

Buracos Negros e Bitcoin: Analogias interdisciplinares entre Física Relativística, Mecânica Quântica e Economia Digital

Resumo

Este documento apresenta uma análise comparativa empírica entre os conceitos de Buracos Negros, como fenómenos cosmológicos descritos pelas contribuições fundamentais de Isaac Newton, Albert Einstein e Stephen Hawking, e o Bitcoin, enquanto inovação financeira e tecnológica conceptualizada por Satoshi Nakamoto e vigorosamente defendida por Michael Saylor.

Os objetivos principais deste trabalho são: demonstrar, ainda que empiricamente, como a matemática explica entidades intangíveis, tais como buracos negros inferidos por efeitos gravitacionais e Bitcoin validado por consensos distribuídos; mapear a dilatação temporal relativística à baixa preferência temporal económica promovida pelo Bitcoin; analisar a fusão dos princípios e ideias da relatividade e mecânica quânticas com a disrupção financeira provocada pelo Bitcoin, com o destaque das distorções espaciais e temporais; explorar a absorção de energia cósmica pelos Buracos Negros, em paralelo com a aglutinação de ativos financeiros provocada pelo Bitcoin; identificar provas indiretas de existência para ambos; e alinhar os conceitos de horizonte de eventos com a mentalidade maximalista de detentores de bitcoin.

Baseado numa investigação empírica incluindo a recente deteção de ondas gravitacionais GW250114, que confirmou a lei da área de Hawking e o preço histórico do Bitcoin, que atingiu um máximo em outubro de 2025, este documento não é mera especulação metafórica, mas um princípio de investigação que integra dados quantitativos, fórmulas e implicações filosóficas numa perspetiva educativa, visando fornecer uma ferramenta pedagógica para o leitor, ilustrando como conceitos abstratos da física podem iluminar inovações económicas, fomentando o pensamento crítico interdisciplinar.

Introdução

A história da ciência é marcada por revoluções paradigmáticas que unificam domínios aparentemente desconexos. Isaac Newton, na sua obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687), estabeleceu os fundamentos da mecânica clássica ao postular a gravidade como uma força universal que atrai massas e quantificada pela lei

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

onde G representa a constante gravitacional, m_1 e m_2 as massas envolvidas, e r a distância entre elas.

Esta formulação unificou os movimentos terrestres (como a queda de uma maçã) com os celestes (como as órbitas planetárias), fornecendo uma base determinística para a física

moderna e influenciando campos tão diversos como a astronomia e a engenharia.

Albert Einstein, inspirado mas transcendente a Newton, introduziu em 1915 a Teoria da Relatividade Geral, reinterpretando a gravidade não como uma força instantânea, mas como uma curvatura geométrica do espaço-tempo induzida pela presença de massa e energia.

As equações de campo de Einstein,

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

onde

$G_{\mu\nu}$ é o tensor de Einstein (derivando do tensor de Ricci) e do escalar de Ricci,

Λ a constante cosmológica,

$g_{\mu\nu}$ o tensor métrico que descreve a geometria do espaço-tempo, e

$T_{\mu\nu}$ o tensor de tensão-energia,

previram fenômenos como as lentes gravitacionais e a expansão do universo. Estas equações também anteciparam os buracos negros, regiões onde a curvatura é tão extrema que formam singularidades, desafiando a nossa compreensão da realidade física.

Stephen Hawking, construindo sobre o legado de Einstein, integrou a mecânica quântica à relatividade em trabalhos como o seu artigo de 1974 sobre "Black Hole Explosions?", prevendo a radiação de Hawking — um processo quântico onde pares de partículas virtuais perto do horizonte de eventos resultam em evaporação térmica do buraco negro, com temperatura dada por

$$T_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi G k_B M}$$

Sendo

$\hbar$ a constante de Planck reduzida,

c a velocidade da luz,

M a massa do buraco negro, e

k_B a constante de Boltzmann.

Esta fusão resolveu paradoxos como a perda de informação quântica e ligou a termodinâmica clássica à gravidade quântica, influenciando debates atuais sobre unificação teórica. Os avanços recentes, como a detecção de ondas gravitacionais GW250114 a 14 de janeiro de

2025 pelo consórcio LIGO-Virgo-KAGRA, confirmaram a lei da área de Hawking (que postula que a área do horizonte de eventos nunca diminui), validando previsões de Einstein e Hawking com uma precisão sem precedentes e ilustrando o "ringdown" da fusão de buracos negros, onde frequências de oscilação ressoam como um sino cósmico.

