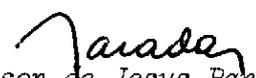


1. Publicação nº <i>INPE-2484-PRE/168</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DAS/DAE</i>	Programa <i>ASTRO</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MEIO INTERESTELAR POLARIMETRIA</i>			
7. C.D.U.: <i>523.854.12</i>			
8. Título <i>ANÁLISE DA POEIRA INTERESTELAR ATRAVÉS DA POLARIMETRIA UBVR</i>		10. Páginas: <i>21</i>	
		11. Última página: <i>14</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Thyrso Villela Neto (INPE/CNPq) Sayd J. Codina Landaberry (ON/CNPq)</i>		 <i>K. Ramanuja Rao</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <p><i>O estudo da polarização linear interestelar, através da análise dos parâmetros (P_{max}, λ_{max} e K) da relação empírica de Serkowski, pode fornecer elementos $_{max}^{max}$ que possibilitem uma melhor compreensão do meio interestelar e, conseqüentemente, das partículas interestelares que atuam como polarizadores: os grãos de poeira. Atualmente os parâmetros P_{max} e λ_{max} estão relacionados, respectivamente, à densidade de coluna e_{max}^{max} às $_{max}^{max}$ dimensões dos grãos, não havendo, até o momento, nenhuma caracterização definitiva de K com as propriedades do meio interestelar. Codina-Landaberry e Magalhães propuseram uma determinação simultânea dos três parâmetros, visando à obtenção desta caracterização. Conclui-se que, usando os quatro pontos obtidos da polarimetria UBVR, nenhuma correlação simples e definitiva pode ser conseguida, exigindo-se, então, que se tenha acesso a um número maior de pontos no espectro.</i></p>			
15. Observações <i>Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq e FINEP (Contrato B- 76.80.020.00.00 - IAG-USP). Apresentado na IX Reunião Anual da Sociedade de Astrônômica Brasileira em Campinas, SP, 1982.</i>			

ABSTRACT

The study of the linear interstellar polarization, using the parameters (P_{\max} , λ_{\max} and K) of the Serkowski's empirical relation, can give elements for the comprehension of the interstellar medium and, hence, of the interstellar grains of dust which are the polarizers. The parameters P_{\max} and λ_{\max} are related to the column density and the grains dimensions, respectively, and a definite characterization of the parameter K with the properties of interstellar medium has not been obtained so far. Codina-Landaberry and Magalhães have presented a simultaneous determination of the three parameters to find that characterization. We conclude that no simple correlation can be obtained if we use UBV polarimetry, and a large number of points are required.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - A RELAÇÃO EMPÍRICA DE SERKOWSKI	4
3 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE P_{\max} , λ_{\max} e K	6
4 - DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DE P_{\max} , λ_{\max} e K	7
5 - CONCLUSÃO	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Polarização versus coordenadas galáticas	3
2 - Normalização da dependência da polarização linear com o comprimento de onda	5
3 - Desvio da relação proposta por Wilking et alii (1979); Pontos obtidos na Tabela 1	10

• •

1. INTRODUÇÃO

A polarização da luz das estrelas pelo meio interestelar foi notada pela primeira vez por Hall (1949) e Hiltner (1949). A partir desta constatação, surgiram vários modelos que tentaram explicar o fato através da investigação de quais agentes seriam os responsáveis por ele. Sugeriu-se, então, que os causadores da absorção seriam, também, em alguns casos, os causadores da polarização. Dessa forma, as partículas interestelares, que constituem a componente sólida do meio interestelar, surgem, naturalmente, como as principais responsáveis pelo aparecimento destes dois fenômenos.

Uma teoria conclusiva sobre a polarização da luz por partículas interestelares-grãos de poeira-exige que se tenha uma compreensão da composição química, tamanho e forma das partículas e, obrigatoriamente, teria de explicar, e prever, o comportamento da polarização em todos os comprimentos de onda. Entretanto, atualmente, sabe-se muito pouco a respeito da dependência da polarização linear e circular com o comprimento de onda, conhecendo-se somente as faixas espectrais visível e UV próximo, além de umas poucas medidas em outras regiões do espectro.

Nestas condições, os modelos atuais tentam explicar o comportamento da polarização linear e circular na faixa a que se tem acesso.

