

A nova Astronomia com ALMA

José Afonso

Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

jafonso@oal.ul.pt

O revolucionário telescópio ALMA começa finalmente a funcionar em pleno. No topo do planeta, a 5000 metros de altitude, as suas observações fazem vislumbrar realidades frequentemente inesperadas, alterando a nossa compreensão do Universo. A participação portuguesa nesta nova Astronomia está assegurada.

Introdução

O estudo do Universo, aquele que se situa para além do pequeno planeta azul, encontra, inevitavelmente, uma limitação fundamental: apenas podemos conhecer o que observamos, e apenas observamos o que os nossos instrumentos e telescópios detectam. Assim, ao longo dos últimos 500 anos, passámos por inúmeros modelos do Universo, à medida que desenvolvíamos para os nossos olhos instrumentos capazes de aumentar a sua capacidade. Telescópios primeiro, detectores de radiação (de várias radiações) de seguida, levaram a que a Astronomia expandisse em muito o seu objecto de estudo, de um “simples” céu repleto de estrela, matemático e preciso, para um (quase) infindável oceano cósmico de objetos e processos interligados pelas leis da Física.

Mas gerações de telescópios, detectores e investigadores não parecem suficientes senão para compreender que há

sempre mais, muito mais, para procurar compreender. Surpreendentemente, após milénios de estudo, eis que, em pleno século XX, chegámos à conclusão que o Universo esconde os seus segredos mais profundos por detrás de poeira. Poeira! Estrelas e planetas aparentemente escondem a sua formação inicial em ambientes ricos em poeira, apenas saindo desse casulo quando já com alguma maturidade. Galáxias que aparentam uma normalidade óbvia, revelam-se tremendos “monstros” quando a radiação da sua própria poeira é detectada. A própria origem da Vida poderá estar escondida nas regiões mais ricas em “pó cósmico” e o estudo da química dessas regiões encontrava-se, até há pouco, para além da nossa capacidade de observação. Subitamente, tudo o que sabíamos do Cosmos aparecia apenas como a lendária “ponta do icebergue”, e novas capacidades eram necessárias para compreender a verdadeira natureza do Universo.

Em finais do século XX os astrónomos estabelecem o plano: é necessário estudar o Universo detectando a radiação da própria poeira, numa região do espectro electromagnético entre o infravermelho longo e o rádio, o chamado sub-milímetro. Europa,



Fig. 1 - Algumas das antenas do ALMA, no planalto de Chajnantor, a iniciar uma sessão de observação. No céu, à esquerda na imagem, é visível o planeta Júpiter, enquanto que na direita são visíveis a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães (imediatamente acima da antena da direita e no canto superior direito, respectivamente), duas pequenas galáxias irregulares que orbitam a Via-Láctea. [ESO e B. Tafreshi]

Estados Unidos e Japão desenvolvem, independentemente, planos para revolucionários observatórios de sub-milímetro, capazes de responder a algumas das questões mais fundamentais da Astronomia. Rapidamente, contudo, chegam à conclusão que “a revolução” é demasiado cara para ser realizada por um único país.

Um acordo é alcançado e, nos primeiros anos deste século, nasce o telescópio mais global alguma vez construído: o Atacama Large Millimetre/submillimetre Array (ALMA). Com o contributo de Estados Unidos e Canadá, da Europa (através do Observatório Europeu do Sul, do qual Portugal é membro pleno desde 2001), do Japão em colaboração com Taiwan, e do Chile, o ALMA pretende alcançar uma visão radicalmente mais detalhada do Universo e, pela primeira vez, revelar os detalhes sobre o nascimento de estrelas e planetas, as primeiras galáxias do Universo e até mesmo a identificação dos “alicerces” da Vida no espaço interestelar.

Portugal, através do Centro de Astronomia e Astrofísica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (CAAUL), apostou desde cedo na revolução ALMA, tendo sido esta uma das suas prioridades estratégicas ao longo dos últimos anos. Em 2014, em resultado das capacidades entretanto desenvolvidas, o CAAUL foi nomeado pelo Observatório Europeu do Sul como “Centro de Competências para o ALMA”, o que lhe dá acesso à infraestrutura europeia que gere e desenvolve o observatório, permite apoiar e incentivar a utilização do ALMA pela comunidade científica nacional e participar na qualificação e verificação dos dados que o Observatório Europeu do Sul efetua.

