

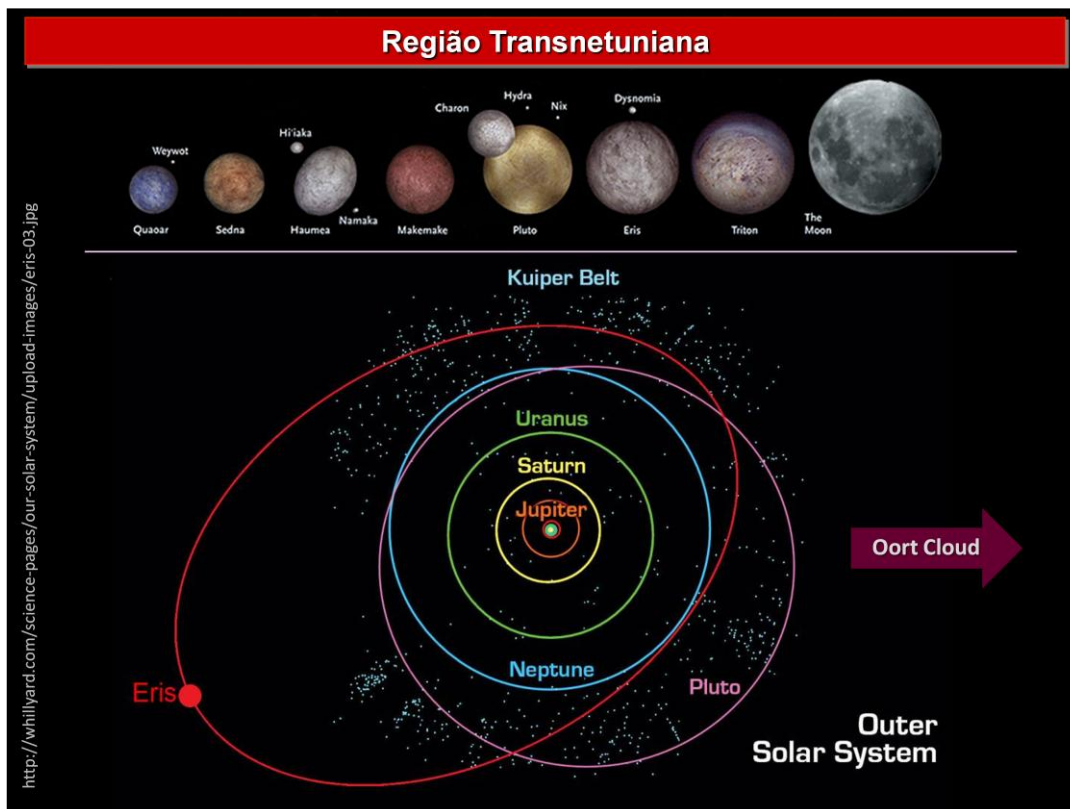
Conceitos Fundamentais da Física do Sistema Solar (MPA05004)

Enos Picazzio (IAGUSP)

REGIÃO TRANSNETUNIANA



*NÃO HÁ PERMISSÃO DE USO PARCIAL OU TOTAL DESTE MATERIAL PARA OUTRAS FINALIDADES.*



A região adiante de Netuno, porém ainda próxima do Sol, aquém da Nuvem de Oort, é denominada *região transnetuniana*, e os objetos que lá estão são denominados Objetos Transnetunianos (ou TNO, sigla na língua inglesa).

#### *Objeto Transnetuniano (TNO)*

Um objeto TNO é qualquer planeta menor ou pequeno corpo que orbita o Sol adiante de Netuno. Essa região costuma ser dividida em outras menores, como *cinturão de Kuiper*, *disco disperso* e *nuvem de Oort*.

O *Cinturão de Kuiper* é semelhante ao cinturão de asteroides, porém maior, possivelmente uma centena de vezes maior. É constituído por pequenos corpos que são considerados remanescentes da formação do Sistema Solar. No entanto, ao contrário dos objetos rochosos do cinturão de asteroides, os corpos do cinturão de Kuiper são feitos de materiais congelados, chamados de gelados particularmente metano, água e amônia, além de uma parcela rochosa.

O disco espalhado é outra região distante além da órbita de Netuno, povoada por alguns planetas menores e gelados. Acredita-se que seja o local de origem da maioria dos cometas periódicos.

A *nuvem de Oort* é uma nuvem de cometas, possivelmente oriundos do disco disperso e das regiões internas próximas dos planetas gigantes, e que foram espalhados por ação gravitacional dos planetas.

Plutão foi o primeiro objeto dessa região a ser descoberto. Chegou até a ser classificado como planeta, mas agora é classificado como planeta-anão, juntamente com outros, como Eris (ligeiramente maior que Plutão) Makemake e Haumea.

## Região Transnetuniana

### WHY "KUIPER" BELT?

The Kuiper Belt Gerard Kuiper (it is pronounced like "Viper" [thanks, Maaike] although a lot of people try it as "Coyper", for reasons which remain unclear) was an astronomer interested in the solar system at a time when this interest was even less fashionable than it is today. He wrote a paper including a mention of objects beyond Pluto (note: not Neptune) in 1951 and the Kuiper Belt is so-called because of this paper. The reference is G. P. Kuiper 1951, in *Astrophysics: A Topical Symposium*, ed. J. A. Hynek, New York: McGraw-Hill.

The problem with Kuiper Belt is that Kuiper did not, by any objective reading, really predict the object to which his name is given. Kuiper's paper refers to a primordial set of bodies that he supposed were scattered out to the Oort Cloud by massive Pluto, so that if taken at face value his paper predicts there should be nothing where we now see Kuiper Belt Objects. Kuiper in fact anti-predicted what we now call the Kuiper Belt. We now know that Pluto is tiny and has too little mass to eject objects to the Oort Cloud.

The Edgeworth Belt Kenneth Edgeworth wrote papers about objects beyond Pluto in 1943 and 1949. His work was not cited by Kuiper, presumably because he had overlooked it (although one sometimes hears dark rumors that Kuiper chose to ignore Edgeworth's prior work). See K. E. Edgeworth 1943, *J.B.A.A.* 53, 186.

Edgeworth's papers were, in some ways, closer to the belt of objects observed beyond Neptune, although the relevant parts amount to barely a paragraph. At least he didn't anti-predict the belt. His work, though, is not quantitative and he makes no important predictions about these objects so that some say it is just a conjecture, not really a theory based on understanding. In fact, his paper contains remarks that don't even translate well across the intervening 60 years. What exactly are those "clusters" he's writing about? If he were alive, I'd have to ask him what he was trying to say.

The Leonard Belt Worse, for both Kuiper and Edgeworth, is the recent finding that Fred Leonard of UCLA mentioned in print the possibility of trans-Plutonian objects as early as 1930 (the reference is suitably obscure: *Leaflet Astron. Soc. Pacific* No. 30, pp. 121-124).

The Name Game Presumably, the intent should be to do the right thing by attributing credit where it's due. Unfortunately, it's not clear to me where, if anywhere, proper credit is due. Just hand-waving on the possibility that there might be something "beyond Pluto" is not sufficient. Some of the above seem a bit like the predictions of Nostradamus: read into them what you will. If anything, I would say that J. Fernandez most nearly deserves the credit for predicting the Kuiper Belt based on clear statements and physical reasoning. His 1980 paper (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 192, 481-491) is worth a careful read.

The Name Game is not new in science: we associate Darwin with evolution much more than we associate it with Alfred Wallace (although Wallace, who worked independently of Darwin, was ready to go public with the idea before him). There's even a name for it: Stigler's Law asserts that "No scientific discovery is named after its original discoverer". This is obviously too strong a statement, but it captures a truthful essence (and has led to the inevitable claim that Stigler's Law was in fact discovered by someone else, long before Stigler wrote about it. So there).

The Logical Alternative Call them "trans-Neptunian" objects.

