



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-9560-TDI/835

UM MAPA DA EMISSÃO GALÁTICA EM 408 MHz

Rogério Rodrigues de Souza

Dissertação de Mestrado em Astrofísica, orientada pelos Drs. Camilo Tello Bohorquez e Thyrso Villela Neto, aprovada em 22 de dezembro de 2000.

INPE
São José dos Campos
2003

523.03

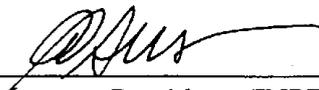
SOUZA, R. R.

Um mapa da emissão galáctica em 408 MHz / R. R. Souza. - São José dos Campos: INPE, 2000.
122p. – (INPE-9560-TDI/835).

1.Azimute. 2.Antenas backfire. 3.Radiação de freamento. 4.Radiação cósmica de fundo em microondas. 5.Estrutura da galáxia. 6.Mapas. 7.Radioastronomia. 8.Interferência em radiofrequência. 9.Receptores. 10.Radiação sincrôton.
I.Título.

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de Mestre em **Astrofísica**.

Dr. Carlos Alexandre Wuensche de Souza



Presidente/INPE/SJCampos-SP

Dr. Camilo Tello Bohorquez



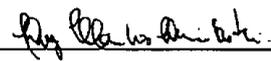
Orientador/INPE/SJCampos-SP

Dr. Thyrso Villela Neto



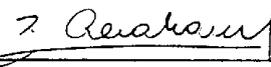
Orientador/INPE/SJCampos-SP

Dr. Luiz Cláudio Lima Botti



Membro da Banca
Convidado CRAAE/Mackenzie/SPaulo-SP

Dr^a Zulema Abraham



Membro da Banca
Convidada IAG/USP/SPaulo-SP

Candidato: Rogério Rodrigues de Souza

São José dos Campos, 22 de dezembro de 2000.

“Devemos conservar a convicção de que a Ciência é uma das glórias do homem. Não direi que nunca é perigosa; mas sustento firmemente que a Ciência é mais útil que nociva e, que o medo de conhecer é freqüentemente mais prejudicial que conveniente.”

Bertrand Russel (1872 – 1970)

Aos meus pais: **Valter Rodrigues de Souza e**
Noélia da Silva Rodrigues,
exemplos de dignidade,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de aproveitar esse espaço para expressar com sinceridade a minha gratidão para com as pessoas que de uma maneira direta ou indireta me auxiliaram na realização deste trabalho de Mestrado. Não poderei esquecer das pessoas da Divisão de Astrofísica: Marildo, Sérgio, Agenor, Jorge, Reitano, Cássio, Kilder, Artur, Andrade, Marcos, Gabriel, Braga, Thyrsó, Avelino, Alex, Chico, Rafael, Okada, Valéria, Ana Paula, Lourival, Alexandra, Arantes, Ivone, Bianca e Odylio.

Dedico esse trabalho à minha mãe “Noélia”, ao meu pai “Valter” e aos meus irmãos (Vagner, Bete, Luciene, Valquíria e Helena) e agora à minha família: Simone, Luigi e Gabriel. Aos meus amigos de São Carlos (Plínio, Ricardo, Romário, Leonardo, Fabiano, Alexandre, Ted, Tarcis, Márcio, Marcos).

Agradeço aos meus orientadores Thyrsó e Camilo pelo grande apoio e ensinamentos.

Agradeço ao CNPq e à CAPES pelo suporte financeiro durante dois anos com a concessão da Bolsa de Mestrado.

RESUMO

Apresentamos um mapa da emissão Galáctica em 408 MHz confeccionado a partir dos dados coletados pelo projeto *Galactic Emission Mapping (GEM)*, no mês de abril de 1994, com o radiotelescópio GEM instalado no deserto de Owens Valley (CA-EUA). Foi utilizado um receptor de potência total com as seguintes características: largura de banda de 28 MHz, temperatura de ruído de 112 K, ganho de $57,8 \text{ KV}^{-1}$ e sensibilidade de 28,5 mK. O mapa obtido acumulou 29,40 horas de observações e cobre uma faixa do céu compreendida entre $0^h < \alpha < 24^h$ e $-3^\circ 22' \leq \delta \leq +77^\circ 22'$. A resolução do feixe é de $10,4^\circ$ (HPBW) e o mapa é apresentado numa pixelização de $1,6^\circ$. De um total de 53,46 horas de observações, 36,58% das medidas apresentaram contaminação por sinais de interferência em radiofrequências, enquanto que o Sol e a Lua contaminaram 16,25 % das medidas.

A MAP OF THE GALACTIC EMISSION AT 408 MHz

ABSTRACT

We present a map of the Galactic Emission at 408 MHz prepared from the data collected with the radiotelescope of the *Galactic Emission Mapping (GEM)* project operating in the Owens Valley's desert (CA - USA) in April 1994. A total power receiver was used with the following characteristics: bandwidth of 28 MHz, noise temperature of 112 K, gain of 57.8 KV^{-1} , and a sensitivity of 28.5 mK. The map displays a total of 29.40 hours of observations and covers an area of the sky between $0^h < \alpha < 24^h$, and $-3^\circ 22' \leq \delta \leq +77^\circ 22'$. The beam resolution is 10.4° (HPBW) and the map pixelization is 1.6° . The data contamination level by radiofrequency interference was 36.58%, from a total of 53.46 hours of observations, while the Sun and the Moon contaminated 16.25% of the data.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	23
CAPÍTULO 2 MAPAS DA EMISSÃO GALÁCTICA EM RADIOFREQUÊNCIAS.....	25
2.1 – Composição da emissão Galáctica em frequências de rádio.....	25
2.2 – Mapas.....	26
2.3 – Variação espacial e espectral da emissão síncrotron.....	30
CAPÍTULO 3 O PROJETO GEM.....	33
3.1 – Motivações para o experimento.....	33
3.2 – Descrição do experimento.....	34
3.2.1 – A técnica observacional.....	35
3.2.2 – Controle térmico ativo.....	37
3.2.3 – Os alimentadores helicoidais em 408 e 1465 MHz.....	37
3.3 – Caracterização do sinal radiométrico.....	42
3.3.1 – A temperatura de antena.....	43
3.3.2 – As contaminações do Sol e da Lua.....	45
3.3.3 – As interferências em radiofrequência.....	46
3.3.4 – As contaminações da atmosfera e do solo.....	47
3.3.5 – Temperatura de sistema.....	48
CAPÍTULO 4 ANÁLISE DOS DADOS.....	51

4.1 – Datação dos arquivos de dados.....	51
4.2 – Obtenção do ganho (G) e da temperatura do receptor (T_R).....	56
4.2.1 – A susceptibilidade térmica de T_R e de G.....	65
4.2.2 – O critério de estabilidade.....	68
4.3 – O azimute.....	70
4.4 – Limpeza dos dados com IRF.....	72
CAPÍTULO 5 UM MAPA EM 408 MHz.....	75
5.1 – Considerações preliminares.....	75
5.1.1 – A correção para o azimute astronômico.....	76
5.1.2 – A subtração dos sinais do solo e da atmosfera.....	77
5.1.3 – A subtração da linha de base.....	79
5.2 – A largura do feixe.....	80
5.3 – Composição do mapa.....	83
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
APÊNDICE A - EXEMPLO DE ARQUIVO DE SAÍDA.....	105
APÊNDICE B - A ESTATÍSTICA UTILIZADA.....	107
APÊNDICE C - DEDUÇÃO DA TEMPERATURA DE SISTEMA.....	109
APÊNDICE D - COEFICIENTE DE REFLEXÃO E VSWR.....	111
APÊNDICE E - COMPONENTES ELETRÔNICOS.....	113
APÊNDICE F - VELOCIDADES DE ROTAÇÃO DA ANTENA OBTIDAS DOS ARQUIVOS.....	115
APÊNDICE G - CORTES DE IRF – I.....	117
APÊNDICE H - CORTES DE IRF – II.....	119
APÊNDICE I - TEMPOS DE OBSERVAÇÃO E ROTEIRO DOS MAPAS.....	121

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Espectro dos componentes da emissão Galáctica comparado com o da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas. A largura das bandas mostra a variação dos componentes da emissão Galáctica com a latitude, $15^\circ \leq b \leq 70^\circ$, de acordo com Bennett et al. (1992)....	26
2.2 - Registro obtido por Jansky em 24 de fevereiro de 1932.....	27
2.3 - Mapa de brilho do céu inteiro em 408 MHz, confeccionado por H82.	29
3.1 - Radiotelescópio GEM.....	35
3.2 - Técnica de varredura do céu usada no radiotelescópio GEM.....	36
3.3 - O radiotelescópio GEM com a cerca e painéis de extensão na sede do INPE em Cachoeira Paulista – SP – Brasil (Lat. $-22^\circ,68$; Long. $45^\circ,00$).....	37
3.4 - Geometria de uma hélice.....	39
3.5 - Alimentador helicoidal do receptor de 408 MHz, na câmara anecóica do LIT no INPE de São José dos Campos. Um cilindro de material plástico é utilizado para sustentar o condutor enrolado helicoidalmente.....	40
3.6 - Padrões de radiação em 2D e 3D da antena helicoidal do radiotelescópio GEM.....	41
3.7 - Registro do sinal após a colocação de um atenuador de 30 dB no receptor de 408 MHz em Cachoeira Paulista.....	47
4.1 - Trecho ampliado da Figura 4.2 mostrando os erros gerados no registro dos tempos dos dados coletados.....	53
4.2 - O coeficiente angular da reta fornece o tempo de integração e o coeficiente linear o ponto zero deste arquivo em questão.....	53

4.3	-	Diferença no início e no final dos arquivos analisados entre a datação original e a obtida com o ajuste linear. Os retângulos pontilhados indicam a dispersão dessas diferenças em torno das médias (Linha horizontal).....	55
4.4	-	Sinais das cargas quente e fria na entrada do receptor.....	56
4.5	-	Diagrama de blocos do radiômetro em 408 MHz. Mudanças no ganho no receptor de 408 MHz podem ser monitoradas pela injeção de um pulso de referência a cada 44,8 segundos.....	61
4.6	-	Segmento do gráfico da Figura (4.4) utilizado para estudar a susceptibilidade térmica do receptor.....	67
4.7	-	Convergência do coeficiente de ganho através de processo iterativo baseado na sua susceptibilidade térmica.....	68
4.8	-	Trecho de um arquivo de dados mostrando o registro do azimute. Para uma antena girando à uma velocidade constante todos os pontos deveriam se localizar ao longo das retas parcialmente configuradas na figura.....	71
4.9	-	Trecho de um arquivo ao qual foi aplicada a correção para os azimutes incorretos. Os pontos em vermelho são fornecidos pelo modelo.....	71
4.10	-	Degradação da leitura do codificador de azimute.....	72
4.11	-	Registro de um arquivo com sinais esporádicos e contínuos de IRF superpostos.....	73
4.12	-	Registro de um arquivo com sinais contínuos de IRF (pontos verdes).	73
4.13	-	Mapeamento do céu a partir de um arquivo de dados contaminado por sinais esporádicos e contínuos de IRF.....	74
5.1	-	Ajuste Gaussiano para encontrar a correção de ponto zero no azimute do GEM em função do sinal do Sol.....	76
5.2	-	A contribuição do solo para a temperatura de antena no experimento GEM em 408 MHz segundo um modelo de difração (Tello et al., 1999).....	78
5.3	-	Mapeamento do feixe usando o Sol como fonte pontual.....	82

5.4	- Mapas com as contaminações pelo Sol, Lua e IRF para as inclinações de 20°, 25°, 30° e 35° do zênite.....	85
5.5	- Mapas com as contaminações por IRF, Sol e Lua para as inclinações da antena de 40° do zênite e do agrupamento de todas as inclinações, e com somente pelo Sol e a Lua para as inclinações da antena de 20° e 25° do zênite.....	86
5.6	- Mapas com as contaminações pelo Sol e a Lua para as inclinações da antena de 30°, 35°, 40° e do agrupamento de todas as inclinações.	87
5.7	- Mapas com as contaminações por IRF para as inclinações da antena de 20°, 25°, 30° e 35° do zênite.....	88
5.8	- Mapas com as contaminações por IRF e das medidas contaminadas por IRF para as inclinações da antena de 40°, do agrupamento de todas, 20° e 25°.....	89
5.9	- Mapas das medidas contaminadas por IRF nas inclinações da antena de 30°, 35°, 40° e do agrupamento de todas as inclinações.....	90
5.10	- Mapas das medidas contaminadas pelo Sol e a Lua para as inclinações da antena de 20°, 25°, 30° e 35° do zênite.....	91
5.11	- Mapas das medidas contaminadas pelo Sol e a Lua para a inclinação da antena de 40° do zênite e do agrupamento das inclinações, e sem contaminações para as inclinações da antena de 20° e 25° do zênite...	92
5.12	- Mapas sem contaminações para as inclinações da antena de 30°, 35° e 40° do zênite.....	93
5.13	- Mapa sem contaminações em coordenadas equatoriais.....	94
5.14	- Mapa sem contaminações em coordenadas Galácticas.....	94
5.15	- Mapa das observações por pixel com as contaminações do Sol, da Lua e das IRF.....	95
5.16	- Mapa das observações por pixel sem contaminações.....	95
5.17	- Mapas de H82 e do projeto GEM em 408 MHz.....	96

A.1 - Exemplo de um arquivo gerado das observações com o radiotelescópio GEM em Bishop (CA. – E.U.A.). Com exceção do dia e do número do “frame”, todos os demais valores aparecem em unidades digitais.....

LISTA DE TABELAS

		Pág.
2.1	- Características dos mapas disponíveis.....	30
3.1	- Dimensões das hélices em 408 MHz e em 1465 MHz.....	38
3.2	- Parâmetros do radiotelescópio GEM com os receptores de potência total.....	49
4.1	- Temperatura de ruído do receptor em 408 MHz devida a seus componentes.....	62
4.2	- Susceptibilidade térmica do receptor.....	68
5.1	- Contribuições do solo e atmosfera para a temperatura de antena em função da umidade relativa do ar, inclinação da antena e altitude do local das observações para os arquivos analisados.....	77
F.1	- Estimativa das velocidades de rotação da antena para cada arquivo.....	115
G.1	- Cortes nos dados devidos à contaminação por sinais esporádicos de IRF.....	117
H.1	- Cortes nos dados devidos à contaminação por sinais contínuos de IRF.....	119
I.1	- Tempos de observação dos mapas em 408 MHz com o experimento GEM.....	121
I.2	- Roteiro dos mapas preparados em 408 MHz.....	122

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A emissão da Galáxia em radiofrequências se constitui hoje em dia numa importante fonte de pesquisas nos estudos da Radiação Cômica de Fundo e, desde os primórdios da radioastronomia na década de 30, ela também tem sido uma aliada importante para compreender melhor a dinâmica e a estrutura de nossa Galáxia. Neste trabalho procuramos mostrar os procedimentos básicos na obtenção de um mapa em 408 MHz da emissão Galáctica a partir dos dados coletados com o radiotelescópio do projeto *Galactic Emission Mapping (GEM)*.

No Capítulo 2, comentamos brevemente sobre os problemas de alguns dos mapas existentes nas frequências de rádio e enfatizamos as vantagens do projeto GEM neste sentido. No Capítulo 3, descrevemos o experimento em si. No Capítulo 4 abordamos a análise dos dados e descrevemos a obtenção dos parâmetros de calibração. No Capítulo 5 fazemos as considerações necessárias para a limpeza dos dados e a composição do mapa em função da configuração do experimento durante as observações. Por último, no Capítulo 6, apresentamos nossas conclusões.

CAPÍTULO 2

MAPAS DA EMISSÃO GALÁCTICA EM RADIOFREQUÊNCIAS

2.1) Composição da Emissão Galáctica em Freqüências de Rádio

A radiação que a Galáxia emite nas freqüências de rádio e microondas é composta por três tipos: síncrotron, livre-livre e emissão térmica devida à poeira interestelar. Essa composição é chamada de emissão Galáctica em radiofreqüência. Cada um desses componentes possui uma banda do espectro eletromagnético na qual sua emissão é dominante, como mostra a Figura 2.1.

Aproximadamente até 30 GHz o componente síncrotron é dominante, entre 30 GHz e 70 GHz a emissão livre-livre é a que domina e acima desta faixa a emissão mais importante é a da poeira interestelar. A emissão da poeira provem da radiação térmica dos grãos de diferentes tamanhos e composições químicas que estão distribuídos por todo meio interestelar. A síncrotron se origina de elétrons relativísticos girando em torno de linhas do campo magnético da Galáxia e a livre-livre provem do *Bremsstrahlung* térmico de elétrons quentes ($\cong 10^4$ K) produzidos nas nuvens de hidrogênio ionizado. O estudo dessas emissões permite estimar parâmetros que descrevem a dinâmica e a estrutura da Galáxia como, por exemplo, o campo magnético da Galáxia e a densidade de elétrons do meio interestelar. Por outro lado, os mapas do céu em baixas freqüências de rádio (408 MHz - 10 GHz) podem ser utilizados para estimar o componente síncrotron da emissão Galáctica e descontar a contaminação desse componente nas medidas de espectro e anisotropia da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM).

