

ESTUDO DA VARIAÇÃO DO GRAU DE POLARIZAÇÃO RÁDIO DE FENÔMENOS SOLARES

Daniel Katz

Aluno do Departamento de Geografia da FFLCH/USP – Bolsa PIBIC/CNPq

Orientadora: Dra. Emília Correia, Pesquisadora, CRAAE

Nos estudos em astrofísica solar se pretende juntar o maior número de elementos possíveis na obtenção de informações sobre o comportamento e características do Sol. Os estudos na faixa rádio, neste sentido, se mostram importantes porque permitem a análise de uma série de fenômenos ocorridos nas diversas camadas da atmosfera desta estrela, e nos dão subsídio para sua compreensão.

O estudo da variação do grau de polarização rádio tem como objetivo a caracterização das propriedades magnéticas da atmosfera solar associadas as manchas solares e aos fenômenos explosivos. Alguns resultados importantes, relacionados a este tema, foram sugeridos no passado baseando-se em dados de observações isoladas feitas com resolução temporal e pobres. Agora se propõe analisar dados, obtidos com boa resolução temporal e alta sensibilidade que possibilitam melhor caracterizar a variação do grau de polarização.

Os estudos utilizam dados obtidos de observações realizadas sistematicamente na frequência de 7 GHz, nos modos de polarização circular (R e L), com a antena de 1,5 m do Rádio Observatório de Itapetininga (ROI). O rádio-polarímetro de patrulhamento solar está operando com sensibilidade de $\sim 0,2$ sfu para uma resolução temporal de 10 ms. Os dados são digitalizados e armazenados em CD-ROM.

A análise dos dados é feita com a utilização do programa IDL (Interactive Data Language). Numa etapa inicial, os dados diários são plotados e colocados em um livro de controle, quando são determinadas as escalas K/V a partir das calibrações.

A primeira etapa de análise consiste na determinação dos parâmetros de Stokes I (intensidade, R+L) e V (R-L), e conseqüentemente o grau de polarização (V/I) da componente S (componente de variação lenta) do Sol. Esta informação é obtida durante os procedimentos de calibração, quando são determinados os valores céu/Sol e céu/Load. Estes dados da componente S em 7 GHz são comparados com dados de outros observatórios de patrulhamento referentes ao fluxo em 3 GHz, número de manchas, área das manchas, campo magnético global médio, e número de explosões (dados do NOAA). Resultados iniciais são plotados na Figura 1, a qual cobre o período de outubro a novembro de 1998. Podemos verificar certa correlação entre os parâmetros, que a maior ocorrência de flares está diretamente associada ao número de manchas, e que o fluxo rádio em 7 e 3 GHz apresenta uma correlação positiva também com o número de manchas, mas a melhor correlação é com a área do disco do Sol coberta pelas manchas. O grau de polarização (Figura 2) sugere um crescimento antes do período de produção de flares, e volta ao nível inicial logo após a ocorrência das mesmas. A Figura 3, sugere uma variação do grau de polarização em 7 GHz associada a variação do campo magnético global do Sol.

A partir dos gráficos de controle é feita a identificação de possíveis explosões que ocorreram no período. Os eventos detectados são calibrados e plotados seus fluxos R e L, I (R+L), V (R-L) e P (V/I). Os dados referentes a tempo de início e pico, fluxo de pico e polarização média dos eventos são tabelados, com o objetivo de se fazer uma análise estatística dos mesmos. Destes eventos, os que tem contrapartida com registrados em outras faixas do espectro-eletromagnético, obtidos de outros observatórios de solo e por satélites, serão analisados conjuntamente em detalhe.

Perspectivas do trabalho:

1. A análise da variação do grau de polarização será feita para todo o período de operação do Rádio Polarímetro: completar o ano de 1998 e continuar para 1999.

Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/CNPq

Bolsista: Daniel Katz

Projeto: Patrulhamento Solar com Rádio-Polarímetro
de 7GHz do ROI

Orientadora: Profa. Dra. Emília Correia

Período de trabalho: 01/09/98 – 29/06/99

Bolsa de Iniciação Científica suportada pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento - CNPq, desenvolvida junto ao CRAAE/CRAAM – Centro de Rádio Astronomia e Aplicações Espaciais (Convênio Universidade Mackenzie, INPE, USP e UNICAMP)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS:.....	2
2.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	2
2.2 RESULTADOS OBTIDOS.....	2
3. ATIVIDADES TEÓRICAS.....	4
4. PERSPECTIVAS FUTURAS.....	5
5. CONCLUSÕES.....	5
6. ANEXOS.....	5
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	6

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste projeto é de realizar o patrulhamento do Sol, para se detectar o maior número possível de explosões solares, com informação de polarização circular. O rádio-polarímetro foi recentemente reformado, permitindo atingir a sensibilidade 0,5 s.f.u para 10ms de resolução temporal.

Um dos pontos de interesse da observação sistemática da atividade solar é tentar se definir critérios para a previsão a curto e longo prazo. Aqui propomos estudar a variação do grau de polarização circular e sua associação com a produtividade de explosões e outras características físicas referentes a número, área e complexidade das manchas; campo magnético global, além do fluxo rádio total do Sol.

Particularmente se propõe estudar as características temporais das explosões solares: estruturas temporais rápidas, e as correspondentes variações do grau de polarização circular em associação com características da emissão observada em outras faixas de energia.

As explosões solares são liberações de energia acumulada em locais densos e magnetoativos, associados as regiões ativas. A quantidade de energia existente nestas regiões justifica a intensidade das explosões observadas. A energia liberada durante as explosões solares cobre uma faixa larga do espectro, podendo se estender da faixa rádio até a faixa dos raios-gama. A partir das características espectrais, polarimétricas e evolução temporal dos eventos observados, e baseando-se nos modelos de interpretação, é possível se estimar as propriedades do plasma, intensidade do campo magnético e energia das partículas energéticas da região explosiva.

A análise dos eventos observados em 7GHz em conjunto com experimentos em outras frequências rádio e raio-x duros, permitirão estabelecer condições de contorno para os processos de liberação de energia. O estudo da variação do grau de polarização rádio é a única fonte de informação sobre os campos magnéticos da atmosfera solar acima da fotosfera.

Finalmente a catalogação dos eventos servirá para desenvolver um trabalho estatístico sobre as propriedades polarimétricas das explosões, em função do tempo e posição no disco solar.

A análise dos dados está baseada na utilização do programa IDL (Interactive Data Language), que além de se adequar bem ao processamento destas informações, é muito versátil quanto ao aspecto de manipulação e visualização dos dados.

O projeto também visa a iniciação do estudante em técnicas de rádio astronomia.

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

1.1. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados se referem aos fluxos obtidos dos dois modos de polarização circular (R-direita e L-esquerda) do Sol e seu respectivo grau de polarização, que são obtidos através do Rádio Polarímetro de 7 GHz que opera no Rádio Observatório do Itapetinga (ROI). O radiotelescópio foi totalmente renovado com a aquisição de dois receptores, e o sistema de aquisição de dados automatizado. O período de observação vai das 8 as 17 horas locais, quando os dados são digitalizados e gravados em arquivos diários cujo nome informa dia/mês/ano/hora (ddmmaahh) da aquisição. Os períodos de operação do radiotelescópio estão no Anexo 1. Posteriormente, os dados são armazenados em CD-ROM.

A calibração dos sinais, ou seja a determinação da escala Kelvin/Volt (K/V), é obtida a partir da técnica LOAD-CÊU, que se baseia na variação do sinal medido quando a antena está apontada para o céu e depois com o load na frente da corneta. O load é um corpo a temperatura ambiente (~300 K). Exemplo de calibração está no Anexo 2.

A atividade solar também é verificada diariamente, via internet, em sites que fornecem informação sobre os eventos ocorridos, e a probabilidade de ocorrência para os próximos três dias. Deste modo, obtemos informação sobre eventos observados conjuntamente por todos os experimentos disponíveis, e que são de primordial importância para sua interpretação. O trabalho referente a previsão de atividade solar se baseará no controle diário da componente S.

A análise dos dados é feita através de rotinas do IDL. São basicamente duas: uma para plotagem global dos dados diários e daí expansão das informações de calibração e componente S; e outra semelhante para plotagem e calibração dos eventos. A interpretação dos eventos será feita estudando-se sua correlação nesta frequência com a emissão produzida em outras faixas de energia (raio X duros e outras frequências rádio) obtidas pelos demais experimentos que os detectaram, em outras frequências rádio (BERNA/Suíça, OVRO/EUA, RSTN-Radio Solar Telescope Network) e em raios X de satélites (CGRO/EUA e YOHKOH/Japão). Esta combinação ajudará montar o cenário onde a explosão foi produzida, e a definir os mecanismos de plasma e radiação operantes.

O estudo da atividade solar se fará através da análise diária da variação do fluxo e grau de polarização da emissão do Sol quiescente (componente S) em função das características das regiões ativas.

2.2 RESULTADOS OBTIDOS

2.2.1 Iniciação em programação com IDL.

Utilização das rotinas de plotagem e desenvolvimento de outras para análises específicas. Como por exemplo, uma para determinar o feixe da antena a partir de trânsitos do Sol. Ou realização de plots globais/expandidos

2.2.2 Plotagens

2.2.2.1 - Plotagem dos arquivos de dados diários globais para todo o período de operação do radiotelescópio. Exemplo de um gráfico no Anexo 3.

2.2.2.2- Identificação dos tempos e plotagem das calibrações (expansão) para definir as escalas em K/V. Foram plotadas 50% das calibrações referentes ao ano de 1998.

2.2.3 Componente S

2.2.3.1 - Determinação dos parâmetros de Stokes I e V da componente S.

Dos gráficos das calibrações foram obtidas as temperaturas do disco solar nos dois modos de polarização circular. Com estas medidas foi montada uma tabela (planilha do Microsoft Excel) e calculados os parâmetros de Stokes $I=Tr+Tl$ e $V=Tr-Tl$, e o grau de polarização $P=V/I$. A Tabela está no Anexo 4, e contém outras informações referentes a No. e área das manchas, No. de flares, campo magnético médio do disco solar, e fluxo em 3 GHz, dados estes obtidos do Solar Geophysical Data (SGD) na internet para todo o ano de 1998.

2.2.3.2 - Estudo da Componente S.

