aversão à Perda Assimétrica**: Posiciona *Stop Loss* muito amplo ou ausente, ao mesmo tempo em que define alvos de *Take Profit* irrealistas ou desproporcionais ao ruído estocástico do ativo.

Se mapearmos a ordem executada pelo trader como um vetor $R_i = [\text{Dir}, P_{\text{entry}}, SL, TP, \text{Lots}]$, deduz-se o **Índice de Autodestruição Varejista** (Ω_t):

$$\Omega_t = \left(\frac{|P_{\text{entry}} - T_t|}{\sigma_t} \right) \times \left(\frac{|P_{\text{entry}} - SL|}{|P_{\text{entry}} - TP|} \right) \times \Psi_{\text{imbalance}}$$

Onde $\Psi_{\text{imbalance}}$ expressa o fator de concordância com o viés tóxico do rebanho: - Se o trader compra quando o varejo está massivamente comprado no topo de um ciclo com $\Delta_t \geq 2.5$: $\Psi \geq 1.5$; - Caso contrário, $\Psi = 1.0$.

Escala Forense do Índice Ω_t :

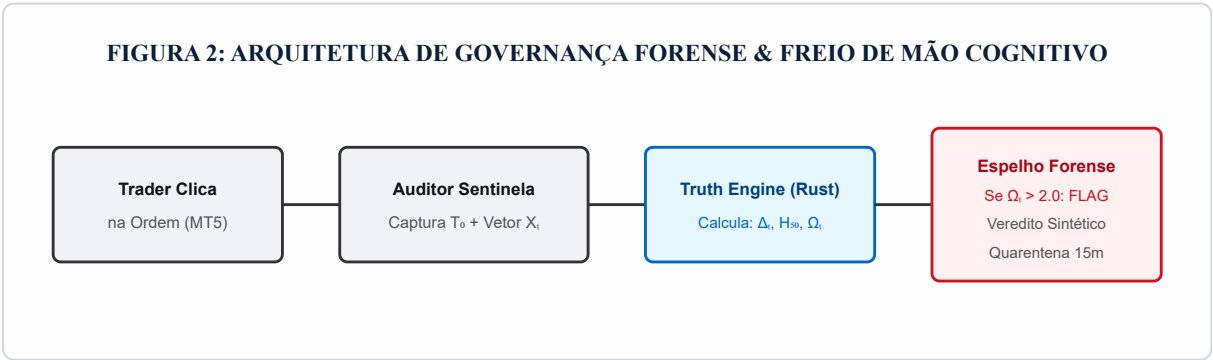
Faixa de Ω_t	Classificação de Risco	Fenomenologia Comportamental	Veredito Institucional
$\Omega_t \leq 1.0$	Execução Disciplinada	Operação próxima do equilíbrio (T_t , WMAs), $RR \geq 1 : 1.5$	Conformidade Operacional Plena
$1.0 < \Omega_t \leq 2.0$	Risco Moderado	Entrada ligeiramente esticada ou Stop Loss subdimensionado	Alerta Amarelo de Atenção
$\Omega_t > 2.0$	Autodestrutivo (Tilt/FOMO)	Entrada no clímax do movimento, Stop longo e Alvo curto	FLAG: RETAIL_LIQUIDITY_TRAP

6. Governança Anti-Tilt: O Sistema como Espelho e “Freio de Mão”

Um dos maiores desafios da engenharia de risco aplicada a humanos é que **fornecer sinais preditivos estimula a euforia e acelera o ciclo de falência do operador.**

Se o software emitir alertas do tipo “*Oportunidade Alpha detectada: COMPRE*”, o operador transfere a responsabilidade ética para a máquina, passa a operar alavancado em regime de compulsão e entra em *overtrading*.

Por esta razão, o modelo de Sepaul estabelece a **Doutrina da Não-Prescrição**:



1. **Avaliação Pós-Fato Imediata:** O sistema jamais antecede o trader com “dicas”; ele audita a coerência da decisão no exato instante de sua manifestação.

2. **Desmistificação de Lucros Tóxicos:** Se um trade com $\Omega_t > 2.0$ atingir o Take Profit por mera flutuação aleatória, o relatório pós-trade registra explicitamente: > “*Resultado positivo espúrio. A geometria da entrada violou a mecânica estatística do atrator. A repetição deste padrão conduz à ruína assintótica.*”
 3. **Quarentena Cognitiva:** Após o fechamento de qualquer ordem, impõe-se um período de resfriamento para desativação dos circuitos dopaminérgicos do operador.
-

7. Conclusão

A unificação entre a teoria do caos determinístico (atrator Tenkan-sen, expoente de Hurst), a cinemática de médias ponderadas ($WMA_{14/35/137}$) e a microestrutura comportamental de mercado permitiu criar uma métrica analítica unificada e hermética — o Índice Ω_t .

Ao ser implementado como uma caixa-preta computacional imutável dentro de um motor de alto desempenho em Rust, o modelo de Mikael Bradford Sepaul protege a propriedade intelectual do autor contra apropriação indevida e cumpre sua missão suprema: transformar a psicologia destrutiva do operador em autogovernança matemática inabalável.

Referências Bibliográficas

1. **Sepaul, M. B.** (2026). *Non-Linear Behavioral Risk Engines: System Architecture and Real-Time Telemetry*. Sepaul Research Technical Report Series, TR-2026-01. Disponível em: <https://sepaulresearch.com/reports/TR-2026-01>.
2. **Mandelbrot, B. B.** (1997). *Fractals and Scaling in Finance: Discontinuity, Concentration, Risk*. Springer Science & Business Media.
3. **Peters, E. E.** (1994). *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*. John Wiley & Sons.
4. **Takens, F.** (1981). *Detecting strange attractors in turbulence*. In *Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 898, pp. 366–381. Springer.
5. **Kahneman, D., & Tversky, A.** (1979). *Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk*. *Econometrica*, 47(2), 263–291.
6. **Shefrin, H., & Statman, M.** (1985). *The disposition to sell winners too early and ride losers too long: Theory and evidence*. *The Journal of Finance*, 40(3), 777–790.
7. **Hosoda, G.** (1969). *Ichimoku Kinko Hyo*. Tokyo: Economic Mind Publishing.