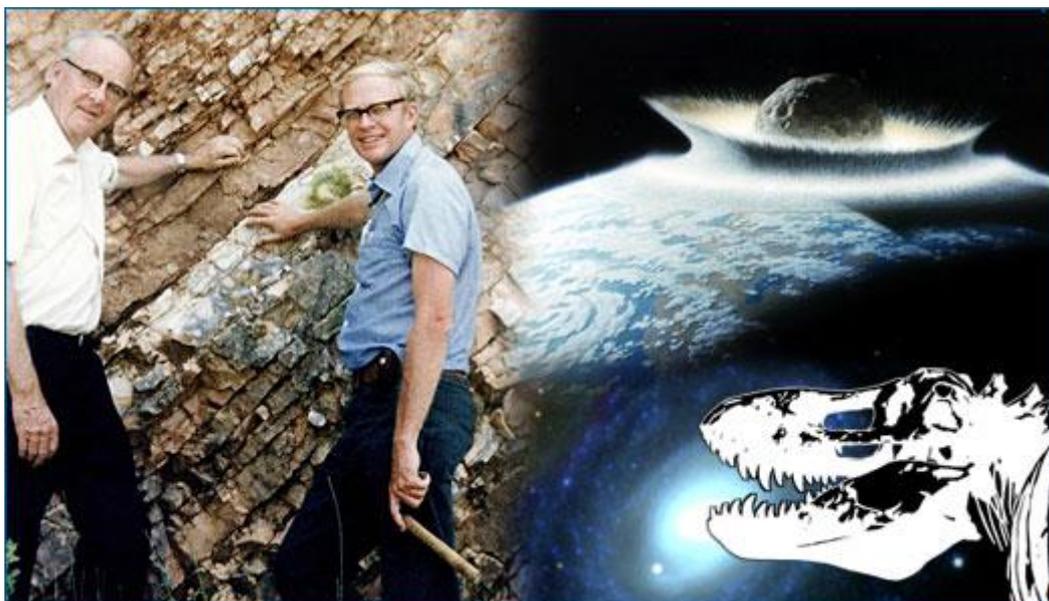


# Asteroides e dinossauros: Reviravoltas inesperadas e uma história inacabada

A tectónica de placas pode parecer um assunto de rotina lido num livro de texto do 7º ano, mas na década de 1970 a tectónica de placas era [ciência](#) de ponta. A [teoria](#) só tinha ganho [aceitação](#) generalizada ao longo da década anterior a isso, e, posteriormente, atraiu imensos cientistas que procuravam abrir novas fronteiras intelectuais. Walter Alvarez era um deles, mas a sua investigação sobre a tectónica de placas estava destinada a ser posta de parte. Uma [observação](#) intrigante acabaria por o levar, bem como os seus colaboradores e o resto da ciência, a encetar uma viagem intelectual em geologia, química, paleontologia e ciência atmosférica — no sentido de resolver um dos grandes mistérios da história da Terra: O que é que aconteceu aos dinossauros?



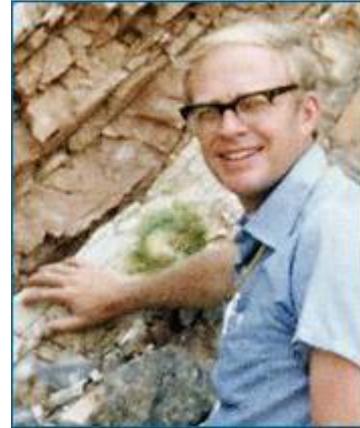
À esquerda, Luis e Walter Alvarez em pé ao lado das camadas de rocha perto de Gubbio, na Itália, onde traços de irídio anormalmente elevados foram encontrados no limite Cretáceo-Terciário (K-T). Era isto evidência de uma supernova antiga ou de um antigo impacto de um asteroide? E o que é que, se de todo, isso tinha a ver com a extinção dos dinossauros?

Este estudo de caso destaca estes aspetos da natureza da ciência:

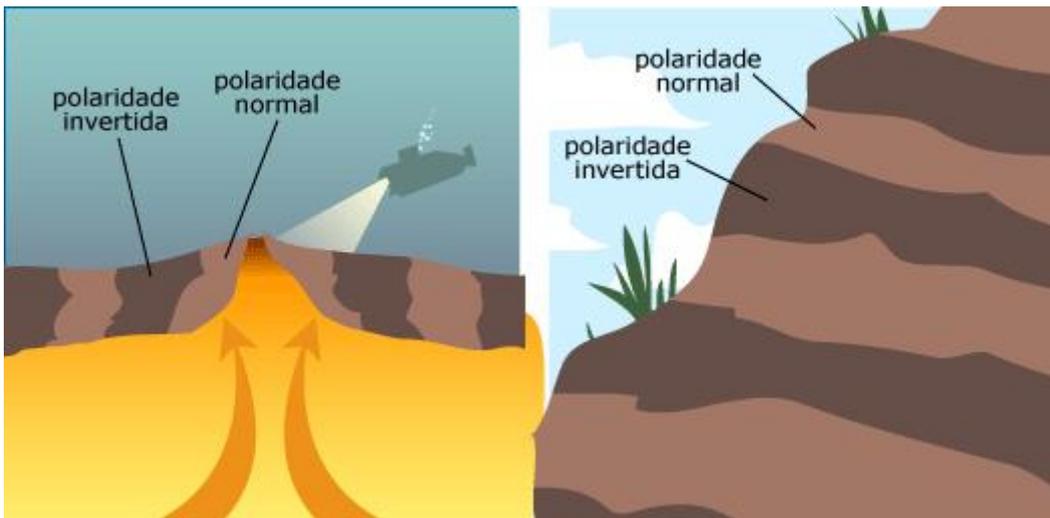
- A ciência pode [testar hipóteses](#) sobre eventos que aconteceram há muito tempo.
- As ideias científicas são testadas com múltiplas [linhas de evidência](#).
- A ciência baseia-se na comunicação no seio de uma comunidade científica diversificada.
- O processo da ciência é não-linear, imprevisível e contínuo.
- A ciência muitas vezes investiga problemas que exigem a colaboração de pessoas de muitas disciplinas diferentes.

# Da tectónica de placas à paleontologia

Uma das peças-chave de [evidência](#) a apoiar a [teoria](#) da tectónica de placas foi a descoberta que as rochas no fundo do mar registam reversões antigas do campo magnético da Terra: à medida que rochas são formadas onde as placas se estão a afastar umas das outras, elas registam a direção atual do campo magnético da Terra, que se inverte de forma irregular durante longos períodos de tempo. Nestas "inversões", a polaridade do campo magnético muda, de modo que a agulha da bússola pode apontar para o sul durante 200 mil anos para, de seguida, apontar para o norte durante os 600 mil anos seguintes. Walter Alvarez, um geólogo americano, e os seus colaboradores, foram à procura de verificação independente do calendário destas inversões magnéticas nas rochas sedimentares das montanhas dos Apeninos italianos. Há cerca de 65 milhões de anos atrás esses sedimentos encontravam-se imperturbados no fundo do oceano, e também registaram as reversões do campo magnético à medida que os sedimentos se depositaram e foram lentamente comprimidos ao longo do tempo.