<http://www2.ess.ucla.edu/~jewitt/kb/gerard.html>

Principais fatos dessa região:

- O Cinturão de Kuiper é muito semelhante ao cinturão de asteroides, porém 20 vezes maior e até 100 mais massivo;
- Tanto o cinturão de Kuiper quanto o cinturão de asteroides são sobras de material que não incorporaram planetas;
- Existem centenas de milhares de objetos do Cinturão Kuiper (KBO), alguns com pelo menos 100 km de diâmetro;
- Esses objetos consistem principalmente de voláteis congelados, como metano, amônia e água, com parcela de material rochoso. Há três planetas anões reconhecidos situados no Cinturão de Kuiper.
- É uma das maiores estruturas do Sistema Solar, junto com a Nuvem de Oort, a heliosfera e a magnetosfera de Júpiter.
- A borda interna do Cinturão de Kuiper começa na órbita de Netuno a 30 UA do Sol, enquanto a região principal interna se estende até 50 UA e no geral sobe para 55 AU ou mais.
- Sobrepondo a borda externa do Cinturão de Kuiper, há uma segunda região chamada disco disperso, que continua para fora até cerca de 1.000 UA.
- Pensa-se que tanto a Nuvem de Oort quanto o Cinturão de Kuiper são as principais fontes de cometas.
- Muitos KBO sofreram colisões mútuas e tiveram suas órbitas alteradas.
- Os quatro planetas gasosos podem ter contribuído para diminuir a massa original do Cinturão de Kuiper.
- Especula-se que a massa total do Cinturão de Kuiper seja inferior a 2% da Terra.
- Muitos cometas de curto período, que têm órbitas de cerca de 200 anos, se originam do Cinturão de Kuiper.

Fonte: <https://nineplanets.org/kuiper-belt/>

## Cinturão de Kuiper e Nuvem de Oort



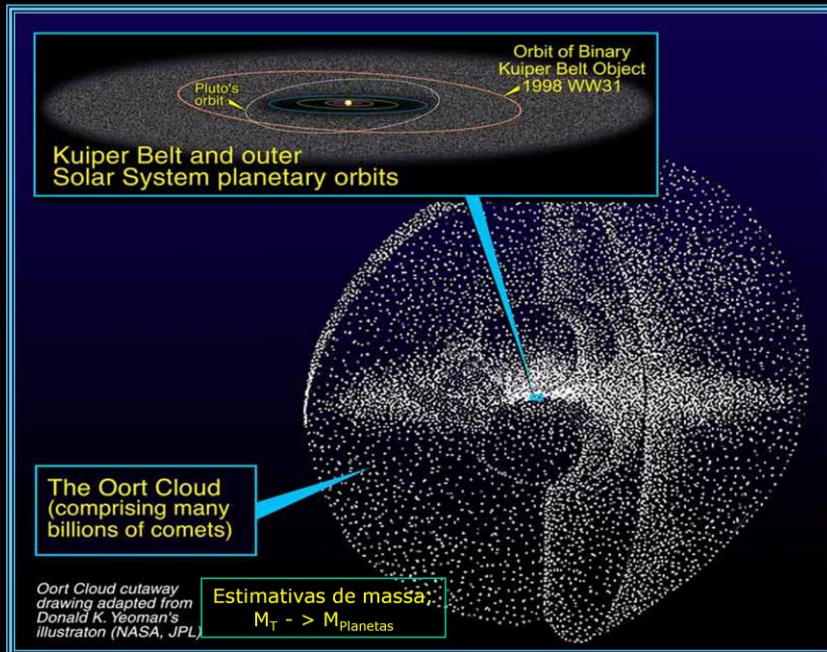
Gerard Kuiper  
1905-1973



Kenneth Edgeworth  
1880-1972



Jan Hendrik Oort  
1900-1992



Em 1943, Kenneth Edgeworth sugeriu que cometas e corpos maiores poderiam existir além de Netuno. Mais tarde, em 1951, o astrônomo holandês Gerard Kuiper, publicou um artigo científico especulando sobre objetos além de Plutão. A região agora chamada de cinturão de Kuiper foi hipotetizada de várias formas por décadas, mas Gerard Kuiper não é responsável por sua descoberta. Muito mais tarde, mais evidências da existência do cinturão de Kuiper surgiram do estudo dos cometas.

Para que os cometas continuem ativos (vivos) durante o tempo de existência do Sistema Solar (4,6 bilhões de anos), é preciso haver um mecanismo de reabastecimento, já que eles vão diminuindo a atividade à medida que envelhecem. Pensou-se na nuvem de Oort como a fonte de reabastecimento, mas com a crescente descoberta de muitos outros cometas de curto período, essa hipótese foi descartada.

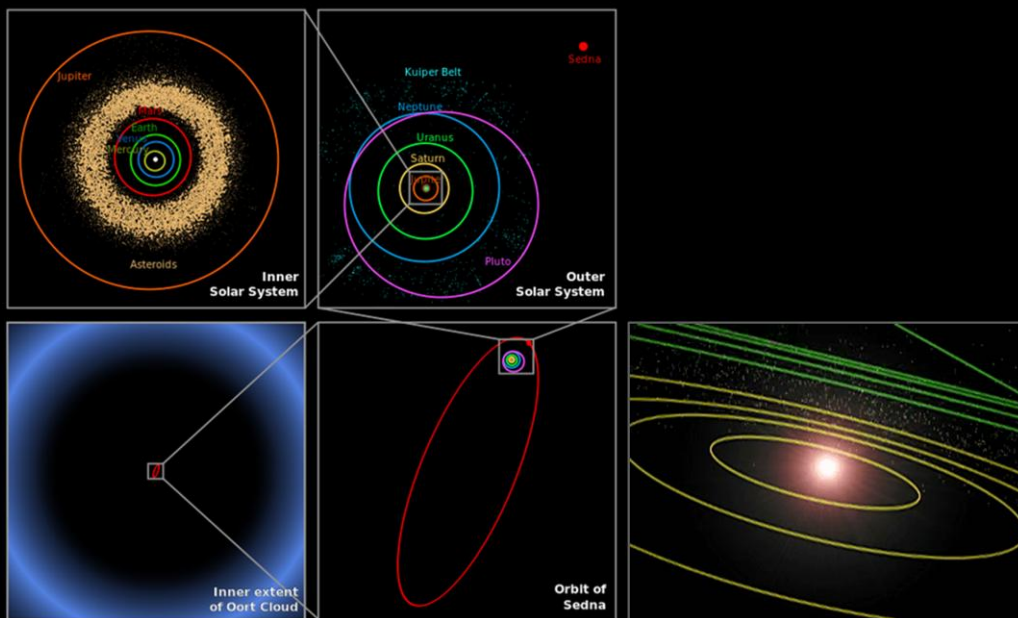
Em 1980, o astrônomo Julio Fernández fez um estudo e especulou que seria necessário existir um cinturão de cometas entre 35 e 50 UA para explicar o número observado de cometas de períodos menores.

Em 1987, o astrônomo David Jewitt e a estudante Jane Luu observaram por cinco anos essa região e em 30 de agosto de 1992, a “Descoberta do candidato ao cinturão de Kuiper” - Albion, um planeta menor. Mais tarde, eles descobriram o segundo objeto na região, (181708) 1993 FW - um possível planeta anão. Muitos outros objetos foram descobertos mais tarde e, assim, a existência do Cinturão de Kuiper foi comprovada.

Embora Kuiper continue sendo o nome oficial do cinturão, também referido como Edgeworth-Kuiper, para dar crédito a Edgeworth por seu trabalho teórico anterior, a referência mais aceita é o termo *objeto transnetuniano* - *TNO*, o que não significa englobar qualquer objeto que esteja além da órbita de Netuno.

Fonte: <https://nineplanets.org/kuiper-belt/>

# Cinturão de Kuiper e Nuvem de Oort



[http://pt.wikipedia.org/wiki/Nuvem\\_de\\_Oort](http://pt.wikipedia.org/wiki/Nuvem_de_Oort)

## Objetos do grupo Centauro

- Órbitas entre Júpiter e Neptune
  - Essas órbitas não são estáveis
- Conhecemos pelos menos 3 casos em que aparecem “coma”
- É possível que sejam provenientes do grupo KBO
- Espectro de Refletância:
  - Carbono Amorfo
  - Hidrocarbonetos
  - Metanol congelado

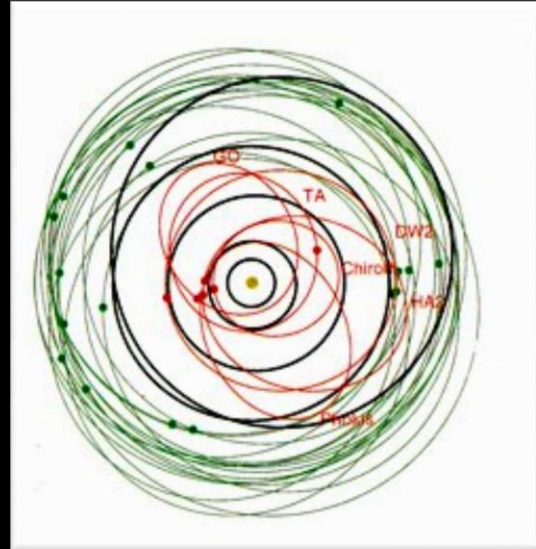


Image from: Stern & Campins (1996)

### Objetos Centauros

Semelhantes a asteroides em tamanho, mas a cometas em composição, os centauros giram em torno do Sol principalmente entre as órbitas de Júpiter e Netuno. O primeiro membro conhecido do grupo, Quíron ou Quirão, foi descoberto em 1977, embora sua estreita afinidade com os núcleos de cometas gelados não fosse reconhecida até mais de uma década depois. Desde a descoberta do segundo representante conhecido, Pholus, em 1992, centenas de objetos Centauros foram relatados. Acredita-se que outros milhares possam existir. Pensa-se que objetos centauros com cerca de 250 km de diâmetro tenham se originado além das órbitas de Netuno e Plutão, possivelmente provenientes do Cinturão de Kuiper.