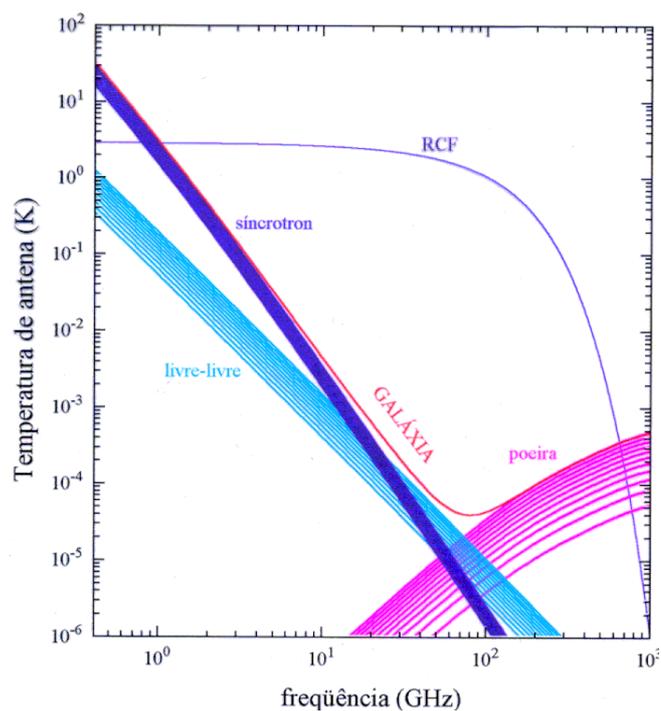


Fig. 2.1 – Espectro dos componentes da emissão Galáctica comparado com o da Radiação Cósmica de Fundo em microondas. A largura das bandas mostra a variação dos componentes da emissão Galáctica com a latitude, $15^\circ \leq |b| \leq 70^\circ$, de acordo com Bennett et al. (1992).

FONTE: Tello (1997 p.16).

2.2) Mapas

A Radioastronomia teve o seu início com a descoberta, por Karl Jansky, de emissão rádio na direção do Centro Galáctico (Figura 2.2) em 1932 (Jansky, 1933). Esta descoberta motivou várias pessoas a desenvolver aparelhos capazes de detectar as emissões em rádio vindas de regiões do céu ou mesmo do céu inteiro.

Os primeiros mapas do céu em frequências de rádio (160 MHz e 480 MHz) foram produzidos por Reber (1944, 1948). Quatro anos antes de obter seu primeiro mapa, Reber concluiu a partir de sua primeira detecção em 160 MHz que o mecanismo responsável por essa radiação seria emissão devido a transições livre-livre num plasma quente a 10^4 K (Reber, 1940). Com os mapas ele notou que na região do Cisne haviam

dois componentes: o primeiro apresentava uma intensidade da radiação com espectro plano (livre-livre) e o segundo seguia um espectro inclinado (Reber, 1948). Kiepenheuer (1950) mostrou que essa forma de espectro inclinado poderia ser explicada em termos do mecanismo de radiação síncrotron. No entanto, somente depois de mais de uma década é que essa hipótese foi finalmente aceita (Westerhout et al. 1962 – citado por Salter e Brown 1988).

Até a década de 80, somente cinco tentativas haviam sido feitas em radioastronomia para produzir mapas do brilho total do céu no contínuo e com cobertura completa da esfera celeste. Esses mapas têm contribuído para a compreensão da composição da emissão Galáctica em baixas frequências, mas sua preparação mostrou sérias dificuldades. Uma delas está relacionada com a área do céu coberta pelo experimento. Já que a região do céu que pode ser observada é função da latitude do observador, mapas do céu inteiro devem ser feitos com observações desde os dois hemisférios. Esse procedimento compromete a qualidade dos mapas produzidos devido ao uso de instrumentos e técnicas observacionais diferentes. Em alguns casos, ainda, mapeamentos suplementares obtidos em diferentes frequências acabam sendo utilizados mediante suposições adicionais a respeito do espectro da radiação Galáctica.

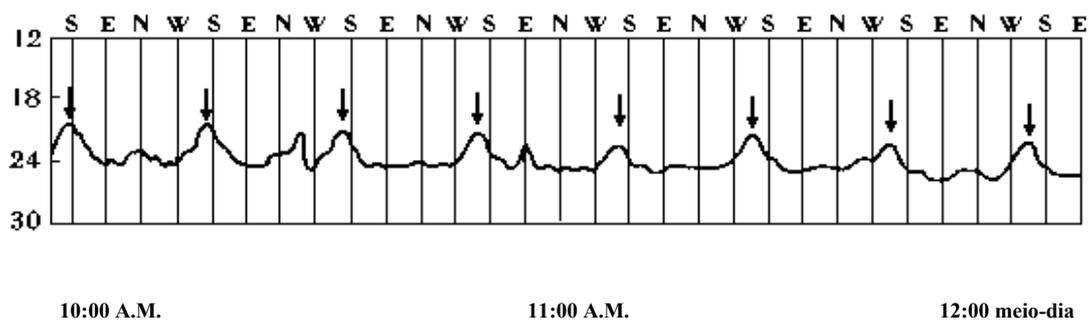


Fig. 2.2 – Registro obtido por Jansky em 24 de fevereiro de 1932.

FONTE: Kraus (1966 p.7).

A preparação de mapas do céu inteiro requer, em princípio, um conjunto de dados suficientemente homogêneo cuja obtenção é afetada por uma série de limitações:

- 1) indeterminação do nível zero da escala de temperatura;
- 2) incompatibilidade de observações feitas em locais diferentes com instrumentos diferentes;
- 3) falta de cobertura total do céu;
- 4) estimativa imprecisa da contribuição dos lóbulos laterais;
- 5) instabilidade no ganho do sistema radiométrico;
- 6) combinação de diferentes frequências.

O primeiro mapa do céu inteiro (Dröge e Priester, 1956) foi feito em 200 MHz combinando as suas medidas feitas no Hemisfério Norte com as de Allen e Gum (1950) no Hemisfério Sul. Uma segunda tentativa para obter um mapa do céu inteiro foi feita em 85 MHz por Yates (1968) combinando os dados em 178 MHz de Turtle e Baldwin (1962) do Hemisfério Norte com medidas em 85 MHz de Yates et al. (1967) do Hemisfério Sul. Numa terceira tentativa, Landecker e Wielebinski (1970) usaram esses mesmos conjuntos de dados para confeccionar um mapa em 150 MHz a partir das observações que eles obtiveram em 85 MHz e em 150 MHz na faixa de declinação entre $-25^{\circ} \leq \delta \leq 25^{\circ}$. A quarta tentativa para obter um mapa do céu inteiro foi feita em 30 MHz por Cane (1978) com observações feitas do Hemisfério Sul por Mathewson et al. (1965) e complementada com os dados obtidos por Milogradov-Turin e Smith (1973) no Hemisfério Norte em 38 MHz.

A quinta e mais bem sucedida tentativa foi realizada por Haslam et. al. (1982) (daqui em diante usaremos H82) em 408 MHz como mostra a Figura 2.3. Nesse mapa, embora apresente uma boa resolução angular ($0,85^{\circ}$), os erros associados com a determinação do nível zero e a instabilidade no ganho do sistema radiométrico produzem incertezas de $\pm 2,3$ K no seu ponto zero e de 3,6% na escala de temperatura. Radiotelescópios diferentes foram utilizados nessas observações e não houve correção para a contribuição dos lóbulos laterais. Os mapas produzidos com essas imperfeições não podem ser

utilizados para uma determinação precisa da distribuição espacial e espectral da emissão Galáctica.

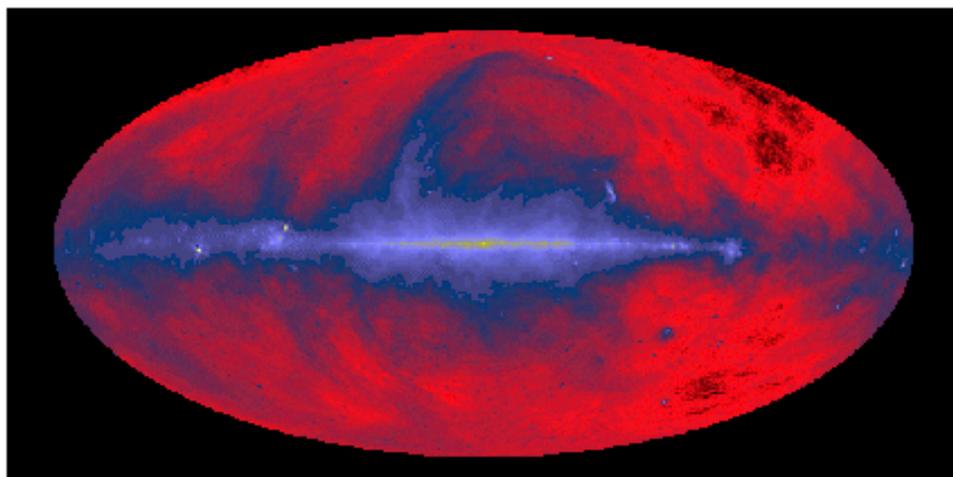


Fig. 2.3 – Mapa de brilho do céu inteiro em 408 MHz, confeccionado por H82.

FONTE: H82.

Várias outras tentativas em baixas frequências de rádio para a obtenção de mapas do céu inteiro foram iniciadas, mas ainda não foram concluídas. Entre elas devemos citar: (a) o mapa em 1420 MHz de Reich (1982) e Reich e Reich (1986) cobrindo a faixa de declinação entre $-19^{\circ} \leq \delta \leq 90^{\circ}$; (b) o mapa em 820 MHz de Berkhuijsen (1971) entre $-7^{\circ} \leq \delta \leq 85^{\circ}$ e os mapas em 45 MHz de Alvarez et al. (1997) feito no Chile cobrindo uma faixa de declinação de $-86^{\circ},1 \leq \delta \leq 19^{\circ},1$ e o de Maeda et al. (1999) feito no Japão cobrindo uma faixa de declinação de $5^{\circ} \leq \delta \leq 65^{\circ}$. A Tabela 2.1 relaciona algumas das características de alguns dos mapas acima citados.

Apesar da resolução angular razoavelmente boa de alguns desses mapas, falhas surgem quando eles são usados para determinar o índice espectral da emissão síncrotron. Essas falhas são devidas ao uso de instrumentos e frequências diferentes e à coleta dos sinais em vários ângulos zenitais.

TABELA 2.1 - CARACTERÍSTICAS DOS MAPAS DISPONÍVEIS

Frequência (MHz)	Autores	Resolução HPBW (graus)	Incerteza no Ganho (%)	Incerteza no Nível Zero (% min)	Cobertura do Céu (%)
38	Milogradov-Turin & Smith (1973)	7 × 8	5	4	72
178	Turtle e Baldwin (1962)	0,22 × 4,6	10	15	57
408	H82	0,85	10	33	100
820	Berkhuijsen (1971)	1,2	6	40	57
1420	Reich & Reich (1986)	0,6	5	100	68

2.3) Variação Espacial e Espectral da Emissão Síncrotron

De acordo com a Figura 2.1, a radiação mais intensa até aproximadamente 30 GHz é a síncrotron. A radiação síncrotron é o mecanismo mais eficiente para os elétrons relativísticos perderem energia. O seu espectro de energia não tem uma inclinação constante, pois depende das escalas de tempo para as perdas de energia pelos elétrons relativísticos. Para conhecermos a contribuição do componente síncrotron da emissão Galáctica em frequências mais altas a partir da sua observação nas baixas frequências, seu índice espectral deve ser estimado.

De acordo com os modelos de difusão dos elétrons no meio interestelar, são esperadas quebras no espectro quando as escalas de tempo para suas perdas energéticas forem menores ou iguais a $\approx 10^7$ anos. Portanto, o índice espectral varia com a frequência da radiação (ou energia dos elétrons). O índice espectral síncrotron também tem uma variação espacial por causa das mudanças na densidade dos elétrons e na intensidade do campo magnético com a posição do céu. Uma das técnicas mais conhecidas para estimar o índice espectral é a utilização de gráficos de temperatura versus temperatura, ou gráficos TT. Esses gráficos usam como ordenada e abscissa medidas de temperaturas em duas diferentes frequências, no mínimo, na mesma região do céu. A inclinação da curva nesses gráficos fornece o índice espectral. Para qualquer extrapolação dos dados

de H82 para a faixa milimétrica de comprimentos de onda (que é a faixa de interesse nos estudos das anisotropias da RCFM) em escalas angulares maiores que 7° , um limite superior de $-0,9$ para o índice espectral da intensidade da radiação foi sugerido por Kogut et al. (1995).

No próximo Capítulo, veremos que a preparação de mapas da emissão Galáctica entre 408 MHz e 10 GHz tem como objetivo principal suprir as deficiências dos mapas existentes para entender melhor a distribuição espacial e espectral da emissão síncrotron em nossa Galáxia.

CAPÍTULO 3

O PROJETO GEM

O projeto GEM é uma colaboração internacional entre os EUA, o Brasil, a Colômbia e a Itália para determinar com precisão a distribuição espacial e espectral da radiação emitida por nossa Galáxia na faixa de frequências de rádio e microondas. O objetivo é produzir mapas do céu inteiro em baixas frequências: 408, 1465 e 2300, 5000 e 10000 MHz. O projeto foi desenvolvido pelo grupo de Astrofísica do Lawrence Berkeley National Laboratory da Universidade da Califórnia, Califórnia, E.U.A. e conta com a participação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, da Universidad Nacional e do Centro Internacional de Física, em Bogotá, Colômbia, Università di Milano e do Instituto di Fisica Cosmica do Consiglio Nazionale delle Ricerche, em Milão, Itália.

3.1) Motivações para o Experimento

Qualquer instrumento que tente medir a intensidade ou anisotropia da RCFM observa a emissão Galáctica como um sinal “foreground” que não pode ser excluído por técnicas observacionais nem por melhorias nos instrumentos. Em novembro de 1989, a NASA colocou em órbita terrestre o satélite “Cosmic Background Explorer” (COBE) com o objetivo de analisar detalhadamente a RCFM. Três experimentos estavam a bordo do COBE:

- “Differential Microwave Radiometers” (DMR): confirmou pela primeira vez a existência de anisotropias na RCFM (Smoot et al., 1992);
- “Far Infrared Absolute Spectrophotometer” (FIRAS): mostrou definitivamente que o espectro da RCFM é bem ajustado por um modelo de corpo negro com $T = 2,726 \pm 0,001$ K (Mather, 1990; Mather, 1994);

- “Diffuse Infrared Background Experiment” (DIRBE): pesquisou o infravermelho difuso (Spiesman et al., 1995), produzindo um mapa da emissão térmica da poeira complementar ao feito pelo satélite IRAS (Beichman 1987).

Em 1992, foi divulgada a detecção de anisotropias na distribuição angular da RCFM pelo experimento DMR, que operou nas frequências de 31,5 GHz, 53 GHz e 90 GHz. Essas anisotropias são variações de temperatura da RCFM da ordem de 10^{-5} K (Smoot et al., 1992). Esse resultado foi obtido, em parte, com o auxílio do mapa de H2 para descontar a contribuição do componente síncrotron da Galáxia. No entanto, dadas as deficiências dos mapas da emissão Galáctica mencionadas no capítulo anterior, existe uma necessidade crucial de se obter mapas de qualidade superior aos existentes, permitindo com isso uma possível melhoria no resultado do experimento DMR.

O objetivo do projeto GEM é o de confeccionar tais mapas da emissão Galáctica com cobertura total do céu na faixa decimétrica e centimétrica do espectro eletromagnético a partir de observações nas frequências de 408, 1465, 2300, 5000 e 10000 MHz. Com estes mapas seria possível:

- uma melhor interpretação das medidas da RCFM, especialmente em baixas frequências (< 30 GHz)
- uma solução convincente sobre o paradigma da influência das anisotropias de origem Galáctica nas anisotropias de origem cósmica;
- um conhecimento mais profundo e preciso da estrutura e dinâmica do meio interestelar.

3.2) Descrição do Experimento

O experimento do projeto GEM utiliza um radiotelescópio portátil de 5,5 m de diâmetro, esquematizado na Figura 3.1, equipado com alimentadores helicoidais do tipo “backfire” em 408 MHz e em 1465 MHz como mostra a Figura 3.4, uma corneta cilíndrica em 2300 MHz e pares de cornetas cônicas corrugadas em 5000 MHz e 10000

MHz. Seus receptores são de potência total em 408, 1465 e 2300 MHz e do tipo Dicke em 5000 e 10000 MHz. O sistema de aquisição de dados com lógica de 16 bits gera, durante um ciclo contínuo de 24 horas, um volume de dados razoavelmente pequeno (\cong 15Mbytes).

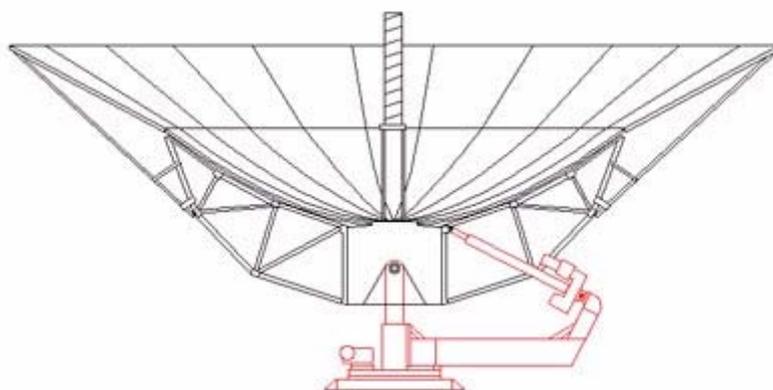


Fig. 3.1 – Radiotelescópio GEM.

3.2.1) A técnica Observacional

Os locais para as observações no projeto GEM são escolhidos de maneira que os mapeamentos feitos pelo radiotelescópio possam cobrir todo o céu. Até hoje, foram feitas observações em Bishop (Califórnia - EUA) nas frequências de 408 e 1465 MHz, Villa de Leyva (Boyacá - Colômbia) nas frequências de 408, 1465, 2300 e 5000 MHz, Ilhas Canárias (Tenerife - Espanha) nas frequências de 2300 e 5000 MHz. Atualmente o experimento se encontra em Cachoeira Paulista (São Paulo - Brasil) onde foram feitas observações em 1465 e 2300 MHz.

