

## **EVOLUÇÃO DO $^{13}\text{CO}$ E DO $\text{C}^{18}\text{O}$ EM NUENS MOLECULARES ESCURAS.** Rafael Mário Vichiatti, Carmen Maria Andreazza. – Astronomia – Física – Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro.

O meio interestelar, de um modo geral, é referido ao gás e poeira que permeiam o espaço entre as estrelas. As temperaturas variam entre 10 e  $10^6$  K, enquanto as densidades podem ter valores que vão desde 0,01 a  $10^8 \text{ cm}^{-3}$ . As regiões mais vazias e quentes são conhecidas como gás coronal, enquanto as mais frias e densas são chamadas de nuvens moleculares. Essas nuvens podem ter dimensões de 1 a dezena de parsecs, temperatura de 3 até mais de  $10^4$  K, densidade de 0,1 a  $10^6 \text{ cm}^{-3}$  e massa compreendida entre 0,1 a  $10^6 M_{\odot}$ . Sua composição química é dada pela abundância universal dos elementos, constituída basicamente de hidrogênio, hélio na proporção de 10%, elementos mais pesados (O, C, N) na proporção da ordem de 0,01% e podem também ser encontradas moléculas e radicais, como  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}^+$  e OH. Muitas dessas moléculas conseguem sobreviver e podem ser detectadas no interior de nuvens densas, pois são protegidas da radiação ultravioleta das estrelas.

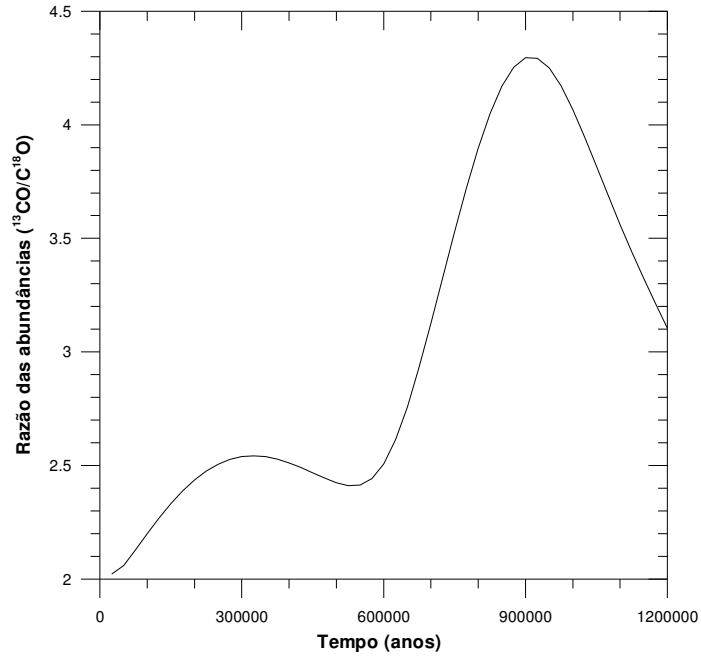
Alguns fatores podem influenciar consideravelmente a química nessas nuvens, como por exemplo, a ionização das espécies químicas por raios cósmicos provenientes do meio interestelar e suas perdas nas superfícies de grãos de poeira presentes na nuvem. Os raios cósmicos são os principais responsáveis pela ionização das moléculas no interior das nuvens moleculares. Já os grãos são pequenas partículas sólidas basicamente compostas por uma mistura de grafite e silicatos e acredita-se que são formados em atmosferas de estrelas gigantes evoluídas, bem como em restos de supernovas e novas (Brucato et al. 2001). Muitas reações químicas podem ocorrer em suas superfícies, através da colisão de átomos na fase gasosa, íons e moléculas com o grão. Apreciáveis quantidades de hidrogênio molecular podem ser formadas através de associação radiativa de dois átomos de hidrogênio atômico,  $\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}_2 + \nu$ , sendo que esta reação exige um terceiro corpo para dissipar o calor da reação e acredita-se, então, que esse terceiro corpo seja os grãos. Em suas superfícies, muitas outras colisões podem ocorrer envolvendo espécies como C, N, O e CO, sem excluir também os íons positivos que podem ser atraídos quando o grão fica carregado negativamente pela captura de elétrons presentes na nuvem.

Este trabalho apresenta processos químicos envolvidos em nuvens moleculares denominadas nuvens escuras, que possuem pequenas dimensões e pouca massa, da ordem de 0,2-4 pc e  $5\text{-}500 M_{\odot}$ , mas são muito densas e frias, com densidades de  $10^2\text{-}10^4 \text{ cm}^{-3}$  e temperatura de 8-15 K e são formadoras de estrelas de pouca massa, como o nosso Sol. É apresentado o modelo químico dos isótopos da molécula de monóxido de carbono, o  $^{13}\text{CO}$  e o  $\text{C}^{18}\text{O}$ , cujo estudo é de extrema importância para entender os processos envolvidos nos estágios primordiais da formação estelar, pois suas propriedades físico-químicas permitem explorar as partes mais internas e densas dessas nuvens, o que seria impossível com outras espécies moleculares. O estudo da eficiência da síntese dessas moléculas permite compreender melhor a diferença observada no valor médio de suas razões dentro da própria nuvem e de nuvem para nuvem (Villas-Boas 1994).