Uma outra dificuldade que aparece refere-se à escolha de matéria prima dos grãos. Primeiramente deve-se prender a escolha ao fato de o material se apresentar sensível à ação de um campo magnético fraco, como exige, por exemplo, o mecanismo de Davis e Greenstein (1951), e, também, respeitar a estimativa de elementos com alta abundância cósmica. Assim, devido principalmente ao alinhamento por um campo magnético fraco, o ferro e as substâncias ferromagnéticas podem servir de matéria prima dos grãos.

A explicação da polarização observada tem de se preocupar tanto com as características intrínsecas das partículas como com o mecanismo de alinhamento destes grãos. Aceita-se que o campo magnético galáctico seja o responsável por este alinhamento.

Como contribuições à construção desta teoria, significantes estágios são devidos a Davis e Greenstein (1951), Spitzer e Tukey (1951), Jones Spitzer (1967), Greenberg (1968), Purcell e Spitzer (1971) e Martin (1971) no que tange às discussões dos mecanismos de alinhamento das partículas; a Van de Hulst (1957) pelo estudo das propriedades de espalhamento da luz por partículas e pela aplicação da teoria de Mie para cilindros infinitos e a Greenberg (1968) pela elaboração de modelos de grãos para explicar as curvas de polarização e extinção interestelares existentes.

Como consequência imediata do estudo do estado de polarização da luz, aparece o melhor entendimento da estrutura do campo magnético galáctico. Nee e Jokipii (1979) analisaram estatisticamente a polarização interestelar para um meio que flutua irregularmente. O meio interestelar parece ser bastante irregular ou turbulento em uma escala de dezenas de parsecs e em escalas menores.

Assim, a estrutura geral do campo magnético galáctico pode sofrer variações locais de pequena escala, como sugerem, por exemplo, as medidas de polarização circular de estrelas no aglomerado Scorpio-Centaurus, separadas apenas de um grau, que apresentam sentidos opostos (Kemp e Wolstencroft, 1972). A Figura 1 mostra as variações da direção do plano de vibração com as coordenadas galácticas (Mathewson e Ford, 1970).

Atualmente, a grande parte dos dados de polarização linear são referentes às bandas U, B, V e R do espectro, entretanto, são possíveis também medidas em bandas estreitas, o que acarreta um tempo maior de integração em cada filtro. Logo, a polarimetria UBVR, por ser mais rápida e oferecer informações sobre estas regiões importantes do espectro, é a mais usada.

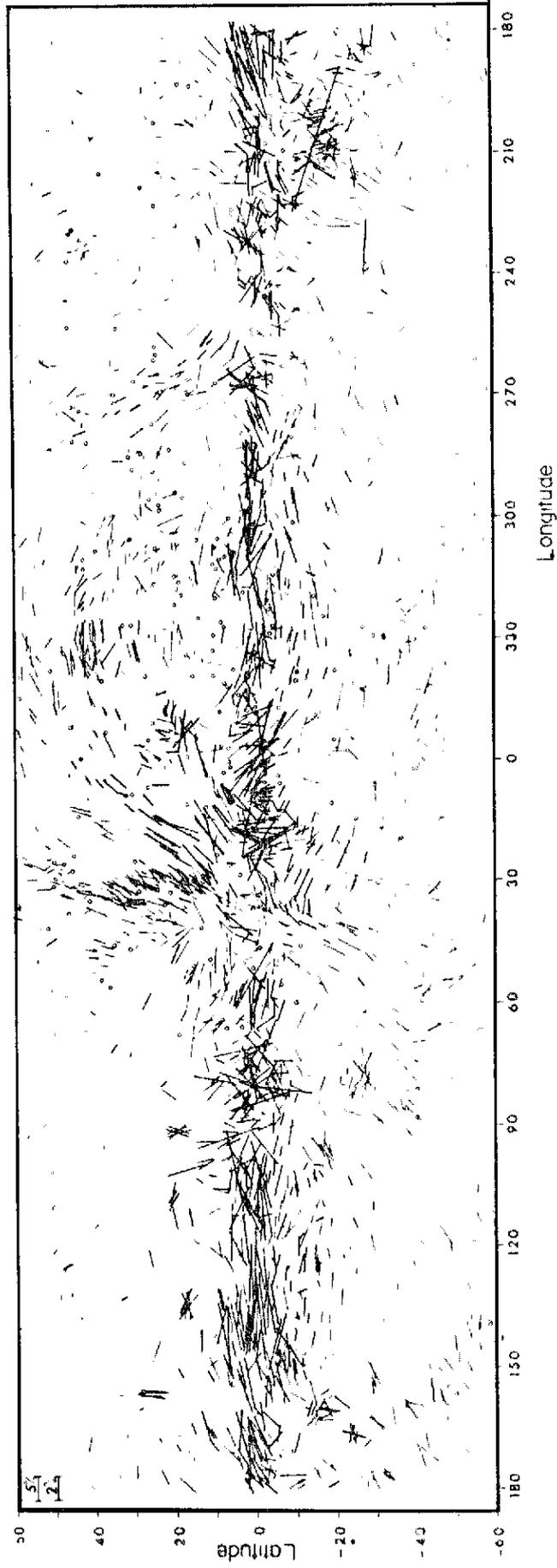


Fig. 1 - Polarização versus coordenadas galácticas.