Tendo sido perturbados internamente pela influência gravitacional de Netuno, eles atualmente viajam em órbitas instáveis que cruzam os caminhos dos planetas gigantes. Devido à probabilidade de colidirem com um planeta ou serem lançados pela gravidade do planeta para fora do Sistema Solar ou em direção aos planetas internos, acredita-se que esses objetos passem uma vida curta, em termos astronômicos, como Centauros. Isso implica que a população de centauros está sendo continuamente reabastecida do cinturão de Kuiper.

Nas grandes distâncias dos centauros, as distinções habituais entre cometas e asteroides podem ficar confusas. Por definição tradicional, os cometas contêm mais água congelada e outros compostos voláteis que material rochoso e emitem gases quando esses gelos sublimam. Nas temperaturas muito baixas no Sistema Solar externo, no entanto, corpos gelados como os Centauros podem nunca mostrar essa atividade.

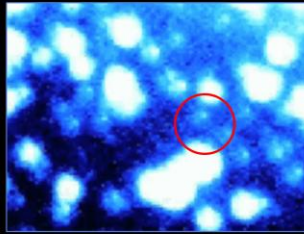
Fonte: Armand H. Delsemme, Brittanica.

## Objetos do grupo Centauro

### CHARIKLO:

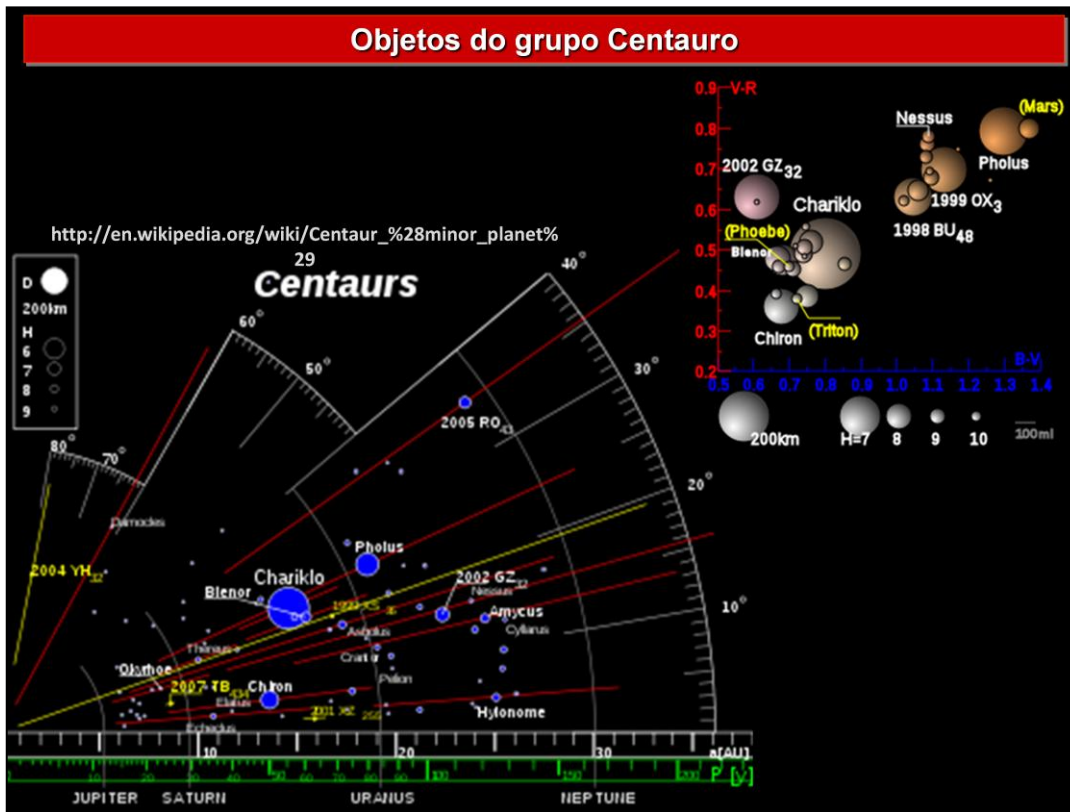
- Descoberto em 1997, através de eclipse por seus anéis
- É o maior objeto conhecido da classe "Centauros",
- Conhecemos entre 400 e 500 deles
- Eles orbitam o Sol entre Júpiter e Netuno.

Crédito: ESO



Chariklo, o maior exemplar do grupo Centauro, está rodeado por dois anéis estreitos e densos. Este é o menor objeto encontrado com anéis e apenas o quinto corpo no Sistema Solar a ter esse recurso, depois dos planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, que são muito maiores. A origem desses anéis permanece um mistério, mas pode ser o resultado de uma colisão que criou um disco de detritos.

Fonte: <https://www.eso.org/public/news/eso1410/>



Como vimos, presume-se que os objetos transnetunianos sejam remanescentes da nebulosa solar que sobrevivem desde a formação do Sistema Solar (há 4,6 bilhões de anos). A conexão dos cometas de curto período ( $P < 200$  anos) e de baixa inclinação orbital (ou seja, próximos do plano da eclíptica) e a população transnetuniana de corpos primordiais (TNOs) foi estabelecida e esclarecida com os estudos de dinâmica do astrônomo Júlio Fernández (publicados em 1999), que aponta o cinturão de Kuiper como a região fonte desses cometas.

Os objetos Centauros parecem ter sido extraídos da população TNO através de perturbações de Netuno. Enquanto suas órbitas presentes (que são temporárias) cruzam as órbitas de planetas exteriores, os Centauros não chegam suficientemente perto do Sol para exibir comportamento cometário normal (coma extensa e caudas), embora o 2060 Quéiron apresente uma coma fraca e temporalmente variável. Não sabemos se o curto período dos cometas pequenos, que têm dimensões da ordem ou menor que 1 km, são fragmentos de TNOs ou se eles são objetos primordiais. As superfícies dos centauros podem representar estágios intermediários na evolução da composição dos TNOs para cometas de curto período.

Fonte: M. A. Barucci, A. Doressoundiram, D. P. Cruikshank;  
<https://www.lpi.usra.edu/books/CometsII/7010.pdf>



## Primeira descoberta de um KBO (Kuiper Belt Object)

- Em 1992, David Jewitt e Jane Luu descobrem o primeiro objeto do Cinturão de Kuiper (KBO): 1992 QB<sub>1</sub>
- Estimativas
  - Quantidade : ~ 70.000 objetos
  - Tamanhos: > 100km
  - Massa total: 0,06 a 0,3 M<sub>⊕</sub>
- Fonte dos cometas de curto período

### letters to nature

Nature 362, 730 - 732 (22 April 1993); doi:10.1038/362730a0

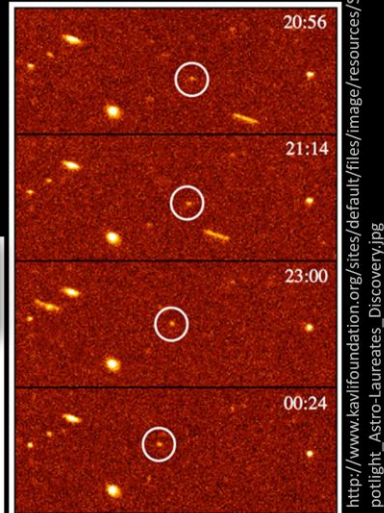


### Discovery of the candidate Kuiper belt object 1992 QB<sub>1</sub>

DAVID JEWITT\* & JANE LUU†

\* Institute for Astronomy, University of Hawaii, 2680 Woodlawn Drive, Honolulu, Hawaii 96822, USA

† Department of Astronomy, 601 Campbell Hall, University of California at Berkeley, Berkeley, California 94720, USA



### Além de Netuno

Ao comparar centenas de imagens do céu, David Jewitt e Jane Luu, encontraram dezenas de objetos do cinturão de Kuiper, como o QB<sub>1</sub>, mostrados na figura. Isto os levou à conclusão de que Plutão era um objeto do Cinturão de Kuiper.