A Ciência do ALMA

O ALMA é constituído por 66 telescópios (vulgarmente designados por antenas nestes comprimentos de onda) instalados no planalto de Chajnantor, a 5000 metros de altitude, no deserto do Atacama, no Chile. A elevada altitude e aridez neste local são exigências da observação de radiação no sub-milímetro, facilmente absorvida pelo vapor de água na atmosfera terrestre. Cinquenta das antenas, com 12 metros de diâmetro, encontram-se espalhadas pelo planalto, numa extensão variável que pode chegar aos 16 quilómetros. Doze antenas são um pouco mais pequenas, com 7 metros de diâmetro, e encontram-se concentradas na região central do planalto. Finalmente, as últimas quatro antenas possuem 12 metros de diâmetro e são usadas para assegurar a boa calibração do conjunto. Os diferentes tipos de antena complementam-se, assegurando uma elevada fidelidade e precisão na observação, que é efectuada por interferometria: um super-computador combina as observações das antenas e reconstrói o que seria possível observar com uma única antena com a dimensão de todo o

conjunto, ou seja, com até 16 quilómetros de diâmetro. Na sua máxima capacidade, prestes a ser alcançada, o ALMA conseguirá obter imagens com um detalhe cerca de dez vezes superior às do Telescópio Espacial Hubble.

Com tal capacidade, não é de estranhar a elevada expectativa colocada no ALMA. Todos os tópicos de Astronomia serão tocados pelo novo observatório, mas uma particular atenção é dada aos processos físicos e químicos que acontecem nas regiões mais frias do Universo que permaneceram, até agora, escondidas do nosso olhar:

- como se formam estrelas e planetas, em nuvens frias (10 a 50 K) e densas de gás e poeira no espaço interestelar, na Via-Láctea e em outras galáxias;
- como é a química de moléculas complexas nestas regiões, e poderemos começar a observar a formação dos blocos mais básicos constituintes da própria Vida?
- quais as transformações que acompanham os estágios finais da vida de uma estrela?
- como se dá a formação das primeiras galáxias do Universo há mais de 12 mil milhões de anos? E como evoluíram a partir daí?

Embora o ALMA esteja agora a começar a funcionar em pleno, as observações já começaram em 2011, quando 16 das antenas estavam aptas a trabalhar em conjunto. Os primeiros resultados científicos começaram já a ser publicados, após meses de trabalho por parte de investigadores e técnicos que melhoram constantemente as capacidades do telescópio. Alguns dos primeiros resultados do ALMA são apresentados abaixo, como um exemplo do que a Astronomia pode alcançar com este revolucionário instrumento. Fica, contudo, a ressalva: com o ALMA, o melhor ainda está para vir.

Primeiros resultados do ALMA

1) Formação e morte de estrelas

Sabemos hoje que as estrelas se formam nas zonas mais densas e frias de nuvens moleculares, por acreção gravitacional. A compressão da matéria faz aumentar progressivamente a temperatura destes “núcleos quentes”, que frequentemente se fragmentam, levando à formação de não apenas uma mas de muitas estrelas – um aglomerado



Fig. 2 - Uma vista aérea do planalto de Chajnantor, a 5000 metros de altitude nos Andes Chilenos, onde as 66 antenas do ALMA estão instaladas. [ESO, Clem e Adri Bacri-Normier]

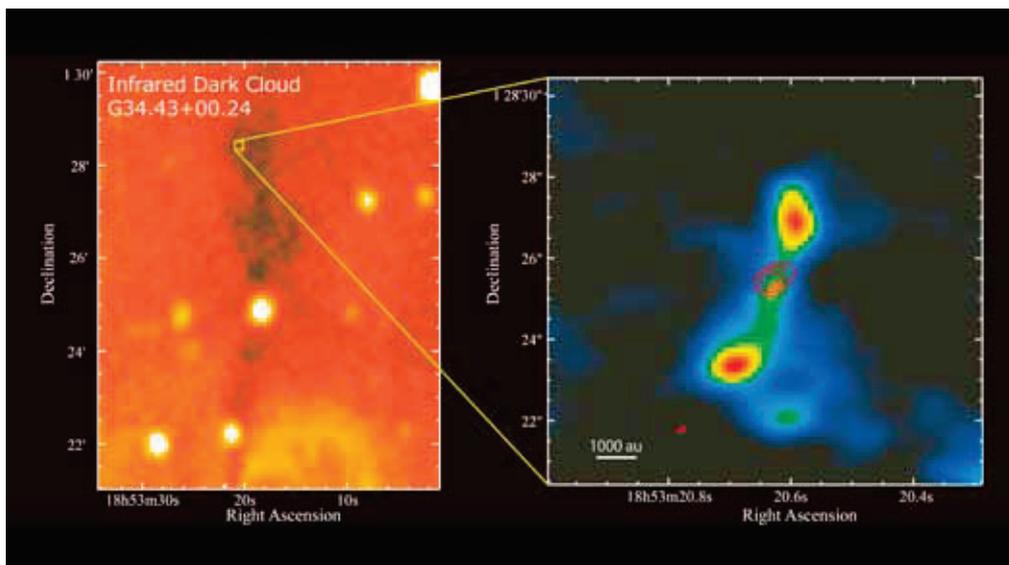


Fig. 3 - À esquerda, a imagem no infravermelho da nuvem escura G34.43+00.24. À direita, a imagem obtida pelo ALMA da protoestrela gigante ali existente e do jacto jovem a ela associado, um jacto que terá menos de 1000 anos de idade. [Takeshi Sakai/UEC/NAOJ]