Os dados obtidos com o rádio polarímetro (Tabela do Anexo 4) para os períodos analisados foram plotados conjuntamente com os do SGD para todo o ano de 1998. Figuras 1 a 3 do Anexo 5. O objetivo é se estudar o comportamento relativo entre os mesmos. Uma análise preliminar sugere uma variação significativa do grau de polarização durante os períodos de grande produção de explosões. Figura 4 do Anexo 5.

2.2.4 Explosões

2.2.4.1 - Catalogação das explosões –

Todas as explosões analisadas serão catalogadas para posterior estudo do comportamento estatístico das propriedades de polarização e fluxo (partindo-se novamente dos parâmetros de Stokes I, V e grau de polarização P) em função da posição no disco solar. Uma lista preliminar das explosões observadas está no Anexo 6.

2.2.4.2 - Análise de explosões –

Algumas explosões observadas já foram analisadas Um evento analisado foi apresentado num congresso realizado no Japão (out/98), e será publicado nos proceedings da reunião. Cópia do trabalho no Anexo 7.

2.2.5 Medida de sensibilidade do sistema.

A sensibilidade do sistema, ou seja a temperatura de ruído do sistema, foi medida considerando-se a variação pico-a-pico do ruído sobre o sinal da antena apontada para o Sol. Esta medida resultou num $\Delta T \sim 1$ K. Detalhes ver Anexo 8.

3 ATIVIDADES TEÓRICAS

Estudo dirigido sobre conceitos básicos de astronomia e astrofísica com especial atenção ao estudo do Sol:

- Eddy, J.A - A New Sun - NASA - 1979 pp.7-39 Resumo: Considerações gerais sobre a natureza do Sol e os estudos correlacionados. Referente a resultados da sonda Skylab. Há uma descrição das principais camadas da atmosfera solar: Fotosfera, Cromosfera, Coroa. A relação das principais estruturas conhecidas: Manchas, Granulações, Espículas, Proeminências, filamentos etc... Fala sobre o Sol quieto, e sobre a atividade solar relacionada à regiões ativas: os ciclos solares, o aumento brusco de temperatura na alta atmosfera, os eventos eruptivos, flares. O papel dos campos magnéticos: loopings, Halos Coronais. As regiões polares, equatoriais, as linhas de campo, ventos solares. E suas consequências sobre a Terra (auroras, anomalias magnéticas). Em outra parte ao traçar um histórico das pesquisas solares, aproveita para apresentar a instrumentação e sua evolução, além das técnicas de observação. Encerra tratando dos novos desafios e da busca de modelos mais elaborados para explicação de problemas a respeito.
- Gelfreikh, G.B. - Solar Radio Emission at Centimeter Wavelengths In: Proceedings of the Workshop on the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22 ed. R.F. Donnelly 1992 pp.196-227 Resumo: Artigo que discute os mecanismos da rádio emissão em comprimentos de onda centimétricos. Se apresentam os rádio telescópios e suas diferenças quanto a capacidade, resolução e uso no patrulhamento solar. Há um breve comentário a respeito das estruturas solares observadas em ondas rádio: a distribuição de brilho, as diferentes técnicas e resultados de observação e suas implicações, as regiões homogêneas e não-homogêneas, as interferências, as granulações, os filamentos e cavidades e as fontes locais de componente-S (regiões ativas). Daí se expõem os principais mecanismos de radiação: Bremsstrahlung, Emissão Cyclotron térmica, e se fala de polarização (e sua inversão nas regiões QT), além das emissões não-térmicas.
- Smerd, S.F. - On the Generation of Solar Radio Bursts. In: AAS-NASA Symposium on the Physics of Solar Flares. ed. W.N. Hess - NASA 1964 pp.343 - 355 Resumo: Mecanismos de radiação e efeitos sofridos por uma onda ao se propagar por um plasma magnetizado. Ondas, propagação de ondas, amortecimento, absorção, amplificação, emissão. E mecanismos de radiação: Bremsstrahlung, Gyrosincrotron e Ondas de Plasma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Eddy, J.A.: 1979, *A New Sun*, NASA, 7-39.

Correia, E. ; Kaufmann, P. ; Melnikov, V. - *Fast Temporal Variations of the Circular Polarization Degree During a Microwave Solar Burst* - In: *Solar physics with Radio Observations, Proceedings of Nobeyama Symposium 1998 – NRO Report*

Gelfreikh, G.B.: 1992 - *Solar Radio Emission at Centimeter Wavelengths*. In: *Proceedings of the Workshop on the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22*. ed. R.F. Donnelly, 196-227.

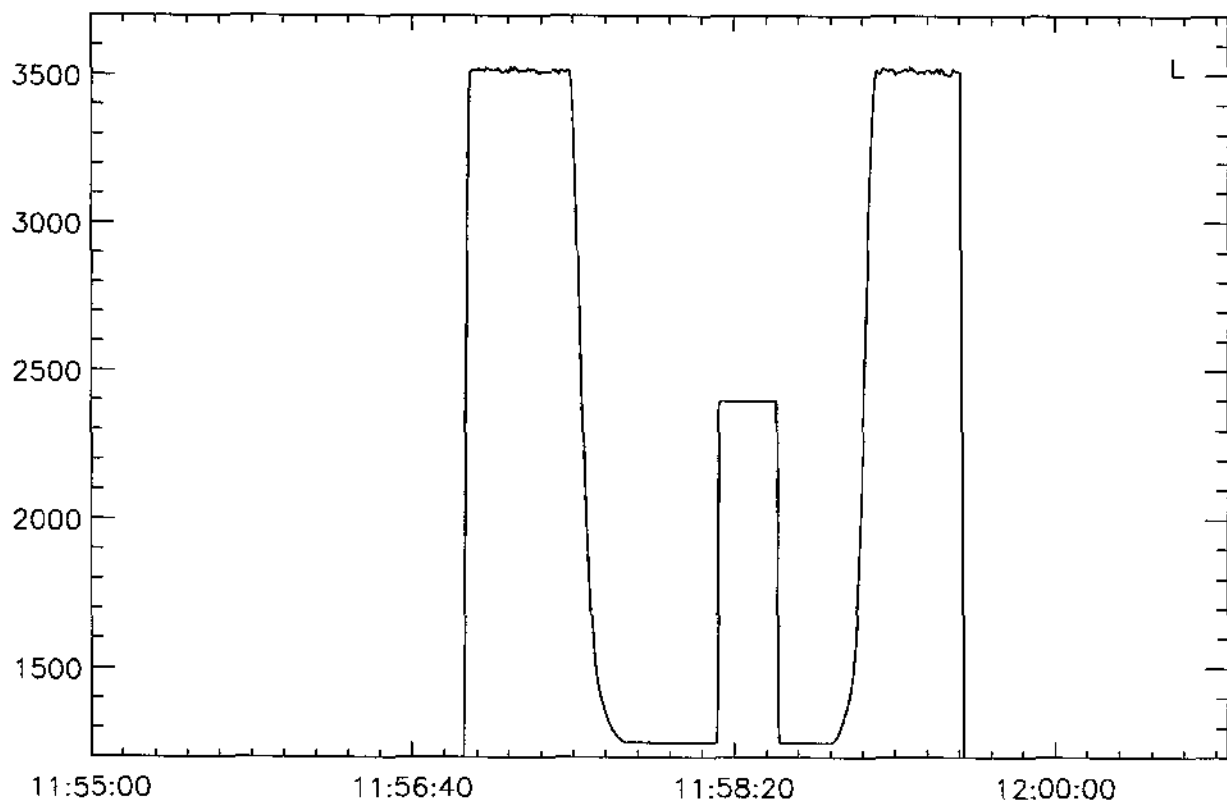
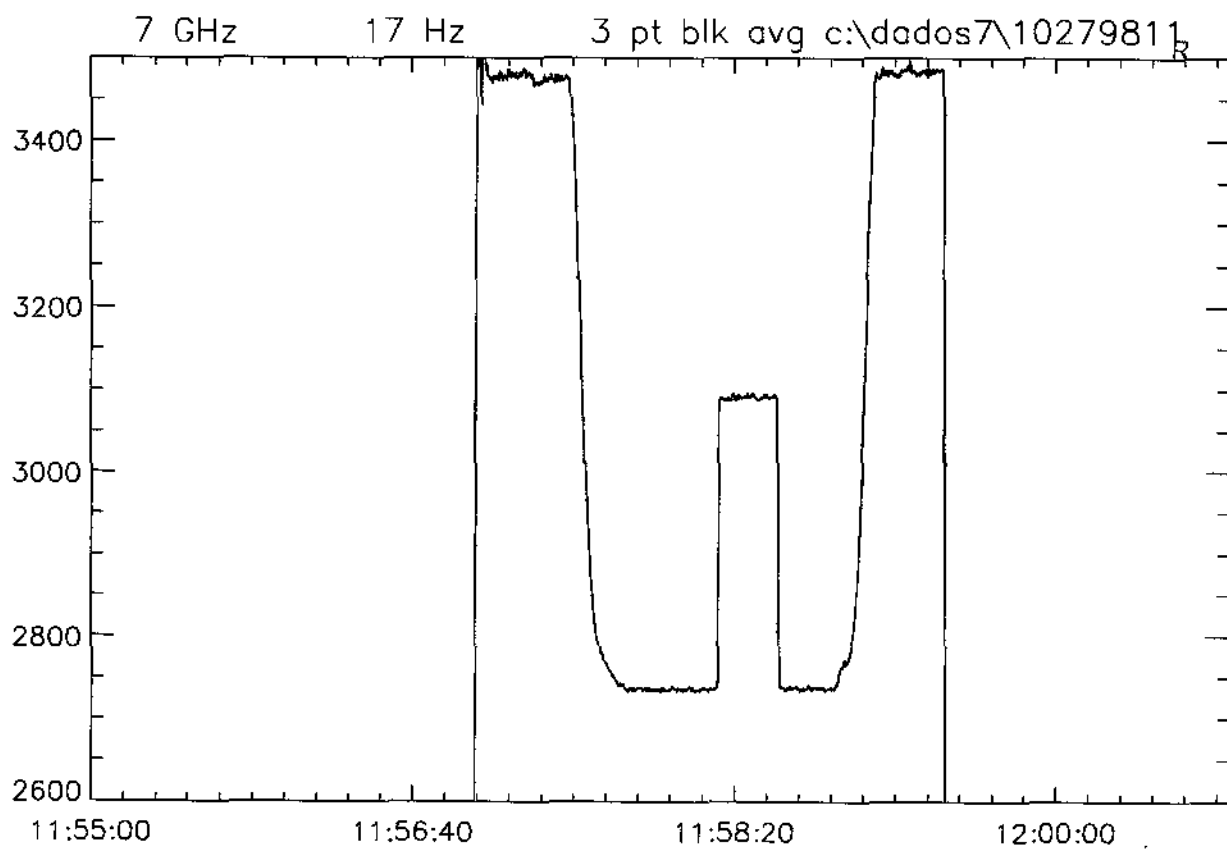
Kaufmann, P.: 1974, *La Atmósfera Solar y Su Investigación a través de ondas radioeléctricas* – Baseado em curso UNESCO-IAU-CNEGH realizado em Buenos Aires, Argentina.