Em 1987, Jewitt e a estudante de graduação do MIT Jane Luu começaram a procurar objetos além de Saturno. O processo envolveu tirar várias fotos do mesmo campo estelar com 20 minutos de diferença e, em seguida, procurar pontos de luz em movimento lento contra o fundo fixo de estrelas.

Em agosto de 1992, eles encontraram seu primeiro objeto, o 1992QB<sub>1</sub>. Ele estava quatro vezes mais distante que Saturno, muito além de Netuno, na região agora chamada de cinturão de Kuiper. Com o brilho e a distância do objeto, eles calcularam o tamanho em cerca de 250 km. Em 1993, eles encontraram outro objeto e, logo depois, dezenas deles.

O reconhecimento da população dessa região levou a uma proposta de que Plutão fosse definido como um "planeta anão" e se distingue dos outros planetas por ser um membro do Cinturão de Kuiper.

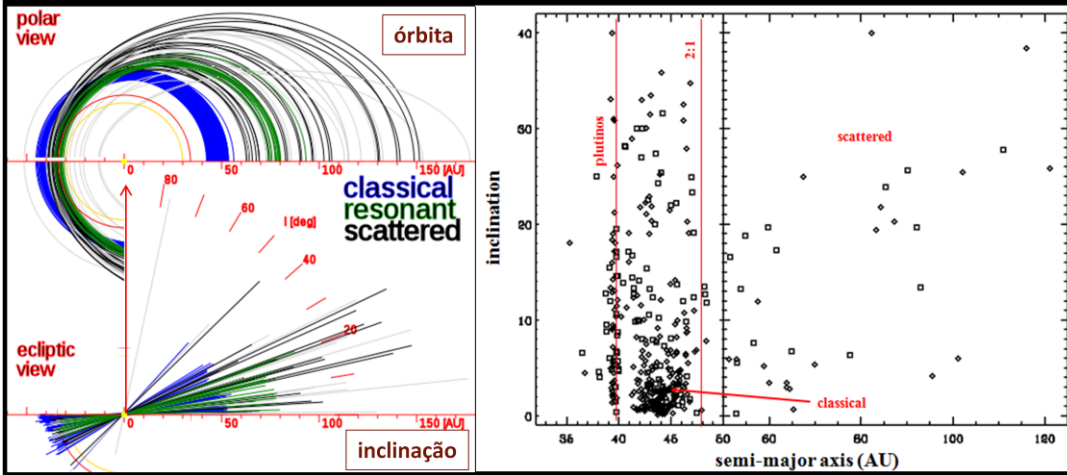
*"O cinturão de Kuiper revolucionou nossa compreensão do sistema solar. Não apenas responde a uma pergunta de longa data sobre a origem dos cometas, mas a estrutura do cinturão nos deu uma nova imagem da formação e evolução do sistema solar". - Dave Jewitt*

Fonte: <http://www.ifa.hawaii.edu/history/IfA50/Edge.shtml>

## Classificação dinâmica dos KBO

Há 3 grupos principais de objetos :

- Os Clássicos
- Os Ressonantes
- Os Espalhados (esparrramados)

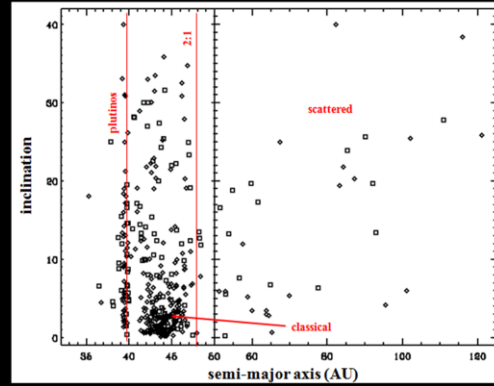
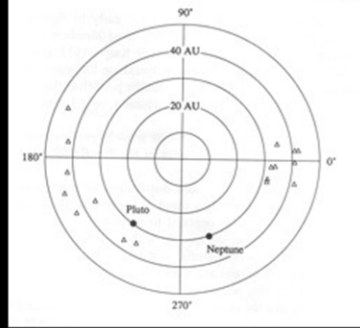


Ref.: Lysa Chizmadia - <http://geology.uprm.edu/lysa/ClassLectures/GEOL3045/3045-KBOs.ppt>

## Grupos dos KBO – Os Clássicos

### Cubiwanos (nome derivado de 1992 QB<sub>1</sub>)

- Localização entre 42 e 47 UA
- Não são ressonantes com Netuno
- **Dividem-se em 2 populações:**
- **Dinamicamente frios:**
  - Órbita quase circular ( $e < 0.1$ )
  - Baixa inclinação ( $i < 10^\circ$ )
  - Composição de cor avermelhada
  - Formados naquela posição, mas podem ter migrado por influência de Netuno
- **Dinamicamente quentes:**
  - Órbita quase circular ( $e < 0.1$ )
  - Elevada inclinação ( $i < 30^\circ$ )
  - Possivelmente formados nas proximidades de Júpiter e ejetados posteriormente.

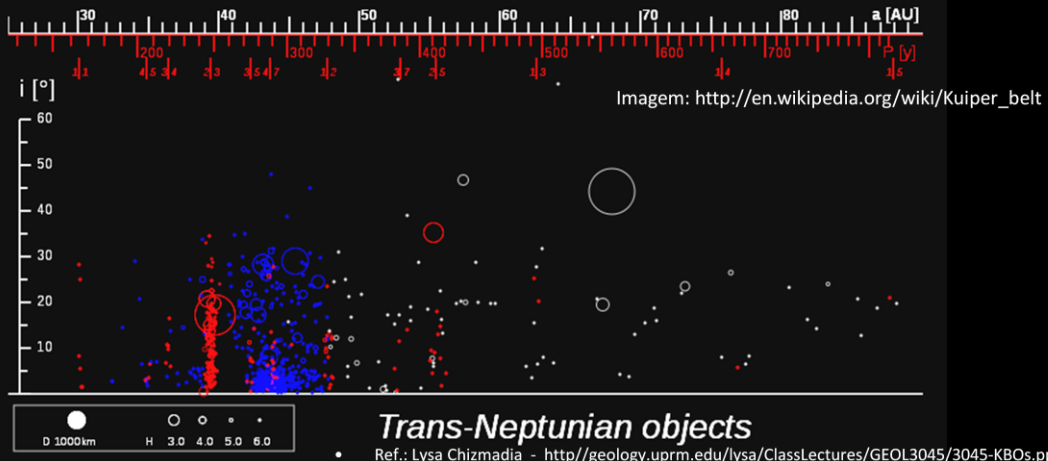


• Ref.: Lysa Chizmadia - <http://geology.uprm.edu/lysa/ClassLectures/GEOL3045/3045-KBOs.ppt>

## Grupos dos KBO – Os Ressonantes

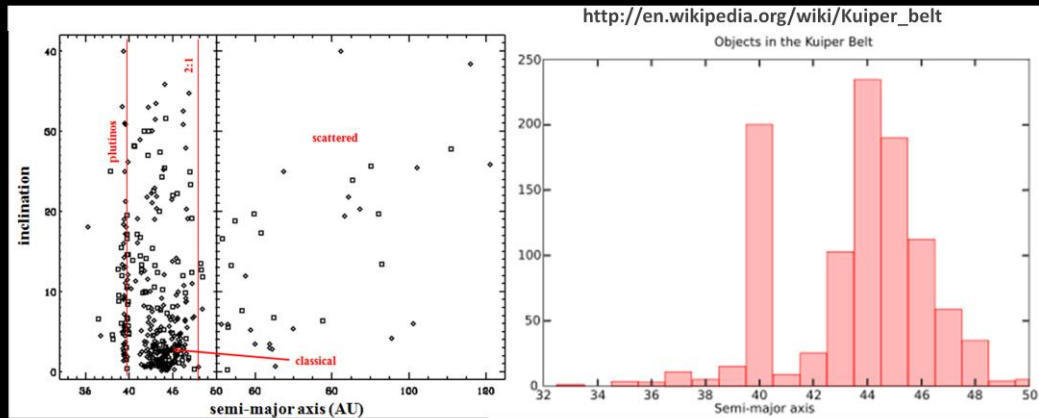
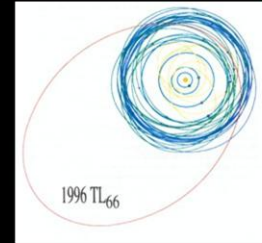
- Aprisionados em ressonâncias de movimento médio com Netuno
- 2:3 – Plutão e “Plutinos”
  - Semi eixo maior ~ 39,4 UA
  - ~ 200 objetos
- 1:2 – twotinos”
  - Semi eixo maior ~ 47,7 AU
  - Esparsamente povoada