O radiotelescópio opera de tal forma que a antena, inclinada de 30° em relação à vertical, gira a uma velocidade constante de 1 rpm. O seu feixe é projetado no céu ao longo de varreduras circulares centradas no zênite e o movimento de rotação da Terra

distribui essas varreduras em ascensão reta para obter uma cobertura completa de uma faixa de declinação de 60° . A Figura 3.2 ilustra essa técnica observacional para uma localidade no Hemisfério Sul com Latitude geográfica de -30° .

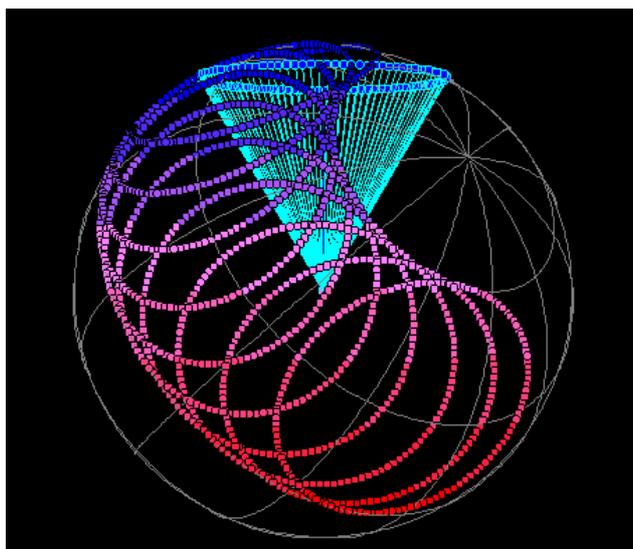


Fig. 3.2 – Técnica de varredura do céu usada no radiotelescópio GEM.

FONTE: Tello (1997 p.42).

O experimento também utiliza painéis de extensão na borda do refletor parabólico como anteparos para interceptar a radiação do solo e diminuir os efeitos de difração. Um segundo anteparo, composto por uma cerca em formato trapezoidal ao redor da antena, atenua e nivela a radiação do solo captada pelos lóbulos laterais da antena. Para garantir este nivelamento, o local das observações é escolhido de maneira que o horizonte tenha uma elevação menor que 10° . A Figura 3.3 mostra a antena com os dois anteparos no local das observações em Cachoeira Paulista.



Fig. 3.3 – O radiotelescópio GEM com a cerca e painéis de extensão na sede do INPE em Cachoeira Paulista – SP – Brasil (Lat. $-22,68^\circ$; Long. $45,00^\circ$).

3.2.2) Controle Térmico Ativo

Os receptores do experimento GEM regulam seu ambiente térmico de operação por meio de um controle ativo da sua temperatura. Este controle pressupõe a existência de um ambiente físico sem flutuações de temperatura para isolar termicamente os componentes do receptor. Para tanto, os receptores possuem um revestimento externo de isopor reforçado com material plástico e o controle ativo é exercido por resistências que são acionadas quando a temperatura da placa de radiofrequência fica abaixo de um patamar preestabelecido. Para garantir o controle ativo nas observações em 408 e 1465 MHz, os receptores são colocados no interior de uma outra caixa, revestida da mesma forma que os receptores, e equipada com unidades de refrigeração que utilizam o efeito Peltier (Lu, 1999). O receptor ainda conta com um circuito que flagra a presença de sinais de interferência em radiofrequência (IRF).

3.2.3) Os Alimentadores Helicoidais em 408 e 1465 MHz

A radiação síncrotron da Galáxia possui um alto grau de polarização linear, mas a superposição de campos magnéticos ordenados e aleatórios no meio interestelar, que é

agitado por explosões de supernovas, diminui substancialmente o grau de polarização dessa radiação . A coleta dessa radiação com uma antena de área efetiva relativamente baixa (proporcional ao inverso do quadrado do comprimento de onda) exige a utilização de alimentadores eficientes. Técnicas típicas de radioastronomia utilizam dipolos cruzados para medição de componentes polarizados. No entanto, esses alimentadores precisam de suportes na frente do refletor com desvantagens indesejáveis para o experimento GEM: (a) diminuição da área efetiva devida ao espalhamento da radiação na estrutura de suporte do dipolo cruzado; (b) ruído inerente ao transdutor ortomodal no casamento da entrada dos dipolos; (c) longas linhas de transmissão até os receptores. A Figura 3.4 mostra a geometria de uma hélice a qual é utilizada na construção do alimentador. O projeto GEM investiu na construção de alimentadores helicoidais do tipo “backfire” que superam os inconvenientes dos dipolos cruzados. As dimensões dos alimentadores helicoidais do projeto GEM são dadas pela Tabela 3.1. As características das hélices do tipo “backfire” não têm sido investigadas em detalhes. Com a vinda do experimento GEM ao Brasil o padrão de radiação desses alimentadores foi medido com a utilização da câmara anecóica do Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE de São José dos Campos como mostra a Figura 3.5.

O nome “backfire” se deve ao padrão de radiação possuir o feixe principal direcionado para trás e é obtido quando o diâmetro do disco é menor que o diâmetro da hélice. Do contrário temos o modo “endfire” (padrão de radiação dirigido para frente).

TABELA 3.1 – DIMENSÕES DAS HÉLICES EM 408 MHz E EM 1465 MHz

Frequência (MHz)	λ (cm)	N	S_{λ}^*	C_{λ}^*	α_{λ}^* (°)	d_{λ}^*
408	73,48	9,5	0,209	0,919	12,8	0,013
1465	20,39	9,5	0,215	0,990	12,3	0,023

*Dimensões em unidades de comprimento de onda.

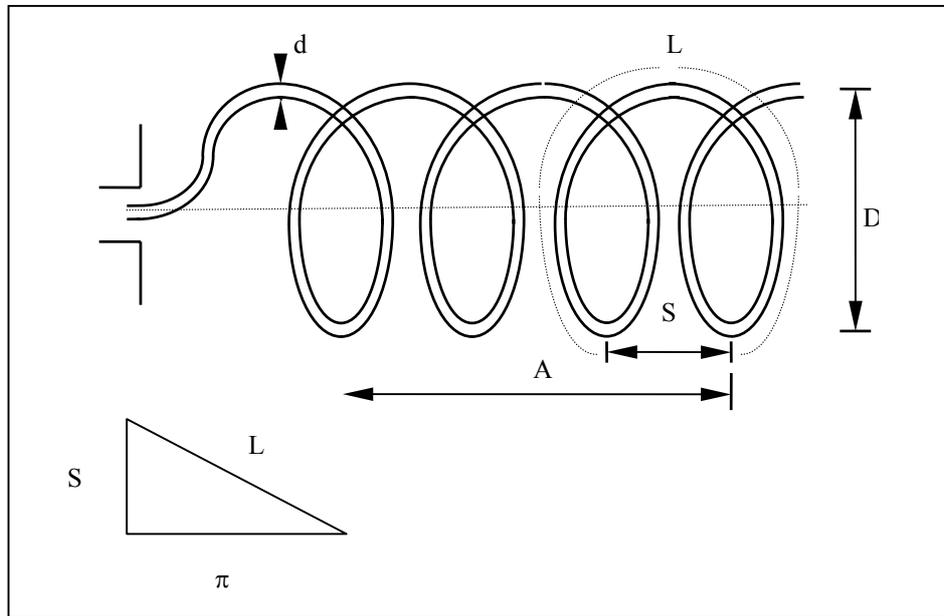


Fig. 3.4 – Geometria de uma hélice

D = diâmetro da hélice;

C = circunferência da hélice = πD ;

S = espaçamento entre as voltas = $C \tan \alpha$;

α = ângulo de inclinação = $\tan^{-1}(S/ C)$ (passo da hélice);

L = tamanho de uma volta = $(C^2 + S^2)^{1/2}$;

N = número de voltas;

A = comprimento axial = NS ;

d = diâmetro do condutor da hélice.

Na Figura 3.6 mostramos as medidas dos padrões de radiação (em duas e três dimensões) da antena helicoidal para as observações em 408 MHz feitas no LIT. As medidas do padrão de radiação foram feitas com uma plataforma suporte “Orbiter” que possui três graus de liberdade: movimento ao longo do eixo entre a antena emissora e a antena receptora, rotação em torno do eixo da antena (azimute ϕ) e rotação da plataforma (ângulo polar θ). Na Figura 3.6, os lóbulos do hemisfério principal se configuram com $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.



Figura 3.5 – Alimentador helicoidal do receptor de 408 MHz, na câmara anecóica do LIT no INPE de São José dos Campos. Um cilindro de material plástico é utilizado para sustentar o condutor enrolado helicoidalmente.
FONTE: Tello (2000).

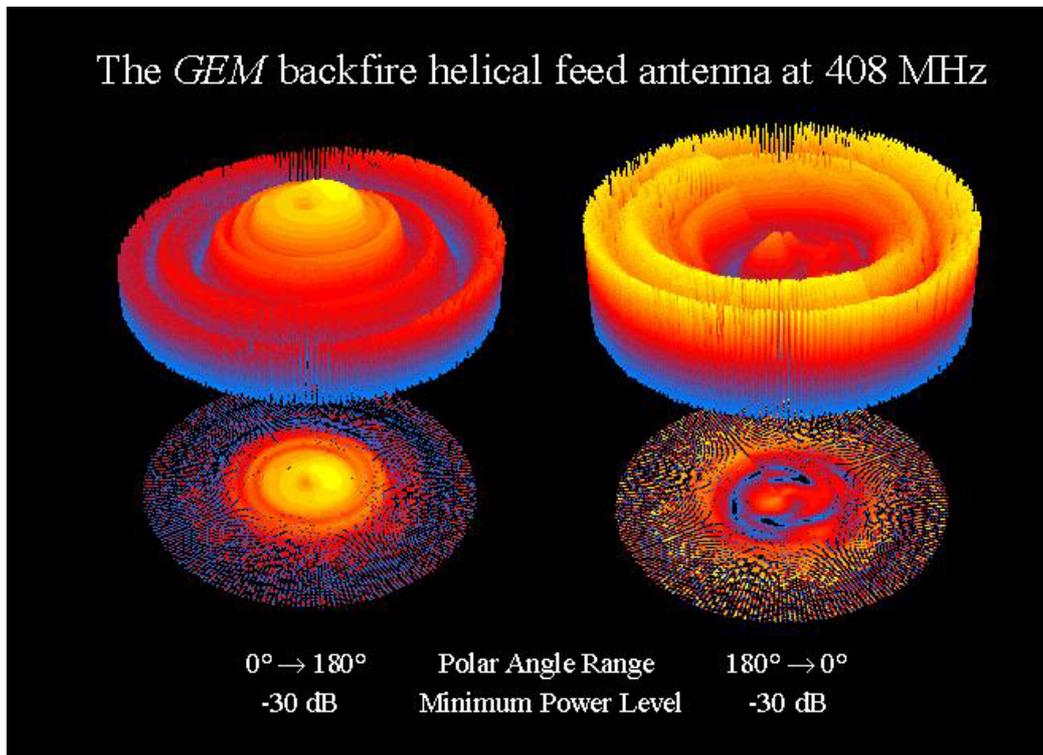
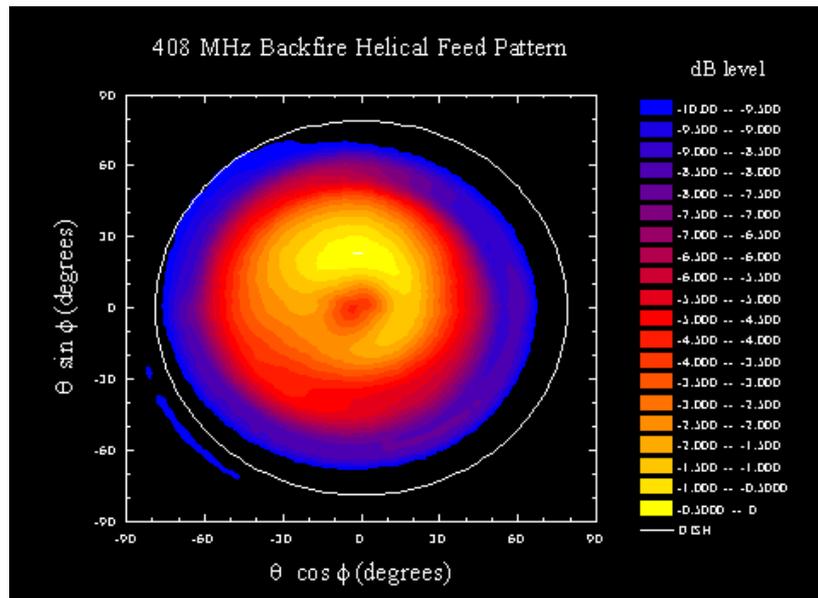


Fig. 3.6 – Padrões de radiação em 2D e 3D da antena helicoidal do radiotelescópio GEM.

FONTE: Tello (2000).

3.3) Caracterização do Sinal Radiométrico

A estimativa do nível ou conhecimento preciso da ocorrência dos sinais que se misturam ao sinal da Galáxia no experimento GEM é fundamental para a obtenção dos mapas do projeto. O sinal total que o radiotelescópio GEM mede pode ser decomposto segundo a seguinte equação:

$$S_{GEM} = S_{ceu} + S_{cont} , \quad (3.1)$$

em que:

S_{ceu} = sinais do céu (excluindo as emissões provenientes do sistema solar);

S_{cont} = sinais contaminantes.

Os sinais do céu e os sinais contaminantes se decompõem por sua vez em:

$$S_{ceu} = S_{Galaxia} + S_{extgal} + S_{RCFM} , \quad (3.2)$$

$$S_{cont} = S_{solo} + S_{Sol} + S_{Lua} + S_{IRF} + S_{inst} + S_{atm} , \quad (3.3)$$

em que:

$S_{Galaxia}$ = sinal da Galáxia;

S_{extgal} = sinais das fontes extragalácticas;

S_{RCFM} = sinal da RCFM;

S_{solo} = emissão do solo;

S_{Sol} = sinal do Sol;

S_{Lua} = sinal da Lua;

S_{IRF} = sinais da interferência em radiofrequência;

S_{inst} = ruído instrumental (receptor, linhas de transmissão, componentes, etc.);

S_{atm} = emissão atmosférica.

As fontes em radioastronomia são medidas em unidades de densidade de fluxo (S), a qual é expressa em watt por metro quadrado por unidade de largura de banda ($\text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) e corresponde a convolução do padrão do feixe da antena com a distribuição de brilho do céu:

$$S = \int_{\Omega_A} B(l, m) d\Omega \quad (3.4)$$

em que:

l, m = direções de chegada das ondas de rádio em relação ao eixo da antena;

$d\Omega$ = elemento de ângulo sólido;

Ω_A = ângulo sólido da antena.

A densidade de fluxo é uma medida adequada para representar a intensidade de uma fonte pontual, isto é, uma fonte cujo tamanho angular é muito menor que a largura do feixe da antena receptora. Para uma fonte de tamanho angular maior que a largura do feixe da antena (fonte extensa), como é o caso das medidas de mapeamento no experimento GEM, cada uma das medidas de densidade de fluxo referem-se somente à intensidade da fonte numa dada direção. A intensidade relevante para medir uma tal fonte é o seu brilho em rádio (B). Esta intensidade é definida como a densidade de fluxo por unidade de ângulo sólido do feixe ($\text{W m}^{-2} \text{Hz}^{-1} \text{sterad}^{-1}$) na direção observada.

3.3.1) A Temperatura de Antena

Podemos representar as intensidades em radioastronomia por uma quantidade chamada temperatura de antena. A temperatura de antena é uma maneira conveniente de expressar a potência espectral (em W Hz^{-1}) dos fluxos radioastronômicos, cujos valores típicos são expressos em jansky*, uma vez que a sua unidade é o Kelvin. A relação

* 1 jansky = 10^{-26} watt $\text{m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$

entre estas duas quantidades radiométricas segue do seguinte raciocínio: partindo do pressuposto que a potência espectral é dada por

$$w = A_e(l, m)S, \quad (3.5)$$

em que:

w = potência espectral e

$A_e(l, m)$ = área efetiva em função da direção de chegada das ondas de rádio,

e da relação do brilho em rádio, Equação (3.4), temos que:

$$\Delta S = B(l, m)\Delta\Omega \quad (\text{W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}), \quad (3.6)$$

em que:

ΔS = densidade de fluxo;

$B(l, m)$ = brilho em rádio em função da direção;

$\Delta\Omega$ = ângulo sólido.

Assim,

$$\Delta w = A_e(l, m)\Delta S = BA_e(l, m)\Delta\Omega \quad (\text{W Hz}^{-1}), \quad (3.7)$$

e w é obtida integrando (3.7):

$$w = \frac{1}{2} \int_{4\pi} B(l, m)A_e(l, m)d\Omega. \quad (3.8)$$

A potência espectral, w , pode então ser igualada à potência de ruído térmico dissipada por um resistor a uma temperatura T (K), com o resistor no lugar da antena. A temperatura T referente à potência dissipada pelo resistor é dada pela fórmula de Nyquist:

$$w = kT \quad (\text{W Hz}^{-1}), \quad (3.9)$$

em que:

T = temperatura absoluta do resistor e

$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ W Hz}^{-1} \text{ K}^{-1}$, é a constante de Boltzmann.

A temperatura T deste resistor fictício passa a ser chamada temperatura de antena, ou simplesmente T_A , e de acordo com a Equação (3.8) a temperatura de antena é proporcional ao brilho. Em termos da temperatura de antena podemos agora escrever a Equação (3.1) como

$$T_{A,GEM} = T_{A,ceu} + T_{A,cont} \quad (3.10)$$

em que:

$$T_{A,ceu} = T_{A,Galaxia} + T_{A,extgal} + T_{A,RCFM} \quad (3.11)$$

$$T_{A,cont} = T_{A,solo} + T_{A,Sol} + T_{A,Lua} + T_{A,IRF} + T_{A,inst} + T_{A,atm} \quad (3.12)$$

A seguir, analisaremos individualmente cada uma destas fontes de contaminação e descreveremos a forma como elas são extraídas, contornadas ou minimizadas no experimento GEM.