Smerd, S.F.: 1964, *On the Generation of Solar Radio Bursts*. In: *AAS-NASA Symposium on the Physics of Solar Flares*. ed. W.N. Hess, NASA, 343 – 355.

São Paulo, 01 de Julho de 1999

Anexo2

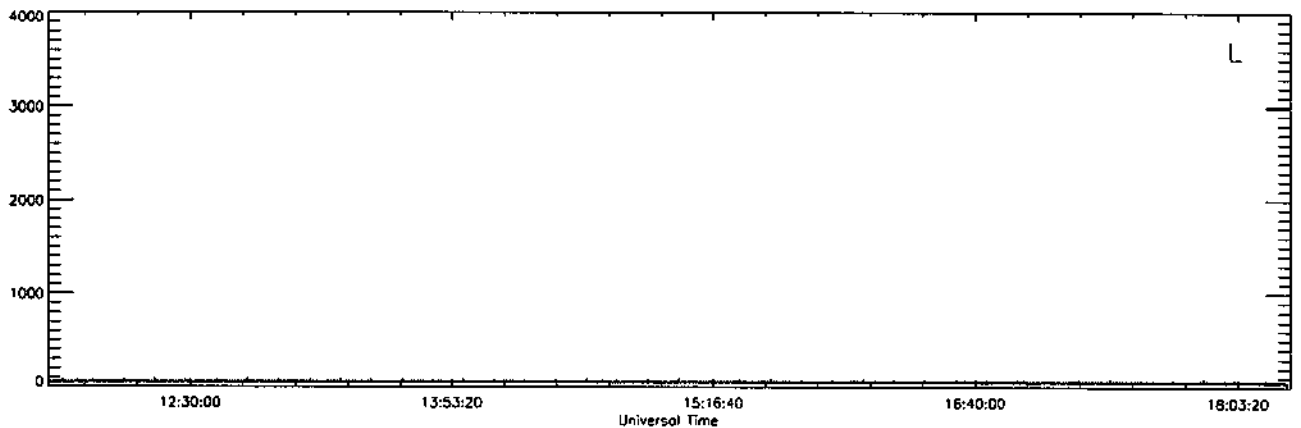
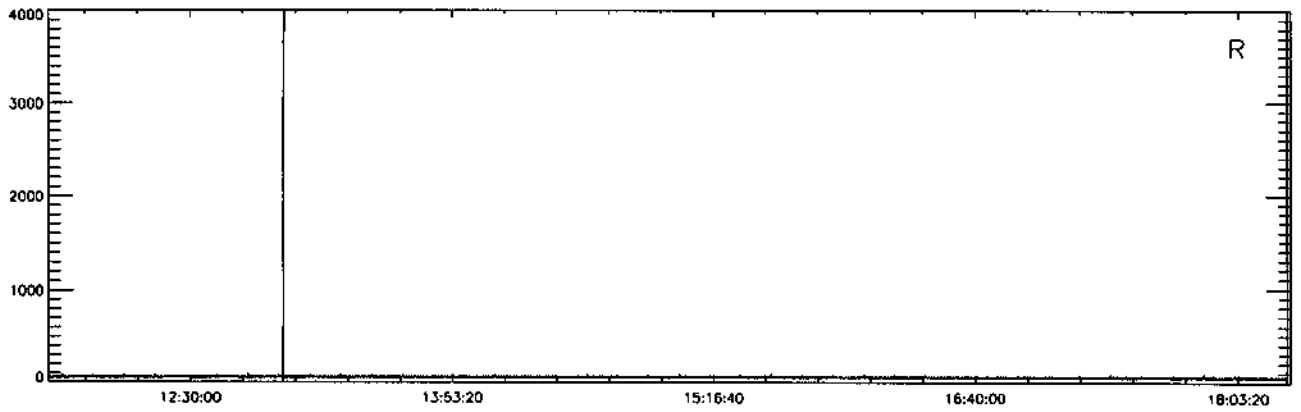
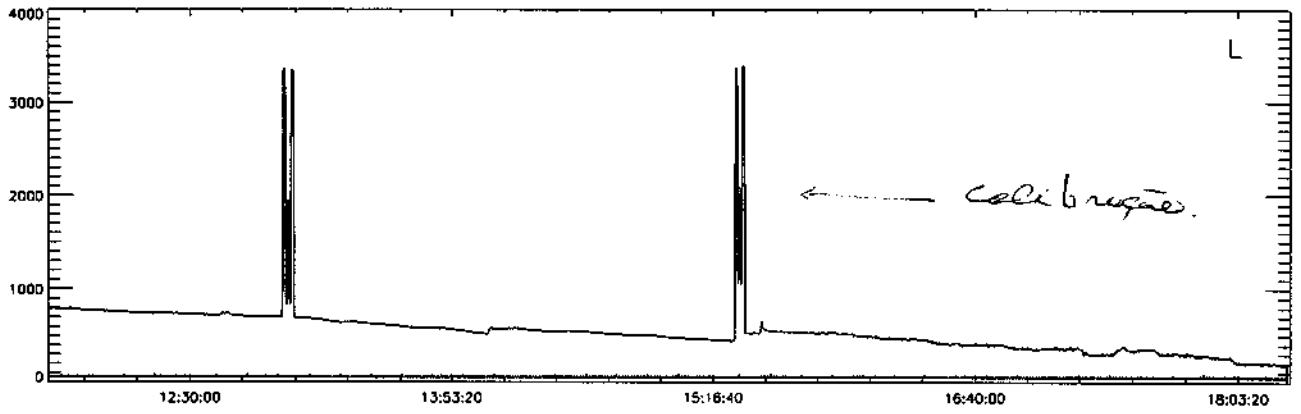
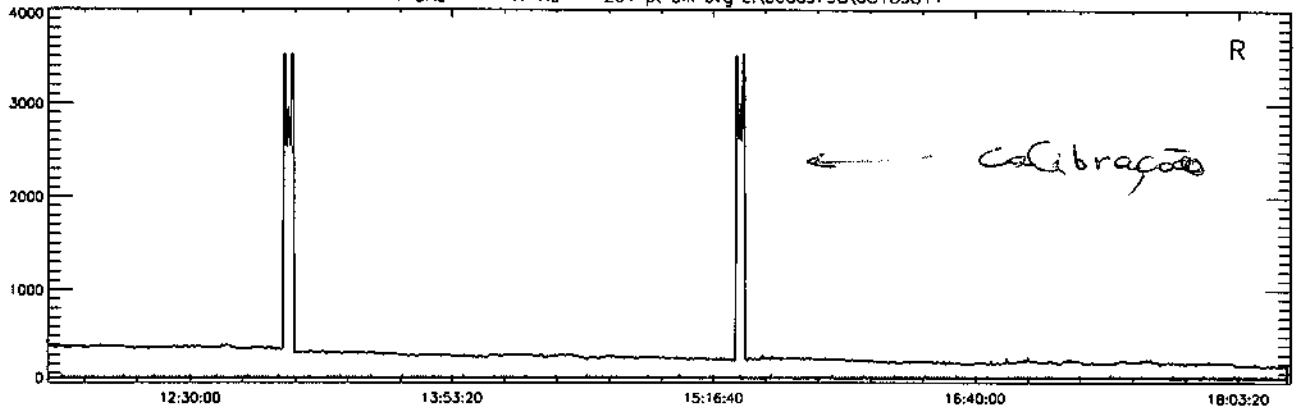
Determinação escala K/V



Anexo3

Exemplo de plotagem global

7 GHz 17 Hz 201 pt blk avg c:\dados798\08189811



Anexo4

Tabela dos parâmetros observados

data	hora ref.	T (seg)	load R	load L	Sol R	Sol L	SOL-R(sfu)	SOL-L(sfu)
01/06/98	16:00:00	35947.03	346.2	846.2	903.8	2000	297.6118	269.4398
03/06/98	15:30:00	35949.65	346.2	729.2	923.1	2038.5	303.9671	318.6903
05/06/98	14:00:00	35951.58	461.5	1115.4	923.1	2307.7	228.0247	235.8596
09/06/98	16:30:00	35955.69	423.1	1019.2	903.8	2115.4	243.5197	236.6126
17/06/98	15:30:00	35963.65	423.1	1038.5	846.2	2000	228	219.5474
18/06/98	15:30:00	35964.65	423.1	1038.5	769.2	1884.6	207.2531	206.8795
22/06/98	15:15:00	35968.64	423.1	1038.5	846.2	2076.9	228	227.989
26/06/98	17:00:00	35972.71	423.1	1076.9	884.6	2115.4	238.3465	223.935
29/06/98	15:15:00	35975.64	423.1	1038.5	846.2	2076.9	228	227.989
16/09/98	15:23:50	36054.64	416.7	1224.5	958.3	2571.4	262.1699	239.3953
17/09/98	15:28:00	36055.64	412.4	1090.9	907.2	2343.4	250.7779	244.8873
18/09/98	14:37:00	36056.61	400	1105.3	920	2328.9	262.2	240.2014
21/09/98	15:25:00	36059.64	421.1	1278.4	1052.6	2762.9	284.9594	246.3788
22/09/98	15:23:50	36060.64	444.4	1256.8	1010.1	2716.2	259.1166	246.3771
23/09/98	15:14:30	36061.64	394.7	1223.7	1026.3	2802.6	296.4231	261.0905
24/09/98	15:18:00	36062.64	408	1200	979.2	2640	273.6	250.8
25/09/98	15:22:00	36063.64	394.7	1144.7	947.4	2565.8	273.6347	255.5265
19/10/98	14:10:00	36087.59	357.1	1107.1	821.4	2530.1	262.2223	260.5288
20/10/98	16:40:00	36088.69	352.9	1025.3	741.2	2156.6	239.4355	239.7858
21/10/98	14:11:00	36089.59	357.1	1071.4	750	2178.6	239.4287	231.8092
22/10/98	13:18:00	36090.55	357.1	1074.1	750	2222.2	239.4287	235.854
23/10/98	14:35:00	36091.61	321.4	1000	714.3	2000	253.3609	228
26/10/98	16:27:00	36094.69	357.1	1107.1	714.3	2142.9	228.0319	220.6581
27/10/98	14:27:00	36095.60	321.4	1035.7	714.3	2071.4	253.3609	228
29/10/98	14:30:00	36097.60	317.6	964.3	705.9	2035.7	253.3772	240.6614
03/11/98	14:39:00	36102.61	357.1	1094.1	857.1	2400	273.6192	250.0685
04/11/98	14:25:00	36103.60	318.2	1025.3	848.5	2404.4	303.9881	267.3379
05/11/98	14:25:00	36104.60	318.2	989.9	813.1	2298	291.3055	264.6449
06/11/98	14:30:00	36105.60	318.2	1000	813.1	2285.7	291.3055	260.5698
09/11/98	14:40:00	36108.61	321.4	975.9	883.8	2638.6	313.4823	308.2287
10/11/98	14:25:00	36109.60	352.9	1058.8	988.2	2894.1	319.2258	311.605
12/11/98	14:35:00	36111.61	357.1	1035.7	857.1	2500	273.6192	275.1762
13/11/98	14:20:00	36112.60	317.6	1058.8	847.1	2470.6	304.0598	266.0072
16/11/98	14:35:00	36115.61	321.4	988.2	714.3	2223.5	253.3609	256.5058
03/02/98	16:06:00	35829.67	409.1	870.8	831.3	1619.3	231.6505	211.9892
05/02/98	16:40:00	35831.69	658.5	892.9	1280.5	1696.4	221.6811	216.586
22/01/98	17:33:00	35817.73	378.8	786.5	909.1	1723.4	273.594	249.7999
23/01/98	15:00:00	35818.63	386.6	755.1	927.8	1734.7	273.5882	261.8935
27/01/98	15:00:00	35822.63	375	767.9	787.5	1626.5	239.4	241.465
29/01/98	16:00:00	35824.67	402.4	759	914.6	1698.8	259.1064	255.1557
30/01/98	15:25:00	35825.64	402.4	766.7	878	1633.3	248.7376	242.854