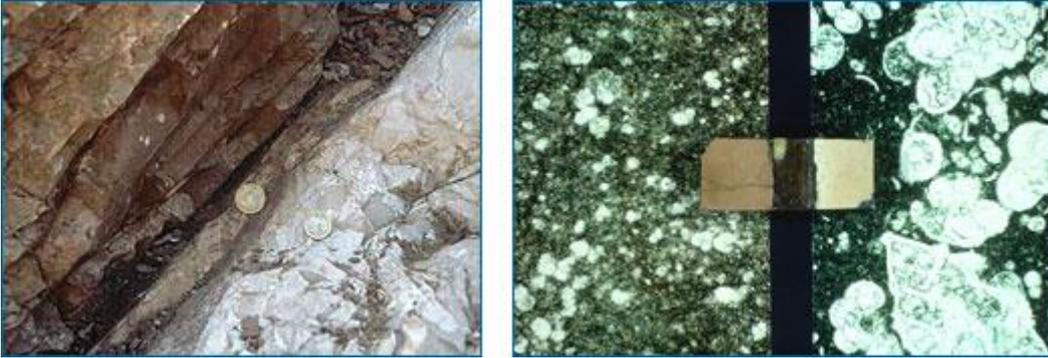
Walter Alvarez circa 1980.



À medida que se vão depositando novas camadas no fundo do mar, a rocha ígnea regista o estado atual do campo magnético da Terra. Camadas de rochas sedimentares que se formam no fundo do oceano também podem registar estas inversões magnéticas à medida que as camadas de sedimento lentamente se acumulam ao longo do tempo. Alvarez estudou as rochas sedimentares que se ergueram e que hoje se encontram nas montanhas da Itália.

À medida que Alvarez escalou os Apeninos de cima a baixo, recolhendo [amostras](#) para análise magnética, ele encontrou regularmente uma sequência distinta de camadas de rocha a marcar o limite, com 65 milhões de anos, entre os períodos Cretáceo e Terciário — a fronteira "K-T" (de *Kreidezeit*, a palavra alemã para Cretáceo). Este limite era composto por uma camada inferior de rocha sedimentar que continha uma grande variedade de fósseis marinhos, uma camada com centímetros de espessura de pedra

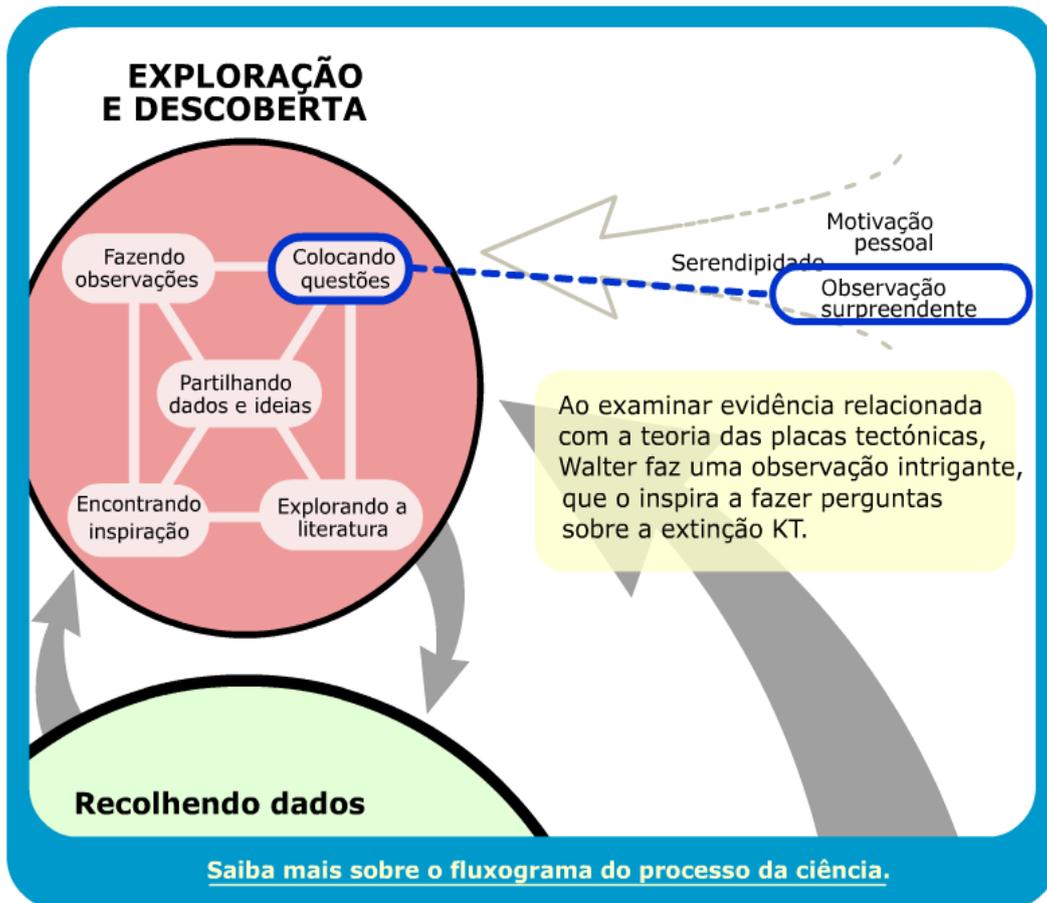
argilosa desprovida de quaisquer fósseis, e uma camada superior de rocha sedimentar que continha uma variedade muito reduzida de fósseis marinhos.



O limite do Cretáceo-Terciário, conforme registado nas rochas em Gubbio, Itália. À esquerda, as rochas do Terciário tardio parecem mais escuras — quase laranja — e as rochas do início do Cretáceo parecem mais claras quando vistas a olho nu. À direita, a ampliação revela alguns tipos diferentes de microfósseis nas camadas do Terciário, mas uma grande variedade na amostra do Cretáceo (no extremo à direita).

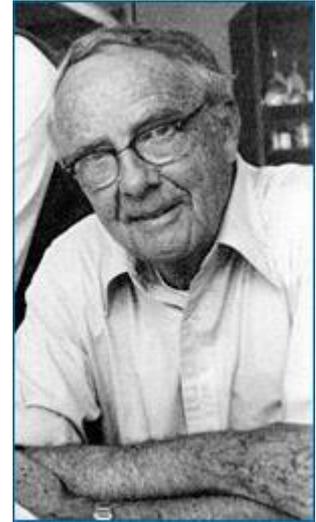
A que se deveu esta súbita redução de fósseis marinhos? O que provocou esta aparente extinção, que parecia ocorrer tão subitamente no registo fóssil, e estaria ela relacionada com a extinção simultânea dos dinossauros na terra? Alvarez estava curioso e reconheceu que responder a uma pergunta tão difícil ganharia o respeito e a atenção da comunidade científica.

**Veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:**



# Partidas falsas e uma nova pista

Na época, a maioria dos paleontólogos via a extinção dos dinossauros como um evento gradual concluído pelas extinções do fim do Cretáceo. Para Alvarez, no entanto, o limite K-T certamente parecia catastrófico e repentino — mas o momento do evento ainda era uma questão em aberto: a transição K-T (representada pela camada de argila na estratigrafia) tinha sido gradual ou repentina? Para responder a essa pergunta, ele precisava saber quanto tempo é que a camada de argila tinha levado a ser depositada — mas como é que ele poderia datar um evento que ocorreu há 65 milhões de anos? Walter Alvarez discutiu a questão com o seu pai, o físico Luis Alvarez, que sugeriu o uso de berílio-10, que é depositado a uma taxa constante em rochas sedimentares e depois decai radioactivamente. O berílio talvez pudesse ser usado como se fosse um relógio.



Luis Alvarez recebeu o Prémio Nobel da física em 1968.