Ressonâncias menores: 3:4, 3:5, 4:7, 2:5 > 50 UA “Kuiper Cliff”



## Grupos dos KBO – Os Espalhados

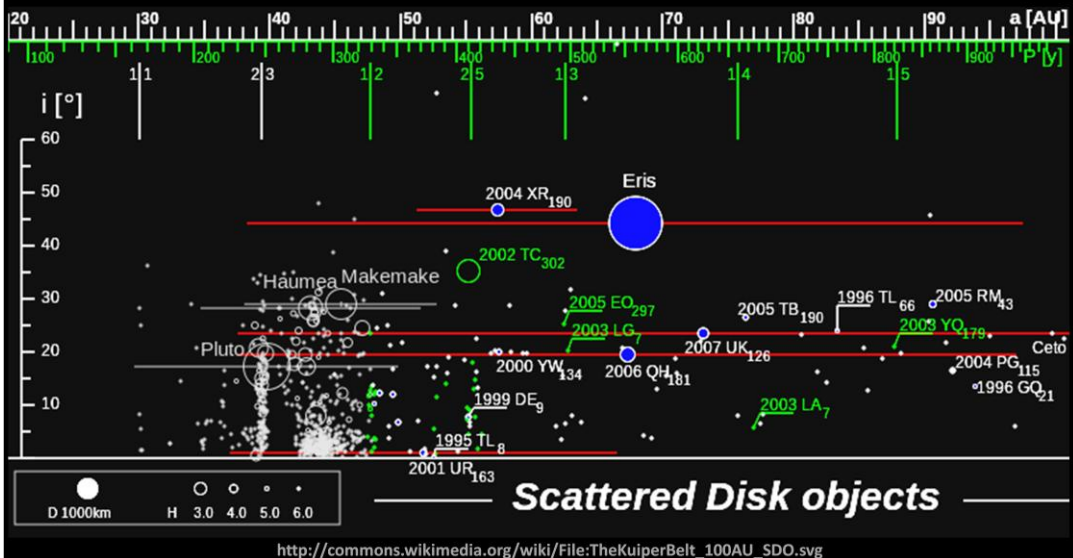
- Excentricidades elevadas: 0,59
- Inclinações elevadas:  $\approx 24^\circ$
- Fonte dos cometas da família de Júpiter



Ref.: Lysa Chizmadia - <http://geology.uprm.edu/lysa/ClassLectures/GEOL3045/3045-KBOs.ppt>

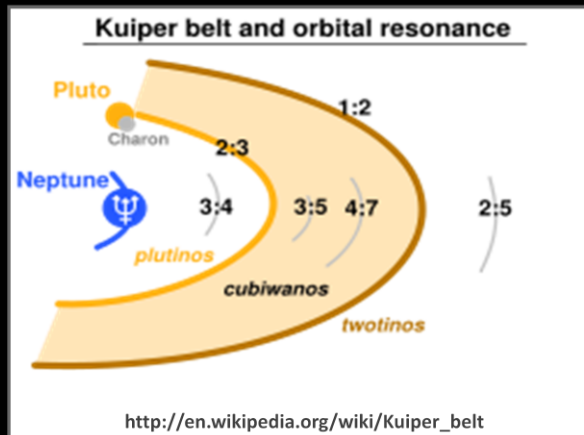
## Grupos dos KBO – Os Espalhados

- Excentricidades elevadas: 0,59
- Inclinações elevadas:  $\approx 24^\circ$
- Fonte dos cometas da família de Júpiter



## Estrutura do Cinturão

- Largura do cinturão: de 30 a 55 UA
  - Concentração maior:  
de 39,5 UA (ressonância 3:2) a 48 UA (ressonância 1:2)
- Espessura do cinturão: até 10° fora do plano da eclíptica
  - Distribuição mais difusa estende-se para as partes mais externas.



Ref.: Lysa Chizmadia - <http://geology.uprm.edu/lysa/ClassLectures/GEOL3045/3045-KBOs.ppt>

Parte dos KBOs clássicos e os Cubiwanos estão concentrados em uma região entre 30 UA e 50 UA, com órbitas inclinadas em menos de 5 graus em relação ao plano da eclíptica e eles têm cores avermelhadas. Eles são os objetos mais frios.

Os KBOs clássicos mais quentes têm inclinação orbital superior a 5 graus e as cores variam entre cinza azulado a vermelho.

Plutão, JR1, Orcus, Sedna, Makemake, Eris e muitos outros TNO's são avermelhados e cobertos de material orgânico conhecido como tholin.

Caronte, satélite de Plutão, não é cinza. Isso indica que Caronte não é da população clássica, que é mais fria. Caronte também tem composição química diferente de Plutão. Não foi detectado nitrogênio ou metano nele. Em vez disso, há principalmente gelo de água congelada com pequenas quantidades de amônia. Provavelmente Plutão veio do cinturão de Kuiper e já foi um KBO frio, que orbita dentro de um grupo de objetos a menos de 5 graus da eclíptica, mas agora está inclinado em 17 graus, tornando-o um objeto quente.

Como as órbitas dos KBOs clássicos são estáveis, inclinadas de menos de 5 graus, e eles são vermelhos, acredita-se que eles sejam remanescentes do material original da nebulosa primitiva que deu origem ao Sistema Solar. Os TNOs quentes são uma mistura de objetos azuis, cinza e vermelhos, são menos organizados em sua mistura de cores e excentricidade e inclinação orbitais, sugerindo que sua história pode ter sido menos estável. Plutão é do cinturão clássico de Kuiper, Caronte não é.

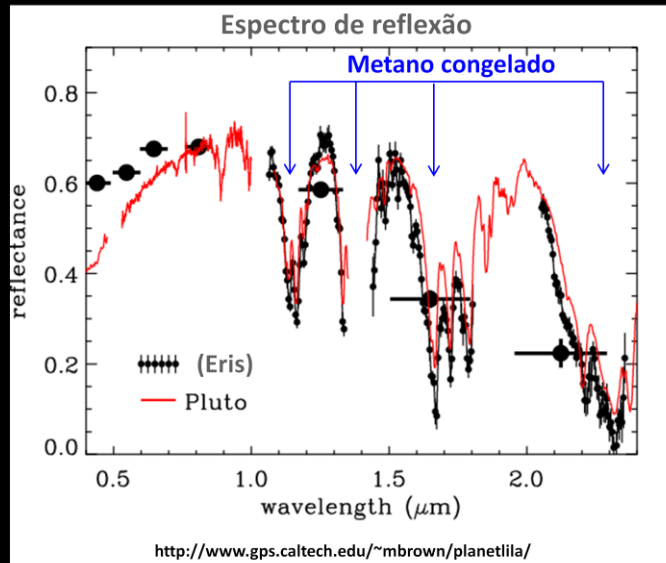
Fonte: <https://www.plutorules.com/page-33-kbo.html>

## A presença de gelo

**KBOs com satélites e dimensões conhecidas permitem concluir que suas densidades são consistentes com mistura de gelo e rocha**

A composição da superfície é variável, mas para os grandes KBO é dominada por voláteis, como água, metano, dióxido de carbono e outros.