SOL-I(sfu)	SOL-V(sfu)	POL (%)	sigmaPol	FLUX7-20	Date	10.7c	m Numb	er	Hemis.
283.5258	28.17194	9.936286	0.376244	113.5258	01/01/98		102	55	390
311.3287	-14.7233	-4.72917	0.320429	141.3287	02/01/98		101	50	290
231.9422	-7.8349	-3.37795	0.432835	61.94215	03/01/98		101	31	160
240.0662	6.907098	2.877164	0.430449	70.06619	04/01/98		91	30	120
223.7737	8.452576	3.777287	0.463687	53.77371	05/01/98		89	22	50
207.0663	0.373594	0.180422	0.492911	37.06633	06/01/98		87	23	20
227.9945	0.010977	0.004815	0.447303	57.99451	07/01/98		85	0	0
231.1407	14.41149	6.234942	0.453932	61.14074	08/01/98		82	0	0
227.9945	0.010977	0.004815	0.447303	57.99451	09/01/98		82	0	0
250.7826	22.77456	9.081395	0.423752	80.78263	10/01/98		81	14	10
247.8326	5.890545	2.376824	0.416007	77.83261	11/01/98		85	51	40
251.2007	21.99861	8.757383	0.422436	81.2007	12/01/98		96	60	200
265.6691	38.58064	14.52207	0.409731	95.66907	13/01/98		90	54	160
252.7469	12.73941	5.040385	0.412893	82.74685	14/01/98		94	43	190
278.7568	35.33264	12.67508	0.387344	108.7568	15/01/98		98	46	350
262.2	22.8	8.695652	0.404603	92.2	16/01/98		98	88	350
264.5806	18.10815	6.844095	0.397649	94.58059	17/01/98		96	89	330
261.3756	1.693578	0.647948	0.391335	91.37556	18/01/98		95	67	270
239.6107	-0.35028	-0.14619	0.425322	69.61068	19/01/98		94	88	90
235.619	7.61951	3.233827	0.439287	65.61898	20/01/98		91	50	30
237.6414	3.574714	1.504247	0.432117	67.64137	21/01/98		91	25	10
240.6805	25.36092	10.53717	0.444407	70.68046	22/01/98		93	37	30
224.345	7.373808	3.286816	0.461474	54.34502	23/01/98		97	57	100
240.6805	25.36092	10.53717	0.444407	70.68046	24/01/98		98	88	250
247.0193	12.71579	5.147691	0.422672	77.01931	25/01/98		108	104	350
261.8439	23.5506	8.994141	0.405694	91.84385	26/01/98		100	99	420
285.663	36.65011	12.82984	0.378237	115.663	27/01/98		101	98	420
277.9752	26.66055	9.590983	0.383168	107.9752	28/01/98		97	89	590
275.9376	30.73567	11.13863	0.388658	105.9376	29/01/98		94	71	230
310.8555	5.253553	1.690031	0.330624	140.8555	30/01/98		91	41	140
315.4154	7.620818	2.416121	0.32693	145.4154	31/01/98		89	37	120
					01/02/98		91	25	120
274.3977	-1.55706	-0.56744	0.370679	104.3977	02/02/98		89	23	110
285.0335	38.05265	13.35024	0.37994	115.0335	03/02/98		89	39	120
254.9333	-3.14485	-1.2336	0.397751	84.93334	04/02/98		89	26	110
			#DIV/0!	-170	05/02/98		86	40	90
221.8198	19.66125	8.863611	0.478616	51.81983	06/02/98		84	41	100
219.1335	5.095138	2.325129	0.470379	49.13352	07/02/98		83	27	70
261.6969	23.79411	9.092238	0.406099	91.69693	08/02/98		84	37	80
267.7409	11.69468	4.36791	0.388584	97.74086	09/02/98		84	34	60
240.4325	-2.06503	-0.85888	0.422473	70.43252	10/02/98		84	62	110
257.131	3.950631	1.536427	0.399423	87.13105	11/02/98		86	63	80
245.7958	5.883525	2.393664	0.419487	75.79581	12/02/98		91	67	220
					13/02/98		95	62	310
					14/02/98		105	88	390
					15/02/98		107	86	410
					16/02/98		107	88	580
					17/02/98		91	85	540
					18/02/98		103	64	420
					19/02/98		99	57	420
					20/02/98		96	29	360
					21/02/98		99	28	360
					22/02/98		96	38	230

Region	s Field	Flux	C	M	X	S	1	2	
0	-999 B1.6			3	1	0	3	0	0
0	-999 B2.2			2	1	0	5	0	0
0	-999 B4.1			1	1	0	1	0	0
0	-999 B1.2			0	0	0	0	0	0
0	-999 A7.8			1	0	0	0	0	0
0	-999 A5.5			0	0	0	0	0	0
0	-999 A4.1			0	0	0	0	0	0
0	-999 A2.8			0	0	0	0	0	0
0	-999 A2.0			0	0	0	0	0	0
1	-999 A1.2			0	0	0	1	0	0
3	-999 A1.2			0	0	0	0	0	0
0	-999 A9.4			10	0	0	8	0	0
1	4 B2.2			1	0	0	1	0	0
0	-999 B1.1			3	0	0	7	0	0
0	-999 B3.2			5	1	0	6	1	0
3	-999 B1.7			0	0	0	1	0	0
1	-18 B1.2			0	0	0	2	0	0
0	64 A9.2			0	0	0	1	0	0
2	-999 A9.4			0	0	0	0	0	0
0	-999 A9.2			1	0	0	0	0	0
0	-9 A7.1			0	0	0	0	0	0
2	9 A6.1			0	0	0	3	0	0
1	-999 A9.7			0	0	0	2	0	0
2	-12 B1.2			0	0	0	0	0	0
1	15 B1.1			2	1	0	2	1	0
0	-999 B1.4			2	0	0	8	0	0
0	-999 B1.2			0	0	0	0	0	0
0	-999 A8.3			1	0	0	0	0	0
0	7 A7.4			1	0	0	1	0	0
0	19 B1.0			0	0	0	1	0	0
0	-1 A5.2			0	0	0	0	0	0
0	-999 A4.4			0	0	0	0	0	0
2	-999 A5.3			0	0	0	1	0	0
2	-999 A4.9			0	0	0	0	0	0
0	-999 A4.4			0	0	0	0	0	0
1	-999 A6.5			0	0	0	0	0	0
0	-999 A2.6			0	0	0	3	0	0
0	-999 A2.6			0	0	0	0	0	0
1	-999 A3.6			0	0	0	0	0	0
1	-999 A3.8			0	0	0	0	0	0
2	-999 A4.5			0	0	0	0	0	0
2	-999 A3.3			0	0	0	3	0	0
0	-999 A5.1			0	0	0	5	0	0
0	-999 A6.3			0	0	0	1	0	0
1	-999 B1.2			0	0	0	3	0	0
1	1 B3.2			4	0	0	8	0	0
1	-999 B1.7			1	0	0	0	0	0
0	-999 B2.2			2	0	0	2	0	0
0	11 B1.2			3	0	0	7	1	0
0	-999 B1.3			1	0	0	7	0	0
0	27 A9.3			1	0	0	6	0	0
1	-999 A6.8			0	0	0	0	0	0
1	-33 A7.1			1	0	0	1	0	0