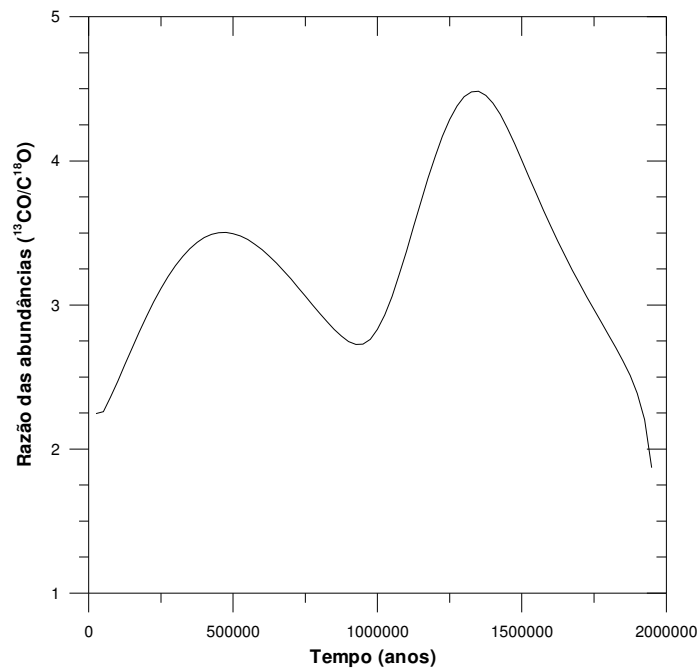
Seria difícil considerar todas as reações químicas que podem ocorrer numa nuvem molecular, porque precisaríamos envolver todas as centenas de moléculas que já são observadas nesse meio. Por esse motivo restringimos a cadeia apenas às espécies mais importantes na formação e destruição das moléculas de nosso estudo e às reações com coeficientes de taxa maiores, esperando assim que nos leve aos valores observados na razão  $^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$  em nuvens moleculares escuras, cujos valores estão em torno de 2 e 7 para nuvens protegidas do campo de radiação externo.

Nosso modelo químico incorpora 39 espécies atômicas e moleculares, limitadas a pequenas moléculas de quatro átomos ou menos nas formas neutras e positivas, compostas pelos elementos H, C,  $^{13}\text{C}$ , O e  $^{18}\text{O}$  que estão envolvidas em aproximadamente 300 reações, cada qual com seu respectivo coeficiente de taxa. A evolução temporal da abundância dessas espécies foi obtida por métodos numéricos, considerando nuvens com diferentes valores de massa e densidade. Chegamos a razões que estão dentro das observadas (figuras 1, 2 e 3) e concluímos

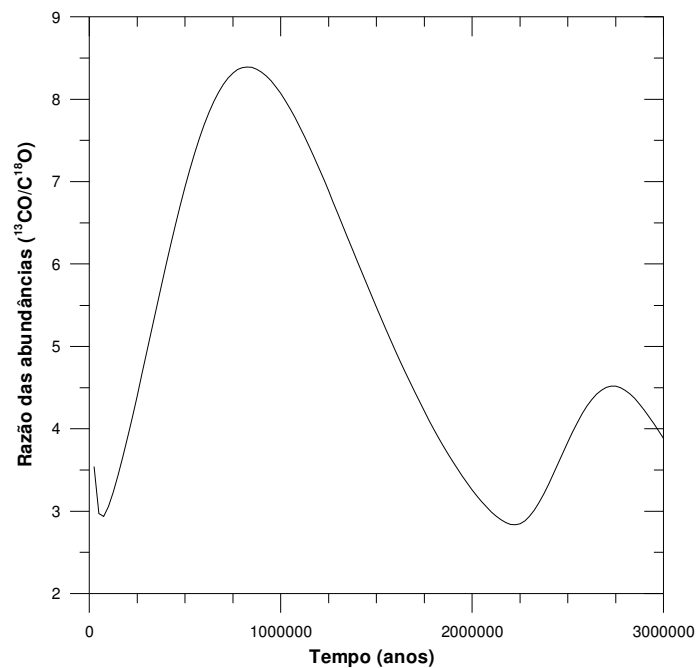
que esta razão depende da abundância inicial das diferentes espécies envolvidas, principalmente para o oxigênio e o carbono atômicos, sendo que o valor inicial da abundância do oxigênio deve ser maior que a do carbono.



**Figura 1** - Evolução temporal da razão das abundâncias do  $^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$  para uma nuvem escura com  $10 M_{\odot}$  e densidade inicial de  $2800 \text{ cm}^{-3}$ .



**Figura 2** - Evolução temporal da razão das abundâncias do  $^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$  para uma nuvem escura com  $5 M_{\odot}$  e densidade inicial de  $1400 \text{ cm}^{-3}$ .



**Figura 3** - Evolução temporal da razão das abundâncias do  $^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$  para uma nuvem escura com  $1 M_{\odot}$  e densidade inicial de  $400 \text{ cm}^{-3}$ .

### Referências Bibliográficas

- Brucato, J. R., Colangeli, L., Mennella, V., Rotundi, A., Palumbo, P., Bussoletti, E., 2001, MmSAI, 72, 665.
- Le Teuff, Y. H., Millar, T. J., Markwick, A. J., 2000, ApJSS, 146, 157.
- Rawlings, J.M.C., 1996, Q.J.R. astr. Soc., 37, 503.
- Villas-Boas, J. W. S., Fuller, P. G. A., Myers, P. C., 1994, ApJ, 433, 96.

**Bolsa:** FAPESP