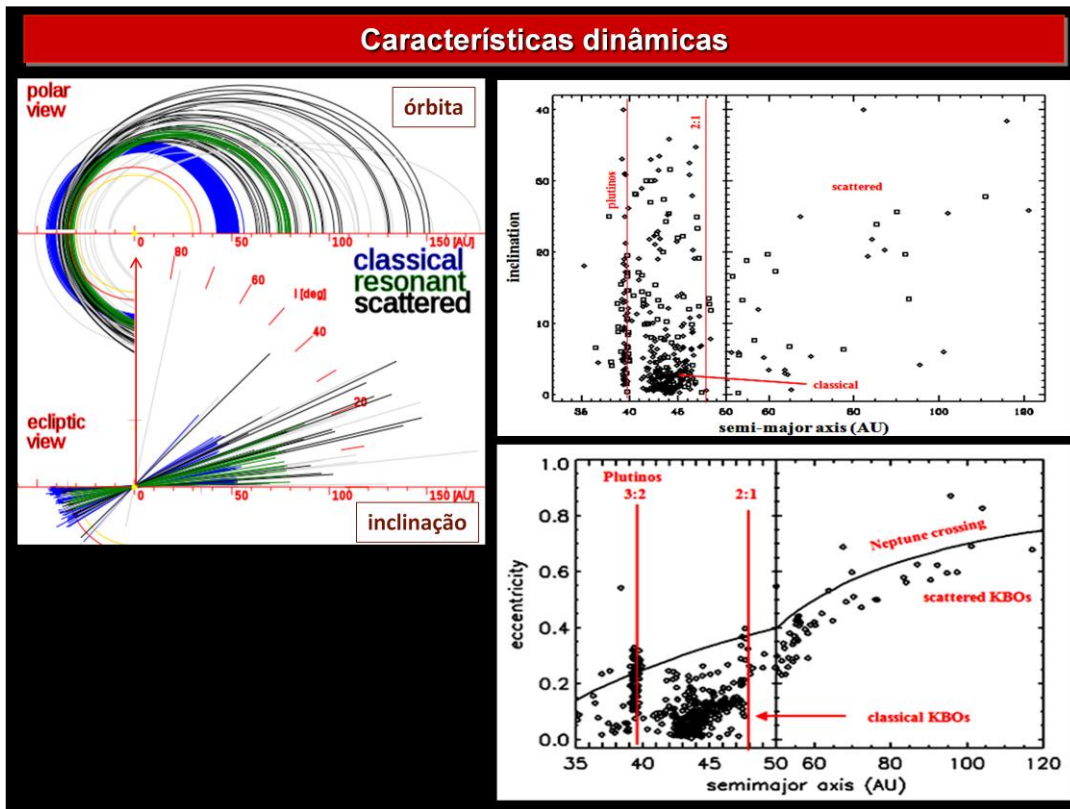
Dúvida: seria isso indicativo de interação entre atmosfera e superfície?



O gráfico acima compara a quantidade de luz solar infravermelha refletida no novo planeta com a quantidade de luz solar refletida em Plutão, para diferentes comprimentos de onda.

As quedas na quantidade de luz solar em 1,15, 1,35, 1,7 e 2,3  $\mu\text{m}$  (microns) são uma assinatura característica de uma superfície coberta com gás metano ( $\text{CH}_4$ ) congelado. Plutão e Eris mostram essas assinaturas. Nas temperaturas muito baixas de Plutão e Eris, o metano é congelado, ao contrário daqui na Terra em que ele está na forma gasosa. O interior de Eris, como o interior de Plutão, é provavelmente uma mistura de rocha e gelo.





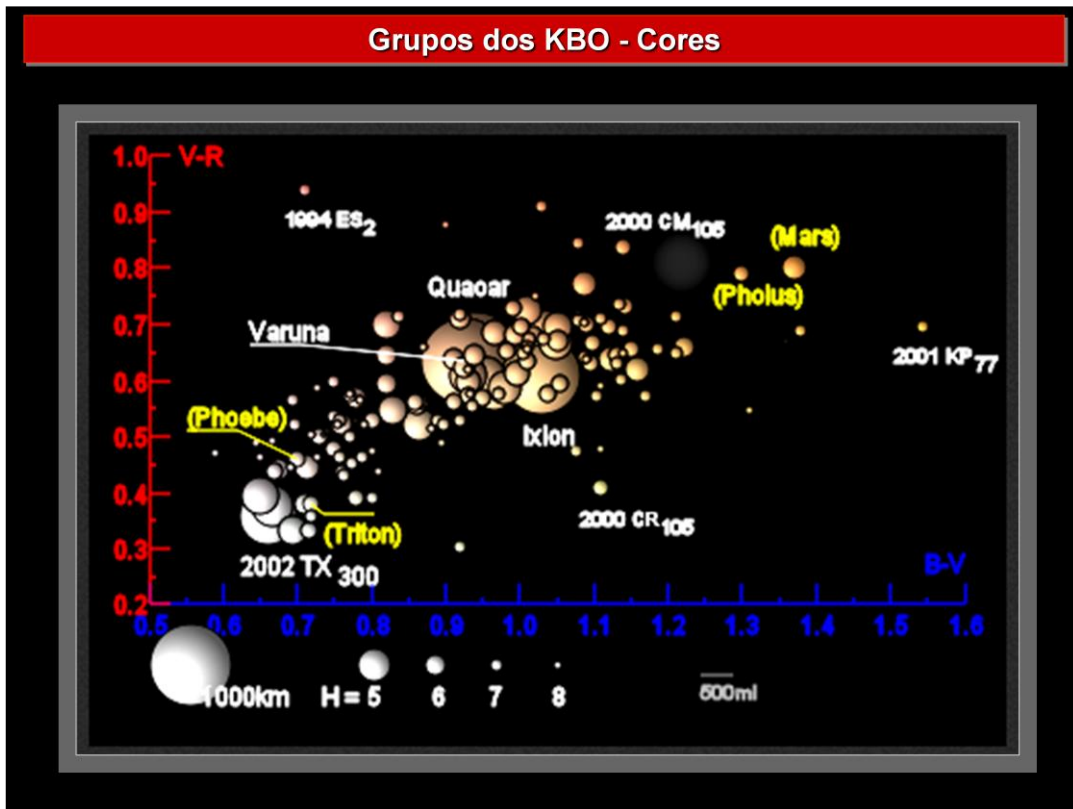
Vemos aqui distribuições da inclinação do plano orbital em relação ao plano da eclíptica e da excentricidades das órbitas dos objetos transnetunianos. O semi-eixo maior da órbita de Netuno é 30,11 u.a., portanto fora do intervalo de semi-eixo maior dos gráficos.

(Esquerda): Na posição de Plutão há um concentração de objetos, por isso eles foram classificados como “plutinos”. A maioria dos objetos se encontra no intervalo entre 42 e 48 u.a., e são classificados como “clássicos”. Adiante de 50 u.a. Há uma população espalhada até cerca de 189 u.a.; são os objetos da classe “espalhados”. Em número (quantidade) a maioria deles tem baixa inclinação. Quanto mais distante estiver o objeto, mais inclinada é a sua órbita.

(Direita): Embora os plutinos tenham órbitas bem parecidas, as excentricidades variam. O intervalo de excentricidade dos clássicos varia pouco, mas o intervalo dos espalhados varia bastante. De toda essa população, relativamente poucos cruzam a órbita de Netuno.

Em síntese, os processos dinâmicos que ocorreram e resultaram nessa distribuição não são simples de serem especificados, sobretudo porque eles ocorrem há 4,6 bilhões de anos.

## Grupos dos KBO - Cores



A posição de um objeto representa os dois índices de cores

- **eixo horizontal B-V**, *índice de cor azul*, ou seja, a diferença de magnitude entre as bandas espectrais visual (V, verde-amarelo) e azul (B)

- **eixo vertical V-R**, *índice de cor vermelho*, a diferença na magnitude entre os filtros vermelho e visual

- **cor**, representa o matiz do objeto (objeto mais brilhantes – albedo elevado – são mais claros; objetos escuros (que absorvem muito) representam albedo baixos

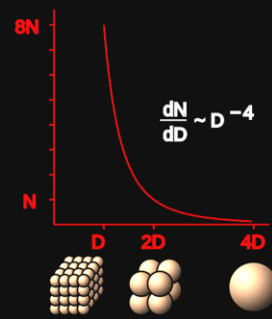
- **tamanho relativo**, é representando pelo diâmetro da esfera. Para alguns objetos transnetunianos grandes, o diâmetro desenhado representa as estimativas de 2006 (para albedos de melhor ajuste medidos). Para todos os outros, o diâmetro representa a magnitude absoluta (H) do objeto.

