
UM ESTUDO COMPARATIVO DO COMETA C/1977 R1 (KOHLER): ANALISANDO FÓSSEIS DO SISTEMA SOLAR

AS ASTROCIENTISTAS

 L.F. de Araújo

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo,
São Paulo, 05508-090, Brasil,
loreanyfa@usp.br

 A.A. de Almeida

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo,
São Paulo, 05508-090, Brasil,
amaury.almeida@iag.usp.br

G.C. Sanzovo

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina
Londrina, 86.057-970, Brasil,
gsanzovo@sercomtel.com.br

RESUMO

O cometa Kohler foi o mais brilhante do ano de 1977, sendo caracterizado por seu período extremamente longo e pela presença de uma coma difusa com condensação central, representando o núcleo. Neste trabalho, foram deduzidas, semi-empiricamente, as taxas de produção de água (H_2O) e hidroxila (OH) desse cometa. Assim, foram estimados seu raio nuclear mínimo, de cerca de $0.9 \pm 0.45\ km$, e seu raio efetivo, de $3,0 \pm 1,5\ km$. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos em observações de rádio a $\lambda = 18cm$, em fotometria de banda estreita, e com cometas jovens de longo período (YL) recentes, cujas taxas de produção de água foram analisadas por [1].

Palavras-chave cometa-individual: C/1977 R1 Kohler; geral: método de magnitudes visuais, taxas de produção de água

1 Introdução

Devido à alta conservação das composições física e química originárias, cometas podem ser considerados fósseis do Sistema Solar, de forma que, ao estudar estes objetos, investiga-se a formação e a evolução deste.

O cometa C/1977 R1 (Kohler), descoberto em 4 de setembro de 1977 pelo astrônomo amador Merlin Kohler, foi o mais brilhante daquele ano [2]. Detentor de um período superior a 100.000 anos é, portanto, considerado o caso de um cometa quase-parabólico [3]. Curiosamente, apesar de seu brilho, poucos estudos deste objeto foram realizados. Observações de seu espectro revelaram a emissão de NH , CN , C_2 e, possivelmente, de C_3 , mas nenhuma emissão de OH , NH_2 e CO^+ . O contínuo era muito fraco, o que significa que o cometa tem a produção de poeira consideravelmente esgotada.

Este trabalho vem com o objetivo de analisar a composição cometária, deduzindo, semi-empiricamente, através do método descrito por [4], taxas de produção de água e hidroxila, a partir das observações fotométricas, obtidas da plataforma COBS (*Comet Observation Database*). Dessa forma, foi possível compreender algumas diferenças entre cometas de mesma classificação dinâmica do cometa Kohler, além de comparar os nossos e os outros resultados disponíveis na literatura.

2 Considerações teóricas

Com base em magnitudes visuais, obtidas a partir de observações amadoras e profissionais, o Método Semi-Empírico de Magnitudes Visuais (MSEMV)¹ calcula taxas de produção de água cometária, de forma a aproveitar uma grande base de dados e, por consequência, obter uma ampla gama de resultados por distâncias heliocêntricas (de acordo com a cobertura das observações). Esta taxa pode ser calculada a partir da relação:

$$Q(H_2O) = \left\{ \frac{r^2 \cdot 10^{[0,4(-26,8-m'_v)]} - pR_N^2 \cdot 10^{-(0,4 \cdot \alpha \cdot \Delta m)}}{R \cdot 6,6x10^4 \cdot r^2 [1 + \delta(r, \theta)]} \right\}^{0,82 \pm 0,06}. \quad (1)$$