	3 area manc	N flares+1:	N mancha-	N. FLARE:	FLUX3-10K
0	-211	157	-115	7	2
0	-221	158	-120	8	1
0	-234	153	-139	3	1
0	-238	150	-140	0	-9
0	-245	151	-148	1	-11
0	-248	150	-147	0	-13
0	-250	150	-170	0	-15
0	-250	150	-170	0	-18
0	-250	150	-170	0	-18
0	-249	151	-156	1	-19
0	-246	150	-119	0	-15
0	-230	168	-110	18	-4
0	-234	152	-116	2	-10
0	-231	160	-127	10	-6
0	-215	163	-124	13	-2
0	-215	151	-82	1	-2
0	-217	152	-81	2	-4
0	-223	151	-103	1	-5
0	-241	150	-82	0	-6
0	-247	151	-120	1	-9
0	-249	150	-145	0	-9
0	-247	153	-133	3	-7
0	-240	152	-113	2	-3
0	-225	150	-82	0	-2
0	-215	156	-66	6	8
0	-208	160	-71	10	0
0	-208	150	-72	0	1
0	-191	151	-81	1	-3
0	-227	152	-99	2	-6
0	-236	151	-129	1	-9
0	-238	150	-133	0	-11
0	-238	150	-145	0	-9
0	-239	151	-147	1	-11
0	-238	150	-131	0	-11
0	-239	150	-144	0	-11
0	-241	150	-130	0	-14
0	-240	153	-129	3	-16
0	-243	150	-143	0	-17
0	-242	150	-133	0	-16
0	-244	150	-136	0	-16
0	-239	150	-108	0	-16
0	-242	153	-107	3	-14
0	-228	155	-103	5	-9
0	-219	151	-108	1	-5
0	-211	153	-82	3	5
0	-209	162	-84	12	7
0	-192	151	-82	1	7
0	-196	154	-85	4	-9
0	-208	161	-106	11	3
0	-208	158	-113	8	-1
0	-214	157	-141	7	-4
0	-214	150	-142	0	-1
0	-227	152	-132	2	-4