3.3.2) As Contaminações do Sol e da Lua

Os sinais do Sol e da Lua se constituem em fontes de contaminação consideráveis. O Sol emite como um corpo negro a $\approx 6000 \text{ K}$ em comprimentos de onda menores que 1 cm, mas sua emissão é maior em comprimentos de onda mais longos. A emissão da Lua é correspondente a de um corpo negro em 225 K. Os sinais do Sol e da Lua são extraídos a partir do cálculo das efemérides destes corpos celestes e considerando o

ângulo mínimo entre o feixe do radiotelescópio GEM e o corpo celeste em questão que permita excluir sua presença nos lóbulos laterais da antena. Em 408 MHz, por exemplo, dados para os quais excluimos o Sol e a Lua se encontravam a menos de 60° e 6°, respectivamente, da direção de apontamento da antena.

3.3.3) As Interferências em Radiofrequência

Os sinais de IRF podem comprometer seriamente as observações, por isso a escolha de um local livre dessas interferências é fundamental para se ter um controle da contaminação das medidas. Embora este tipo de contaminação seja geralmente mais acentuado nas baixas frequências, devido à proliferação inescrupulosa do uso do espectro no âmbito comercial, os baixos níveis do sinal Galáctico nas frequências mais altas (2300 até 10000 MHz) também se vêem comprometidos por sinais fracos de IRF. Em Bishop (Califórnia, E.U.A.), uma das campanhas observacionais em 408 MHz foi abortada devido à instalação, por terceiros, de um sistema de informação meteorológico nas proximidades. Na Colômbia foi impossível observar em 1465 MHz quando foi verificada a existência de um satélite geoestacionário transmitindo nesta faixa do espectro. Os sinais de IRF se caracterizam por pulsos de banda estreita e por possuírem ciclos variados. Para reconhecer as medidas contaminadas, os receptores de 408 e 1465 MHz foram equipados com circuitos de amostragem que flagram os pulsos de IRF cuja amplitude supera à do sinal esperado mais elevado do céu. Em Cachoeira Paulista, onde o experimento se encontra atualmente, o espectro se mostrou completamente poluído por interferências na faixa de 408 MHz e constatou-se que não era possível observar nesta frequência. Neste caso verificamos que o sinal saturava o detector, independentemente do apontamento da antena, e de fato, mediante a colocação de um atenuador de 30 dB após o primeiro amplificador, obtivemos um registro indiscutível (veja Figura 3.7) de que a interferência se devia a sinais gerados nas imediações do local das observações.

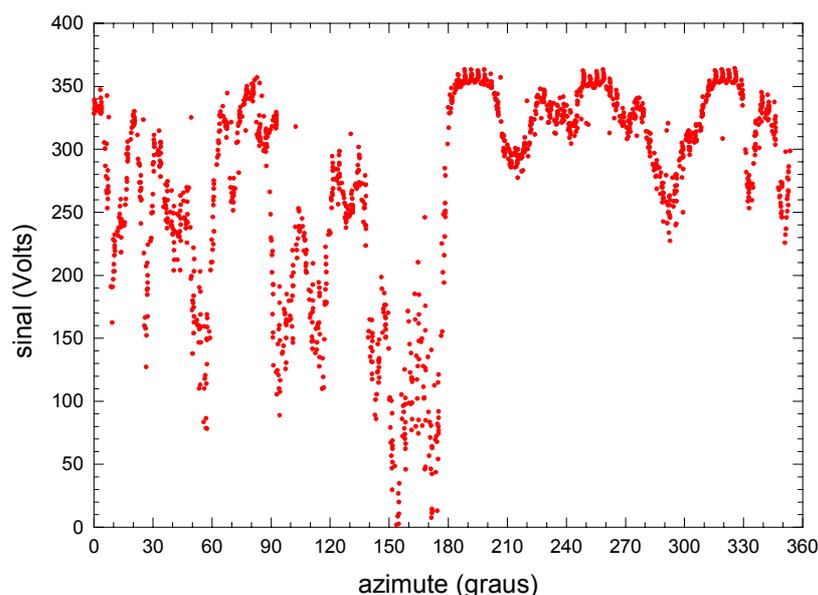


Fig. 3.7 – Registro do sinal após a colocação de um atenuador de 30 dB no receptor de 408 MHz em Cachoeira Paulista.

3.3.4) As Contaminações da Atmosfera e do Solo

Minimizar os efeitos das variações temporais nos componentes da temperatura de antena referentes a atmosfera e ao solo, bem como o efeito das irregularidades topográficas do horizonte no local das observações, é uma das vantagens que a técnica observacional do GEM possui sobre as técnicas padrão de mapeamentos. A atmosfera, nas frequências em que estamos trabalhando (≤ 10 GHz), contribui para a temperatura de antena devido a um componente do contínuo associado ao alargamento das linhas das moléculas de O_2 . Para extrair esse componente das medidas utilizamos primeiramente o modelo de Danese e Partridge (1989) para estimar o coeficiente de atenuação do contínuo não ressonante em função da frequência, da altitude do local e da pressão parcial do vapor de água. Em seguida calculamos a contribuição atmosférica em termos da espessura óptica da camada de ar na direção do feixe e da temperatura média da atmosfera acima do observador (Tello, 2000a).

Como a radiação do solo degrada a qualidade dos mapas com o fenômeno de “stripping”, criando neles manchas circulares e horizontais (Tello et al., 2000b), o nível dessa contaminação pelos lóbulos laterais da antena deve ser minimizado. Tal como mencionamos na Seção 3.2, as seguintes medidas foram tomadas:

- 1) escolha de locais das observações em regiões nas quais o perfil do horizonte se mostra relativamente baixo ($<10^\circ$);
- 2) construção de uma cerca de arame em volta do radiotelescópio;
- 3) utilização de painéis de extensão na periferia do refletor (ver Figura 3.3).

3.3.5) Temperatura de Sistema

A soma de todos os sinais medidos pelo radiotelescópio, convenientemente expressa pela quantidade $T_{A,GEM}$ da Equação (3.10), recebe o nome genérico de temperatura de sistema. A sensibilidade das medidas obtidas com este instrumento está, portanto, associada à temperatura mínima detectável dada pela fórmula de Dicke (1946):

$$\Delta T_{min} = \frac{K_R T_{sist}}{\sqrt{\tau \Delta \nu}}, \quad (3.13)$$

em que:

ΔT_{min} = temperatura mínima detectável;

$K_R = 1$ = constante de sensibilidade do receptor de potência total;

τ = tempo de integração;

$\Delta \nu$ = largura de banda do receptor;

T_{sist} = temperatura de sistema.

A temperatura de sistema, sensibilidade e largura de banda para as observações com os receptores de potência total do projeto GEM são apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - PARÂMETROS DO RADIOTELESCÓPIO GEM COM OS RECEPTORES DE POTÊNCIA TOTAL*

Receptores (MHz)	Comprimento de onda nominal (cm)	Ganho (KV ⁻¹)	Largura de Banda (MHz)	Sensibilidade (mK)	Temperatura de Sistema (K)	HPBW (graus)
408	73,52	58 ± 1	28	36	140,66 ± 3,89	10
1465	20,47	61,01 ± 0,04	90	20	139,65 ± 2,16	5,4
2300	13,04	40 ± 7	100	12	66 ± 11	3,7

*segundo análises de dados anteriores a este trabalho.

A temperatura de sistema nos permite identificar ainda, de forma mais precisa, o ruído instrumental uma vez que:

$$T_{sist} = T_{A,ext} + LT_R + (L - 1)T_{amb} \quad (3.14)$$

em que:

L = perdas dos componentes antes do receptor;

T_R = temperatura de ruído dos componentes do receptor;

$T_{A,inst} = LT_R + (L - 1)T_{amb}$ = temperatura de antena do ruído instrumental

$T_{A,ext} = T_{A,GEM} - T_{A,inst}$.

Note-se, também, que ΔT_{min} será mínima quando a região mais fria do céu estiver sendo observada na ausência de contaminações pelo Sol, Lua e IRF.

No próximo capítulo faremos uma aplicação específica dos conceitos desenvolvidos neste capítulo em relação ao experimento em 408 MHz, visando os preparativos necessários para a obtenção de um mapa em 408 MHz.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo mostraremos como foi realizada cada etapa do tratamento de dados para obter um mapa em 408 MHz a partir de observações com o experimento GEM em abril de 1994 no Hemisfério Norte. A seqüência das etapas segue o procedimento descrito por Tello (1997) na obtenção de um mapa em 1465 MHz a partir de observações coletadas no mesmo ano e local. Tal procedimento foi implementado neste trabalho para assegurar: (a) uma datação correta dos dados; (b) um apontamento eficaz em azimute e (c) uma limpeza completa dos sinais de IRF.

4.1) Datação dos Arquivos de Dados

Um computador armazenava os dados coletados pelo radiotelescópio. A cada intervalo de integração o sistema de aquisição de dados enviava para o computador um “frame” de dados contendo os sinais referentes a: fração do dia, número do “frame”, elevação, sinal radiométrico, azimute, temperatura dos sensores, voltagem dos pulsos de interferência em radiofrequência, temperatura da fonte de ruído e voltagem da fonte de ruído. Um trecho de um arquivo é mostrado no Apêndice (A). Com exceção do tempo e do “frame”, os demais sinais correspondiam a tensões amostradas no intervalo de -10 V até 10 V por uma lógica digital de 16 bits. Como estamos interessados nos valores positivos dessas tensões o nível de referência para a escala foi inferido em 2^{15} . As unidades digitais foram, primeiramente, convertidas em voltagens através da expressão:

$$U = \frac{TD - 2^{15}}{2^{15}} \times 10 \quad (\text{V}), \quad (4.1)$$

em que:

U = voltagem;

TD = unidade digital.

Após essa conversão obtivemos as unidades físicas correspondentes a cada sinal através da utilização de outras 4 expressões:

$$T_i(^{\circ}C) = U_{T_i} \times 10, \quad (4.2)$$

$$T_{FR} (^{\circ}C) = 333,0 - 46,3U_{T_{FR}}, \quad (4.3)$$

$$EL(^{\circ}) = \frac{360}{9,980} (U_{EL} - U_{180}) \left(1 - \frac{1}{2^{12}}\right), \quad (4.4)$$

$$AZ(^{\circ}) = \frac{360}{9,928} U_{AZ} \left(1 - \frac{1}{2^{12}}\right) + AZ_{off}. \quad (4.5)$$

em que:

T_i = temperaturas dos sensores;

U_{T_i} = voltagens dos sensores de temperatura obtidas com a Equação (4.1);

T_{FR} = temperatura da fonte de ruído;

$U_{T_{FR}}$ = voltagem para a fonte de ruído obtida com a Equação (4.1);

EL = ângulo de elevação;

U_{EL} = voltagem para a elevação obtida com a Equação (4.1);

U_{180} = 4,989 V; voltagem de referência para metade da escala;

AZ = ângulo de azimute;

U_{AZ} = voltagem para o azimute;

AZ_{off} = correção para o azimute astronômico.

Os sinais radiométrico, da fonte de ruído externo, da contagem de pulsos de interferência em radiofrequência e voltagem do aquecedor foram obtidos diretamente utilizando a Equação (4.1).

Efetuada a conversão de unidades digitais em unidades físicas o próximo passo foi obter uma série temporal ordenada para a seqüência dos “frames” em cada arquivo. Porém, um erro na leitura do receptor de padrão horário gerou um registro incorreto do tempo (Figura 4.1) nos arquivos, que nos levou a implementar uma solução para inferir a constante de tempo (ou tempo de integração) do receptor e o ponto zero na datação dos arquivos.

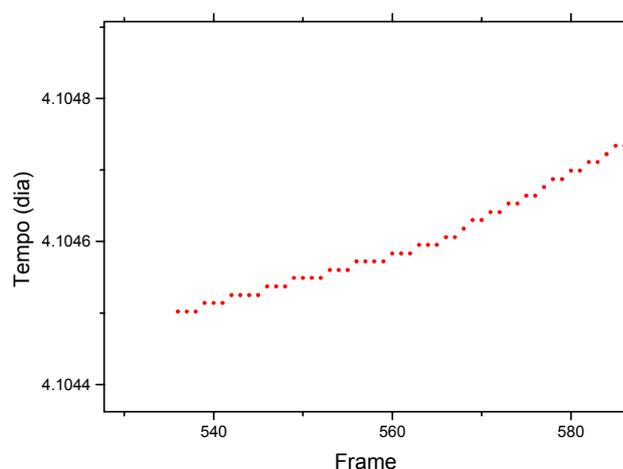


Fig. 4.1 – Trecho ampliado da Figura 4.2 mostrando os erros gerados no registro dos tempos dos dados coletados.

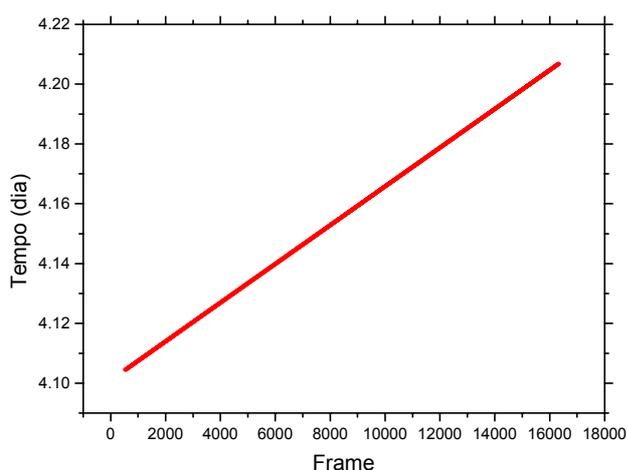


Fig. 4.2 – O coeficiente angular da reta fornece o tempo de integração e o coeficiente linear o ponto zero deste arquivo em questão.

Para tanto traçamos um gráfico do tempo versus “frame” (Figura 4.2), para cada arquivo, excluimos os pontos com comportamento linear não esperado (Figura 4.1) e ajustamos linearmente os pontos restantes. Os coeficientes angular e linear obtidos correspondem, respectivamente, ao tempo de integração e ao ponto zero do arquivo considerado. Em cada um dos arquivos seguimos esse procedimento, e o valor do tempo de integração foi inferido da média ponderada de todos os valores obtidos dos ajustes:

$$\tau_p = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad (4.6)$$

em que:

τ_p = valor ponderado do tempo de integração;

$p_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$ = peso estatístico de cada arquivo;

τ_i = valor da constante de tempo de cada arquivo;

σ_i = incerteza no tempo de integração de cada arquivo.

Os respectivos erros interno, σ_{int} , e externo, σ_{ext} , que correspondem à propagação de erros e à dispersão das medidas em torno da média ponderada são (conforme Apêndice B):

$$\sigma_{\text{int}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i}}, \quad (4.7)$$

$$\sigma_{\text{ext}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \chi_i^2}{\sum_{i=1}^n p_i (n-1)}}. \quad (4.8)$$

em que:

$$\chi_i^2 = (\tau_i - \tau_p)^2 \times p_i. \quad (4.9)$$

Os valores obtidos para o tempo de integração e seus erros externo e interno foram

$$\tau_p = 0,56002532 \pm 0,00000032 \pm 0,00000002 \quad (s). \quad (4.10)$$

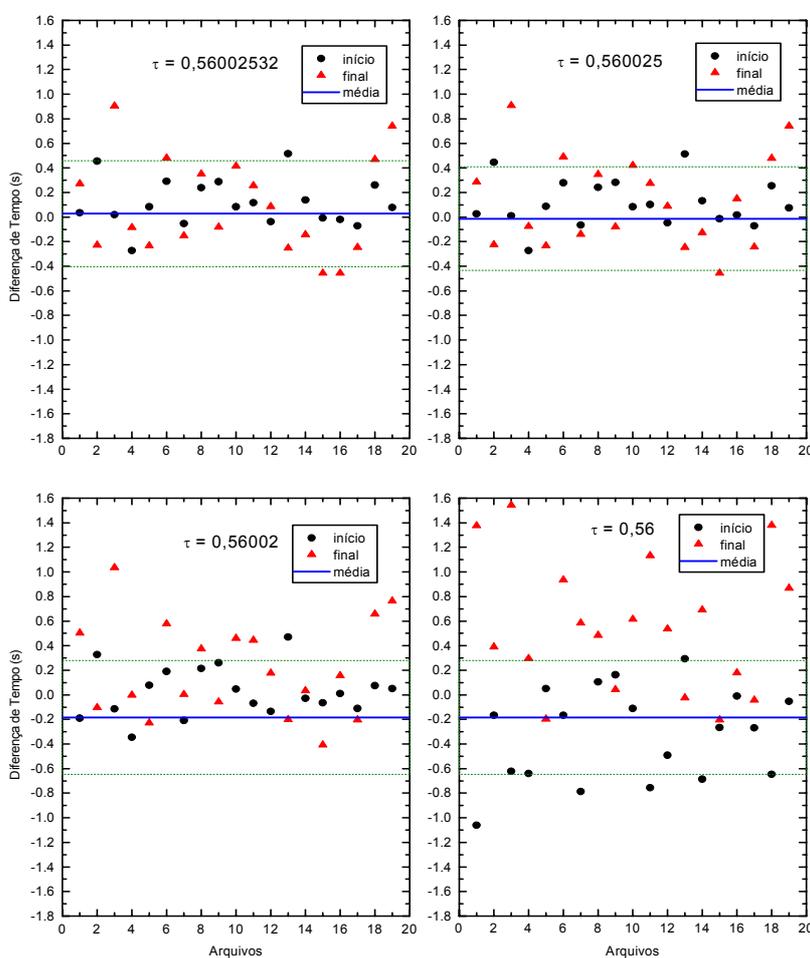


Fig. 4.3 – Diferença no início e no final dos arquivos analisados entre a datação original e a obtida com o ajuste linear. Os retângulos pontilhados indicam a dispersão dessas diferenças em torno das médias (Linha horizontal).