ou enxame de estrelas. O processo de formação de uma estrela é ainda acompanhado de jactos e ventos (estelares) fortíssimos, que vão ter um impacto considerável no meio circundante, podendo mesmo despoletar a formação de estrelas em regiões próximas.

O estudo das fases mais iniciais da vida de uma estrela tem sido, contudo, quase impossível. Os ambientes onde estes processos têm lugar são muito ricos em poeira, o que impossibilita o seu estudo detalhado com telescópios ópticos, como, por exemplo, o Telescópio Espacial Hubble. O ALMA, contudo, foi desenhado especificamente para estudar estes ambientes, as suas condições físicas e químicas, tendo já obtido algumas descobertas surpreendentes.

Em primeiro lugar, a queda de material que resulta na formação de uma estrela parece poder dar-se em muito maior escala do que anteriormente pensado. Através de observações da nuvem escura G34.43+00.24, investigadores descobriram uma protoestrela em formação no seio de um núcleo quente com uma dimensão de 800 UA¹, cerca de dez vezes maior do que esperado. Foi ainda observado um jacto propagando-se a uma velocidade de 28 km/s e uma extensão superior a 4000 UA, o que sugere uma idade de apenas 740 anos. Embora os jactos sejam comuns em protoestrelas e tenham sido estudados no passado, um jacto tão jovem revela uma fase muito rara (porque curta) do processo de formação estelar.

Numa outra nuvem, a SDC335.579-0.292, o ALMA também observou a queda de material para formar uma estrela. Aí, foi possível medir uma massa superior a 500 vezes a do Sol em queda para um núcleo protoestelar, que se pensa poder vir a transformar-se numa estrela muito rara de massa superior a 100 vezes a massa do Sol – apenas uma em 10 mil estrelas na Via-Láctea atinge uma tal massa. O estudo da formação de tal monstro estelar é de extrema importância, pois estas estrelas massivas, muito quentes e brilhantes, são marcantes na evolução de uma galáxia: não só emi-

tem quantidades imensas de radiação ultravioleta, ionizando o material que as rodeia, como morrem rapidamente (em alguns milhões de anos apenas), numa explosão de supernova, que espalha os elementos químicos produzidos no interior da estrela durante a sua vida. Elementos químicos como o carbono e o oxigénio, por exemplo, que vão depois estar presentes na formação de novas estrelas, planetas, e que são essenciais para a existência da (nossa) vida. Para além disso, na própria explosão de supernova que acompanha a morte de uma estrela de grande massa, vários elementos químicos e compostos mais complexos são formados – uma etapa fundamental, mas ainda muito desconhecida, para a compreensão do enriquecimento químico do Universo.

A supernova 1987A, situada na Grande Nuvem de Magalhães, uma galáxia anã que orbita a Via Láctea a cerca de 168 mil anos-luz, constitui o exemplo mais próximo de uma supernova observada nas últimas centenas de anos. Desde 1987, quando foi observada a explosão, tem sido estudada em detalhe com telescópios terrestres e espaciais, no sentido de perceber as supernovas e o seu efeito no meio interestelar.

Os modelos existentes indicam que, após uma explosão de supernova, dar-se-á a formação abundante de novas moléculas e poeira, à medida que átomos de oxigénio, carbono e silício se ligam nos locais mais frios da nebulosidade que resulta da explosão - o remanescente de supernova. É necessária uma elevada eficiência deste processo para compreender muitas das observações astronómicas mais recentes, mas tal carecia ainda de comprovação.

As observações do ALMA vieram agora confirmar este cenário. A observação permitiu descobrir o equivalente a 25% da massa do Sol em poeira fria recentemente formada no remanescente de super-

¹ UA=Unidade Astronómica, a distância média entre a Terra e o Sol, ou seja, cerca de 150 milhões de quilómetros

nova 1987A - uma quantidade gigantesca, considerando que se trata do efeito da morte de uma estrela apenas. Embora existam outros processos para a formação de poeira no Universo, em particular processos que têm lugar na proximidade de estrelas mais idosas, este é um dos poucos processos que podem justificar a origem da grande quantidade de poeira observada em galáxias distantes e muito jovens.