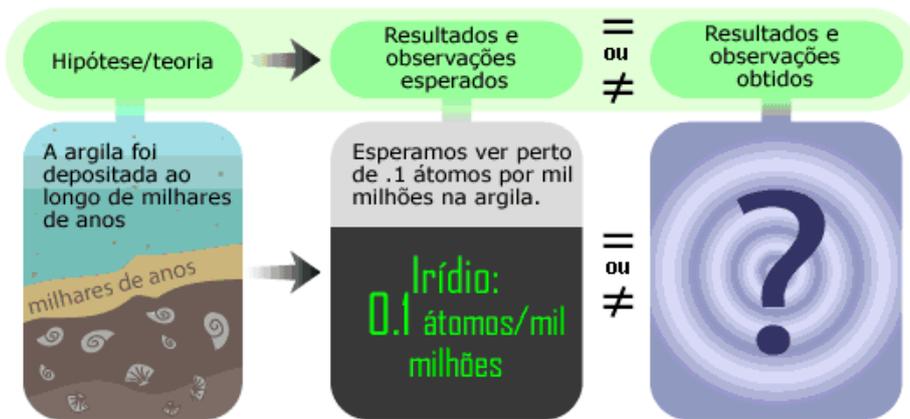
A sua ideia era recrutar Richard Muller, outro físico, para ajudar a medir a quantidade de berílio-10 na camada de argila, corrigir para quanto berílio teria decaído desde então, e depois raciocinar retroativamente para descobrir quantos anos teriam tido que passar para que essa quantidade de berílio tivesse sido depositada. No entanto, antes que eles pudessem realizar as medidas do berílio, eles descobriram que a taxa publicada de decaimento do isótopo estava errada. Cálculos com base nos novos números revelaram que a análise planeada não iria funcionar. Para as quantidades de berílio que eles poderiam detetar, o temporizador na camada de argila com 65 milhões de anos já teria acabado — todo o berílio já teria decaído.

A investigação do berílio acabou por ser um beco sem saída, mas Luis Alvarez depressa encontrou um substituto: irídio. O irídio é extremamente raro na crosta da Terra, mas é mais prevalente em meteoritos e em poeira de meteorito. Eles argumentaram que uma vez que poeira de meteorito e, portanto irídio, chovem sobre a Terra a uma taxa relativamente constante, a quantidade de irídio na argila poderia indicar quanto tempo levou a camada a ser depositada. A [observação](#) de irídio com maior concentração (em torno de um átomo de irídio por dez mil milhões de outras partículas) teria implicado uma deposição mais lenta, e menos irídio (uma quantidade pequena indetetável) teria implicado uma deposição rápida e uma transição K-T repentina, tal como mostrado abaixo.

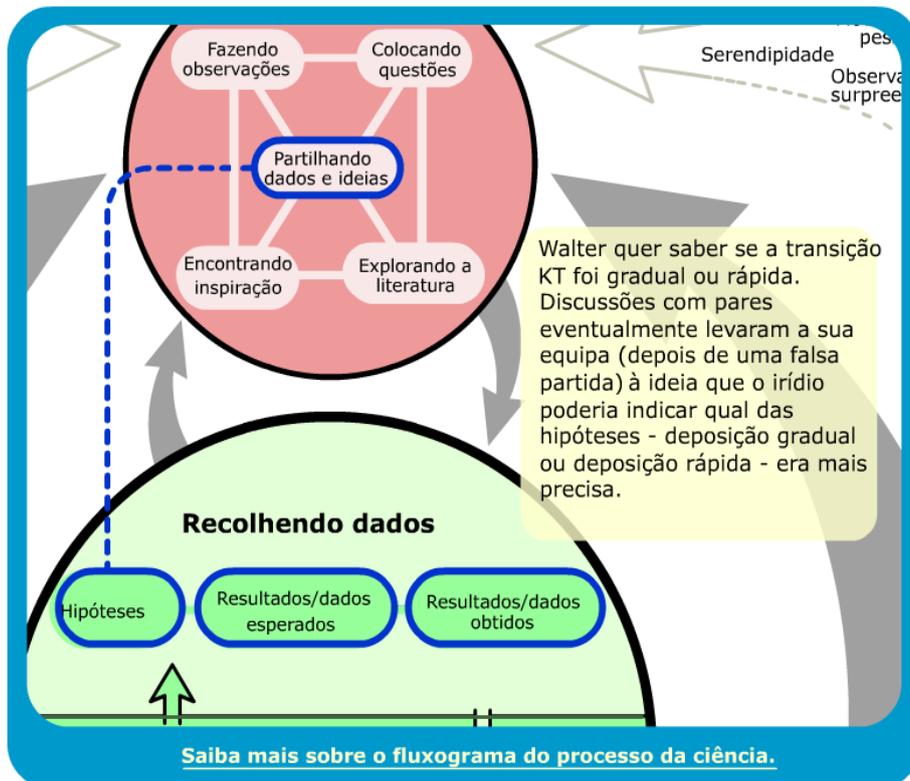
### Hipótese 1:



### Hipótese 2:



Veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:



## A história complica-se ...

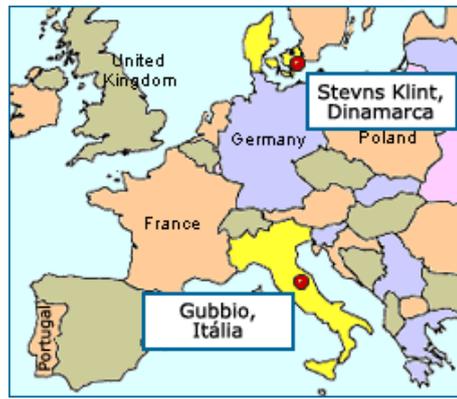
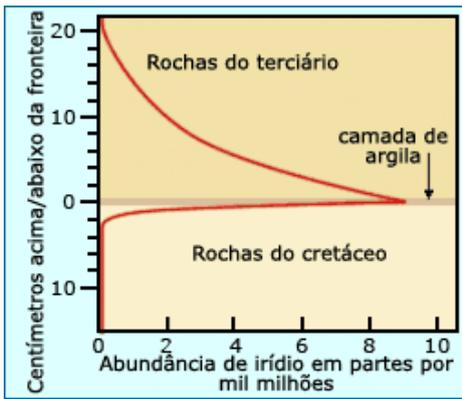
Os resultados da análise de irídio foram bastante claros e completamente surpreendentes. A equipa (que também incluiu os químicos Helen Michel e Frank Asaro) encontrou três partes de irídio por milhão — mais de 30 vezes o que eles tinham esperado com base em qualquer uma das suas [hipóteses](#), e muito, muito mais do que o contido em outras camadas estratigráficas! É evidente que algo incomum se estava a passar no momento em que esta camada de argila tinha sido depositada — mas o que teria causado tal pico de irídio? A equipa começou a chamar a estes resultados "a [anomalia](#) de irídio," porque era tão diferente do que tinha sido visto em qualquer outro lugar.



Helen Michel e Frank Asaro com Walter e Luis Alvarez.