Fonte: Elaborado com as cores determinadas por “Hainaut & Delsanti (2002) *Cor de corpos menores no sistema solar exterior* *Astronomia e Astrofísica*, **389**, 641”;  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TheTransneptunians\\_Color\\_Distribution.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TheTransneptunians_Color_Distribution.svg)

## Função de Tamanho e Função de Massa

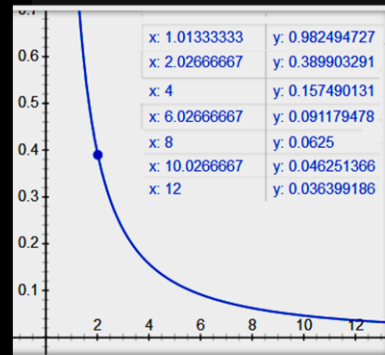
A distribuição de tamanho em uma grande população de corpos, com raios entre 150 km e 300 km, obedece a uma lei de potência com uma inclinação de -4, qual seja:

$$N(R) \propto R^{-4} \quad \text{ou} \quad N(R) \propto \frac{1}{R^4}$$



Para objetos semelhantes, a função de massa também segue uma lei de potência, mas com inclinação de -3/4, qual seja:

$$N(M) \propto M^{-4/3} \quad \text{ou} \quad N(M) \propto \frac{1}{\sqrt[3]{M^4}}$$



"The population size distribution of the Kuiper Belt", Trilling, D. E., 2002  
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2002DPS...34.0906T>

[http://www.phys.unm.edu/~gbtaylor/ast422/lectures/04\\_A422\\_ISM\\_IV.pdf](http://www.phys.unm.edu/~gbtaylor/ast422/lectures/04_A422_ISM_IV.pdf)

**Função de tamanho** ou **função de massa** são expressões matemáticas que representam a valores médios esperados de corpos de tamanho e massa definidos. Por exemplo, a expressão da função de tamanho  $N(R)$ , que significa a quantidade esperada de corpos de raio  $R$ , no caso para um intervalo entre 150km e 300km, mostra que o número esperado de corpos de raio  $R$  é inversamente proporcional ao raio à quarta potência. Isso significa que é de esperar mais corpos pequenos do que grandes. O comportamento dessa função de tamanho é mostrado no gráfico superior, no caso em função do diâmetro (lembre-se que  $D = 2R$ ).

De forma semelhante, a função de massa  $N(M)$ , ou seja, o número de corpos com massa  $M$ , afirma que essa quantidade é inversamente proporcional à raiz cúbica da massa elevada à quarta potência. Ou seja, há mais corpos de pequena massa do que corpos de grande massa. O comportamento dessa função de massa é mostrado no gráfico inferior.

## Os maiores KBOs

Objeto	H [mag]	p	D [km]	Tipo
2003 UB313	-1,2	0,86 +/- 0,07	2400 +/- 100	Espalhados
Plutão	-1,0	0,6	2320	Plutino
2003 EL61	0,4	0,6?	1200?	Clássico
2005 AF9	0,3	0,6?	1250?	Espalhados
Caronte	1,1	0,4	1270	Plutino
Sedna	1,6	0,2?	<1500?	Independente
2004 DW	2,2	0,04 / 0,12	~ 1500	Plutino
Quaoar	2,6	0,12	1200 +/- 200	Clássico
Ixion	3,2	0,09	1065 +/- 165	Plutino
2002 AW197	3,2	0,1	890 +/- 120	Espalhados
Varuna	3,7	0,07 +/- 0,02	900 +/- 140	Clássico

H : magnitude absoluta; p : albedo geométrico; D : Diâmetro.  
Tipo : Classificação orbital.

O primeiro KBO em escala de 1000 km foi o Varuna , descoberto e medido em 2001. No final de 2002, surgiu um KBO que pode ser ainda maior, o chamado Quaoar (pron: "Kwaaah").

O KBO 2004 DW tem uma magnitude absoluta como a de Quaoar, mas nenhum albedo foi medido. Admitindo albedo semelhante ao do Quaoar, 0,12, o diâmetro está próximo de 1500 km. Se for muito brilhante (albedo 0,4, como Caronte), terá cerca de 750 km de diâmetro.

Os diâmetros de todos os KBOs, exceto Plutão-Caronte, permanecem incertos no nível de 10 a 20%, na melhor das hipóteses. A maioria é pouco mais que suposições.

Em julho de 2005, foram relatados mais 3 KBOs nessa classe de tamanho grande, incluindo um (UB313 2003) que possui uma magnitude absoluta mais brilhante que a de Plutão (sugerindo que deve ser maior).

[http://www2.ess.ucla.edu/~jewitt/kb/big\\_kbo.html](http://www2.ess.ucla.edu/~jewitt/kb/big_kbo.html)

A procura de KBOs em uma área crescente do céu começa pela detecção dos corpos maiores e menos abundantes na distribuição de tamanho. Esses objetos de 1000 km de diâmetro ou maiores, que têm escala semelhante a Plutão, são em média 10 vezes maiores que os KBOs medidos com mais frequência. Alguns deles foram até chamados de planetas anões.

A medição do tamanho de um KBO é difícil de ser realizada. O brilho aparente, corrigido a uma distância padrão do Sol e da Terra, é chamado 'magnitude absoluta' (H). A magnitude absoluta fornece uma medida do produto do albedo do KBO com o quadrado de seu diâmetro. A partir de dados térmicos e ópticos, é possível separar o albedo do diâmetro (ao quadrado) e obter valores separados para ambos. Isso ocorre porque objetos de elevado albedo de um determinado tamanho são brilhantes, mas termicamente frios (porque refletem, não absorvem a maior parte da radiação solar incidente). Por outro lado, um objeto do mesmo tamanho, mas com albedo baixo brilha pouco porque reflete pouco (mas a superfície absorve a maior parte da luz solar e fica quente).

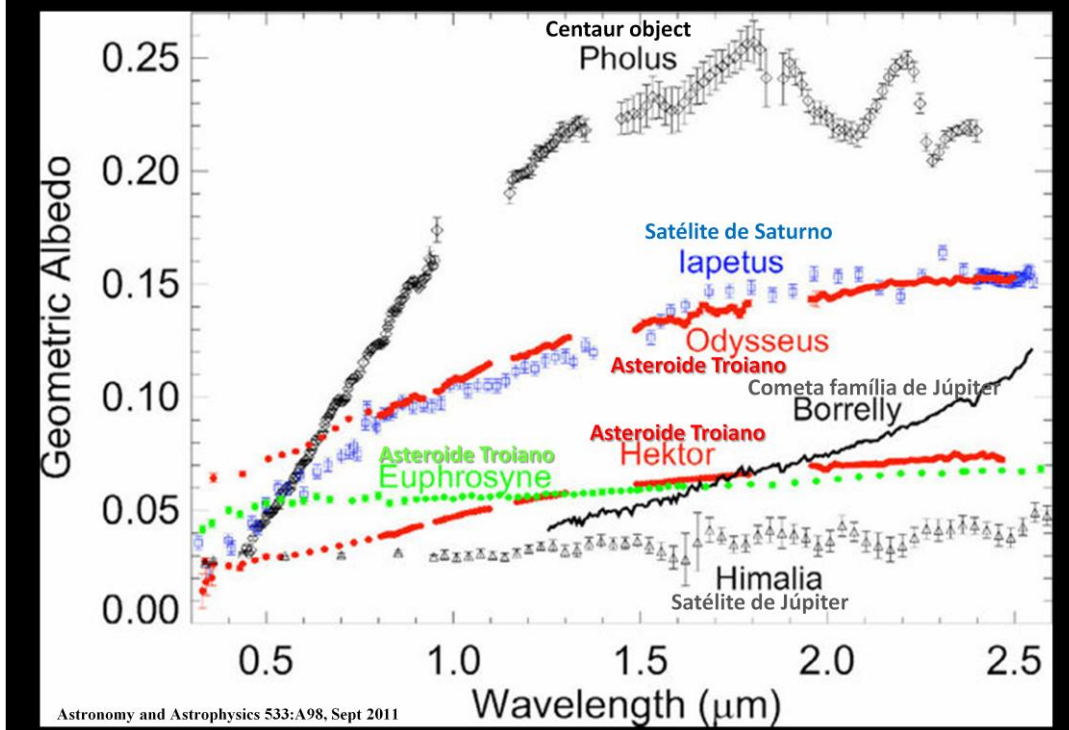
Os KBOs estão tão distantes e tão frios que sua radiação térmica atinge o pico (valor máximo) em comprimentos de onda mais longos (perto de 60 a 70 microns), onde a atmosfera da Terra é opaca. A radiação térmica só é possível de ser medida se o objeto for grande.