No âmbito económico e tecnológico, Satoshi Nakamoto — pseudónimo de um indivíduo ou do grupo anónimo — revolucionou o conceito de dinheiro com o whitepaper "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" (2008), propondo um sistema de transações eletrónicas descentralizadas baseado em criptografia e consenso distribuído, livre de intermediários centrais como bancos.

O mecanismo de prova-de-trabalho (PoW), originalmente inspirado em propostas como o Hashcash de Adam Back (1997), constitui a espinha dorsal do Bitcoin ao resolver de forma elegante o clássico problema da tolerância a falhas bizantinas em sistemas distribuídos — ou seja, garante consenso num ambiente onde participantes podem ser maliciosos ou falhar, sem depender de uma autoridade central. Satoshi Nakamoto integrou este conceito no protocolo Bitcoin (2008), transformando energia computacional em segurança criptográfica: os mineradores competem para resolver puzzles matemáticos intensivos (baseados em SHA-256), validando transações e adicionando blocos à cadeia, com a dificuldade ajustada dinamicamente a cada 2016 blocos (~2 semanas) para manter um intervalo médio de 10 minutos.

Michael Saylor, CEO da MicroStrategy e um dos mais influentes maximalistas, define Bitcoin como "energia monetária" — um ativo digital que converte eletricidade em valor imutável e escasso, limitado a exatamente 21 milhões de unidades por design algorítmico. Esta escassez programada, reforçada pelos halvings que ocorrem a cada 210.000 blocos (aproximadamente 4 anos), resiste à depreciação inflacionária típica das moedas fiduciárias, promovendo uma baixa preferência temporal — conceito central na Escola Austríaca de Economia.

Veiculado por Ludwig von Mises, este princípio postula que indivíduos com baixa preferência temporal priorizam bens futuros sobre os presentes, favorecendo poupança, acumulação

de capital e investimento de longo prazo em detrimento do consumo imediato.

Superficialmente, buracos negros e Bitcoin parecem entidades distintas e não relacionadas: um é um artefacto cósmico invisível, absorvendo matéria e luz; o outro, uma construção digital intangível, absorvendo capital e atenção.

Contudo, uma análise comparativa revela semelhanças profundas, ancoradas na matemática como ferramenta explicativa, na distorção do tempo e do espaço e na atração inexorável de recursos. Esta analogia não é arbitrária.

Analogias

1- Matemática como elemento principal

A matemática constitui o cerne explicativo de ambos os fenómenos, transformando abstrações em previsões verificáveis. Newton utilizou o cálculo diferencial e integral — co-inventado por ele — para derivar leis gravitacionais, permitindo cálculos precisos de trajetórias orbitais e forças, como por exemplo a previsão da precessão de Mercúrio (mais tarde refinada por Einstein). Nas equações de campo de Einstein, a matemática tensorial revela a curvatura do espaço-tempo, com soluções como a métrica de Schwarzschild para buracos negros não rotativos, expressa pela linha de mundo, que quantifica como o tempo e o espaço se distorcem perto de massas concentradas.

Hawking estendeu esta framework à mecânica quântica, calculando a entropia de buracos negros, ligando termodinâmica à gravidade e resolvendo o paradoxo da informação através de correlações quânticas.

De modo análogo, o Bitcoin é fundamentado em matemática criptográfica e probabilística. Nakamoto empregou funções hash como SHA-256 para criar blocos imutáveis, com a dificuldade de mineração ajustada dinamicamente, garantindo um tempo médio de bloco de 10 minutos. A segurança contra ataques é modelada por distribuições de Poisson, ilustrando como a matemática assegura consenso em redes descentralizadas.

2- Dilatação do tempo, baixa preferência temporal e volatilidade

Einstein demonstrou que o tempo não é absoluto, como Newton assumia, mas relativo à gravidade e velocidade, com dilatação gravitacional, onde o tempo próprio "reduz" perto de massas intensas. Hawking explorou isto em contextos quânticos, notando que para observadores distantes, o tempo parece congelar no horizonte de eventos dos Buracos Negros, enquanto para "infallers" [aquele que cai no buraco negro], passa normalmente.