Anexo5

Gráficos dos parâmetros observados

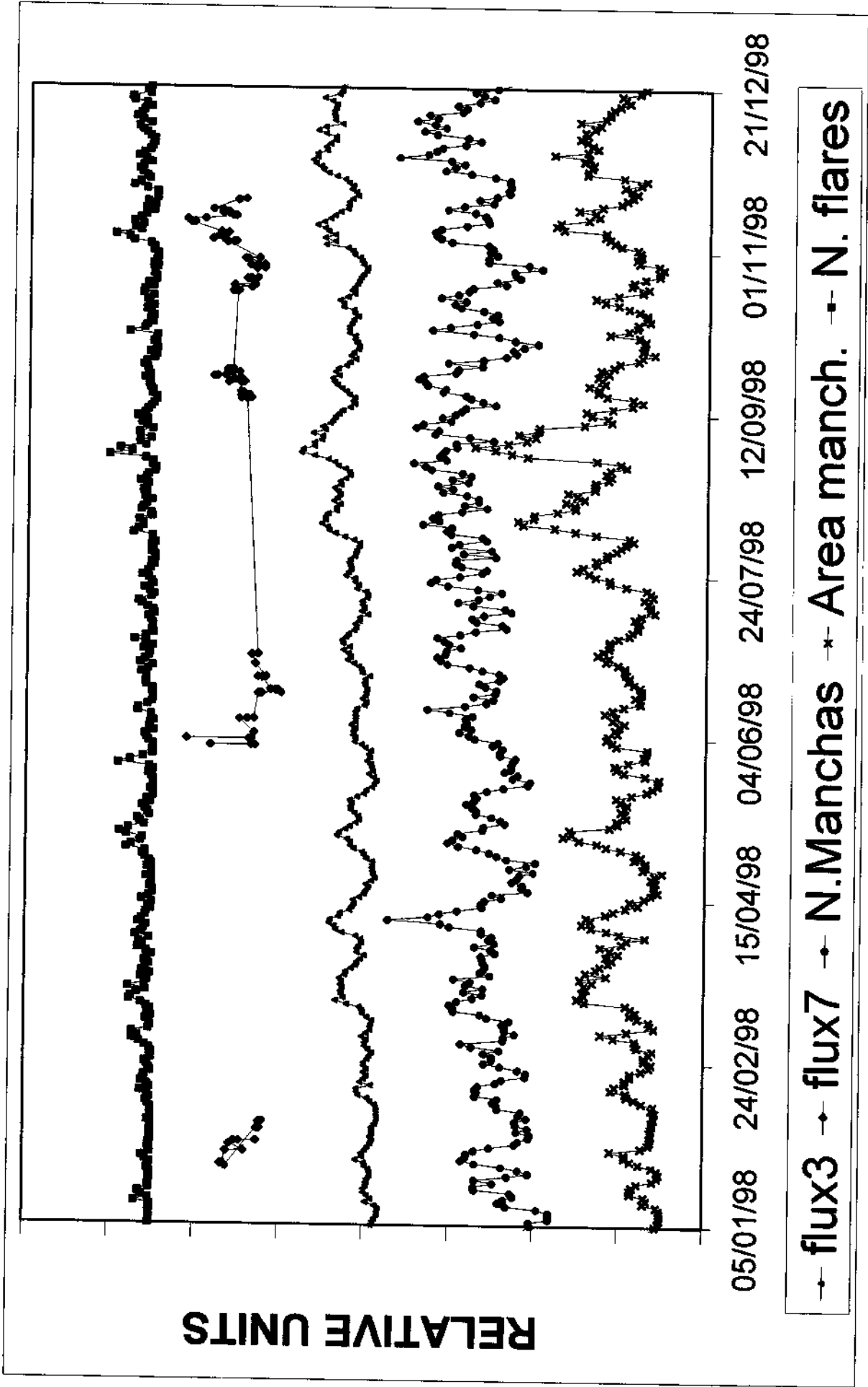


Fig 1

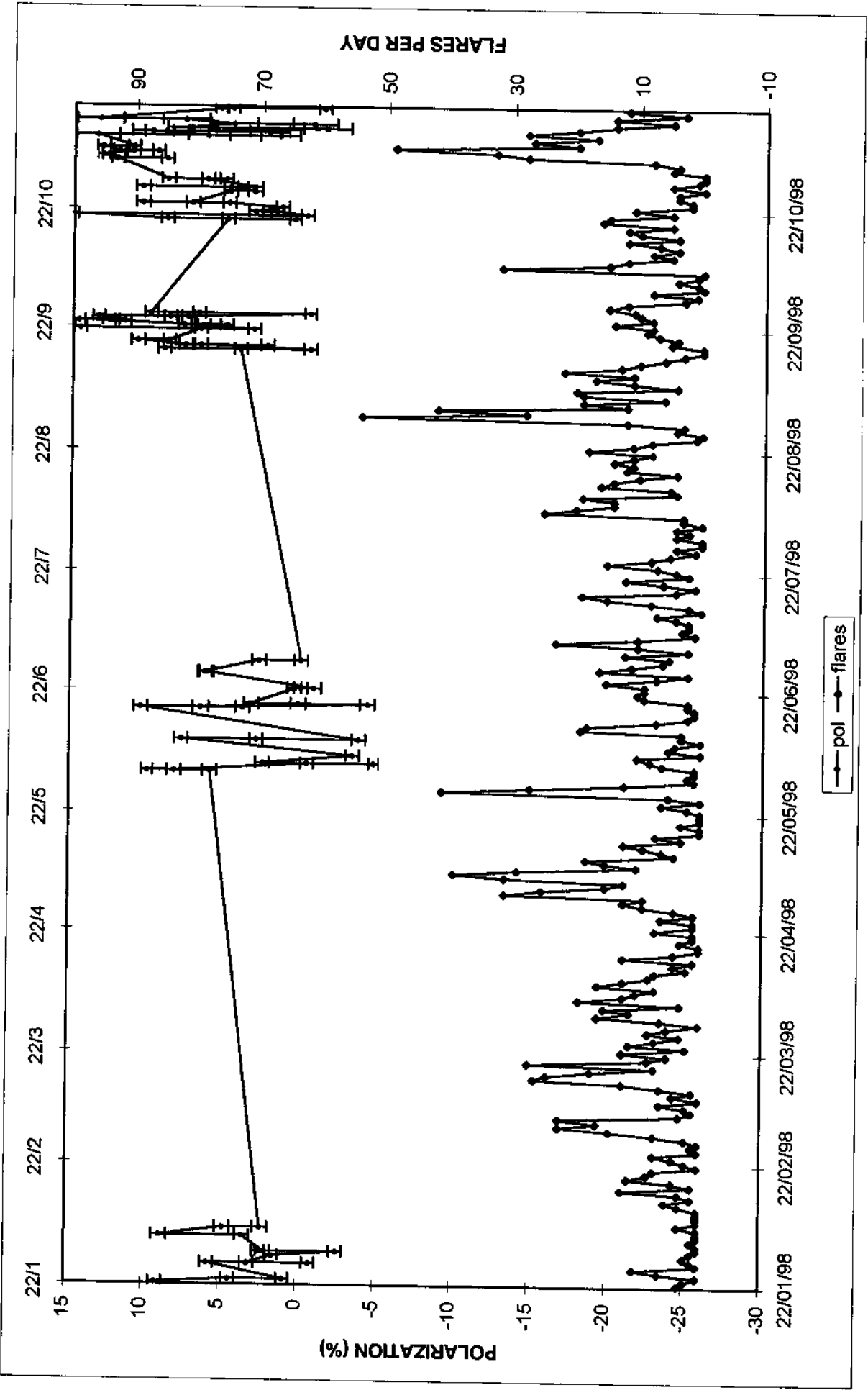
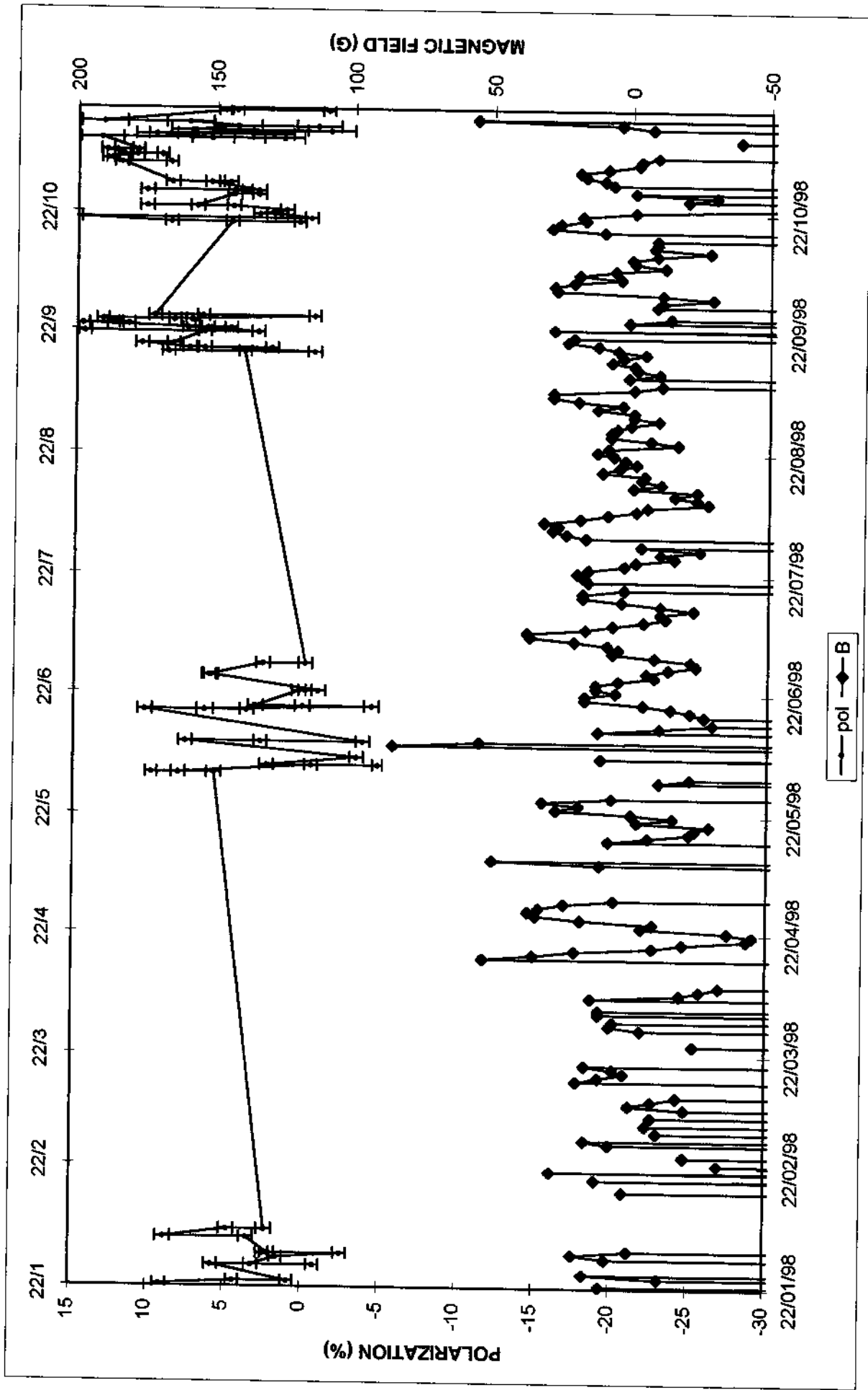
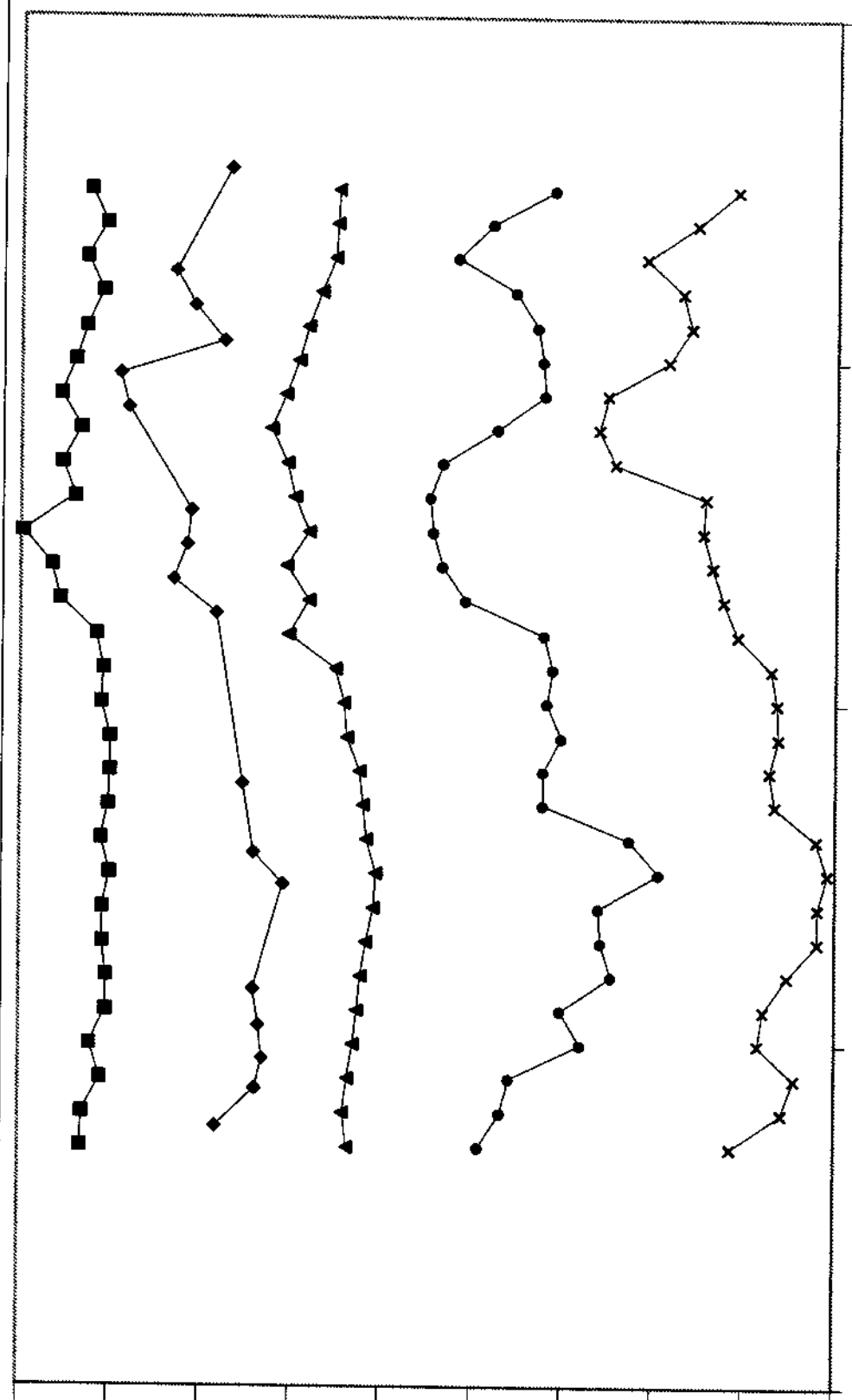