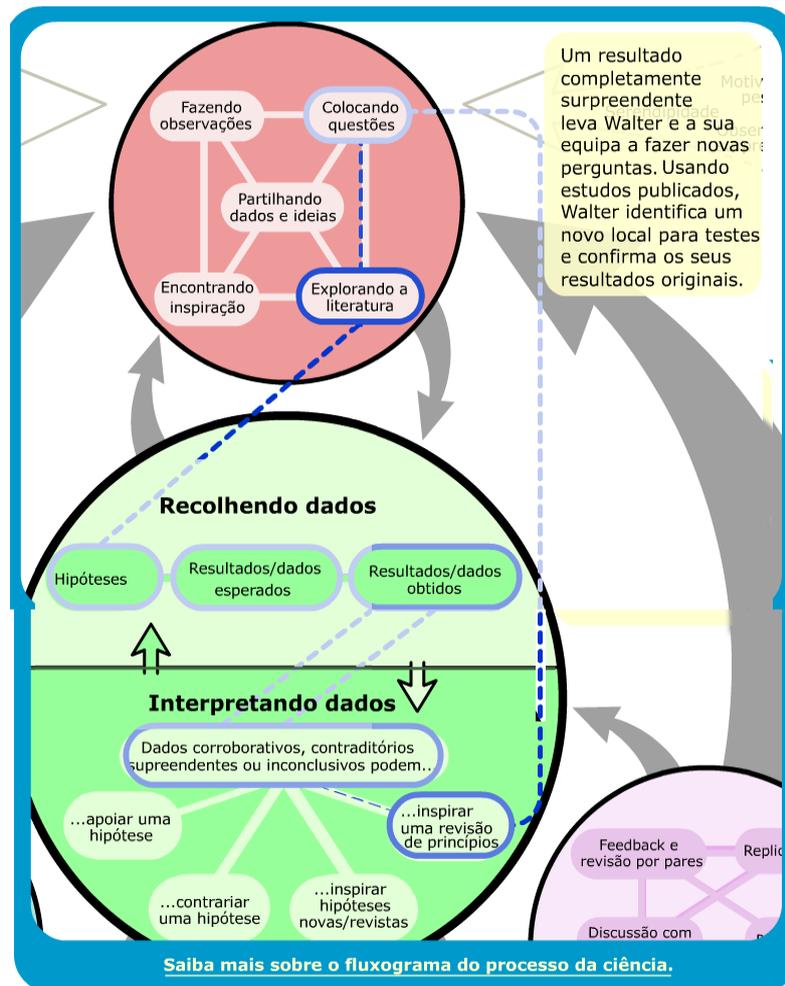
Agora Alvarez e a sua equipa tinham ainda mais perguntas. Mas primeiro, eles precisavam saber até que ponto esta anomalia do irídio estava disseminada. Era um desvio local — o sinal de algum desastre em pequena escala restringido a uma pequena parte do antigo leito marinho — ou estaria o pico de irídio distribuído globalmente, indicando uma catástrofe generalizada?



À esquerda, um gráfico simplificado mostrando o conteúdo de irídio através do limite K-T tal como medido em Gubbio, Itália. Trabalho posterior sugeriu que a camada de argila, na verdade, continha ainda mais irídio do que o seu primeiro teste tinha sugerido — 10 partes por milhar de milhão de irídio! À direita, Gubbiona Itália e Stevns Klint na Dinamarca — locais que confirmaram a presença generalizada de uma anomalia de irídio.

Alvarez começou a pesquisar em estudos geológicos publicados para identificar um local diferente que também mostrasse o limite K-T. Ele finalmente encontrou um na Dinamarca e pediu a um colega para realizar o teste de irídio. Os resultados confirmaram a importância da anomalia de irídio: o que tinha acontecido no final do Cretáceo tinha sido em grande escala

**/veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:**



## Outra falsa partida

Alvarez tinha empreendido a análise do irídio para resolver o problema da velocidade de deposição da argila no limite K-T, mas os resultados desviaram-no mais uma vez, apontando para uma nova e ainda mais atraente pergunta: o que causou os níveis altíssimos de irídio na fronteira K-T? Acontece que a [observação](#) de níveis globais elevados de irídio apoiava uma [hipótese](#) já existente.

Quase dez anos antes da descoberta do irídio, o físico Wallace Tucker e o paleontólogo Dale Russell tinham proposto que uma supernova (e a radiação acompanhante) no final do Cretáceo havia causado a extinção dos dinossauros. As supernovas emitem elementos pesados como o irídio — por isso a hipótese parecia encaixar-se perfeitamente com a descoberta da equipa. Neste caso, uma observação feita num determinado contexto (o momento da transição no limite K-T) acabou por apoiar uma hipótese que os investigadores não tinham considerado de todo (que a extinção dos dinossauros tinha sido desencadeada por uma supernova).



Uma supernova é uma estrela que explode intensamente brilhante, muitas vezes milhares de milhões de vezes mais brilhante que o sol, que depois desaparece gradualmente, ao fim de alguns meses ou anos. Matéria e gás são lançados para o espaço como resultado da explosão.



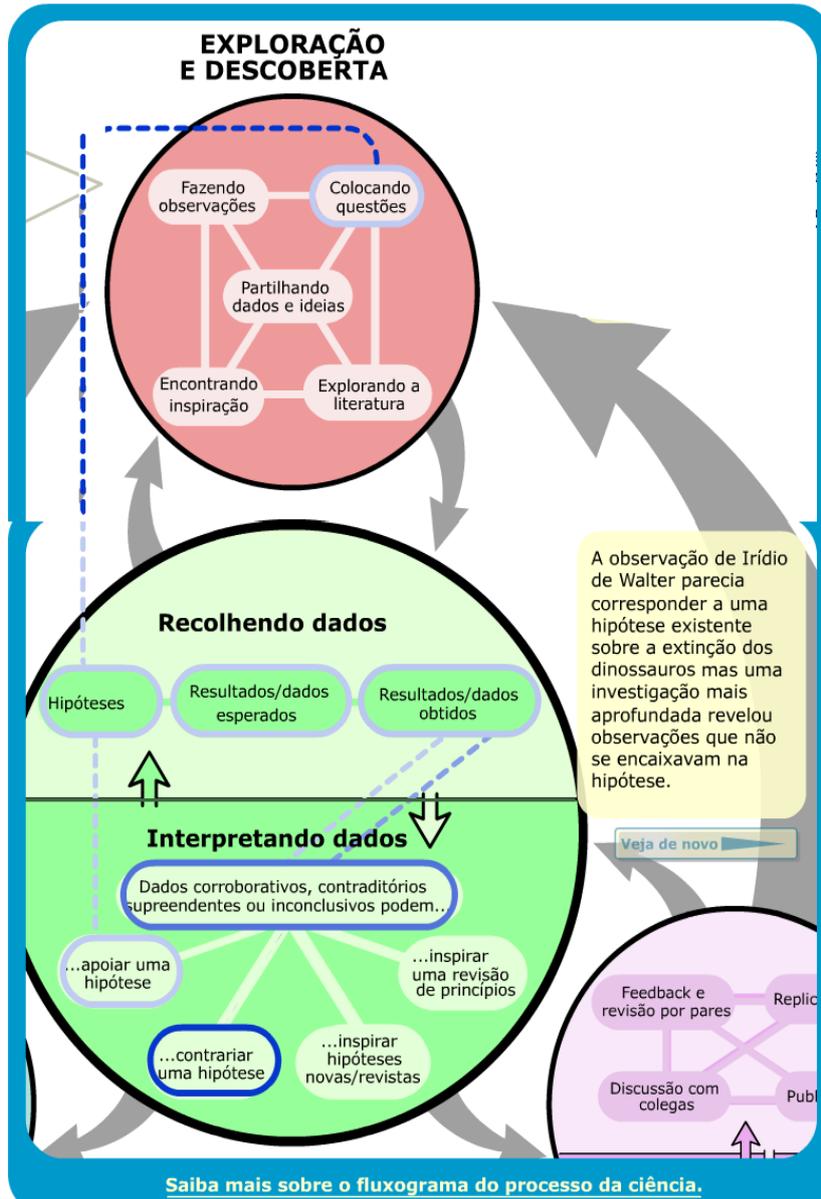
Para [testar](#) a hipótese da supernova, a equipa considerou quais outras [linhas de evidência](#) poderiam ser relevantes. Luis Alvarez percebeu que se uma supernova tinha realmente ocorrido, teria também libertado o plutónio-244, que se teria acumulado juntamente com o irídio na fronteira K-T.

Empolgados com a possibilidade da descoberta da supernova (forte [evidência](#) de que os dinossauros tinham sido mortos pela implosão de uma estrela teria feito cabeçalhos nas notícias em todo o mundo), a equipa decidiu realizar os difíceis testes do plutónio. Quando Helen Michel e Frank Asaro regressaram com os resultados do teste, eles ficaram muito felizes por terem descoberto o revelador plutónio! Mas verificando novamente os seus resultados através da [replicação](#) da análise levou um

desapontamento: a sua primeira [amostra](#) tinha sido contaminada por uma [experiência](#) em curso num laboratório próximo — não havia plutónio na amostra, contradizendo a hipótese da supernova.