Na equação, temos: $m'_v = m_{6,78} - 5\log\Delta$ sendo a magnitude visual observada, com $m_{6,78} = [m_v - b(d - 6,78cm)]$, onde d é o diâmetro da abertura e b uma constante de correção de valores de $b = 0,019 \text{ mag/cm}$ para telescópios refletores e $b = 0,066 \text{ mag/cm}$ para refratores (o olho nu é tratado como um refrator de abertura nula); $p = 0,04$ como sendo o albedo geométrico visual do núcleo de raio R_N ; $-26,8$ se referindo a magnitude visual aparente do Sol; $l_r = 6,6x10^4 r^2$ sendo o comprimento de escala (em km) para fotodissociação do radical C_2 ; o parâmetro de valor $R_1 \approx 1,7x10^{-38} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}$ e o ângulo de fase do núcleo de $\phi_N = 0,9982e^{-1,842\alpha}$, onde α é o ângulo de fase (em rad) do cometa. O coeficiente linear de fase é dado por $\Delta m = 0,035 \text{ mag/deg}$ e $\delta(r, \theta) = \frac{\delta(r, 0)\phi(\theta)}{\phi(0)}$ é a razão entre o fluxo total observado no espectro continuum e o fluxo total observado de C_2 , sendo obtida a partir da curva observacional de [6].

Sabendo que a hidroxila (OH) é um produto da fotodissociação da água (H_2O) e que isto ocorre com eficiência de 0,85%, é possível relacionar as taxas de produção destas por: $Q(OH) \approx 0,85Q(H_2O)$ [7].

O raio nuclear mínimo pode ser encontrado considerando a superfície de área ativa (A_A), dada por:

$$A_A = \frac{Q(H_2O)}{f_{AA}Z(T)} \quad (2)$$

onde $Z(T)$ é a taxa de sublimação da água por unidade de área (em moléculas/($\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)) e f_{AA} é a fração da superfície da área ativa ($0 < f_{AA} < 1$). Aqui, consideramos a superfície total da área ativa ($f_{AA} = 1$) e $A_A \leq 4\pi(R_N)^2$. Dessa forma, o raio nuclear do cometa (R_N) pode ser calculado utilizando esta expressão e a equação [2]

3 Resultados

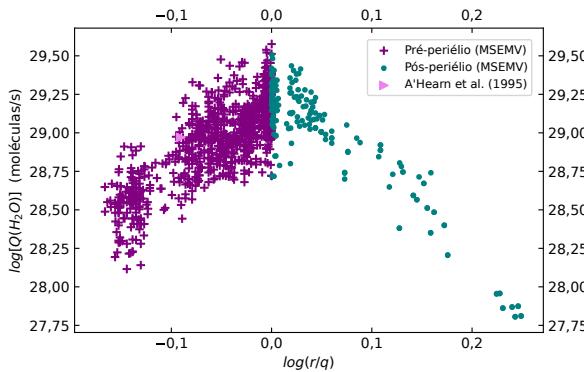


Figura 1: A variação da taxa de produção de água com a razão entre a distância heliocêntrica (r) e a distância periélica ($q \approx 0,99$).

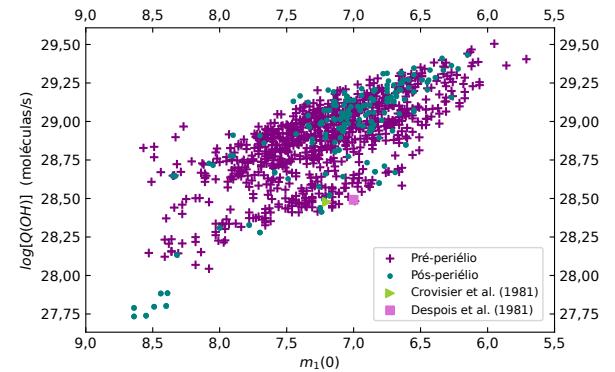


Figura 2: A taxa de produção de hidroxila e a magnitude visual absoluta, em comparação com os resultados das observações feitas no domínio do rádio.