Os maiores TNOs

Largest known Trans-Neptunian Objects (TNOs)



## Refletância espectral de pequenos corpos: semelhanças e diferenças



Discutir diferenças, semelhanças ou mesmo parentesco entre os objetos da região adiante de Netuno é tarefa muito difícil, os corpos estão muito longe, são difíceis de serem observados e ocupam uma região vastíssima, que implica em grandes espaços vazios. Mesmo usando grandes telescópios e instrumentos de medição sensíveis de última geração, apenas os objetos maiores podem ser percebidos e estudados. Os pequenos, que devem ser bem mais numerosos, ficam no desconhecimento.

Uma vez conhecidos, os objetos são estudados e suas características dinâmicas, físicas e químicas são analisadas a ponto de distingui-los, até mesmo classificá-los em grupos.

A figura acima é um exemplo. Nela estão os espectros apresentados por alguns objetos. Nota-se a nítida diferença de composição química entre eles. Por que eles são assim? Eles devem ter sido formados em regiões distintas, porque são distintos. Então, como foram parar aí?

Desvendar essas dúvidas significa chegar mais próximo da realidade que caracterizou a formação do Sistema Solar.

## Sistema Plutão

- Baricentro está entre Plutão e Caronte
- São conhecidos 5 satélites
  - Caronte (metade do diâmetro de Plutão)
  - Nix (Diâ: 46 – 136 km e no mesmo plano orbital de Caronte)
  - Hidra (Diâ: 44 – 134 km e ressonância ~1:6 com Caronte)
  - Cérbero (Diâ: 13 – 34 km)
  - Estige (Diâ: 10 – 25 km)
- Atmosfera:
  - $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$



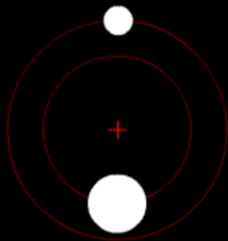
Imagens: [http://en.wikipedia.org/wiki/Charon\\_\(moon\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Charon_(moon))

## Sistema Plutão

Período rotacional de Plutão e de Caronte, assim como o período orbital de ambos em torno do centro de massa, é único: 6d 9h 21m

Plutão e Caronte têm sempre o mesmo hemisfério voltado um para o outro. Não há “nascer” ou “pôr” de um em relação ao outro.

Isso é consequência do bloqueio por maré (sincronismo).



[www3.amherst.edu/~gsgreenstein/progs/animations/pluto\\_charon.gif](http://www3.amherst.edu/~gsgreenstein/progs/animations/pluto_charon.gif)

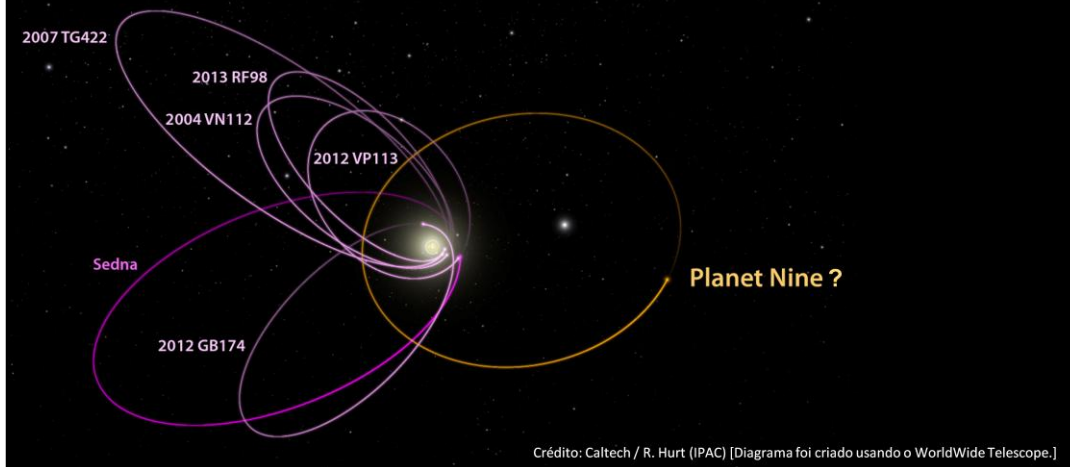
[http://en.wikipedia.org/wiki/Barycentric\\_coordinates\\_\(astronomy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Barycentric_coordinates_(astronomy))



## Novo planeta?

- ✓ Os seis objetos mais distantes conhecidos na região transnetuniana (cor magenta) se alinham misteriosamente em uma única direção. Vistos em três dimensões, todos se inclinam quase identicamente para longe do plano do Sistema Solar.
- ✓ Batygin e Brown mostram que um planeta (planeta nove?) com dez vezes a massa da Terra em uma órbita excêntrica distante alinhada com os outros seis objetos (cor laranja) é necessário para manter essa configuração.

Diagrama criado usando o WorldWide Telescope. Caltech / R. Ferido (IPAC)



A base para se pensar na existência do nono planeta é a maneira como alguns dos objetos dessa região longínqua, transnetuniana, se comportam. Os TNOs são objetos rochosos menores que Plutão que orbitam o Sol a uma distância média maior que Netuno. Mas as órbitas dos mais distantes deles - aqueles cujas distâncias médias do Sol são mais de 250 vezes a distância da Terra - parecem apontar para a mesma possibilidade: a possível existência do nono planeta, ou de um grupo de objetos, ambos ainda desconhecidos, que estão perturbando as órbitas desses já conhecidos.

Para que esses TNOs estejam alinhados nas órbitas que atualmente ocupam devido à influência do nono planeta, eles estariam no Sistema Solar por mais de um bilhão de anos. No entanto, pensa-se que, nesse intervalo de tempo, alguns desses objetos deveriam ter colidido com outro planeta, lançados ao Sol ou ricocheteado no espaço pela força gravitacional de outros planetas.

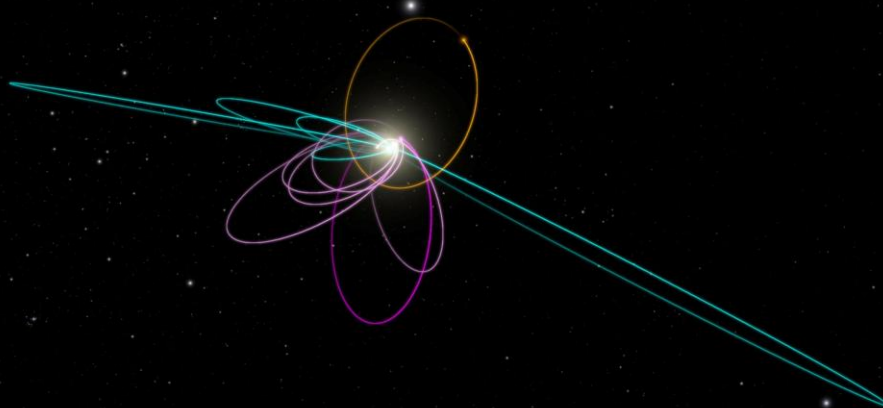
Esse estudo baseia-se em simulações dinâmicas, que invocam hipóteses, por exemplo, (a) o Planeta Nove faria com que o Sistema Solar tivesse a aparência atual, impedindo que os TNOs fossem destruídos ou jogados para fora dele, ou (b) que um processo conhecido como "ressonância de salto", pelo qual um TNO salta entre órbitas estáveis tenha prevalecido e impedido que os TNOs fossem ejetados do Sistema Solar.

Fonte de consulta: <https://phys.org/news/2017-10-ninth-planet.html>

## Novo planeta?

### Consequência prevista do Planeta Nove:

- ✓ Deveria existir ainda um segundo conjunto de objetos confinados, com posições perpendiculares ao Planeta Nove e em órbitas que são perpendiculares ao plano do Sistema Solar.
- ✓ Cinco objetos conhecidos (azul) preenchem essa previsão com precisão.



Crédito: Caltech / R. Hurt (IPAC) [Diagrama foi criado usando o WorldWide Telescope.]

## Resumo do KBOs

- Concentrados entre 33 e 50 UA
- Compostos de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  &  $\text{H}_2\text{O}$  congelada
- Quaoar tem superfície coberta por gelo de água cristalina
  - Há evidencia de processo de remodelação da superfície
- Três tipos de objetos:
  - Clássicos
  - Ressonantes
  - Espalhados
- Centauros (cometas) tem composição semelhante
  - Podem ter origem no Cinturão Kuiper