2) Formação de planetas

Os planetas formam-se no mesmo processo que forma as estrelas, no disco de poeira que se forma em torno de uma protoestrela. Mas os detalhes não são ainda conhecidos. Como é que os grãos de poeira num tal disco podem crescer até formar um “rochedo” e eventualmente um planeta? As próprias colisões com outras partículas de poeira podem destruir os grãos maiores, ou retirar-lhes energia, levando-os a cair para a estrela e impedindo a formação de um planeta. Tal levou os investigadores a colocarem a hipótese da existência de “armadilhas de poeira”, zonas que favorecem uma maior concentração de partículas de poeira e abrem caminho para a formação de corpos cada vez maiores.

Ao observar um disco de poeira em torno de uma estrela jovem (Oph-IRS 48) a 400 anos-luz de distância, o ALMA observou pela primeira vez estas “armadilhas de poeira”. As imagens revelaram uma assimetria bastante acentuada para a distribuição de grãos de poeira grandes neste disco. No sistema de Oph-IRS 48 esta região está relativamente longe da estrela, sendo de prever que venha a ser uma região de formação de cometas. Mas o mesmo processo poderá estar a acontecer em outros sistemas estelares jovens, mais próximo da sua estrela, algo que poderá ser observado muito em breve quando o ALMA estiver concluído.

O ALMA ofereceu outras pistas sobre o processo de formação de planetas. A observação do sistema VLA1623, um sistema de três protoestrelas em formação, revelou a existência de um disco já bem estabelecido em torno de uma delas. Tal não era esperado, pois os modelos existentes indicavam que um disco de material apenas pode estabilizar numa fase posterior do processo de formação de uma estrela. De algum modo outros factores, como campos magnéticos ou turbulência, devem contribuir para a formação de um disco protoplanetário em fases muito iniciais.

Um dos mais curiosos aspectos revelados com o ALMA foi a primeira detecção da localização de gelo (de monóxido de carbono, CO) em torno de uma estrela jovem, a TW Hydrae, num sistema estelar bastante semelhante ao que o Sistema Solar deve ter sido na sua fase de formação. Este é o sistema mais próximo (cerca de 175 anos-luz) onde uma protoestrela aparece com um disco circum-estelar

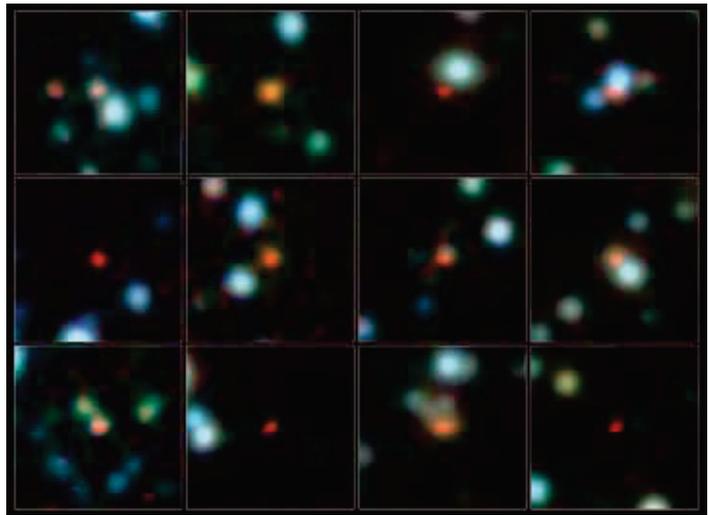


Fig. 4 - Algumas das dezenas de galáxias distantes identificadas em tempo recorde pelo ALMA. As detecções do ALMA são mostradas a vermelho/laranja (no centro de cada imagem), sobrepostas em imagens de infravermelho obtidas com o telescópio espacial Spitzer - e onde as galáxias não são detectadas. O ALMA necessitou apenas de alguns minutos para revelar cada uma destas galáxias. [ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), J. Hodge et al., A. Weiss et al., NASA Spitzer Science Center]

muito rico em gás. Através da observação da molécula N_2H^+ , uma molécula frágil que é destruída na presença de CO gasoso (pelo que apenas será observada em zonas onde o CO congelou), foi possível observar a localização precisa do gelo de CO no disco circum-estelar: situa-se a cerca de 30 UA da proto-estrela. Esta é uma informação importante para compreender a formação de planetas: o gelo de CO formar-se-á na superfície dos grãos de poeira, e ajudará a acelerar a sua aglutinação em corpos maiores e que eventualmente se transformarão em planetas. Por outro lado, o CO é necessário para a formação de metanol, um constituinte de moléculas orgânicas essenciais à Vida. Estaremos a ver o nascimento de futuras novas formas de vida...?