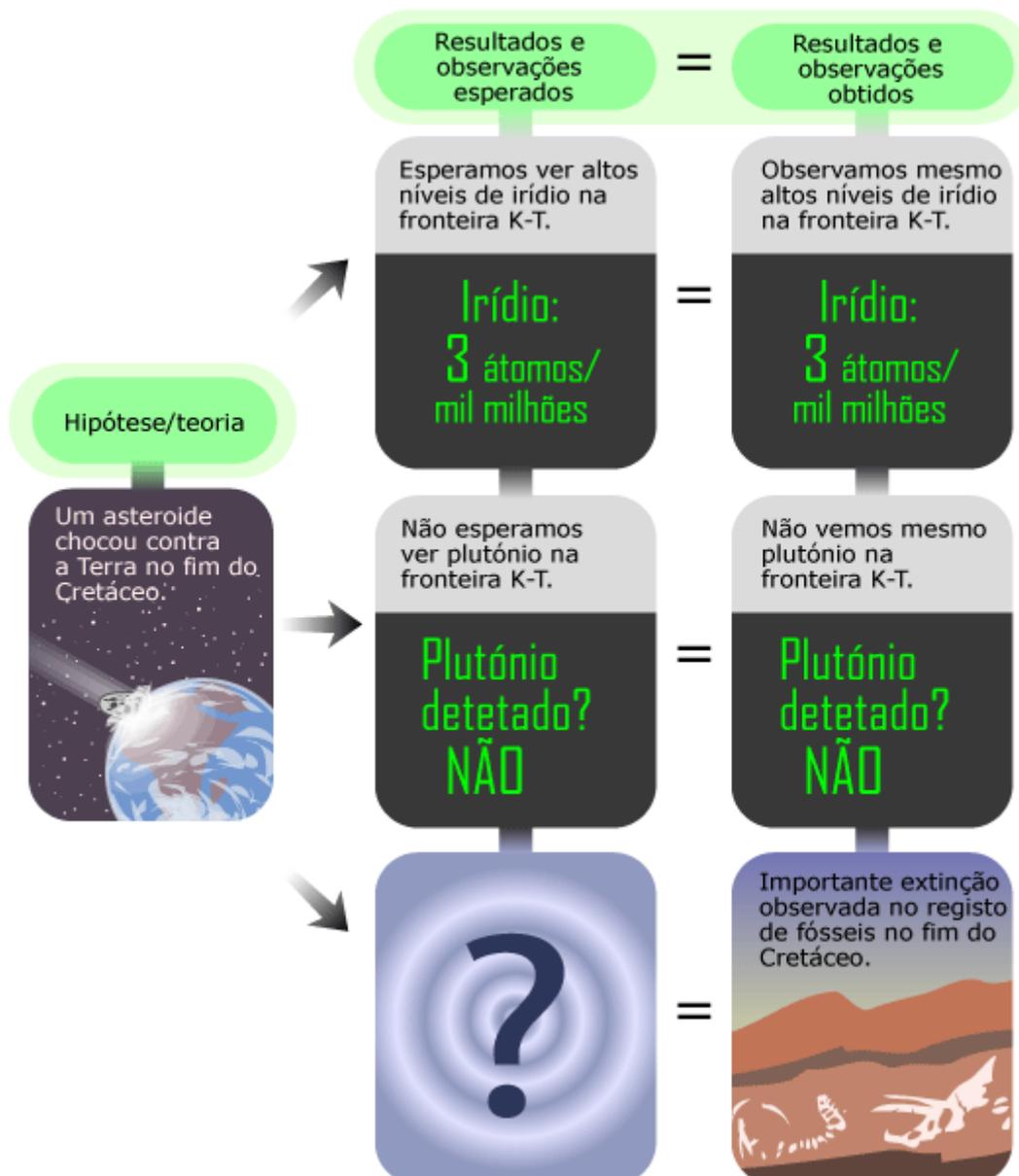


Veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:



# Três observações, uma hipótese

A camada no limite K-T continha abundância de irídio mas não tinha plutônio-244. Além disso, a fronteira marcava o que parecia ser um grande evento de extinção da vida marinha e terrestre, incluindo os dinossauros. Que [hipótese](#) poderia explicar todas essas [observações](#) díspares, ligando-as de forma a que fizessem sentido? A equipa teve a ideia de um impacto de um asteroide — que explicaria tanto o irídio (visto que asteroides contêm muito mais irídio do que a crosta da Terra) como a ausência de plutônio — mas que também levava a uma nova pergunta: como poderia um impacto de um asteroide ter causado a extinção dos dinossauros?

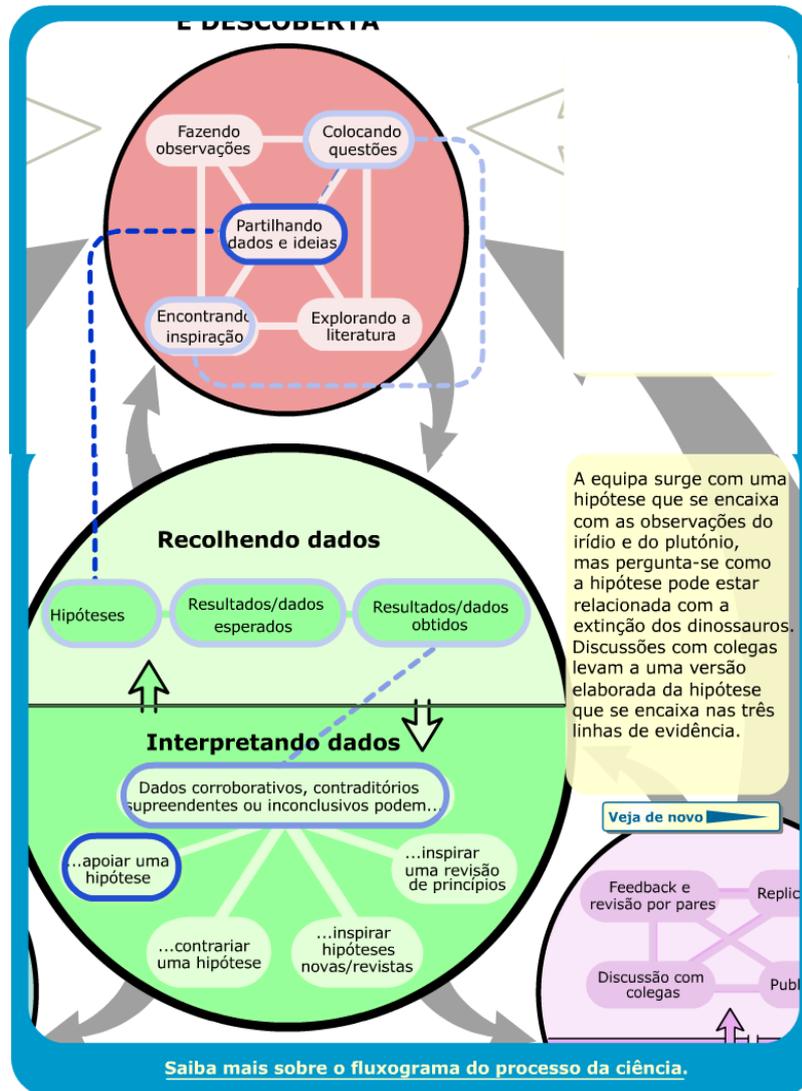


Mais uma vez, Luis Alvarez veio em socorro com alguns cálculos e uma hipótese elaborada. As conversas com os seus colegas levaram-no a focar-se na poeira que teria sido lançada na atmosfera pelo impacto de um asteroide de grandes dimensões. Ele colocou a hipótese de que um grande asteroide tivesse atingido a Terra no final do

Cretáceo e tivesse lançado milhões de toneladas de poeira na atmosfera. Pelos seus cálculos, essa quantidade de poeira teria ofuscado o sol ao redor do mundo, parando a fotossíntese e o crescimento das plantas e, portanto, causando o colapso global de cadeias alimentares. Esta versão elaborada da hipótese parecia de facto encaixar-se bem nas três [linhas de evidência](#) disponíveis até o momento: a falta de plutónio, níveis elevados de irídio, e um grande evento de extinção.



Veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:



# Desencadeando uma tempestade

Entretanto, a notícia da existência do pico de irídio na fronteira K-T na Itália e na Dinamarca tinha-se espalhado. Cientistas de todo o mundo começaram a tentar [replicar](#) essa descoberta em outras localidades onde o limite K-T era observável e tinham tido sucesso: muitas equipas científicas independentes confirmaram que, qualquer que tivesse sido o evento que tinha levado à [anomalia](#) de irídio, tinha acontecido numa escala global.

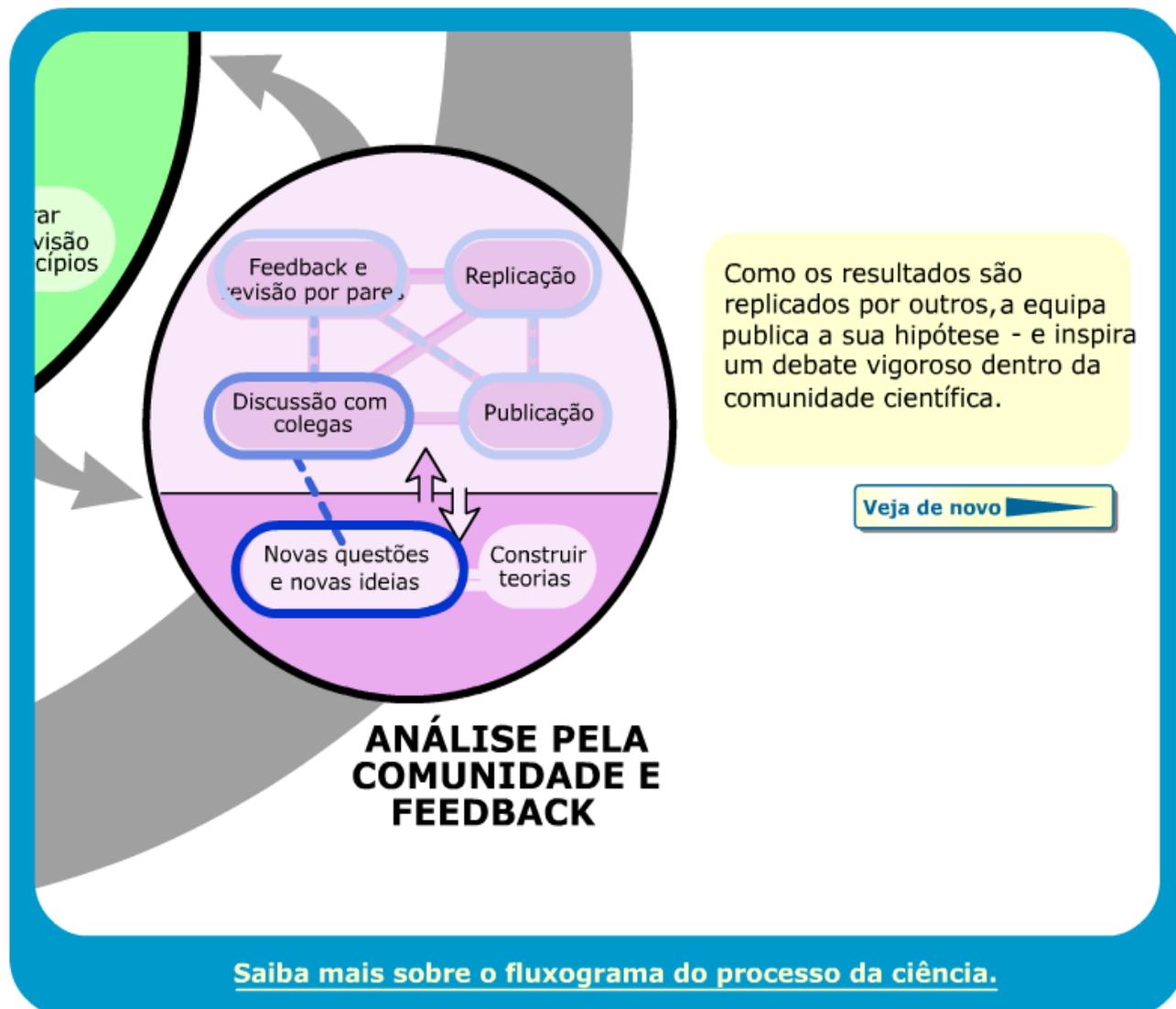


Este mapa do mundo mostra alguns dos locais onde uma anomalia de irídio na fronteira K-T foi observada.



Em 1980, no meio desta excitação, a equipe de Alvarez publicou na [revista Science](#) a sua [hipótese](#) ligando a anomalia de irídio e a extinção dos dinossauros, e iniciou uma tempestade de debates e exploração. Nos seguintes dez anos, mais de 2.000 artigos científicos seriam publicados sobre o tema. Cientistas nas áreas de paleontologia, geologia, química, astronomia e física entraram na contenda, trazendo nova [evidência](#) e ideias novas para cima da mesa.

**Veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:**

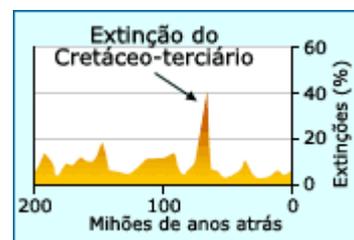


# O olho da tempestade

Uma verdadeira controvérsia científica tinha começado. Os cientistas estavam confiantes de que os dinossauros tinham sido extintos e estavam confiantes de que uma [anomalia](#) de irídio generalizada tinha marcado a fronteira K-T; porém eles continuavam a debater com veemência a relação entre os dois e a causa da anomalia de irídio.

A equipe de Alvarez tinha colocado a [hipótese](#) de uma causa específica para um evento histórico único ocorrido numa época em que não havia ninguém por perto para observar diretamente. Você pode pensar que isso tornaria a hipótese impossível de [testar](#) ou que a [evidência](#) relevante seria difícil de encontrar. Longe disso. De facto, a comunidade científica pegou na ideia e trabalhou com ela, explorando muitas outras [linhas de evidência](#), todas relevantes para a hipótese do asteroide.

- **Extinções:** Se o impacto de um asteroide tinha realmente causado um desastre ecológico global, isso teria levado à súbita extinção de muitos grupos diferentes. Assim, se a hipótese do asteroide fosse correta, esperaríamos encontrar muitas extinções no registo fóssil correspondente exatamente ao limite K-T, e menos extinções ocorridas nos milhões de anos que antecederam o fim do Cretáceo.



Percentagem de organismos que foram extintos ao longo dos últimos 200 milhões de anos com base no registo fóssil.

- **Restos de impacto:** Se um grande asteroide tivesse atingido a Terra no final do Cretáceo, teria arremessado para fora partículas do local do impacto. Assim, se a hipótese do asteroide fosse correta, esperaríamos encontrar partículas do local do impacto na camada limite K-T.



A linha ondulada laranja vista nesta parede de uma pedreira de Belize marca a base de um fluxo de resíduos K-T que pode ter sido causado pelo impacto de um asteroide.