Esta distorção temporal assemelha-se à baixa preferência temporal no Bitcoin: Nakamoto projetou halvings a cada 210.000 blocos (aproximadamente quatro anos), reduzindo a recompensa de mineração pela metade, dilatando o valor futuro através de escassez crescente. Saylor argumenta que o Bitcoin incentiva a poupança de longo prazo, contrastando com moedas fiat inflacionárias que promovem consumo imediato. Os retornos do Bitcoin dilatam-se ao longo do tempo, ilustrando como o "presente" se comprime perante um futuro expandido.

Outra analogia aparente com o Bitcoin é que, durante a vida do universo, a maior quantidade de "flaring" [eventos repentinos e intensos de aumento de brilho ou emissão de radiação] atingiu o pico durante os primeiros vários mil milhões de anos, e as fases ativas têm diminuído substancialmente em frequência desde então.

Da mesma forma, a intensidade e frequência do comportamento de bolhas do Bitcoin e extrema volatilidade têm diminuído com o tempo.

3- Teoria da Relatividade e Mecânica Quântica: distorção do espaço-tempo

Einstein unificou espaço e tempo num *continuum quadridimensional* distorcido pelo tensor de tensão-energia, levando a singularidades em buracos negros onde leis clássicas falham. Hawking integrou quântica, prevendo evaporação via pares virtuais, resolvendo o paradoxo da perda de informação através de correlações de entrelaçamento.

A deteção de ondas gravitacionais de fusões de buracos negros representam um marco na astrofísica. Todas as deteções correspondem a fusões de buracos negros, detetadas pela

emissão de radiação gravitacional no momento final da fusão. O Prémio Nobel da Física de 2017 foi atribuído ao Professor Rainer que desempenhou um papel fundamental na conceção e desenvolvimento do observatório LIGO de ondas gravitacionais, que detetou pela primeira vez ondas gravitacionais de fusões de buracos negros há 10 anos.

Os primeiros esforços para detetar ondas gravitacionais ocorreram nos anos 1960 com grandes barras de alumínio mantidas perto do zero absoluto, mas eram inadequados à tarefa e sujeitos a muito ruído e interferência vibratória do ambiente. Nos anos 1970, Weiss propôs o uso de um interferómetro laser com linhas de feixe estendidas de vários quilómetros de comprimento. O observatório LIGO tem dois locais, na Louisiana e no Estado de Washington, cada um com linhas de feixe ortogonais de 4 quilómetros. Uma onda gravitacional passante altera a distância ao longo dos braços por uma quantidade minúscula, muito menor que o tamanho de um protão e diferente para cada braço dependendo do ângulo de incidência da onda de compressão (e expansão). O sistema de espelhos deve refletir os feixes de ida e volta centenas de vezes para detetar a pequena diferença no comprimento entre os dois braços. A primeira deteção ocorreu a 14 de setembro de 2015, exatamente 100 anos após Einstein ter desenvolvido a relatividade geral, que previra a existência de radiação gravitacional propagando-se à velocidade da luz.

Por sua vez, o Bitcoin distorce o espaço-tempo financeiro. Tal como as ondas gravitacionais, se propagam pelo vazio à velocidade da luz, deformando distâncias e dilatando instantes, também o Bitcoin, ao romper o monopólio da emissão monetária centralizada, emite ondas disruptivas que reconfiguram o *continuum* financeiro global.

Nakamoto não inventou dinheiro; revelou uma nova geometria do valor — um ledger distribuído, imutável, onde o tempo não é medido por decretos estatais, mas por blocos forjados em prova-de-trabalho, cada um uma assinatura termodinâmica irreversível. Saylor, com a visão de um profeta da termodinâmica económica, descreve esta disrupção como um vórtice entrópico: o Bitcoin não apenas absorve ineficiências do sistema fiat — inflação, manipulação, erosão silenciosa do poder de compra —, mas reorganiza a própria estrutura do sistema financeiro.

A volatilidade, que os economistas clássicos veem como ruído browniano, assemelha-se, em escala quântica, às flutuações do vácuo de Hawking: perturbações locais, aparentemente caóticas, que, no horizonte de longo prazo, revelam uma ordem profunda, uma lei de potência que resiste ao colapso.