3) A formação e evolução de galáxias

Outro dos tópicos onde se espera um maior impacto das observações do ALMA é o da formação e evolução de galáxias. Numa das suas primeiras observações, o observatório identificou em apenas algumas horas dezenas de galáxias distantes, reveladas através de observações com outros telescópios ao longo de vários anos. Esta é uma demonstração dramática da enorme eficiência do ALMA, ainda mais se considerarmos que estas observações iniciais foram efectuadas com apenas 16 antenas. Curiosamente, muitos dos sistemas observados revelaram-se, graças à resolução do ALMA, não como uma galáxia apenas mas como várias, possivelmente fisicamente relacionadas. Tal resultado tem implicações fortes em qualquer interpretação de observações em sub-milímetro efectuadas a mais baixa resolução: é fundamentalmente diferente para perceber a evolução do Universo ter uma galáxia com uma taxa de formação estelar excepcional ou ter três com taxas de formação estelar mais “aceitáveis”...

Recorrendo a esta espetacular capacidade do ALMA foi entretanto possível começar a “reescrever” a história da

formação estelar no Universo. Sabemos hoje que o Universo formava muito mais estrelas no passado do que hoje – cerca de 10 vezes mais formação estelar há 10 mil milhões de anos, quando o Universo tinha pouco mais de 3,5 mil milhões de anos, do que atualmente. Porém, o ALMA revelou um número significativo de galáxias com formação “explosiva” de estrelas a distâncias ainda maiores, indicando que o Universo pode já estar a formar intensamente estrelas dois mil milhões de anos após o *Big Bang*.

Mas podemos olhar ainda para mais longe com o ALMA. O sistema Himiko, que está tão distante que a sua luz foi emitida quando o Universo tinha apenas 800 milhões de anos, é composto por três galáxias, num processo de fusão que se crê ter acontecido em quase todas as galáxias ao longo da sua vida. A atividade é intensa, havendo formação de estrelas massivas e luminosas que aquecem o espaço envolvente, rico em hidrogénio. Estranhamente, o ALMA não revelou em Himiko qualquer sinal do carbono que deveria estar presente de forma abundante, colocando a hipótese de estarmos a observar a formação de uma galáxia constituída quase inteiramente de hidrogénio primordial e a formar as suas primeiras estrelas.

4) A (nova) Astroquímica

Outra das áreas que mais avançará com as capacidades do ALMA é a do conhecimento da química no Universo. Conhecemos hoje mais de 170 moléculas no espaço, incluindo moléculas orgânicas como açúcares e álcoois. Contudo, a sensibilidade do ALMA é tão grande que muitas das observações revelarão radiação de moléculas ainda não estudadas em laboratório e cuja identificação será assim muito difícil ou mesmo impossível. Nesse sentido foi realizado, nos últimos anos, um enorme esforço para colmatar as lacunas no nosso conhecimento nesta área, havendo hoje investigadores que procuram observar, em laboratório, ou modelar, em computador, muitas das moléculas que esperamos poder observar no meio interestelar. É esperado que este esforço venha a ajudar a reconhecer os sinais dos próprios constituintes da Vida quando o ALMA os observar no espaço.

Um enorme passo foi dado recentemente. Pela primeira vez o ALMA permitiu detectar a presença de um açúcar simples, o glicolaldeído, no gás que rodeia uma estrela binária jovem, com uma massa não muito diferente da do Sol. O glicolaldeído terá sido um dos principais “atores” na química da Terra pré-biótica, levando à formação da Vida que conhecemos. Embora este composto já tivesse sido detectado no meio interestelar, é a primeira vez que é descoberto próximo, a cerca de 25 UA, de uma estrela jovem. Tal mostra como alguns dos componentes básicos da Vida podem já existir mesmo antes da formação dos próprios planetas, e que participam na sua formação desde muito cedo.



José Afonso é licenciado em Física e Mestre em Astronomia e Astrofísica pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Doutorado em Astrofísica pelo Imperial College de Londres, é Investigador na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e Director do Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa. É especialista em formação e evolução de galáxias, cujo estudo efectua recorrendo aos melhores observatórios terrestres e espaciais. Esteve presente no desenvolvimento do ALMA desde 2004, enquanto membro dos comités de aconselhamento científico do projecto (tendo coordenado o painel de aconselhamento do Observatório Europeu do Sul para o ALMA entre 2007 e 2009).