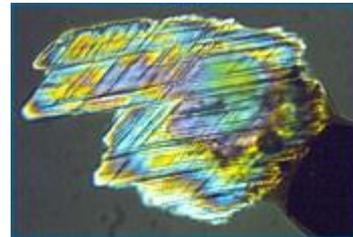


Fragmentos esverdeados de argila

- **Vidro:** Se um grande asteroide tivesse atingido a Terra no final do Cretáceo, teria gerado uma grande quantidade de calor, derretendo rocha e formando vidro, e lançando partículas de vidro para longe do local do impacto. Assim, se a hipótese do asteroide fosse correta, esperaríamos encontrar vidro do impacto na fronteira K-T.

encontrados nesta rocha K-T de Belize foram em tempos fragmentos de vidro.

- **Ondas de choque:** Se um grande asteroide tivesse atingido a Terra no final do Cretáceo, teria gerado ondas de choque poderosas. Assim, se a hipótese do asteroide está correta, seria de esperar encontrar evidência destas ondas de choque (como grãos de quartzo com deformações causadas pelo choque) na fronteira K-T.



Os dois conjuntos de lamelas planares neste grão de quartzo da fronteira K-T na Bacia Raton, Colorado, são forte evidência de uma origem proveniente de impacto.

- **Detritos de Tsunami:** Se um grande asteroide tivesse atingido um dos oceanos da Terra, no final do Cretáceo, teria causado tsunamis, que teriam retirado sedimentos do fundo do mar para os depositar noutro lugar. Assim, se a hipótese do asteroide fosse correta, esperaríamos encontrar restos de detritos de tsunamis na fronteira K-T.



Estes montes de entulho devidos a um tsunami encontrados ao longo da costa do sudeste de Bonaire não são do limite K-T, mas sugerem qual o tipo de detritos devidos a um tsunami devemos esperar identificar perto do limite K-T.

- **Cratera:** Se um grande asteroide tivesse atingido a Terra no final do Cretáceo, teria deixado para trás uma enorme cratera. Assim, se a hipótese do asteroide fosse correta (e assumindo que a cratera não foi posteriormente destruída pela ação tectónica), esperaríamos encontrar uma cratera gigantesca nalgum lugar na Terra que data do fim do Cretáceo.

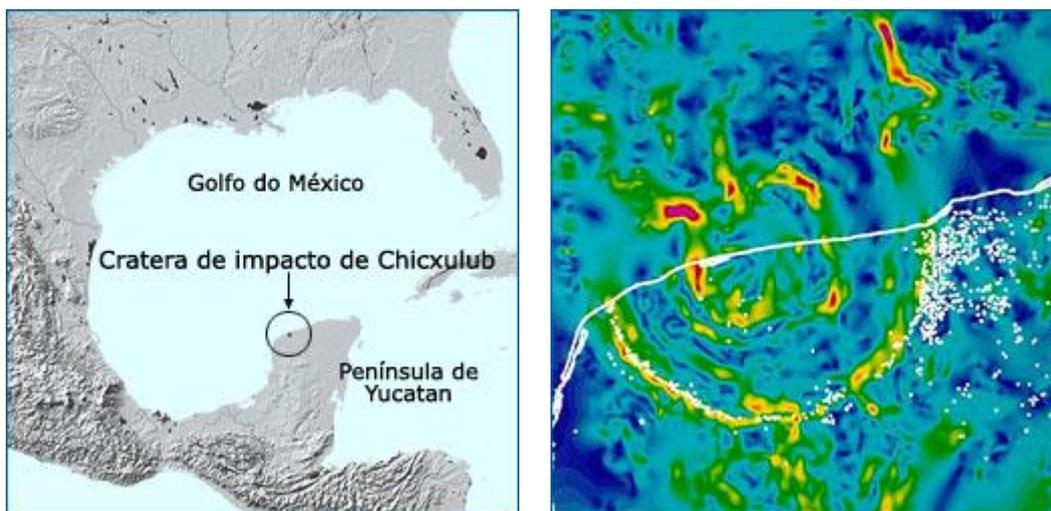


Esta cratera de meteorito no Arizona não é do tempo do limite K-T, mas sugere o tipo de formação terrestre devida ao impacto de um grande asteroide.

A evidência relevante para cada uma destas [expetativas](#) é complexa (cada uma delas é por si mesma. uma lição sobre a natureza da [ciência!](#)) e envolveu o trabalho de cientistas

de todo o mundo. O resultado de todo esse trabalho, discussão e análise foi a de que a maioria das linhas de evidência parecia ser consistente com a hipótese do asteroide. O limite K-T é marcado por restos do impacto, pedaços de vidro, quartzo chocado, detritos de tsunami — e, claro, a cratera.

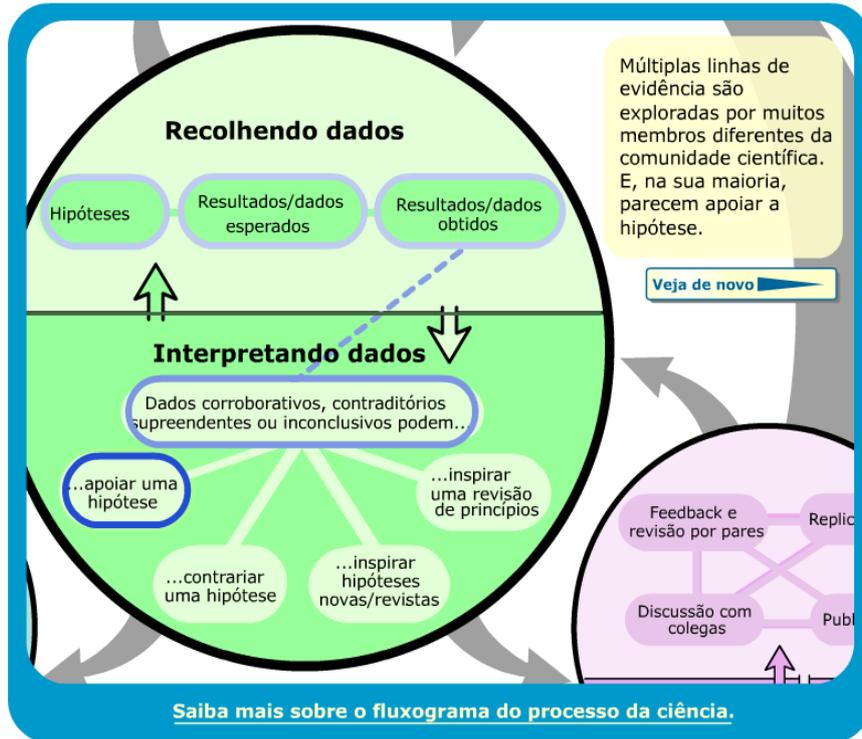
A cratera de Chicxulub, com cerca de 180 km de diâmetro, está enterrada ao largo da Península de Yucatán. Pouco depois de a equipe de Alvarez ter publicado a sua hipótese do asteroide em 1980, uma companhia petrolífera mexicana tinha identificado Chicxulub como o local de um enorme impacto de um asteroide. No entanto, uma vez que a descoberta foi feita no contexto de exploração de petróleo, não foi amplamente divulgada na [literatura científica](#). Foi apenas em 1991 que os geólogos relacionaram as [observações](#) relevantes (por exemplo, peculiaridades da força da gravidade perto de Chicxulub) com a hipótese do asteroide.



À esquerda, um mapa mostrando a localização da cratera de impacto de Chicxulub. À direita, um mapa de gradiente horizontal da anomalia da gravidade sobre a cratera de Chicxulub, construído a partir de dados recolhidos no México durante a exploração de petróleo e aumentada com dados adicionais de várias universidades e do Serviço Geológico do Canadá. A linha branca indica a costa de Yucatán. Os pontos brancos representam a localização de dolinas (cenotes).

Chicxulub pode parecer ser a "prova final" da extinção dos dinossauros (como por vezes tem sido chamado) — mas na verdade está longe de ser a última palavra sobre a hipótese do asteroide ...

**Veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:**



## Só acaba quando ...

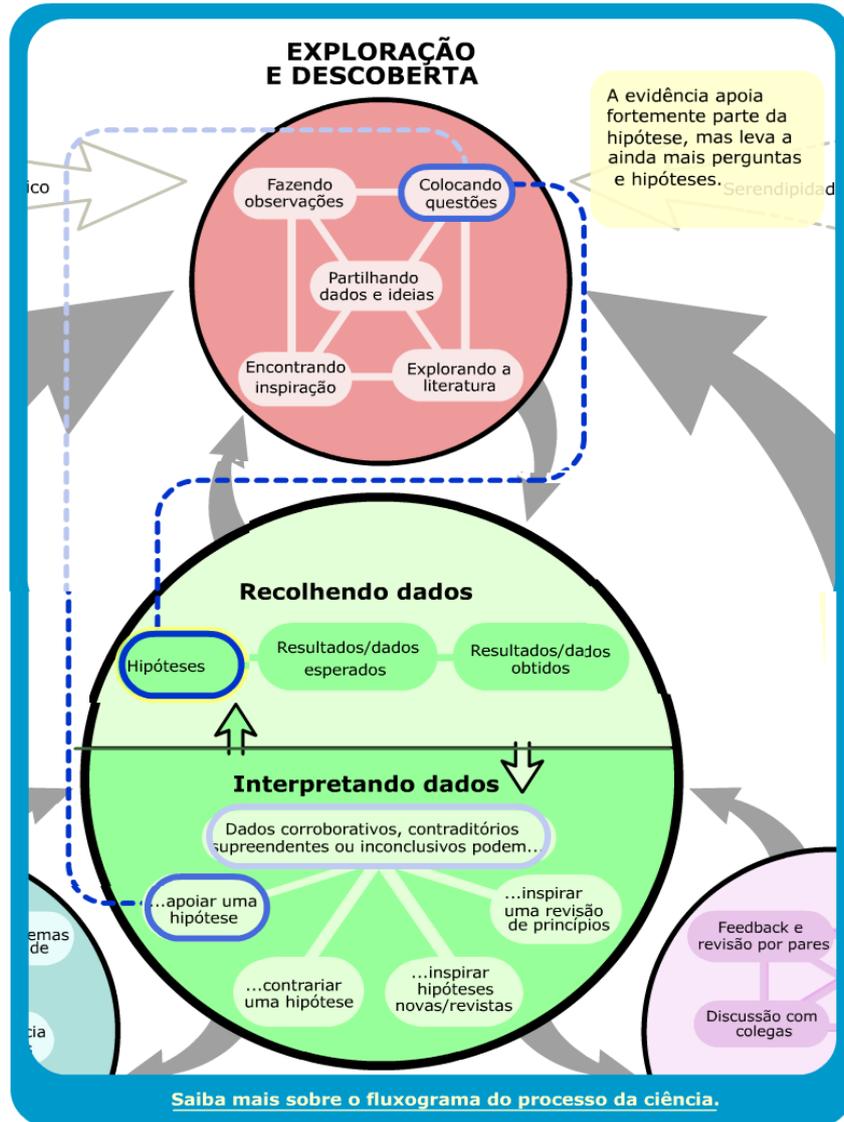
As ideias científicas estão sempre abertas a questões e a novas [linhas de evidência](#), portanto embora muitas [observações](#) sejam consistentes com a [hipótese](#) do asteroide, a investigação continua. Até agora, a [evidência](#) apoia a ideia de que um asteroide gigante atingiu a Terra no final do Cretáceo — mas será que foi mesmo o asteroide que causou a maioria das extinções naquela época? Algumas observações apontam para explicações adicionais. Outras pesquisas (em grande parte estimulada pela hipótese do asteroide) revelaram que o final do Cretáceo foi um momento caótico na Terra, mesmo ignorando a questão da colisão de um enorme asteroide. A atividade vulcânica atingiu um pico, produzindo fluxos de lava que atualmente cobrem cerca de 500.000 quilómetros quadrados da Índia; uma grande mudança climática estava em andamento com arrefecimento geral marcado por pelo menos um intenso período de aquecimento global; o nível do mar baixou e continentes mudaram com movimentos tectónicos. Com toda estas mudanças a acontecer, os ecossistemas certamente foram perturbados. Estes fatores claramente poderiam ter desempenhado um papel no desencadeamento da extinção em massa — mas será que o fizeram?



Em suma, a evidência aponta para vários potenciais responsáveis para a extinção em massa. Qual é a verdadeira causa? Bem, talvez todos eles o sejam.

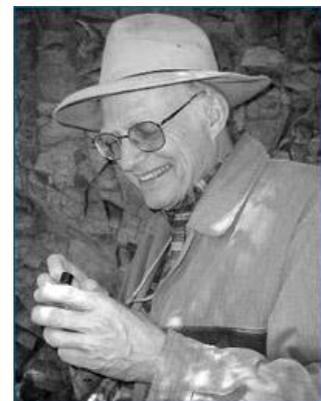
Assim como a extinção de uma espécie ameaçada pode hoje em dia ser atribuída a diversos fatores (aquecimento global, destruição do habitat, um predador invasivo, etc), a extinção em massa no limite K-T pode ter sido provocada por vários agentes diferentes (por exemplo, o vulcanismo e o impacto de um asteroide, e ainda um pouco de mudança climática). Se este for realmente o caso e múltiplas causas estiveram em jogo, separá-las exigirá uma abordagem mais integrativa, explorando as relações entre fatores abióticos (como impactos de asteroides e mudanças do nível do mar) e extinção: quais grupos sobreviveram à extinção em massa e quais não? Os pássaros, por exemplo, sobreviveram à extinção, mas todos os outros dinossauros foram extintos. O que é que isso nos diz sobre a causa da extinção? Existem diferentes padrões de extinção em diferentes ecossistemas ou diferentes partes do mundo? Será que estas diferenças apontam para mecanismos causais distintos?

Veja como a viagem de Walter corresponde ao fluxograma da ciência:



## Mais conhecimento, mais questões

À primeira vista, esta pequena história da [ciência](#) pode parecer ter andado às arreas. Primeiro, a história está cheia de falsos começos e metas abandonadas: o trabalho de Alvarez sobre a tectónica de placas foi abandonado depois das suas [observações](#) intrigantes sobre a fronteira K-T. Em seguida, o seu trabalho sobre o momento da transição no limite K-T tinha sido desviado pela problemática do irídio. A [hipótese](#) da supernova foi abandonada quando a [evidência](#) crítica não se materializou. E agora, os cientistas perguntam-se se a hipótese do asteroide pode realmente explicar toda a extinção em massa. As nossas perguntas sobre a extinção no limite K-T têm-se multiplicado desde que esta investigação começou.



Walter Alvarez em 2002.

Tudo isso é verdade, no entanto, também temos mais conhecimento sobre os eventos no final do Cretáceo do que tínhamos antes de Walter Alvarez ter começado a andar pelos Apeninos. Sabemos que um grande asteroide atingiu a Terra, provavelmente perto da Península de Yucatán. Sabemos que nenhuma supernova nas proximidades fez chover plutônio na Terra. Sabemos mais sobre o registo fóssil em torno do limite K-T. Nós temos uma compreensão mais detalhada das mudanças climáticas e geológicas que levaram ao fim do Cretáceo. Num certo sentido, temos muitas mais perguntas, simplesmente porque sabemos muito mais sobre o que perguntar, e esta é uma parte fundamental do empreendimento científico. A ciência é cumulativa e contínua. Cada pergunta que respondemos acrescenta à nossa compreensão global do [mundo natural](#), mas a luz que vem desse novo conhecimento realça muitas outras áreas ainda na sombra.