FONTE: Mathewson and Ford (1970).

2. A RELAÇÃO EMPÍRICA DE SERKOWSKI

Quando se colocam no plano (P, λ) ou $(P/P_{\max}, \lambda)$ as medidas de polarização linear, P , para um grande número de estrelas, onde λ_{\max} é o comprimento de onda em que a polarização máxima, P_{\max} , ocorre, as curvas formam um conjunto muito heterogêneo, onde cada uma tem um máximo que pode estar situado em qualquer comprimento de onda, λ , do intervalo $1,5-3\mu^{-1}$. Numa tentativa de uniformizar a apresentação do comportamento polarimétrico do meio interestelar, Serkowski (1971) propôs uma dupla normalização e representou a dependência espectral da polarização através de um gráfico $(\frac{P}{P_{\max}} \times \frac{\lambda_{\max}}{\lambda})$

Esta curva pode ser descrita pela relação empírica

$$\frac{P}{P_{\max}} = \exp \left[- K \ln^2 \left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda} \right) \right], \quad (1)$$

onde $K = 1.15$ é considerado uma constante para todas as estrelas.

Wilking et alii (1979), combinando medidas de polarimetria no visível e algumas obtidas no infravermelho prôximo, apresentam um novo valor para a constante K , que melhor descreve o comportamento da curva na região situada entre $0,3 \mu^{-1}$ e $2,2 \mu^{-1}$. Estabeleceram também uma relação entre K e λ_{\max} :

$$K = 1,7 \lambda_{\max} \quad (2)$$

que indica, que, quando K é considerado um parâmetro livre a ser ajustado simultaneamente com P_{\max} e λ_{\max} , conforme sugerido por Codina-Landaberry e Magalhães (1976), seu valor aumenta à medida que λ_{\max} cresce. A Figura 2 mostra a forma da curva descrita pela Equação 1 para diversos valores de K .