Na Figura 1, vemos o comportamento da taxa de produção de água em função da razão entre as distâncias heliocêntrica e periélica. Foi possível obter as relações para as fases pré e pós-periélicas, sendo dadas respectivamente, por:

$$\log[Q(H_2O)] = (29,18 \pm 0,01) - (4,13 \pm 0,11)\log(r_h/q) \quad (3a)$$

$$\log[Q(H_2O)] = (29,25 \pm 0,01) - (5,23 \pm 0,16)\log(r_h/q), \quad (3b)$$

¹Para uma descrição completa do método, ver: [5].

tendo índices de correlação de 78% e 92%. Próximo ao periélio, $Q(H_2O)_{max} = 3,2 \times 10^{29}$ moléculas/s e $Z(T)_{max} = 3,02 \times 10^{17}$ moléculas/(cm² · s). 88 dias depois ($r = 1.8$ ua), $Q(H_2O)_{min} = 6.4 \times 10^{27}$ moléculas/s e $Z(T) = 5.48 \times 10^{16}$ moléculas/(cm² · s).

Considerando a Equação 2 e a expressão para o raio nuclear R_N , encontramos um valor de $f_{AA} \approx 10 - 11\%$, explicando a produção de água sublimada pela cometa ao se aproximar do Sol. O raio efetivo foi estimado em $3.0(\pm 1.5)$ km e o raio nuclear mínimo em $\sim 0.9 (\pm 0.45)$ km (ver fig. 3).

Resultados obtidos por [3] indicam uma produção de 9.5×10^{28} moléculas/s no periélio, ao contrário do MSEMV, com 1.51×10^{29} moléculas/s. Esta diferença pode ser explicada o levarmos em conta os distintos métodos e a quantidade de observações utilizados. A Figura 2 aponta concordância entre as taxas de produção encontradas por [8] e [9] e o MSEMV.

Como forma de expandir a investigação, comparamos os resultados obtidos para o cometa Kohler com os de outros cometas jovens e de longo período (YL). Podemos ver na Figura 4 que o cometa Kohler possui uma produtividade baixa à mediana se comparado aos outros de mesma classe dinâmica. Isto pode ser explicado devido ao seu pequeno núcleo de, aproximadamente, 3 km.

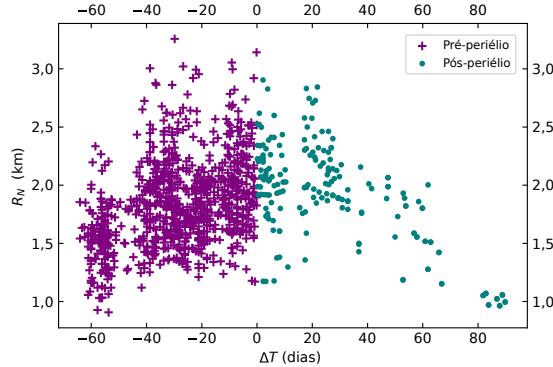


Figura 3: Determinação do raio nuclear cometário mínimo e efetivo com base na variação com os dias pré- (-) e pós- periélio (+).

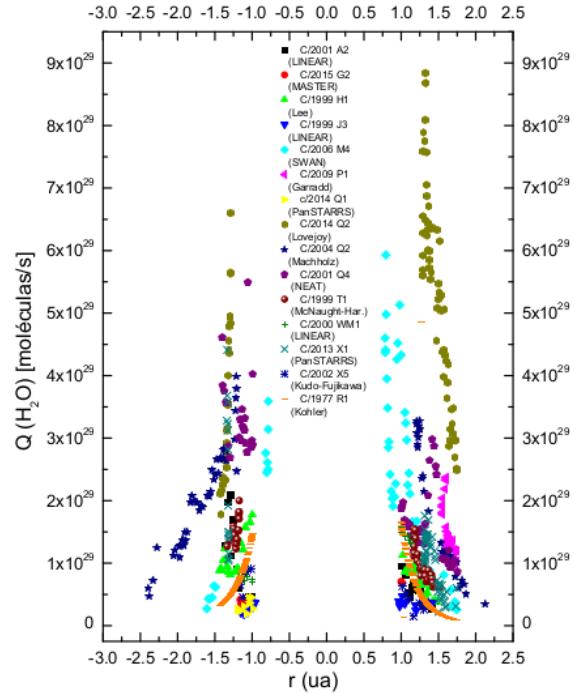


Figura 4: Variação da taxa de produção de água com a distância heliocêntrica e a comparação entre cometas analisados por [1] e o cometa Kohler.