Aqui reside a filosofia da curvatura financeira, assim como a relatividade geral nos ensina que o espaço-tempo não é um palco inerte, mas um campo dinâmico moldado pela presença de massa-energia, o Bitcoin demonstra que o valor não é um dado absoluto, mas uma geometria relacional, curvada pela confiança distribuída, pela escassez algorítmica e pela resistência à entropia inflacionária.

4- Absorção de energia pelos Buracos Negros e a precificação em Bitcoin

Os buracos negros supermassivos (SMBHs), com massas que vão de um milhão a milhares de milhões de massas solares, evoluíram, segundo as teorias, a partir de sementes de buracos negros de massa intermédia (cerca de 10 a 100 massas solares) no universo primordial. Nos primeiros mil milhões de anos do universo, as regiões mais densas seriam os centros de galáxias em formação, contendo estrelas de massa muito elevada e de vida curta. Estas estrelas evoluíram para buracos negros intermédios, e múltiplos poderiam fundir-se para formar buracos negros maiores na extremidade superior da gama de massa intermédia, estendendo-se a muitos milhares de massas solares. Estes buracos negros intermédios grandes e precoces estariam provavelmente rodeados por grandes quantidades de gás, que poderiam acumular levando a um crescimento rápido até ao domínio dos buracos negros supermassivos.

Encontram-se provados indiretamente: Newton por efeitos orbitais; Einstein por lentes gravitacionais; Hawking por radiação inferida. A deteção GW250114 em 2025 confirmou o ringdown sem visão direta. Hawking descreveu o horizonte de eventos como um ponto sem retorno, onde a informação “desaparece” para observadores externos. Telescópios como o Event Horizon Telescope “fotografaram” as sombras de buracos negros.

Michael Saylor profetiza a monetização total, que Satoshi Nakamoto incentivou via Proof of Work (PoW). O Bitcoin, com suprimento finito, absorve capital fiat, convertendo-o em satoshis (sats), onde os halvings aceleram a aglutinação. Um buraco negro atrai matéria com uma gravidade imensa, tal como o Bitcoin tende a atrair capital, atenção e energia tecnológica dos sistemas circundantes.

O horizonte de eventos é como uma barreira psicológica: uma vez que ao “cruzar-se” para a adoção do Bitcoin, não há regresso possível ao sistema fiat. O Bitcoin existe por provas matemáticas: o PoW de Nakamoto valida transações e Saylor destaca a intangibilidade como “energia pura detetada” através das carteiras, mas invisível fisicamente — no fundo, um ceticismo saudável, onde block explorers “visualizam” transações Bitcoin em algo semelhante ao Event Horizon Telescope que capturou sombras de buracos negros.

Conclusão

Afinal, o que une Einstein, Hawking e Nakamoto não é apenas uma metáfora bonita — é uma estrutura comum de atração, transformação e irreversibilidade. Assim como a massa curva o espaço-tempo até ao ponto de não retorno, o Bitcoin curva o comportamento humano em torno do valor, convertendo eletricidade em confiança e tempo em escassez.

Os halvings não são meros eventos técnicos — são oscilações quasinormais de um sistema que, à semelhança do ringdown gravitacional, emite um sinal decrescente de emissão monetária, anunciando a estabilização de uma nova métrica

do valor. A prova-de-trabalho, por seu turno, funciona como o tensor de tensão-energia da rede: quanto maior a densidade de hashrate, mais pronunciada a curvatura que afasta órbitas fiduciárias do centro de massa Bitcoin.

Se a deteção de GW250114 confirmou que o universo obedece a leis onde a entropia do horizonte nunca diminui, será o Bitcoin o primeiro sistema humano a institucionalizar essa mesma lei — um buraco negro financeiro cuja área de adoção só pode aumentar, e cuja singularidade redefine, de forma irreversível, o próprio tecido do tempo económico?

Emergem, assim, as seguintes questões que desafiam as fronteiras entre física, economia e filosofia:

- Será o Bitcoin um horizonte (de eventos) ideológico, que quando adotado, não há volta ao sistema fiat?
- Será o Bitcoin uma singularidade financeira, isto é um ponto onde as leis antigas se fragmentam e uma nova métrica do tempo e do valor começa a reger o cosmos humano?
- Poderá o Proof of Work ser visto como a radiação Hawking do Bitcoin — uma emissão de energia que, paradoxalmente, reforça o horizonte em vez de o dissipar?
- Será o intervalo de 10 minutos entre blocos um exemplo prático da dilatação temporal de Einstein no domínio financeiro?