Como pela estatística Z (ver apêndice B) a razão entre os erros externo e interno é muito diferente de 1 e, no entanto, esses erros implicam em valores de τ_p diferentes apenas a partir da 7^a casa decimal, adotamos uma técnica de truncamento para obter a melhor estimativa de τ_p . A Figura 4.3 mostra que se o truncamento é feito de tal forma a excluir a significância de σ_{ext} e σ_{int} , então é possível adotar $\tau_p = 0,560025$ sem afetar a média esperada de zero, para as diferenças entre a datação original e a obtida com o ajuste linear no início e no fim dos arquivos analisados, nem sua dispersão.

4.2) Obtenção do Ganho (G) e da Temperatura do Receptor (T_R)

Nesta seção veremos como foi estimado o nível de ruído que o receptor produz e o seu ganho. Os parâmetros ganho (G) e temperatura de ruído do receptor (T_R) são obtidos a partir da calibração, na qual são registrados os sinais que duas cargas (uma quente e outra fria) produzem. Na entrada do receptor terminações de 50Ω foram usadas como cargas quente e fria, sendo que a fria era submergida em um banho de Nitrogênio líquido (NL) à pressão ambiente e a quente era mantida à temperatura ambiente. A calibração consistia em alternar o sinal na entrada do receptor entre as duas terminações. Com os sinais gerados pelas respectivas cargas, após serem convertidos em unidades físicas, geramos um gráfico, sinal versus “frame”, como mostra a Figura 4.4.

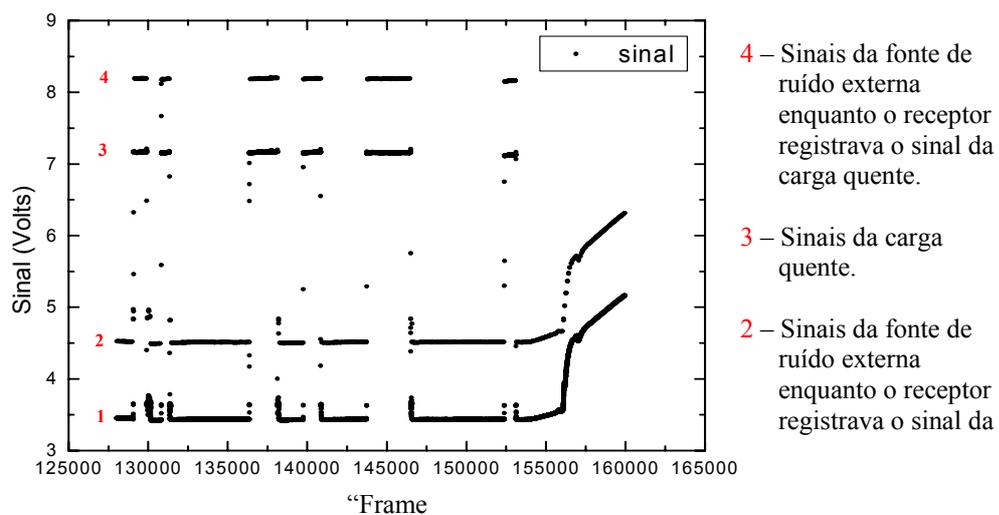


Fig. 4.4 – Sinais de cargas quente e fria na entrada do receptor.

O primeiro passo para determinar os parâmetros G e T_R foi selecionar intervalos nesse gráfico onde o sinal de cada carga se mostrava o mais estável possível. A partir desses intervalos um programa computacional fornecia T_R e G (ver Apêndice C), utilizando o método do fator $Y \equiv S_{amb}/S_{NL}$ (Evans e McLeisch, 1977), com seus respectivos erros segundo:

$$T_R = \frac{T_{amb}S_{NL} - T_{NL}S_{amb}}{S_{amb} - S_{NL}}, \quad (4.11)$$

$$G = \frac{T_{amb} - T_{NL}}{S_{amb} - S_{NL}}, \quad (4.12)$$

$$\sigma_{T_R} = \left\{ (S_{NL}\sigma_{T_{amb}})^2 + (S_{amb}\sigma_{T_{NL}})^2 + G^2 \left[(S_{NL}\sigma_{S_{amb}})^2 + (S_{amb}\sigma_{S_{NL}})^2 \right] \right\}^{1/2} \frac{1}{\Delta S}, \quad (4.13)$$

$$\sigma_G = \left[\sigma_{T_{amb}}^2 + \sigma_{T_{NL}}^2 + G^2 (\sigma_{S_{amb}}^2 + \sigma_{S_{NL}}^2) \right]^{1/2} \frac{1}{\Delta S}, \quad (4.14)$$

em que:

T_{amb} = temperatura ambiente;

T_{NL} = temperatura do Nitrogênio líquido;

S_{amb} = sinal da carga quente;

S_{NL} = sinal do Nitrogênio líquido;

$\Delta S = S_{amb} - S_{NL}$;

σ_{T_R} = incerteza na temperatura de ruído do receptor;

$\sigma_{T_{NL}}$ = incerteza na temperatura do Nitrogênio líquido;

σ_G = incerteza no ganho.

Nas Equações (4.11), (4.12), (4.13) e (4.14) utilizamos a média dos sinais, S , e das temperaturas ambiente, T_{amb} , com as respectivas variâncias como erros. A temperatura

do Nitrogênio líquido, T_{NL} , foi obtida a partir da equação seguinte que fornecia sua dependência com a altitude h (em metros)

$$T_{NL}(h) = 63,085 + 21,605P - 9,2079P^2 + 1,7979P^3 \quad (K), \quad (4.15)$$

em que:

$$P = \exp\left(-\frac{h}{7998}\right) \text{ é a pressão atmosférica (em atm).}$$

No entanto, há de se considerar as perdas devidas aos diferentes conectores utilizados com as duas cargas em questão. Essas perdas podem variar entre 6 e 10 K e afetam sistematicamente a medida de T_{amb} e da estimativa de T_{NL} . Uma maneira de reconhecer se existem erros sistemáticos nas medidas é através da estatística Z (Apêndice B). Este procedimento permite estimar a incerteza na temperatura do Nitrogênio líquido segundo a seguinte expressão:

$$\sigma_{TNL} = \frac{1}{2} [Z_{Tr} (\sigma_{TNL} = 1) + Z_G (\sigma_{TNL} = 1)] = 0,5657. \quad (4.16)$$

Para encontrar o melhor valor de T_{NL} calculamos sucessivamente os valores de Z_{TR} e Z_G a partir do valor de T_{NL} (com $h = 1250$ m, a altitude de Bishop) com incrementos de 1 K em função das perdas dos conectores. O cálculo não mostrou uma convergência das estatísticas Z para o valor unitário, embora suas dispersões, σ_{ZTr} e σ_{ZG} , não descartassem a possibilidade das estimativas sucessivas de T_{NL} estarem isentas de erros sistemáticos. Adotamos, portanto, um vínculo mais criterioso que se baseou na estimativa de T_{NL} obtido com as mesmas cargas e conectores no Laboratório a uma altitude de 50 m. Neste caso a convergência de Z_{TR} foi constatada para $T_{NL}^* = 86,204 \pm 0,028$. Mas como pela Equação (4.15) $T_{NL}(50 \text{ m}) = 77,2263 > T_{NL}(1250 \text{ m}) = 75,9529$, o melhor valor para T_{NL} foi estimado em $T_{NL}^* - [T_{NL}(50 \text{ m}) - T_{NL}(1250 \text{ m})]$, ou seja:

$$T_{NL} = 84,9306 \pm 0,5663 \quad (4.17)$$

que mostra a influência das perdas na obtenção do valor da temperatura do Nitrogênio líquido em relação ao valor de $T_{NL}(1250 \text{ m})$ e o erro médio, foi obtido por quadratura em função da estimativa pela Equação (4.18) e da incerteza em T_{NL}^* .

Os valores de T_R e de G respectivos foram os seguintes:

$$T_R = 112,7172 \pm 0,7445 \pm 0,9269 \quad [K] , \quad (4.18)$$

$$G = 57,5501 \pm 0,1499 \pm 0,1321 \quad [K / V], \quad (4.19)$$

Para entendermos o funcionamento do receptor de forma mais detalhada e, em particular, para prever seu ruído térmico em função da variedade de condições durante a execução do experimento, o valor de T_R encontrado na Equação (4.18) deve ser explicado em termos das contribuições individuais dos componentes do receptor. Os componentes de um receptor se constituem numa cadeia de RF cujo ruído térmico é dado por:

$$T_R^{cal} = T_{C1} + \sum_{i=2}^n \frac{T_{Ci}}{\prod_{j=1}^{i-1} G_j}, \quad (4.20)$$

em que:

T_{Ci} = temperatura de ruído do i -ésimo componente;

G_j = ganho do j -ésimo componente (em unidades adimensionais);

a qual fornece a temperatura de ruído de n componentes em cascata. Nos receptores de potência total os componentes se dividem basicamente em dois tipos, a saber: componentes ativos (amplificadores) e passivos (que transmitem o sinal somente). As suas temperaturas de ruído (T_C) são dadas, respectivamente, por:

$$T_C = (F - 1)T_0 \quad \text{e} \quad T_C = (L - 1)T_0, \quad (4.21)$$

em que:

T_0 = temperatura ambiente em que o componente está operando;

F = figura de ruído do componente ativo;

L = perda de inserção do componente passivo.

A Figura 4.5 mostra um diagrama esquemático dos principais componentes do receptor de 408 MHz e a Tabela 4.1 fornece uma estimativa teórica para a decomposição da temperatura de ruído do receptor em 408 MHz segundo as Equações (4.20) e (4.21).

Como o resultado desta estimativa é inferior ao valor obtido a partir da calibração na Equação (4.18), é preciso incluir o ruído introduzido pelo conector na entrada do receptor e pelas perdas devidas às reflexões internas ocasionadas por casamentos de impedância imperfeitos. Essas perdas por reflexões são quantificadas, em função do VSWR (ver Apêndice D), pelo coeficiente de reflexão da voltagem de terminação:

$$\Psi = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}. \quad (4.22)$$

Primeiramente, sem considerar as reflexões internas, teremos pela Equação (4.20) que a temperatura de ruído do receptor é:

$$\begin{aligned} T_R &= T_{con} + L_0(T_{AC} + L_1T_{FC} + L_1L_2T_{A1}) = T_{con} + L_0\left(T_{AC} + L_1T_{FC} + L_1L_2T_{A1} + \frac{L_1L_2}{G_3}T_{AT1}\right), \quad (4.23) \\ &= (L_i - 1)T_1 + (L_2 - 1)L_iT_4 + (F_1 - 1)L_iL_2T_2 \end{aligned}$$

em que:

$L_i = L_0L_1$;

L_0 = atenuação do conector;

- L_1 = atenuação do acoplador direcional;
- L_2 = atenuação do filtro de cavidade;
- F_1 = figura de ruído do amplificador primário;
- T_1 = temperatura do acoplador direcional;
- T_2 = temperatura do amplificador secundário;
- T_R = temperatura de ruído do receptor;
- T_{AC} = temperatura do acoplador direcional;
- T_{FC} = temperatura do filtro de cavidade;
- T_{AI} = temperatura do amplificador primário.

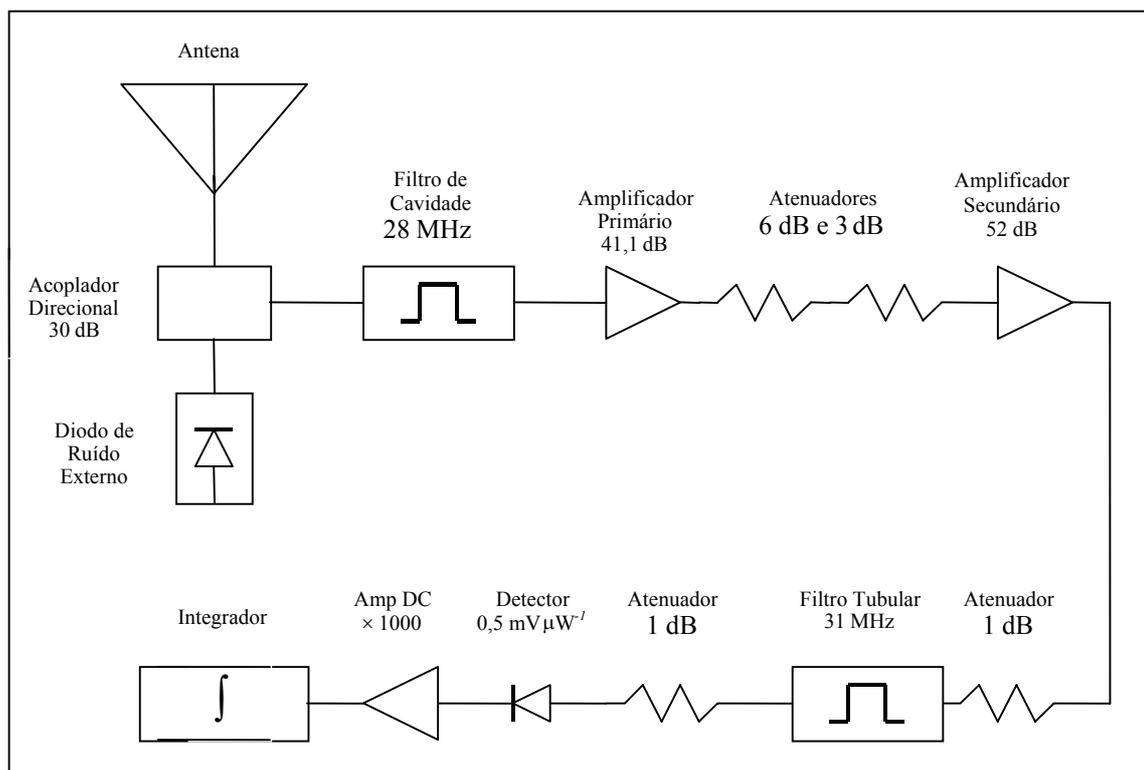


Fig. 4.5 – Diagrama de blocos do radiômetro em 408 MHz. Mudanças no ganho no receptor de 408 MHz podem ser monitoradas pela injeção de um pulso de referência a cada 44,8 segundos.

**TABELA 4.1 - TEMPERATURA DE RÚIDO DO RECEPTOR EM 408 MHz
DEVIDA A SEUS COMPONENTES**

Componentes*	L** (dB)	F** (dB)	T_C(K)	G(P_{ent}/P_{saida})	ΔT_R(K)
Acoplador Direcional (T ₁)	0,2	-	14,264	9,549x10 ⁻¹	14,264
Filtro de Cavidade (T ₄)	0,11	-	7,754	9,749x10 ⁻¹	8,120
Amplificador Primário (T ₂)	-	0,94	73,122	1,288x10 ⁴	78,547
Atenuador (T ₂)	6,00	-	902,042	2,511x10 ⁻¹	0,075
Atenuador (T ₂)	3,00	-	301,156	5,011x10 ⁻¹	0,100
Amplificador Secundário (T ₂)	-	2,05	182,536	1,584x10 ⁵	0,121
Atenuador (T ₂)	1,00	-	78,348	7,943x10 ⁻¹	0
Filtro Tubular (T ₄)	1,11	-	88,024	7,744x10 ⁻¹	0
Atenuador (T ₄)	1,00	-	78,263	7,943x10 ⁻¹	0
Receptor	-	-	-	ΠG = 1,16x10⁸	ΣΔT_R = 101,227

*Ao lado de cada componente é mostrada a temperatura ambiente em que o mesmo estava operando.

**Os valores de perda de inserção (L) e da figura de ruído (F) foram obtidos a partir das fichas técnicas dos componentes, cujas principais características aparecem listadas no apêndice (E).

Mas, incluindo as reflexões internas para explicar o resultado da Equação (4.18), podemos escrever:

$$T_R^{cal} = (p_1 L_i - 1)T_1 + (p_2 L_2 - 1)p_1 L_i T_4 + (q_1 F_1 - 1)p_1 p_2 L_i L_2 T_2, \quad (4.24)$$

sendo que p_1 , p_2 , q_1 e q_2 permitem corrigir as perdas dos componentes para incluir as perdas por reflexão desde que:

$$p_1 = \frac{p_1^* T_{VSWR}}{L_i T_1} + 1, \quad (4.25)$$

$$p_2 = \frac{\frac{1}{L_2} \left(\frac{p_1^*}{T_1} + \frac{p_2^*}{T_4} + \frac{L_i L_2}{T_{VSWR}} \right)}{\left(\frac{p_1^*}{T_1} + \frac{L_i}{T_{VSWR}} \right)}, \quad (4.26)$$

$$q = \frac{\left(\frac{q^*}{T_2} + \frac{p_1^*}{T_1} + \frac{p_2}{T_4} + \frac{L_i L_2 F_1}{T_{VSWR}} \right) \frac{1}{F_1}}{\frac{p_1^*}{T_1} + \frac{p_2^*}{T_4} + \frac{L_i L_2}{T_{VSWR}}}, \quad (4.27)$$

$$p_1^* = \frac{\Psi_1^2}{\Psi_1^2 + \Psi_2^2 + \Psi_3^2} = \frac{\Psi_1^2}{\sum_{i=1}^3 \Psi_i^2}, \quad (4.28)$$

$$p_2^* = \frac{\Psi_2^2}{\sum_{i=1}^3 \Psi_i^2}, \quad (4.29)$$

$$q^* = \frac{\Psi_3^2}{\sum_{i=1}^3 \Psi_i^2}, \quad (4.30)$$

em que:

Ψ_1 = coeficiente de reflexão do acoplador direcional;

Ψ_2 = coeficiente de reflexão do filtro de cavidade;

Ψ_3 = coeficiente de reflexão do amplificador primário;

T_{VSWR} = temperatura de ruído atribuída às reflexões e casamentos de impedância imperfeitos.