fig 2

Plan1 Gráfico 15

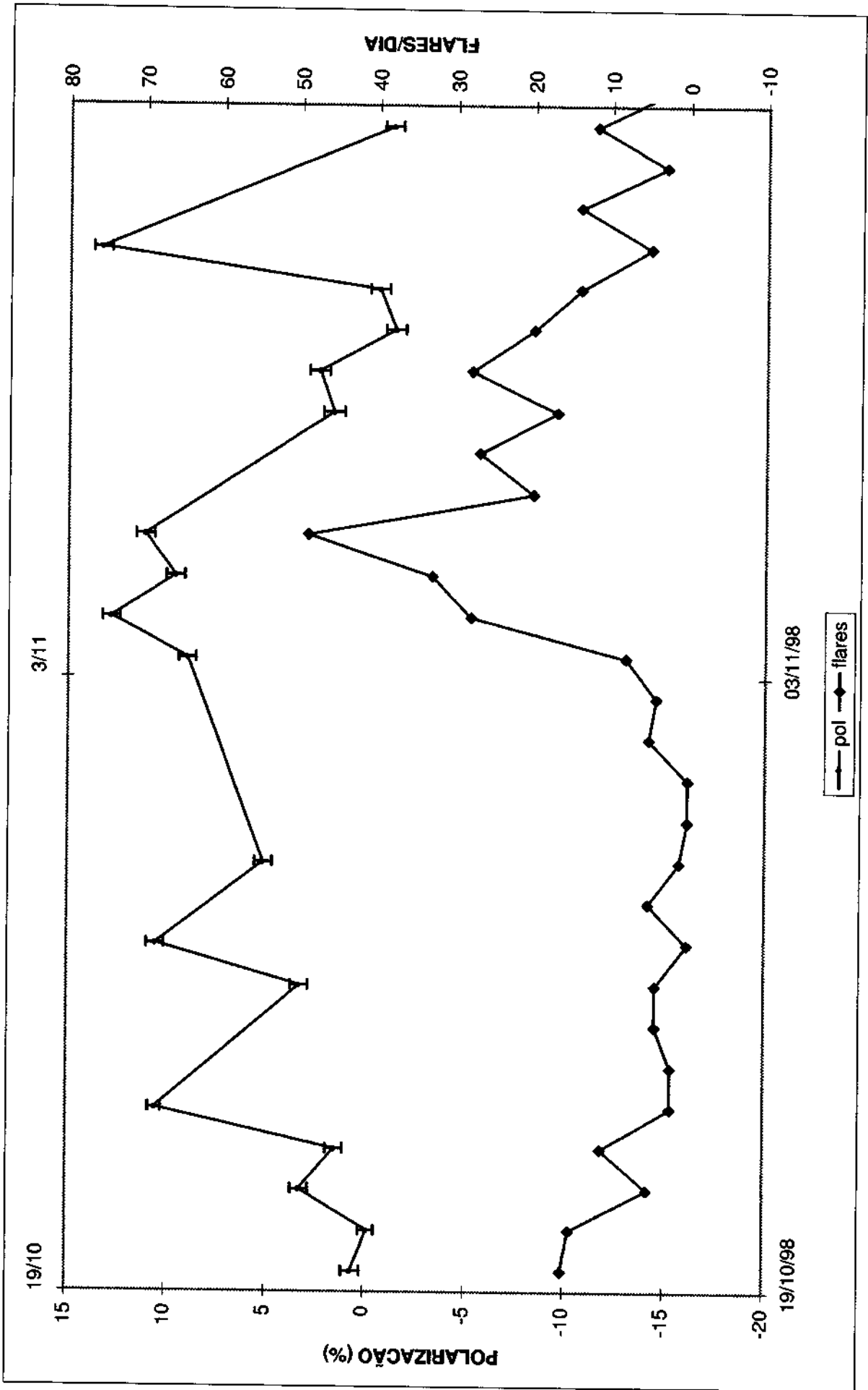


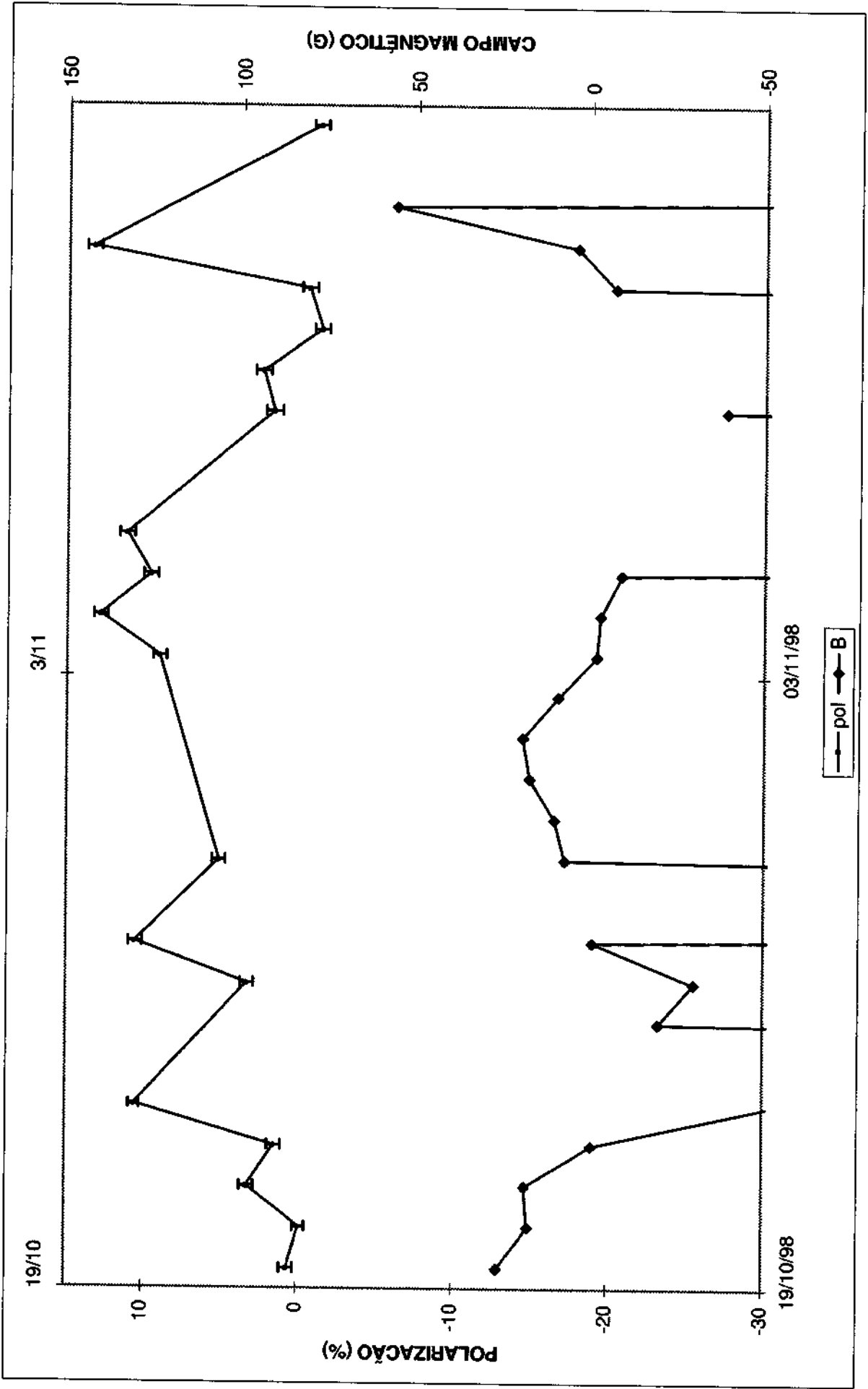
UNIDADES RELATIVAS



12/10/98 22/10/98 01/11/98 11/11/98 21/11/98

▲ flux3 ◆ flux7 ◼ Area manch. ✕ N. flares





Anexo6

Lista das explosões observadas

7 GHz - Lista de eventos

Núm.	Data	Hora pico TU	Reg Ativa	Fluxo s.f.u.	Polariz %	Comentários
#1	10/05/96	1612	AR7962	12	30 R	B3.5 (GOES), BATSE
#2	29/07/96	1341	AR7981	25	16 R	B1.0 (GOES), BATSE
#3	31/07/96	1915	AR7981	13	30 R	B3.9 (GOES)
#4	02/09/96	1627	AR7986	16	5 R	
#5	06/11/97	1153		sat		
#6	12/11/97	1703				
#7	01/12/97	1327				
#8	28/05/98	1900		50	20 L	BATSE, YOHKOH
#9	03/06/98	1401				
#10	18/06/98	1719		40	30 R	
#11	22/06/98	1436				
#12	15/07/98	1450				
#13	18/08/98	1536				
#14	19/08/98	1237				
#15	"	1410		sat		YOHKOH
#16	20/08/98	1610				
#17	19/10/98	1130				
#18	"	1240				
#19	"	1440				
#20	03/11/98	1900				
#21	04/11/98	1230				
#22	05/11/98	1140				
#23	"	1100				
#24	"	1305				
#25	"	1330		600	20 R	
#26	"	1830		200	20 R	
#27	06/11/98	1110				
#28	"	1140				
#29	"	1145				
#30	"	1200				
#31	"	1500				
#32	08/11/98	1330				
#33	08/11/98	1825				
#34	13/11/98	1315				
#35	"	1350				
#36	"	1700				
#37	16/11/98	1200				
#38	"	1245				
#39	"	1315				
#40	23/11/98	1115				

#41	25/11/98	1350				
#42	27/11/98	1815				
#43	01/12/98	1800				

Anexo7

Cópia trabalho do congresso Japão

Fast temporal variations of the circular polarization degree during a microwave solar burst

Emília CORREIA, Pierre KAUFMANN, Victor MELNIKOV ¹

Centro de Rádio Astronomia e Aplicações Espaciais - CRAAE (Mackenzie, INPE, USP, Unicamp)

Instituto Presbiteriano Mackenzie, R. da Consolação 896, 01302-000, São Paulo, SP, Brasil

E-mail (EC): ecorreia@usp.br

¹ *on leave from Radiophysical Research Institute, 603600 N.Novgorod, Russia*

Abstract

We present new temporal relationships between polarization degree and burst intensity profiles for one example of a complex event observed with high sensitivity and time resolution. The polarization degree shows basically two distinct components: a quasi-steady one, defined as soon as the burst intensity becomes measurable, and another one with fast variations and small amplitude, superimposed on the former one. The fast time variations of the polarization degree might be related to corresponding fluctuations in intensity, at time scales which can be shorter than one second. The event also shows a rapid sense reversal of polarization degree. The example illustrates the importance of the polarization degree measurements with higher sensitivity and time resolution; some possible causes that can produce the observed effects are discussed.

Key words: Patrol radio telescope - Sun: microwave bursts - Sun: polarization

1. Introduction

The emission of solar microwave bursts is predominantly circularly polarized (Covington 1951; Akabane 1958; Kundu 1959; Tanaka, Kakinuma 1959; Magun, Matzler 1973), and the I and V Stokes parameters are enough to determine the complete polarization state of the radiation field. The microwave intensity together with circular polarization data, is the only way to infer the magnetic field characteristics in the solar atmosphere above photosphere, where there are no other available source of information. The temporal variations of circular polarization degree can reflect changes of physical conditions in the emission source, and in the propagation medium.

The analysis of simple impulsive bursts observed by patrol telescopes with poor sensitivity and temporal resolution had shown that polarization degree presents a minimum in the intensity burst maximum (Gelfreikh 1962; Kaufmann et al. 1970). Impulsive events observed with 100 ms time resolution, but poor sensitivity, showed no measurable polarization degree variations associated to the intensity fast temporal structures (Kaufmann 1978). Bruggmann and Magun (1990) analysed the temporal behaviour of the polarization degree and suggested that a typical polarization temporal profile does not exist, even for simple bursts. Events observed at 22 GHz, with high sensitivity and time resolution, suggested that the polarization degree can be separated in two components (Kaufmann et al. 1985, 1993). A quasi-steady component defined in the beginning of the burst, and a superimposed component presenting faster temporal variations with small amplitude and a complex correlation with associated intensity structures.

We present here the results of the polarization degree temporal behaviour for an impulsive event observed at 7 GHz at the Itapetinga Radio Observatory, Atibaia, Brazil. The observations were performed with a patrol telescope recently renewed, achieving sensitivity less than 0.5 sfu ($1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$) and 10 ms time resolution. It operates with two independent receivers for each circular polarization mode.

2. Observational Results

The figures show the temporal behaviour of I ($S_R + S_L$) and V ($S_R - S_L$) Stokes parameters, and polarization degree P (V/I), for an impulsive event occurred in November 5, 1998. The error bars in the polarization degree plots correspond to $\pm\sigma$, which was obtained from the ratio V/I , considering the rms of the S_R and S_L channels. The vertical lines mark the major structures with time scale of about 10 s in Figure 1, and the faster structures with ≥ 1 s duration in Figure 2 as identified in the intensity temporal profile. The arrows show the time correspondence

Fig. 1. Temporal behaviour of the $I (S_R+S_L)$ and $V (S_R-S_L)$ Stokes parameters, and polarization degree $P (V/I)$ for the November 5, 1998 event. The major structures of the intensity profile are marked by vertical lines. The arrows show the time differences between intensity maxima and polarization degree minima.

between intensity fast structures and the associated polarization degree variations for the major structures (Figure 1) and for the subsecond pulses (Figure 2).

Figure 1 shows that the polarization degree can be separated in two components: a quasi-steady one with an initial level of about 30% R polarized, defined as soon as the burst intensity becomes measurable, and presenting a minimum of polarization degree in the rising phase of the burst; and another component, superimposed on the former, presenting variations of small amplitude associated to the intensity fast structures.

A relatively small decrease of polarization degree occurs in the rising phase of the intensity structures with time scales above 1 s (Figure 1 and 2).

A pronounced peculiar sense reversal of the polarization degree can be seen in Figure 1 at about 13:34:53 UT. This effect is known to be very rare (Marques dos Santos et al. 1970), and was attributed to possible superposition of bursts with opposite polarization. This effect will be studied separately.

Other remarkable aspect is that the intensity structures with time scales of about 1 s have pulses of subsecond duration superposed on them (showed by arrows in Figure 2). The subsecond intensity pulses present a complex association with the polarization degree variations. The majority of them shows a positive correlation, but some are negatively correlated while others present no clear association.

3. Concluding remarks

The preliminary analysis of a complex burst circular polarization observed with high sensitivity and time resolution at 7 GHz indicates the potential to obtain new informations which may become important for the study of the magnetic field in the bursting region.

Fig. 2. Same as Figure 1 showing an expanded view of the last major structure of the burst. The vertical lines mark the $\geq 1\sigma$ structures in intensity. The arrows show the time correspondence of intensity and polarization degree for the subsecond pulses.