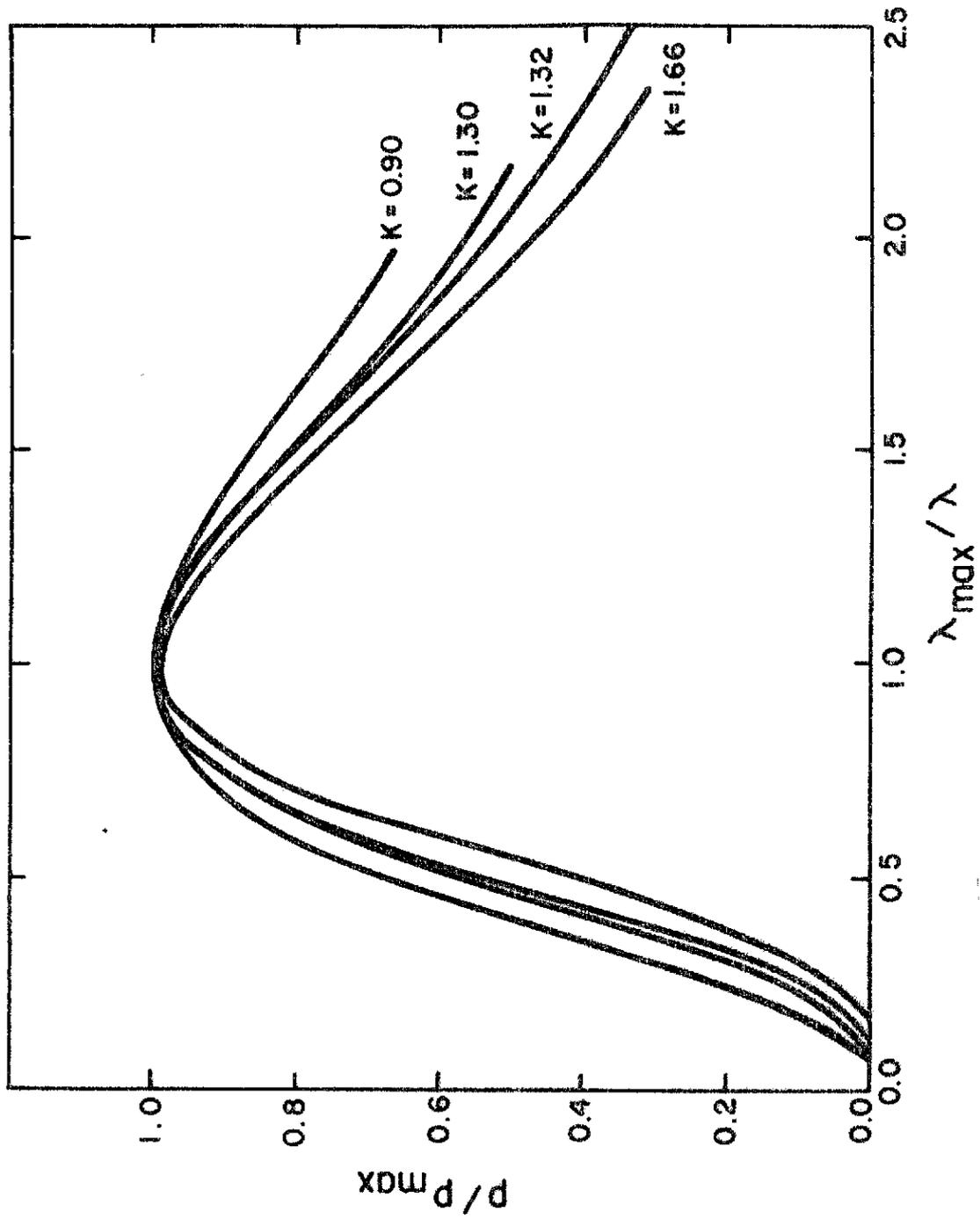


Fig. 2 - Normalização da dependência da polarização linear com o comprimento de onda.

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE P_{\max} , λ_{\max} e K .

Coyne et alii (1974) e Serkowski et alii (1975) investigaram os parâmetros P_{\max} e λ_{\max} numa tentativa de torná-los indicadores das características dos grãos e, conseqüentemente, do meio interestelar.

Concluíram que P_{\max} está relacionado à densidade de coluna das partículas em uma determinada linha de visada, de modo diretamente proporcional, ou seja, um aumento do número de grãos com a mesma orientação provoca, automaticamente, um aumento no grau de polarização. Esta afirmação é, aparentemente, óbvia, uma vez que, estando alinhados, os grãos comportar-se-iam como uma "grade polarizadora", e um aumento do seu número elevaria a quantidade de "arames" que compõem esta grade. Pode-se entender, nesta linha de raciocínio, que a polarização dar-se-ia em virtude da absorção, via efeito Joule, da energia contida nas vibrações do vetor elétrico que incide paralelamente sobre o eixo do grão.

Por outro lado, λ_{\max} apresenta-se como um indicador das dimensões do grão. Existe uma correspondência entre os valores de λ_{\max} e as dimensões da partícula, já que a eficiência com que um grão atua na radiação, de modo a polarizá-la, depende expressamente do comprimento de onda.

Dessa forma, pela análise da curva de polarização, pode-se estimar o número e as dimensões mais prováveis das partículas que compõem uma determinada nuvem.

Infelizmente, o parâmetro K da Relação 1 não pode ser facilmente considerado um indicador das propriedades físicas dos grãos ou do meio interestelar. Vários autores tentaram viabilizar a utilização deste parâmetro, associando-o a medidas de discrepância entre as dimensões das partículas presentes na linha de visada de um dado objeto (Codina-Landaberry e Magalhães, 1976) ou, simplesmente, através de uma

análise conjunta com λ_{\max} , a uma mudança na forma da partícula (Wilking et alii, 1979).

Seria extremamente interessante conseguir, de uma forma definitiva, relacionar K às características próprias dos grãos e do meio interestelar.

4. DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DE P_{\max} , λ_{\max} e K .

Pode-se considerar K um parâmetro livre e determiná-lo, simultaneamente, com P_{\max} e λ_{\max} (Coyne et alii (1974) e Serkowski et alii (1975) consideraram $K = 1,15$ para todas as estrelas). Para isso, toma-se o logaritmo natural de ambos os lados da Equação 1 e escreve-se

$$\ln P - \ln P_{\max} = -K \left[\ln^2 \lambda_{\max} + \ln^2 \lambda - 2 \ln \lambda_{\max} \ln \lambda \right],$$

ou

$$\ln P = \left[\ln P_{\max} - K \ln^2 \lambda_{\max} \right] + 2 K \ln \lambda_{\max} (\ln \lambda) - K (\ln^2 \lambda). \quad (4)$$

A Equação 4 pode ser comparada a uma relação do tipo

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2,$$

onde

$$y = \ln p,$$

$$x = \ln \lambda,$$

e os coeficientes dados por:

$$b_0 = \ln P_{\max} - K \ln^2 \lambda_{\max},$$

$$b_1 = 2 K \ln \lambda_{\max},$$

$$b_2 = -K.$$

Resolve-se a Equação 4 por mínimos quadrados, determinando b_0 , b_1 e b_2 e, posteriormente, p_{\max} , λ_{\max} e K .

A Tabela 1 apresenta a comparação entre os diversos valores de K obtidos desta determinação e os obtidos por Serkowski et alii (1975) para $K = 1,15$, usando-se os filtros UBVR.

A Figura 3 mostra o desvio da relação $K = 1,7 \lambda_{\max}$, quando se usam somente os quatro pontos obtidos da polarimetria UBVR.

TABELA 1

ESTRELA (HD)	K	λ_{\max}	P _{max}	K = 1,15	
				λ_{\max}	P _{max}
147084	0,68	0,84	4,60	0,67	4,30
147888	1,35	0,72	3,70	0,73	3,71
147889	1,66	0,69	3,90	0,80	4,06
147932	1,35	0,71	3,23	0,72	3,18
147933	1,26	0,67	2,71	0,68	2,65
149711	0,96	0,56	1,59	0,54	1,59
150421	1,12	0,56	2,19	0,56	2,19
152235	1,05	0,47	0,90	0,46	0,91
152478	1,13	0,59	1,39	0,59	1,40
155603	1,26	0,54	2,78	0,54	2,80
155806	0,41	0,73	0,85	0,56	0,84
156325	1,08	0,59	2,26	0,58	2,25
159176	1,60	0,51	1,83	0,52	1,82
161840	1,23	0,56	1,77	0,57	1,78
162496	1,32	0,57	1,02	0,57	1,02
163181	0,75	0,49	1,48	0,48	1,52

Tabela 1 - Valores de P_{max} e λ_{\max} para K = 1,15 e para uma determinação simultânea com K.

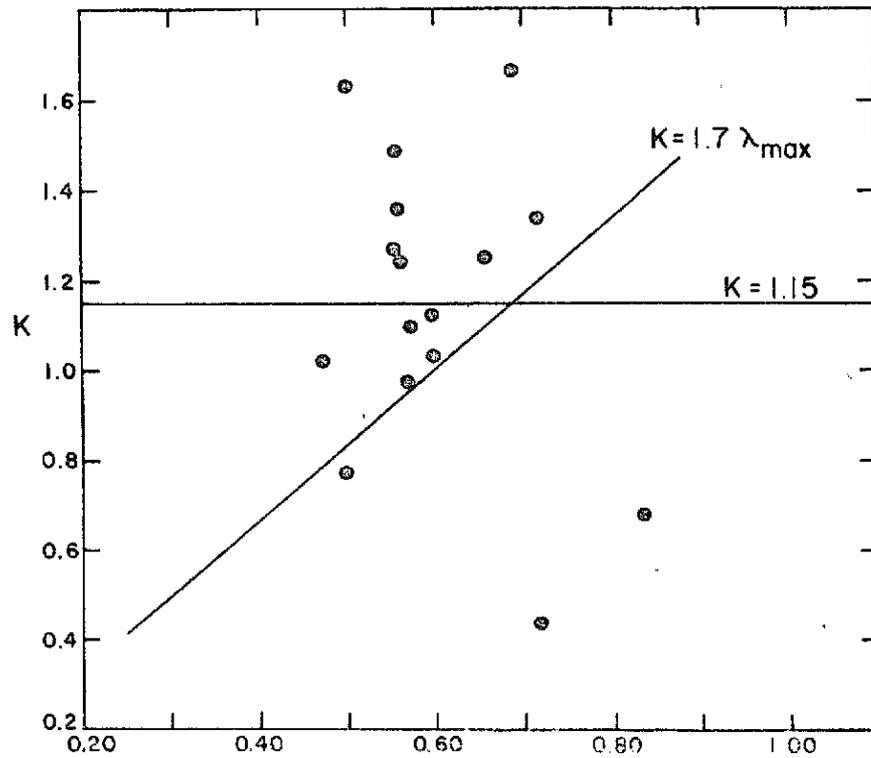


Fig. 3 - Desvio da relação proposta por Wilking et alii (1979); Pontos obtidos da Tabela 1.