Na Equação (4.23) consideramos a contribuição dos componentes até o primeiro amplificador, pois de acordo com a Tabela 4.1 as contribuições dos demais componentes são desprezíveis. Consideramos ainda outra simplificação, segundo a qual $T_4 = T_1$ (T_4 é a temperatura do filtro de cavidade), e a qual forneceu também o menor valor de T_{VSWR} ($T_R^{cal} - T_R = 2,3905 K$). Fazendo estas modificações nas Equações (4.23) e (4.24) obtivemos:

$$T_R = (L - 1)T_1 + (F_1 - 1)LT_2, \quad (4.31)$$

$$T_R^{cal} = (pL - 1)T_1 + (qF_1 - 1)pLT_2, \quad (4.32)$$

$$p = \frac{p^* T_{VSWR}}{LT_1} + 1, \quad (4.33)$$

$$q = \frac{\frac{1}{F_1} \left(\frac{q^*}{T_2} + \frac{p^*}{T_1} \right) + \frac{L}{T_{VSWR}}}{\frac{p^*}{T_1} + \frac{L}{T_{VSWR}}}, \quad (4.34)$$

$$p^* = \frac{\Psi_1^2 + \Psi_2^2}{\Psi_1^2 + \Psi_2^2 + \Psi_3^2} = \frac{\Psi_{ent}^2}{\sum_{i=1}^3 \Psi_i^2}, \quad (4.35)$$

$$q^* = \frac{\Psi_3^2}{\sum_{i=1}^3 \Psi_i^2}, \quad (4.36)$$

em que:

$$L = L_1 L_2;$$

$$p = p_1 p_2.$$

Para as temperaturas dos sensores usamos seus valores médios nos intervalos selecionados:

$$T_1 = 302,6667 \pm 0,0286 \quad [\text{K}], \quad (4.37)$$

$$T_2 = 302,5898 \pm 0,0304 \quad [\text{K}], \quad (4.38)$$

$$T_3 = 302,3815 \pm 0,0247 \quad [\text{K}], \quad (4.39)$$

$$T_4 = 302,2597 \pm 0,0435 \quad [\text{K}], \quad (4.40)$$

Uma vez conhecidos os valores de p e q na Equação (4.32), a mesma pode então ser utilizada para estimar T_R em qualquer outro estado de funcionamento do receptor, desde que conheçamos as temperaturas T_1 e T_2 . Já o valor do ganho (G) deverá ser melhor estudado, por causa dos efeitos da sua susceptibilidade térmica.

4.2.1) A Susceptibilidade Térmica de T_R e de G

O estado de funcionamento do receptor definido pelo par T_1 e T_2 permite que caracterizemos o nosso sistema em função da temperatura do receptor (T_R) e de sua susceptibilidade térmica, $\eta_{T_R} = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_2}$, uma vez que pela Equação (4.32):

$$\eta_{T_R} = (pL - 1) \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} + pL(qF_1 - 1). \quad (4.41)$$

No entanto, para utilizarmos a Equação (4.41) precisamos conhecer o funcionamento do receptor em 2 estados diferentes. Se, ainda, a carga na entrada do receptor for conhecida, poderemos estimar a susceptibilidade térmica do ganho para ajustar o próprio valor do ganho em função do sinal que determina os dois estados em questão. Para tanto, o final do arquivo de calibração na Figura 4.4 se mostrou adequado, uma vez que a linearidade na resposta do detector implica numa variação uniforme de T_1 e T_2 como mostra a Figura 4.6. Neste mesmo intervalo de T_1 e T_2 a variação do sinal S com T_2 pôde ser descrita em termos do coeficiente linear:

$$s = \frac{\Delta S}{\Delta T_2} = -0,0467 \pm 0,0002 \quad (4.42)$$

e se utilizarmos o fator de ganho $F_G \equiv G^{-1}$, tal que $S = F_G(T_R + T_{NL})$, teremos

$$S = \frac{(F_G + \Delta F_G)(T_R + \Delta T_R + T_{NL} + \Delta T_{NL}) - F_G(T_R + T_{NL})}{\Delta T_2}. \quad (4.43)$$

Como $\Delta T_R = \eta_{T_R} \Delta T_2$, a susceptibilidade térmica do ganho pode ser parametrizada em

F_G :

$$\eta_{F_G} = \frac{\Delta F_G}{F_G \Delta T_2} = \frac{\frac{S}{F_G} - \eta_{T_R} - \frac{\Delta T_{NL}}{\Delta T_2}}{T_R + \eta_{T_R} \Delta T_2 + T_{NL} + \Delta T_{NL}}, \quad (4.44)$$

e, portanto, possibilita a estimativa da variação do ganho entre os dois estados. Utilizando, como base, o conjunto de parâmetros que descreve o estado de funcionamento do receptor na obtenção dos parâmetros de calibração nas Equações (4.18) e (4.19), obtivemos estimativas do ganho que nos permitiram verificar os sinais nas extremidades do intervalo linear da Figura 4.6 segundo:

$$G_{cal} = (1 + \eta_{F_G} \Delta T_2)(T_R + T_{amb}) \frac{1}{S}. \quad (4.45)$$

Desta forma, os sinais previstos a partir dos ganhos corrigidos serviam para recalibrar o ganho, e por convergência iterativa obter:

$$G_{cal} = 57,85 \pm 0,22 \quad [KV^{-1}] \quad (4.46)$$

e:

$$\eta_{F_G} = -0,01545 \pm 0,00027 \quad [^{\circ}C^{-1}] \quad (4.47)$$

sendo que, na prática, utilizamos a expressão:

$$G = \frac{G_{cal}}{1 + \eta_{F_G} \Delta T_2} \quad (4.48)$$

para estimar o ganho num determinado estado de funcionamento do receptor. A Tabela 4.2 mostra os valores obtidos a partir das iterações.

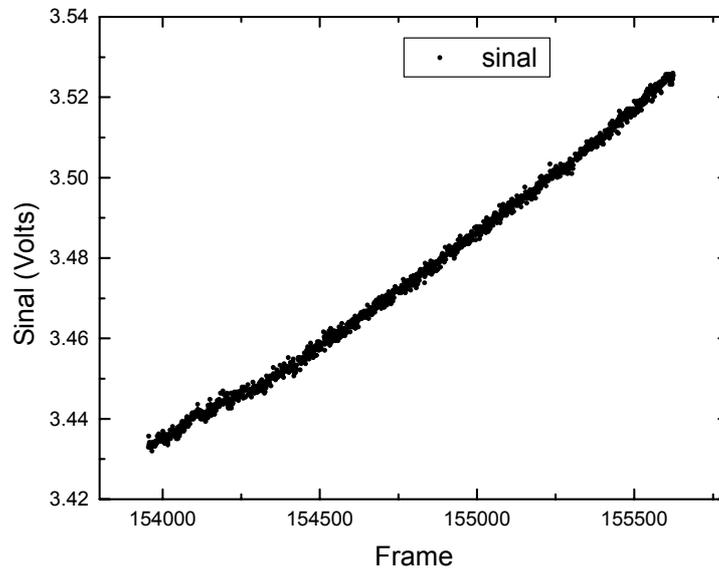


Fig. 4.6 – Segmento do gráfico da Figura 4.4 utilizado para estudar a susceptibilidade térmica do receptor.

O valor correspondente para a susceptibilidade térmica de T_R ficou em:

$$\eta_{T_R} = 0,3800 \pm 0,0025 \quad [K^0C^{-1}]. \quad (4.49)$$

TABELA 4.2 – SUSCEPTIBILIDADE TÉRMICA DO RECEPTOR

Iteração	$\eta_{Fg} (^{\circ}C^{-1})$	$G_{cal} (KV^{-1})$
0	$-0,01538 \pm 0,00027$	$57,55 \pm 0,15$
1	$-0,01545 \pm 0,00027$	$57,84 \pm 0,22$
2	$-0,01545 \pm 0,00027$	$57,85 \pm 0,22$
3	$-0,01545 \pm 0,00027$	$57,85 \pm 0,22$
4	$-0,01545 \pm 0,00027$	$57,85 \pm 0,22$

A Figura 4.7 mostra a convergência para o valor do ganho.

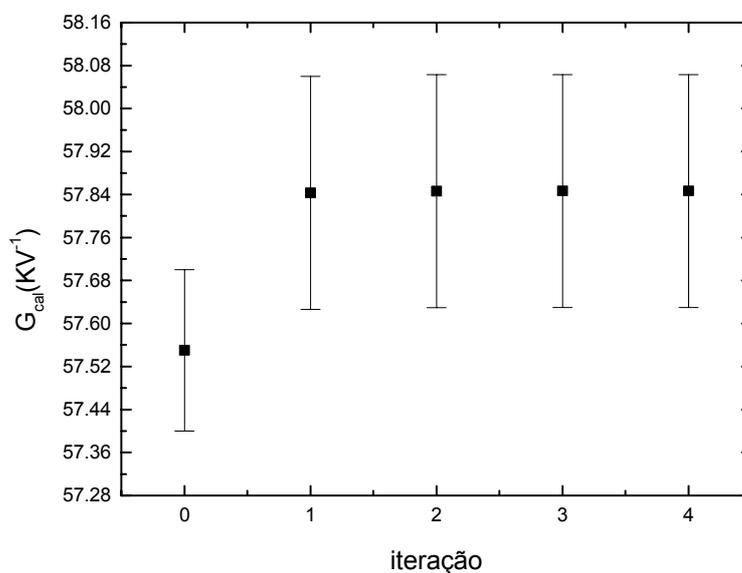


Fig. 4.7 – Convergência do coeficiente de ganho através de processo iterativo baseado na sua susceptibilidade térmica.

4.2.2) O Critério de Estabilidade

Para evitar uma detecção espúria de natureza instrumental, o ganho precisa ser mantido estável dentro dos requisitos de sensibilidade do experimento. De fato, como:

$$w = k T_{sist} G_{sist} \quad (4.50)$$

as variações da potência espectral podem ter duas origens diferentes, uma vez que:

$$\delta W \propto G_{sist} \delta T_{sist} + T_{sist} \delta G_{sist} \quad (4.51)$$

sendo o primeiro termo decorrente de variações na potência coletada pela antena e no ruído térmico do receptor e o segundo, um sinal espúrio gerado pela variação do ganho além do comportamento previsto por η_{FG} . Assim a condição para a estabilidade no ganho pode ser interpretada em termos da desigualdade:

$$\frac{\delta T_{min}}{T_{sist}} \geq \frac{\delta G}{G} \quad (4.52)$$

sendo δT_{min} a sensibilidade do receptor.

A estabilidade no ganho é monitorada pela injeção de um sinal constante gerado por uma fonte de ruído externa. A fonte de ruído é composta por um diodo isolado termicamente sob a superfície da parábola, um dipolo de meio comprimento de onda para transmitir o sinal e um cabo coaxial flexível para conectar o diodo ao dipolo. Alternativamente, o receptor de 408 MHz possui um diodo interno para monitorar a estabilidade no seu ganho. Porém, para garantir a condição de estabilidade será necessário, no mínimo, que a Equação (4.52) seja válida para o receptor, ou seja:

$\frac{\delta T_R}{T_R} \geq \frac{\delta G_R}{G_R}$. Sendo T_R e G_R como determinados pela calibração nas Equações (4.18) e

(4.46), respectivamente, $\delta G_R = G - G_{cal}$ e $\delta T_R = \Delta T_{min} = \frac{K_R T_R}{\sqrt{B \tau}} = 0,0285$ K podemos

quantificar a condição de estabilidade (Equação 4.52) em função da temperatura do amplificador (T_2) tal que:

$$\Delta T_2 \leq 16,4 \text{ mK.} \quad (4.53)$$

4.3) O Azimute

Nesta seção descreveremos como foi o tratamento do registro do azimute nos dados analisados. Em todos os arquivos de dados a leitura do codificador de azimute gerou uma grande quantidade de valores incompatíveis com uma velocidade de rotação constante da antena, mas que justamente em função deste comportamento puderam ser corrigidos. Gerando um gráfico azimute versus “frame”, os pontos devem distribuir-se ao longo de retas cujos coeficientes angulares fornecem, em média, a velocidade de rotação da antena em graus por “frame”. As leituras incorretas do codificador de azimute se apresentam como pontos fora dessas retas como mostra a Figura 4.8.

Para solucionar esse problema modelamos o movimento da antena utilizando uma velocidade de rotação média e substituímos os valores incorretos de azimutes pelos valores do modelo. A velocidade média foi calibrada a partir de todos os ajustes lineares com, pelo menos, 20 pontos consecutivos por volta em segmentos de retas como o da Figura 4.8. A substituição de um dado azimute pelo valor do modelo se dava a partir do momento que a diferença entre o valor da leitura e o valor previsto pelo modelo se apresentava maior do que uma dada tolerância. No apêndice F mostramos uma tabela com os erros para cada arquivo, as velocidades médias em graus por “frame”, e o número de pontos corrigidos e não corrigidos e o número de pontos utilizados na calibração. Uma limitação deste modelo é a necessidade de estimar corretamente o ponto zero do arquivo considerado. Na Figura 4.9 mostramos como o método utilizado corrigiu os azimutes.

Na Figura 4.10 é mostrada a degradação do codificador de azimute com o passar do tempo para os arquivos analisados, isto é, vemos que o número de pontos que não precisaram de nenhum ajuste (azuis) decresce enquanto o número de pontos ajustados (verdes) cresce.

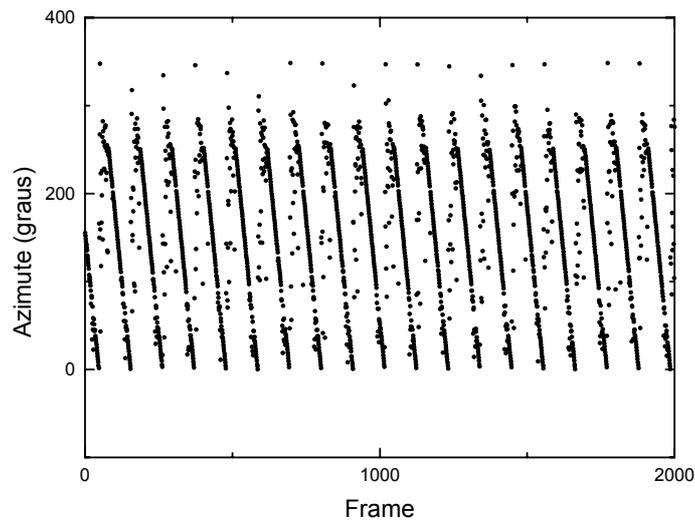


Fig. 4.8 – Trecho de um arquivo de dados mostrando o registro do azimute. Para uma antena girando à uma velocidade constante todos os pontos deveriam se localizar ao longo das retas parcialmente configuradas na figura.

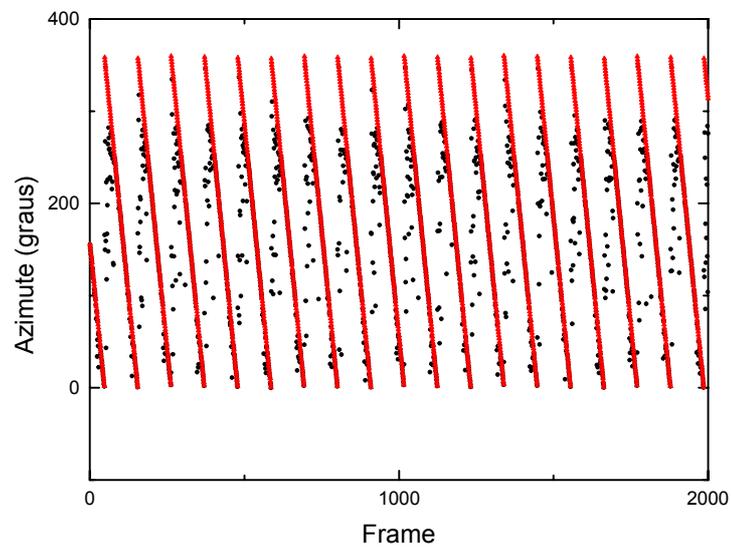


Fig. 4.9 – Trecho de um arquivo ao qual foi aplicada a correção para os azimutes incorretos. Os pontos em vermelho são fornecidos pelo modelo.

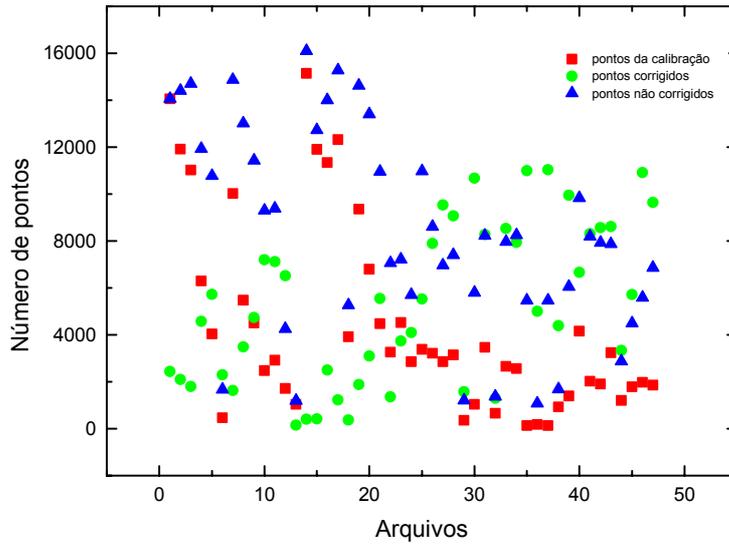


Fig. 4.10 – Degradação da leitura do codificador de azimute.