The time variations of the polarization degree are representative of changes of the magnetic field and/or the density of the electrons, in the emission source and/or in the propagation medium (Dulk 1985). The interpretation may become rather complex because the results are very sensitive to the time varying parameters assumed for the emission source and for the geometry of the region where the phenomena occur. Previous interpretations were based on data obtained with considerably less sensitivity and time resolution (Bruggmann and Magun 1990). The present results show the importance of a detailed diagnostics of polarization degree changes with time obtained with higher sensitivity and time resolution. Its interpretation requires a review of the existing models or new approaches for understanding the whole dynamics of the polarizing processes in solar bursts at microwaves.

A separate complete analysis of this event is in progress.

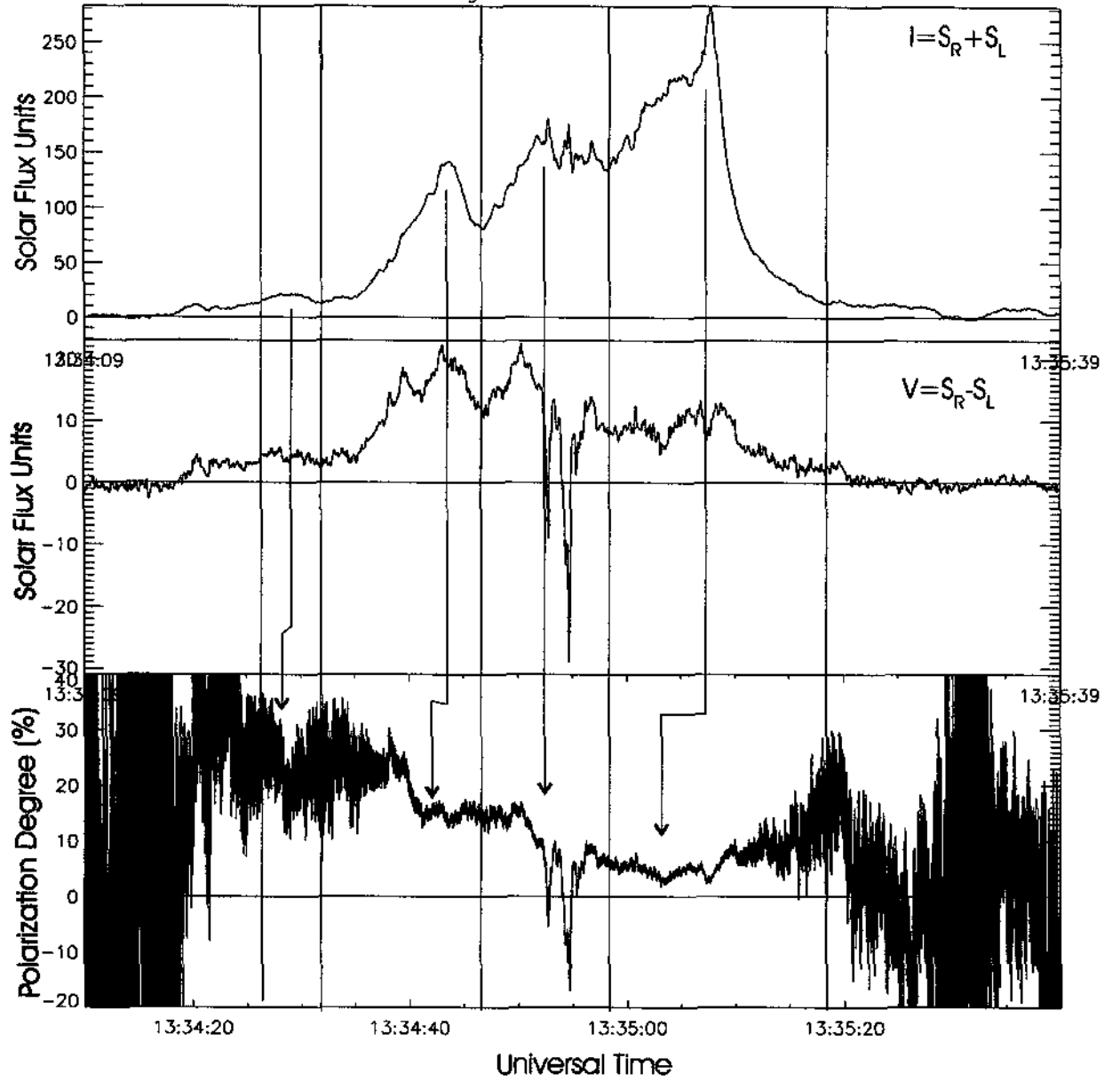
Acknowledgments

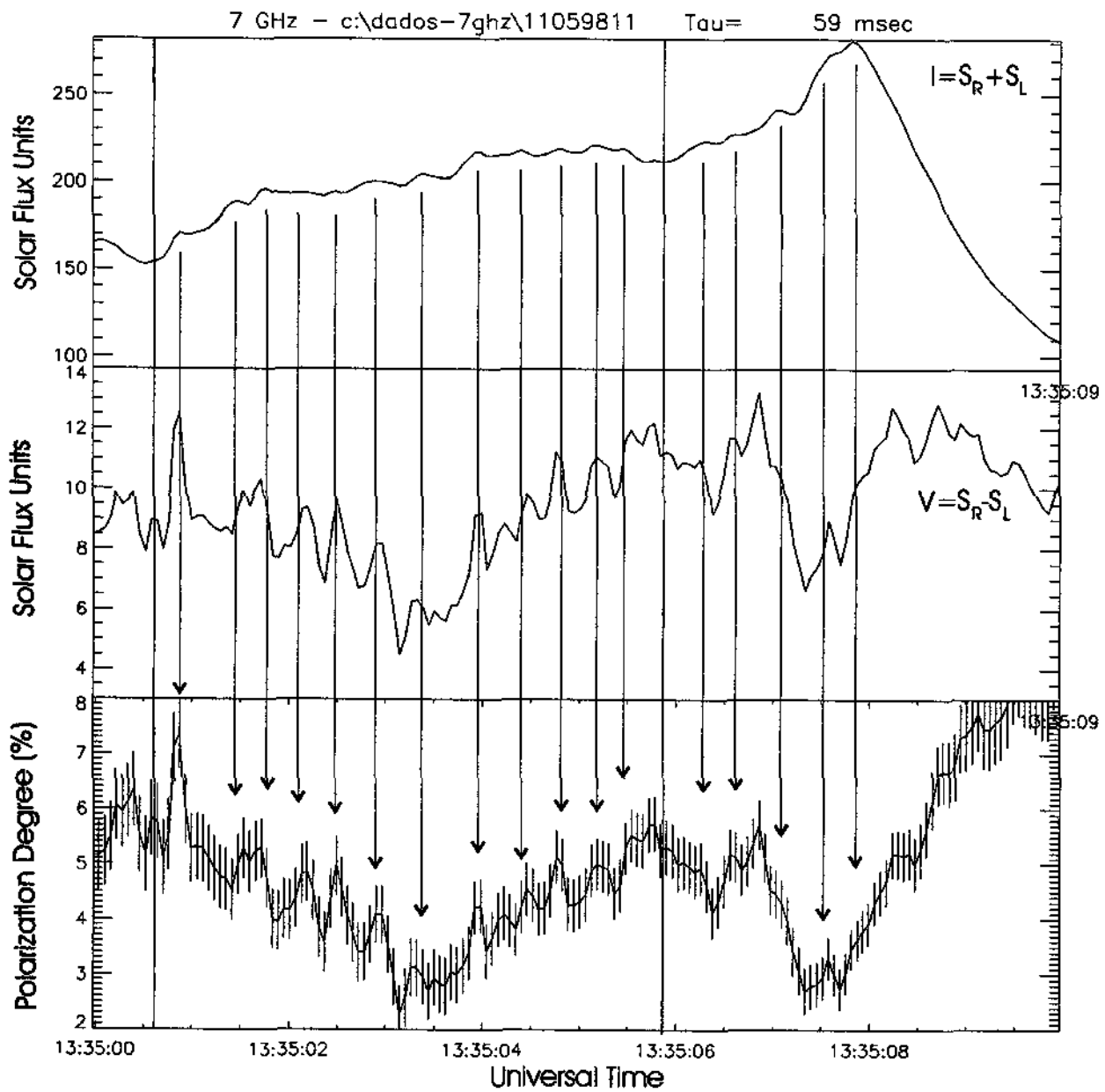
We would like to thank the technical support of Itapetinga Radio Observatory. D. Katz helped in the data analysis with support from CNPq. The polarimeter renewal was partially supported by the Brazilian agency FAPESP under contracts 93/3729-6 and 97/13687-0. E.C and P.K. were partially supported by CNPq, under grants No. 30141/92-4 and 304822/89-2. V.M. is supported by FAPESP under grant No. 97/07044-9. E.C. symposium attendance was supported by FAPESP under grant No. 98/10778-7.

References

- Akabane, K.: 1958, *Ann. Tokyo Astron. Obser.* 2nd ser. 6, 57.
Bruggmann, G., Magun, A.: 1990, *A&A* 239, 347.
Covington, A.E.: 1951, *J. Roy. Astron. Soc. Canada* 45, 157.
Dulk, G.A.: 1985, *ARA&A* 23, 169.
Gelfreikh G.B.: 1962, *Solnechnye Dannye* N.5, 67.
Kaufmann, P.: 1978, *Sol. Phys.* 60, 367.
Kaufmann, P., Matsuura, O.T., Marques dos Santos, P.: 1970, *Sol. Phys.* 14, 190.
Kaufmann, P., Strauss, F.M., Costa, J.E.R., Correia, E.: 1993, *Sol. Phys.* 148, 341.
Kaufmann, P., Correia, E., Costa, J.E.R., Sawant, H.S., Zodi Vaz, A.M.: 1985, *Sol. Phys.* 95, 155.
Kundu, M.R.: 1959, *A&A* 22, 1.
Magun, A., Matzler, Ch.: 1973, *Sol. Phys.* 30, 489.
Marques dos Santos, P., Kaufmann, P., Matsuura, O.T., Chu, B.: 1970, *ApL* 5, 85.
Tanaka, H., Kakinuma, T.: 1959, in *Paris Symp. on Radio Astronomy*, ed. R.N. Bracewell, Stanford Uni. Press, p. 215.

7 GHz - c:\dados-7ghz\11059811 Tau= 59 msec





Anexo8

Determinação sensibilidade do sistema