4 Conclusões

A atividade do cometa Kohler nos revela alguns interessantes levantamentos para a base de atividades cometárias.

De acordo com as leis de potência obtidas para a taxa de produção de água, vemos que esta variou de $r^{-4,13 \pm 0,11}$ na fase pré-periélica para $r^{-5,23 \pm 0,16}$ na fase pós-periélica. O cometa produziu cerca de $1,5 - 1,7 \times 10^{29}$ moléculas/s ou, equivalentemente, 5 ton/s de água durante o periélio.

As análises baseadas nas taxas de produção de água do cometa apontaram uma fração de área superficial ativa mínima da ordem de 10 a 11% para $r \sim 1,8$ ua. Dessa forma, o raio efetivo foi calculado, sendo da ordem de $3,0(\pm 1,5)$ km e o raio nuclear mínimo de $\sim 0,9(\pm 0,45)$ km.

Comparando as taxas de produção de água do cometa Kohler obtidas com aquelas de 14 cometas jovens de longo período (YL), indicou-se uma produtividade de baixa a mediana para o cometa Kohler em comparação com os demais objetos selecionados de mesma classe dinâmica. Isto pode estar estar associado à sua pequena dimensão nuclear, possivelmente justificando o pouco

interesse de observação deste cometa pelos astrônomos profissionais da comunidade científica internacional. Além disso, outros dados disponíveis na literatura para o cometa Kohler (observações em rádio) indicam uma boa concordância com nosso estudo.

Agradecimentos

L.F. de Araújo agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

Referências

- [1] MR Combi, Terhi T Mäkinen, J-L Bertaux, Eric Quémérais, and Stéphane Ferron. A survey of water production in 61 comets from SOHO/SWAN observations of hydrogen lyman-alpha: Twenty-one years 1996–2016. *Icarus*, 317:610–620, 2019.
- [2] Brian G Marsden and Daniel WE Green. Comets in 1977. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 26:81–91, 1985.
- [3] Michael F A'Hearn, Robert C Millis, David G Schleicher, David J Osip, and Peter V Birch. The ensemble properties of comets: Results from narrowband photometry of 85 comets, 1976–1992. *Icarus*, 118(2):223–270, 1995.
- [4] AA de Almeida, PD Singh, and WF Huebner. Water release rates, active areas, and minimum nuclear radius derived from visual magnitudes of comets—an application to comet 46P/Wirtanen. *Planetary and space science*, 45(6):681–692, 1997.
- [5] Loreany Ferreira de Araújo. Estudo comparativo da atividade do cometa de órbita quase-parabólica c/1977 R1 (kohler). Master's thesis, Universidade de São Paulo, 2020.
- [6] Neil Divine. A simple radiation model of cometary dust for p/halley. In *The Comet Halley. Dust and Gas Environment*, volume 174, 1981.
- [7] Huebner, Keady, and Lyon. Solar photo rates for planetary atmospheres and atmospheric pollutants. *Astrophysics and Space Science*, 195:1–294, 1992.
- [8] J Crovisier, D Despois, E Gerard, William M Irvine, I Kazes, SE Robinson, and FP Schloerb. A search for the 1.35-cm line of H_2O in comets kohler/1977 XIV/and meier/1978 XXI. *Astronomy and Astrophysics*, 97:195–198, 1981.
- [9] Despois, Gerard, Crovisier, and Kazes. The OH radical in comets: observations and analysis of the hyperfine microwave transitions at 1667 MHz and 1665 MHz. *A&A* 99, 320, 1981.