4.4) Limpeza dos Dados com IRF

Os arquivos analisados apresentaram um alto índice de contaminação por sinais de IRF. Descreveremos, a seguir, o procedimento que adotamos para excluir os dados contaminados.

Para identificar os sinais esporádicos (“duty cycle” baixo ou de curta duração) de IRF nos dados, gráficos de sinal versus “frame” mostram claramente sua presença mediante a comparação de perfis de temperatura de antena consecutivos (segmentos de dados com duração de um minuto). Estes sinais de interferência em radiofrequência são identificados como picos no perfil de temperatura, como mostra a Figura 4.11, que então são extraídos.

A Figura 4.11 mostra também como sinais de IRF contínuos (“duty cycle” elevado ou de longa duração) afetam os “frames”. No entanto, a técnica de limpeza citada acima não resulta eficaz para esses sinais. Mas se as fontes geradoras deste tipo de IRF tiverem uma localização fixa, sua presença num gráfico de sinal versus azimute pode ser evidenciada como mostra a Figura 4.12 e, então, esses sinais são extraídos.

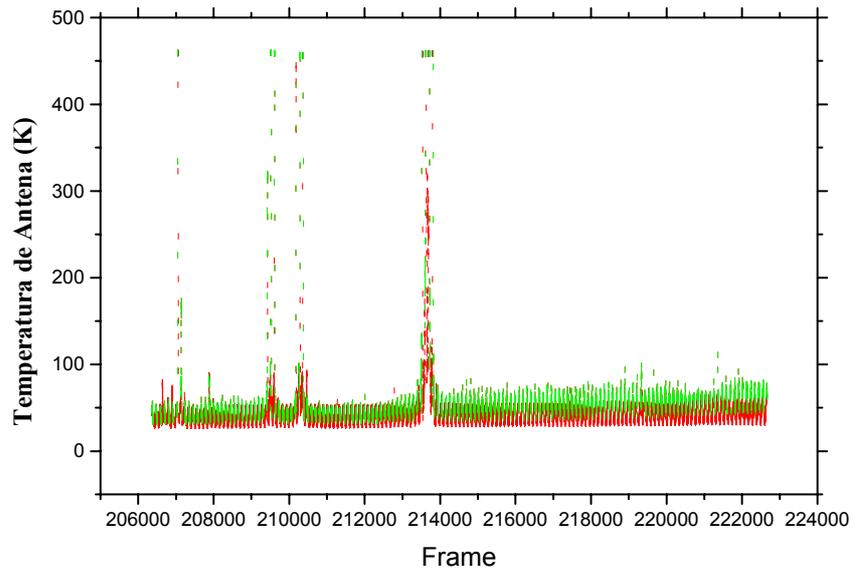


Fig. 4.11 – Registro de um arquivo com sinais esporádicos e contínuos de IRF superpostos.

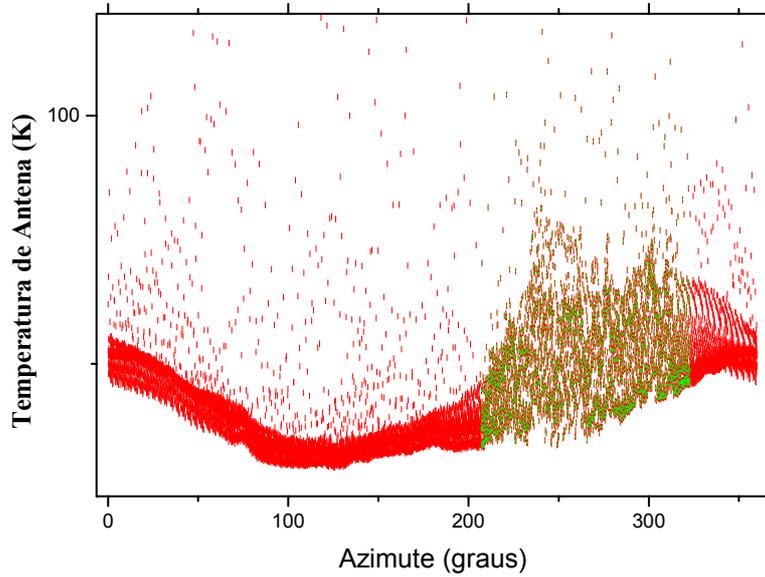


Fig. 4.12 – Registro de um arquivo com sinais contínuos de IRF (pontos verdes).

A Figura 4.13 mostra esses dois casos de contaminação por IRF em um mapa gerado a partir de observações com a antena inclinada de 40° em relação ao zênite. Os cortes nos arquivos contaminados foram aprimorados ao longo do processo de limpeza e os cortes definitivos são fornecidos nos apêndices G e H.

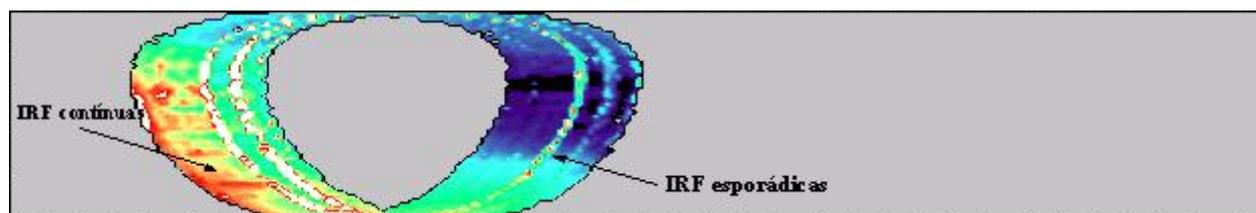


Fig. 4.13 – Mapeamento do céu a partir de um arquivo de dados contaminado por sinais esporádicos e contínuos de IRF.

Neste Capítulo obtivemos os parâmetros de calibração do nosso sistema radiométrico, e descrevemos a forma como a datação das observações e o apontamento da antena em azimute foram corrigidos. Por último, apresentamos o procedimento utilizado para limpar os arquivos de dados das contaminações esporádicas e contínuas de IRF. No próximo capítulo, finalizando o nosso trabalho, apresentaremos os mapas resultantes.

CAPÍTULO 5

UM MAPA EM 408 MHz

Neste capítulo apresentaremos a parte final deste trabalho que foi a obtenção propriamente dita de um mapa em 408 MHz a partir dos dados coletados pelo experimento GEM em abril de 1994 em Bishop (CA – E.U.A.). Incluímos uma estimativa da largura do lóbulo principal a partir do mapeamento do feixe utilizando o Sol como fonte pontual. Mapas das contaminações por sinais de IRF, pelo Sol e pela Lua serão apresentados separadamente para mostrar a relevância dos respectivos cortes nos dados. Os mapas serão apresentados em coordenadas equatoriais e o mapa final, também, em coordenadas Galácticas. Todos os mapas foram gerados utilizando um programa computacional que corrige a linha de base das observações supondo que o céu é uniformemente frio em pelo menos uma direção ao longo do segmento de cada varredura delimitado entre disparos consecutivos da fonte de ruído.

5.1) Considerações Preliminares

Para obter o mapa em 408 MHz utilizamos um programa computacional que divide o céu em pixels de $1,6^\circ$ de largura em ascensão reta e $1,6^\circ$ de altura em declinação, ou alternativamente em pixels do mesmo tamanho em coordenadas Galácticas para a época 2000. A entrada do programa consiste do sinal calibrado do céu em temperatura de antena (Equação 3.11), do apontamento da antena em coordenadas horizontais (azimute e altura), do número do “frame” referente a cada observação, das coordenadas horizontais do Sol e da sua separação angular em relação ao feixe principal. O programa lê ainda dois arquivos auxiliares contendo as listagens dos intervalos de quadros e de azimute contaminados com sinais de IRF. Nesta seção descreveremos a forma como os dados de entrada foram utilizados para preencher os pixels do mapa.

5.1.1) A Correção para o Azimute Astronômico

O apontamento da antena em coordenadas horizontais depende principalmente de uma calibração da leitura de azimute que, segundo a Equação (4.5), consiste em determinar o valor de AZ_{off} . Para tanto, verificamos que em alguns arquivos o perfil de temperatura para uma dada rotação da antena evidenciava a presença do Sol quando este se aproximava do feixe principal. Desta forma, selecionamos um conjunto de tais perfis e ajustamos perfis gaussianos que representassem os picos de intensidade correlacionados com o sinal do Sol como mostra a Figura 5.1 em função do azimute astronômico do Sol. A seguir, obtínhamos a leitura de azimute da antena correspondente ao pico da gaussiana diretamente por interpolação no arquivo de dados. A diferença média entre essas leituras e os azimutes astronômicos do Sol para os picos das gaussianas correspondentes fornecia o valor médio de AZ_{off} como sendo:

$$\overline{AZ_{off}} = 40,4812 \pm 1,0500 \quad (\text{graus}). \quad (5.1)$$

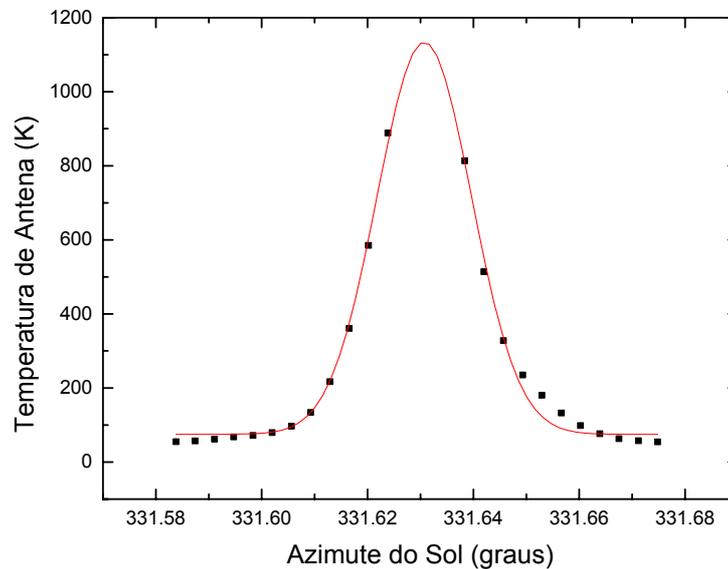


Fig. 5.1 – Ajuste Gaussiano para encontrar a correção de ponto zero no azimute do GEM em função do sinal do Sol.

5.1.2) A subtração dos Sinais do Solo e da Atmosfera

O sinal calibrado representado pela Equação (3.11) implica que os sinais contaminados dados pela Equação (3.12) já foram devidamente descontados. Para tanto os arquivos de entrada precisaram ser, inicialmente, corrigidos em função da dependência das contaminações do solo e da atmosfera com o ângulo de inclinação da antena. As observações foram feitas em ângulos zenitais de 20°, 25°, 30°, 35° e 40°. Assim, utilizando os modelos mencionados na Seção (3.3.4), que estimam a contribuição da atmosfera e do solo, e as informações sobre as condições climáticas que constavam do diário do experimento, obtivemos os valores indicados na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 – CONTRIBUIÇÕES DO SOLO E ATMOSFERA PARA A TEMPERATURA DE ANTENA EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR, INCLINAÇÃO DA ANTENA E ALTITUDE DO LOCAL DAS OBSERVAÇÕES PARA OS ARQUIVOS ANALISADOS

Arquivos	Umidade Relativa do ar (0 – 1)	Inclinação da Antena (graus)	T _{atm} (K)	T _{solo} (K)
1,2,3,4,5,6	0,50	40	1,38 ± 0,07	0,47
7,8,9,10,11,12,13,14,15	0,02	35	1,24 ± 0,07	0,44
16,17	0,89	35	1,32 ± 0,07	0,44
18	0,70	35	1,31 ± 0,07	0,44
19,20,21,22	0,01	30	1,18 ± 0,06	0,42
23	0,89	30	1,25 ± 0,07	0,42
24	0,80	20	1,15 ± 0,06	0,40
24,25,26,27,28,29	0,10	25	1,13 ± 0,06	0,41
30,31,32	0,01	40	1,33 ± 0,07	0,47
33,34,35,36	0,01	20	1,08 ± 0,06	0,40
37,38	0,01	35	1,24 ± 0,07	0,44
39	0,89	40	1,42 ± 0,08	0,47
40,41,42,43,44	0,60	20	1,13 ± 0,06	0,40
45	0,60	40	1,38 ± 0,07	0,47

A contribuição do solo foi estimada em função da inclinação da antena como mostra a Figura 5.2.

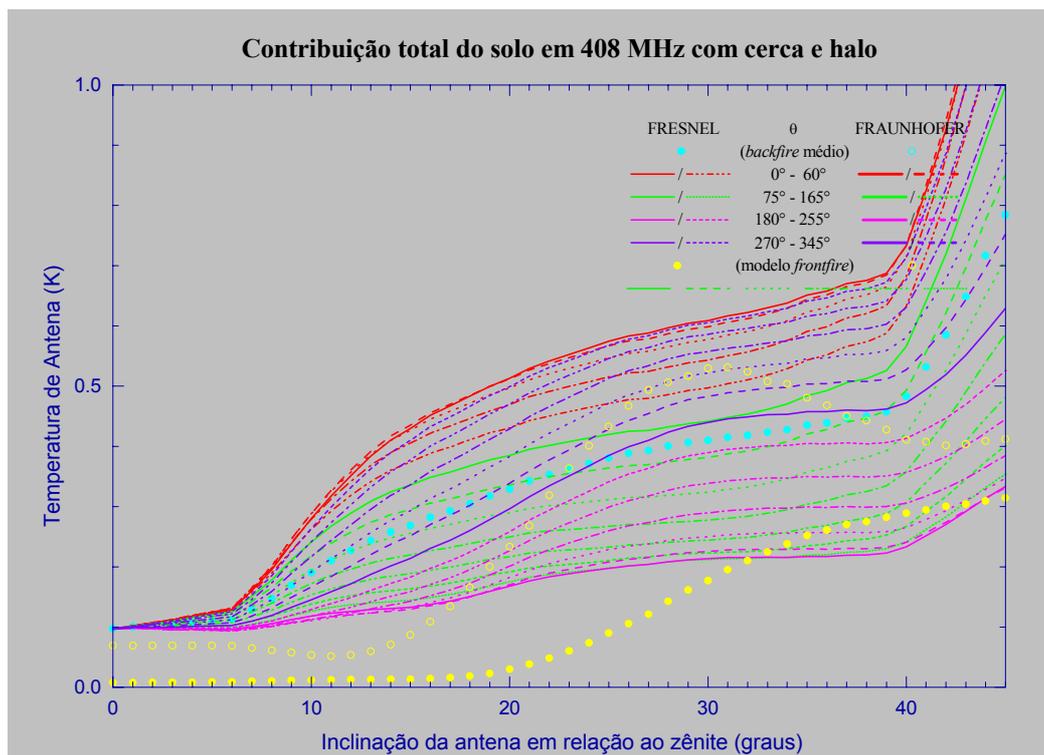


Fig. 5.2 – A contribuição do solo para a temperatura de antena no experimento GEM em 408 MHz segundo um modelo de difração (Tello et al., 1999).

A partir do sinal calibrado e corrigido, a conversão das coordenadas horizontais em equatoriais (ou Galácticas) permitia que a temperatura de antena associada a cada pixel do mapa fosse calculada em termos da média dos sinais provenientes da área do céu delimitada pelo pixel. Mesmo assim, um dado sinal só poderia ser incluído num mapa do céu se: (a) seu “frame” ou azimuth não estivesse incluído nas listas dos intervalos contaminados por IRF; (b) as separações angulares do Sol e da Lua não fossem menores que as separações mínimas permitidas (embora a separação angular do Sol constituísse um parâmetro de entrada, a da Lua era obtida diretamente a partir de uma subrotina do programa) e (c) adotássemos uma correção de linha de base como será discutido na Seção (5.1.3). O aspecto mais trabalhoso deste processo foi a elaboração criteriosa das listas de exclusão de intervalos contaminados com sinais de IRF. Em muitos casos, o processo só era bem sucedido após a preparação de mapas que mostravam a existência destas contaminações para que pudessem ser incluídos nas respectivas listas.

5.1.3) A Subtração da Linha de Base

As contribuições do solo e da atmosfera que indicamos na Tabela 5.1 foram estimadas supondo que tanto o solo como a atmosfera possuem temperaturas físicas constantes, cujos valores médios seriam suficientemente representativos para os modelos de emissão que utilizamos. No entanto, as observações com o radiotelescópio GEM se prolongam por períodos de tempo bastante longos (de preferência de 24 horas por dia), durante os quais as variações nas condições físicas do solo e da atmosfera se tornam bastante significativas. Ao mesmo tempo, estas mesmas variações influenciam diretamente o ambiente térmico dos componentes externos ao receptor, para os quais não dispomos de um conhecimento preciso das suas susceptibilidades térmicas e, portanto, das suas contribuições para o ruído térmico instrumental. Além do mais, o próprio receptor está sujeito a erros sistemáticos de natureza não-térmica que afetam sensivelmente sua temperatura de ruído. Tudo isto significa que a temperatura de sistema do radiotelescópio apresentará um nível variável cuja calibração precisa ser conhecida para determinar uma linha de base a partir da qual o sinal do céu possa ser inferido de forma homogênea para todas as observações. Na literatura este tipo de problema é conhecido como sendo o do ruído de baixa frequência, ou de $1/f$, e cujo principal sintoma na preparação de mapas é o aparecimento de manchas ao longo das varreduras da antena.