5. CONCLUSÃO

Da Figura 3 viu-se que os parâmetros K e P_{\max} não seguiram nenhuma relação linear, como a do tipo proposta por Wilking et alii (1979), Equação 2, embora um desvio fosse esperado, uma vez que as medidas por eles efetuadas se estendiam ao infravermelho próximo. No entanto, nem ao menos uma relação coerente entre dois parâmetros foi conseguida, o que indica que tentar relacionar K à variação de λ_{\max} e, conseqüentemente, às propriedades físicas do meio interestelar não é factível usando-se os quatro pontos obtidos da polarimetria UBV. Este fato traz, como consequência, a perda de um vínculo a mais onde se apoiar para a construção de modelos que expliquem as observações de polarização circular e linear.

Um outro resultado interessante é o fato de que uma diminuição do número de pontos medidos no espectro não diminui, obrigatoriamente, o valor de K e vice-versa. Contudo, um resultado mais próximo de se aceitar como definitivo é o que usa o maior número de pontos possíveis. Tudo indica, também, que o aumento do número de pontos resulta no aparecimento de uma relação linear entre K e λ_{\max} .

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

• •

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CODINA-LANDABERRY, S.J.; MAGALHÃES, A.M. On the polarizing interstellar dust. *Astronomy and Astrophysics*, 49(sf):407-413, 1976.
- COYNE, G.V.; GEHRELS, T.; SERKOWSKI, K. Wavelength dependence of polarization XXVI. The wavelength of maximum polarization as a characteristic parameter of interstellar grains. *Astronomical Journal*, 79(5):581-589, may 1974.
- DAVIS Jr., L.; GREENSTEIN, J.L. The polarization of starlight by aligned dust grains. *Astrophysical Journal*, 114(2):206-240, Sept. 1951.
- GREENBERG, J.M. Interstellar grains. In: MIDDLEHURST, B.M.; ALLER, L.H., ed. *Nebulae and interstellar matter*. Chicago, University of Chicago Press, 1968. p. 221-364. (Stars and Stellar Systems, v.7).
- HALL, J.S. Observations of the polarized light from stars. *Science*, 109(2825):166-167, Feb. 1949.
- HILTNER, W.A. Polarization of light from distant stars by interstellar medium. *Science*, 109(2825):165, Feb. 1949.
- JONES, R.V.; SPITZER Jr., L. Magnetic alignment of interstellar grains. *Astrophysical Journal*, 147(3):943-964, 1967.
- KEMP, J.C.; WOLSTENCROFT, R.D. Interstellar circular polarization: data for six stars and the Wavelength dependence. *Astrophysical Journal*, 176(3 Part 2):L115-L118, Sept. 1972.
- MARTIN, P.G. On interstellar grain alignment by a magnetic field. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 153(3):279-285, 1971.
- MATHEWSON, D.S.; FORD, V.L. Polarization observations of 1.800 stars. *Memoirs Royal Astronomical Society*, 74(5):139-182, 1970.
- NEE, S.F.; JOKIPII, J.R. Interstellar polarization in an irregularly fluctuating medium. *Astrophysical Journal*, 234(1 Part 1):140-153, Nov. 1979.

- PURCELL, E.M. Orientation of rotating grains. *Astrophysical Journal*, 167(1 Part 1):31-62, July, 1971.
- SERKOWSKI, K. In: PROCEEDING OF IAU COLLOQUIM, 15 New Direction and Frontiers in Variable Star Research. Veroff Remeis Sternwarte Bamberg, 9 n9100, p.11.
- SPITZER Jr., L., J.W. A theory of interstellar polarization. *Astrophysical Journal*, 114(2):187-205, Sept. 1951.
- VAN DE HULST, H.C. *Light scattering by small particles*. New York, John Weley, 1957.
- WILKING, B.A.; LEBOFKY, M.J.; MARTIN, P.G.; RIEKE , G.H.; KEMP, J. The wavelength dependence of interstellar linear polarization. *Astrophysical Journal*, 235(2 Part 1):905-910, Feb. 1980.