Uma solução para este problema foi utilizada por Tello (1997) e Tello et al. (2000a, 2000b) na preparação de mapas do projeto GEM em 1465 MHz, mas a sua implementação no contexto deste trabalho não foi executada porque exigia considerações, que na opinião dos orientadores, fugiam da proposta de uma dissertação de mestrado. No entanto, existe uma alternativa bem mais simples, embora não precisamente correta, mas razoavelmente eficiente para filtrar o ruído de $1/f$ na preparação do mapa. Esta solução se baseia na constatação que o percurso do feixe no céu, compreendido entre os disparos consecutivos da fonte de ruído, cobre uma extensão bastante larga, de tal forma que a possibilidade destes percursos incluam

direções fora do plano Galáctico não é insignificante. Ou seja, haverá para cada conjunto de observações ao longo desses percursos pelo menos uma direção no céu cuja temperatura de antena seria característica de uma região fria. Supondo então, que as regiões frias possuem uma temperatura de antena característica cuja variação ao longo do céu não se manifesta em diferenças muito contrastantes (o que na realidade constitui uma suposição bastante prática), poderemos adotar tal temperatura para calibrar a linha de base das observações. No nosso caso, adotamos o valor de 14 K, inferido a partir de uma convolução do mapa de H82 em 408 MHz com um feixe gaussiano de 10° de HPBW (Tello, 1997). Esta largura de feixe se mostra bastante compatível com a estimativa para o nosso próprio feixe como será visto a seguir. Para compor os mapas do GEM utilizamos a seguinte equação:

$$T_{A, \text{mapa}} = T_{A, \text{céu}} + T_{A, \text{Linha de base}} + 6 - T_{A, \text{BGR}} \quad (5.2)$$

em que:

$T_{A, \text{mapa}}$ = temperatura de antena dos mapas;

$T_{A, \text{céu}} = T_{A, \text{GEM}} - T_{A, \text{cont}}$; (Equação 3.10)

$T_{A, \text{Linha de base}} = 14 - T_{A, \text{min Varr}}$

$T_{A, \text{min Varr}}$ = temperatura mínima entre dois disparos consecutivos da fonte de ruído.

$T_{A, \text{BGR}} = T_{A, \text{extgal}} + T_{A, \text{RCF}}$

5.2) A Largura do Feixe

O programa que descrevemos na seção anterior possui uma saída alternativa para mapear o céu em coordenadas polares centradas no Sol. A utilidade de um mapa neste referencial é a possibilidade de se obter um mapa do feixe da antena, uma vez que o Sol pode ser considerado como uma fonte pontual no nosso caso.

No período das observações em Bishop foram obtidas varreduras que interceptaram o Sol antes e depois da sua passagem no meridiano local. Porém, como o sinal do Sol em 408 MHz é suficientemente intenso para saturar o detector do nosso receptor, foi necessário substituir o atenuador de 6 dB por um de 10 dB (veja Tabela 4.1) para garantir um registro do sinal do Sol na direção do feixe sem comprometer a temperatura de sistema. Deste modo tivemos que obter uma correção no fator de ganho da calibração.

Para encontrar essa correção comparamos a amplitude do sinal da fonte de ruído, A , antes e depois da troca do atenuador. Seja A_1 a amplitude do sinal da fonte de ruído (em volts) para o receptor com o atenuador de 6 dB e A_2 a amplitude do sinal da fonte de ruído (em volts) para o receptor com o atenuador de 10 dB. Então

$$A_1 \times G_{sist}^{6dB} = A_1[K], \quad (5.3)$$

$$A_2 \times G_{sist}^{10dB} = A_2[K]. \quad (5.4)$$

em que:

$G_{sist} (dB) = G^+ (dB) - G^- (dB) =$ ganho do sistema;

$G^+ (dB) =$ ganho dos elementos ativos;

$G^- (dB) =$ perda dos elementos passivos;

Como a fonte de ruído é a mesma, antes e depois da troca do atenuador temos

$A_1[K] = A_2[K]$ e das Equações (5.2) e (5.3) obtemos: $\frac{A_1}{A_2} = \frac{G_{sist}^{10dB}}{G_{sist}^{6dB}}$. Com os valores do

fator de ganho segundo a Tabela 4.1 $G_{sist}^{6dB} = 1,17 \times 10^8$ e $G_{sist}^{10dB} = 46558609$ temos em primeira aproximação a correção:

$$\varpi = \frac{G_{sist}^{6dB}}{G_{sist}^{10dB}} = 2,51 \quad (5.5)$$

que precisamos introduzir no programa para multiplicar o ganho no arquivo contendo o Sol. O mapa do céu centrado no Sol é mostrado na Figura 5.3.

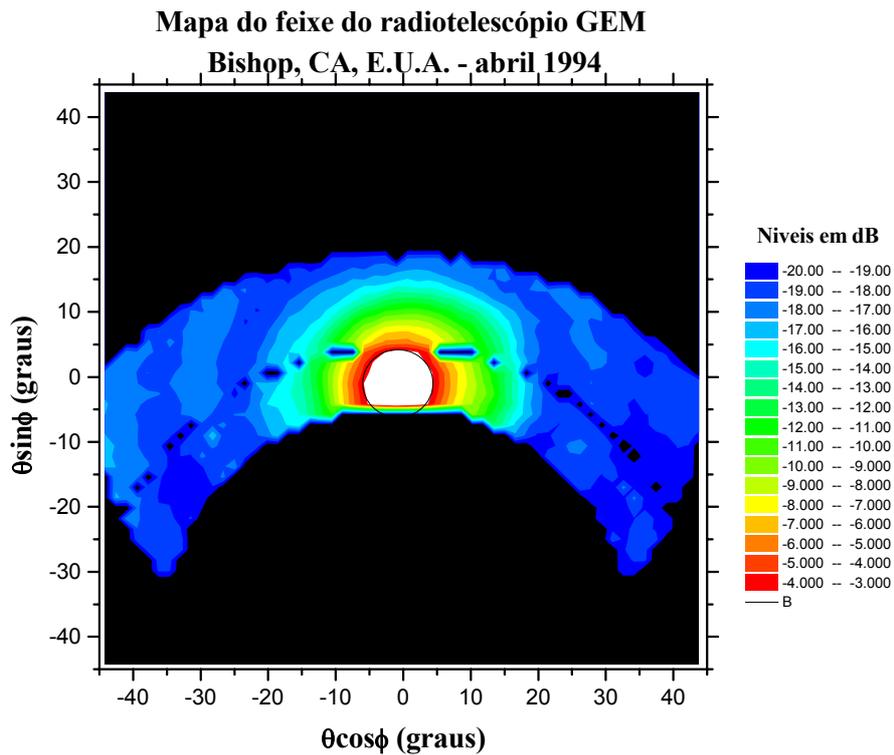


Fig. 5.3 – Mapeamento do feixe usando o Sol como fonte pontual.

A largura do feixe foi obtida analisando os contornos no mapa que correspondem às intensidades do sinal em dB. Então, ajustando uma circunferência centrada à curva de nível de 3 dB obtivemos o seguinte valor para a largura do feixe à meia potência, isto é, para o diâmetro da circunferência:

$$HPBW = 10,4^0 \quad (\text{graus}) \quad (5.6)$$

Na Figura 5.3 o centro da curva de nível a 3 dB não está na origem do sistema de coordenadas, na realidade o seu centro está deslocado de $-0,8^\circ$ em azimute e -1° em declinação. Estes valores se constituem em correções adicionais do apontamento da antena e que deverão ser incluídas em análises posteriores dos mapas obtidos neste trabalho.

5.3) Composição do Mapa

A possibilidade de excluir as medidas contaminadas pelo Sol, Lua e IRF nos arquivos analisados, nos permite ao mesmo tempo fazer mapas separados dessas medidas. Somando o número de observações por pixel em cada um desses mapas e comparando-os cada um com o número total de observações para cada uma das inclinações da antena, nos fornece uma estimativa do nível de medidas contaminadas em 408 MHz com o experimento GEM. A Tabela I.1 (no Apêndice I) mostra o tempo de observação associado a esses mapas, uma vez que a constante de proporcionalidade entre esse tempo e o número de observações é a própria constante de tempo do circuito integrador do receptor. A estimativa correspondente da porcentagem de medidas contaminadas por sinais de IRF, Sol e Lua aparece nas duas últimas colunas da Tabela I.1.

Os mapas das medidas contaminadas (colunas E e F da Tabela I.1) não correspondem a simples subtrações dos mapas nas colunas C e D em relação ao mapa da coluna B. De fato, se m e n são o número de observações para um determinado pixel num mapa contaminado e num mapa limpo, respectivamente, cujas médias resultam nas temperaturas de antena $T_{A,contam}$ e $T_{A,limpo}$, então a temperatura de antena do mapa das medidas contaminadas será dada por

$$T_{A,contam}^* = \frac{mT_{A,contam} - nT_{A,limpo}}{m - n}. \quad (5.7)$$

O nosso mapa final, livre das contaminações de IRF, pelo Sol e pela Lua, resulta da soma dos mapas na coluna G da Tabela I.1. Na sua preparação foram utilizadas 53,46

horas de observação, das quais 36,58% apresentaram contaminação por sinais de IRF e 16,25% foram excluídas por estarem contaminadas pelos sinais do Sol e da Lua. Sua representação, em coordenadas equatoriais, é mostrada na Figura 5.13 e em coordenadas Galácticas na Figura 5.14. Uma vez que conhecemos o número de observações associado a cada pixel do mapa, fizemos ainda dois mapas do número de observações por pixel em coordenadas equatoriais como mostram as Figuras 5.15 e 5.16. Na Tabela I.2, um roteiro completo de todos os mapas da Tabela I.1.

De forma a fazer uma verificação entre o mapa de H82 e o mapa obtido neste trabalho quanto as estruturas, convoluímos o mapa de H82 para um HPBW = $10,4^\circ$ e para a nossa faixa de declinação. A Figura 5.17 mostra esses dois mapas e podemos observar que o nosso mapa se revela compatível em relação às estruturas do mapa de H82. Nesses mapas há uma diferença na temperatura mínima. A explicação é que o nosso mapa foi gerado considerando a Equação (5.2) em que o nível das contaminações das fontes extragalácticas difusas e da RCF foi mantido artificialmente em 6 K, enquanto que o mapa de H82 não faz nenhuma suposição desta natureza. De fato, excluindo os últimos dois termos da Equação (5.2) obteríamos uma comparação exata com o mapa de H82 convoluído na região de brilho mínimo deste último.

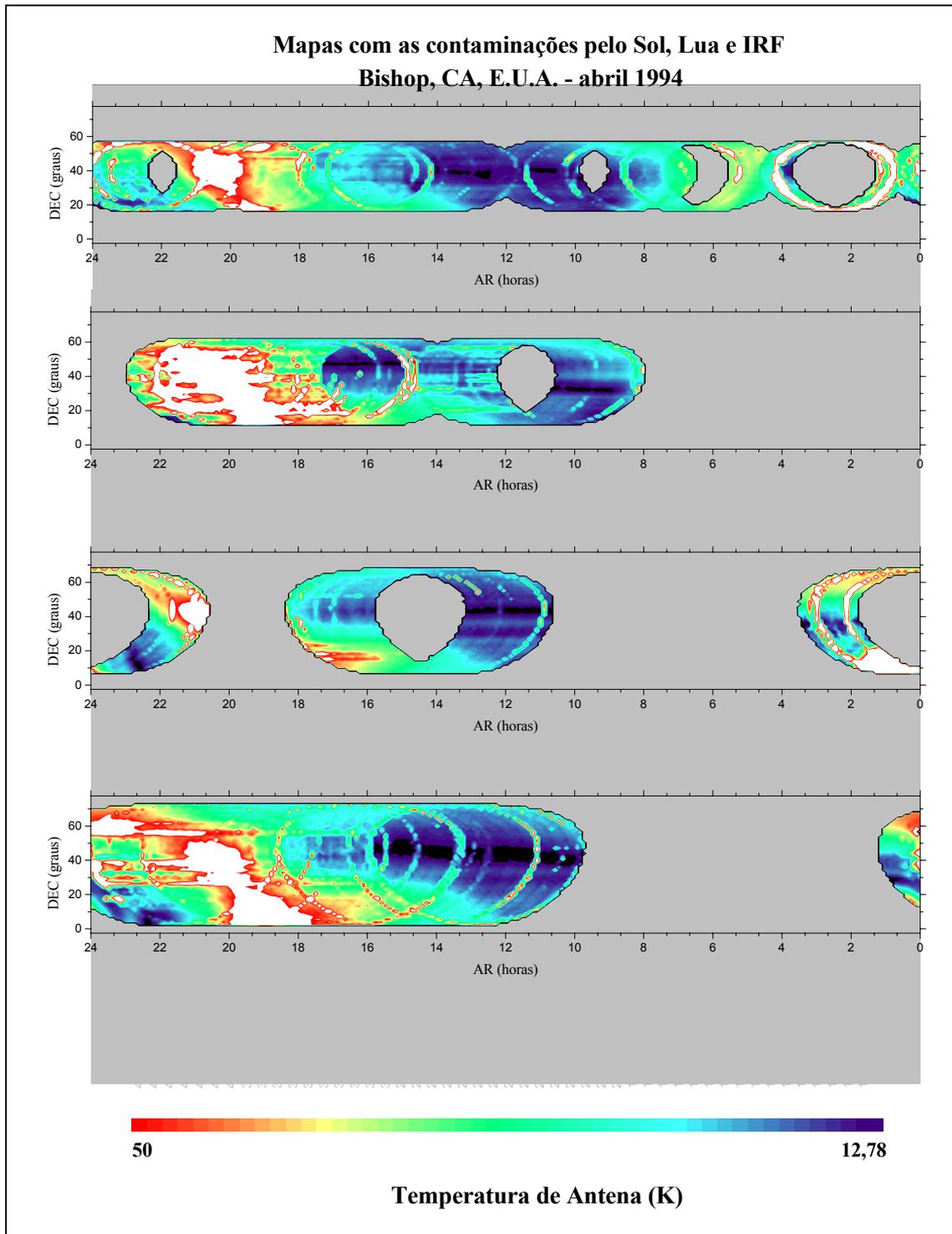


Fig. 5.4 – Mapas com as contaminações pelo Sol, Lua e IRF para as inclinações de 20°, 25°, 30° e 35° do zênite.

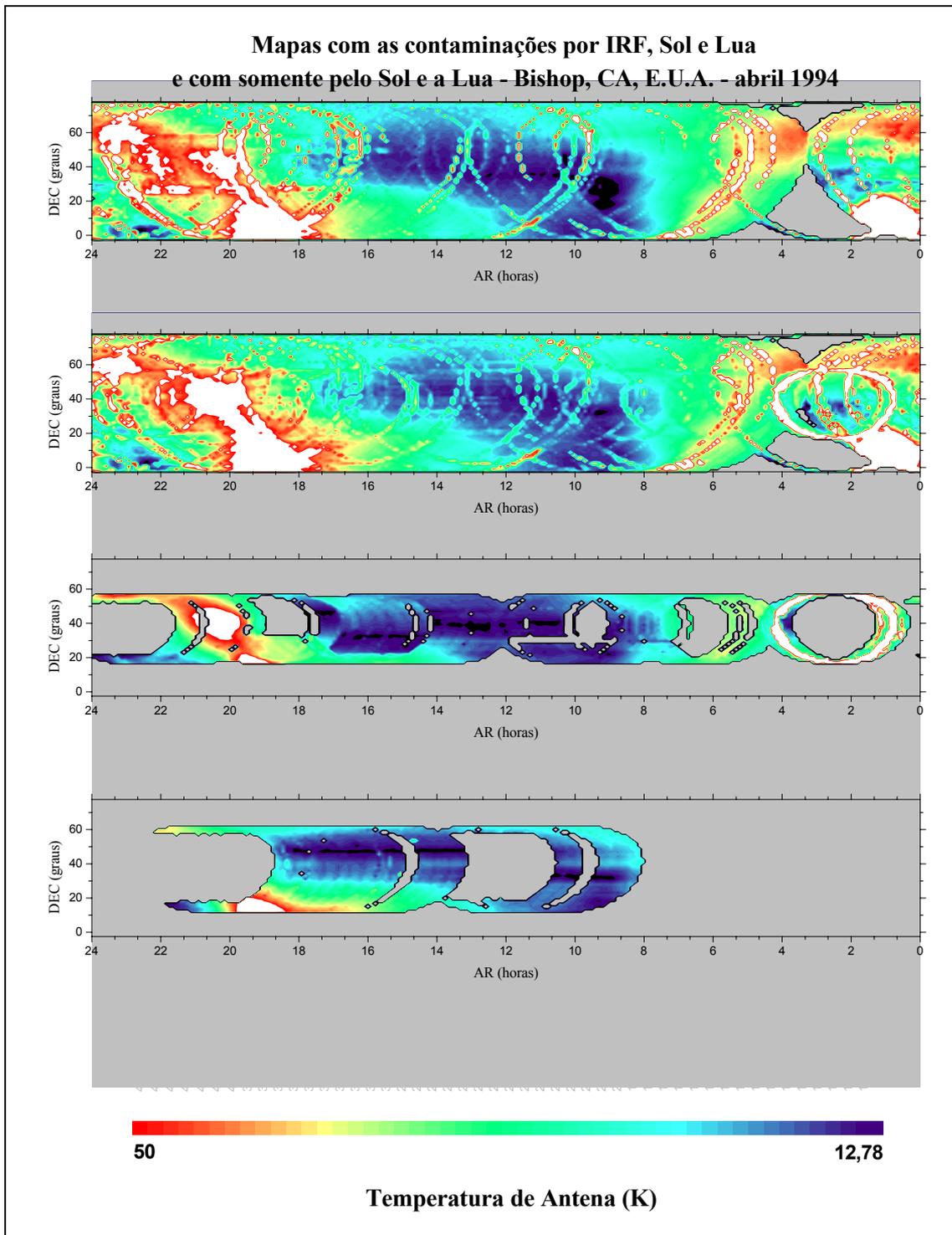


Fig. 5.5 – Mapas com as contaminações por IRF, Sol e Lua para as inclinações da antena de 40° do zênite e do agrupamento de todas as inclinações, e com somente pelo Sol e a Lua para as inclinações da antena de 20° e 25° do zênite.

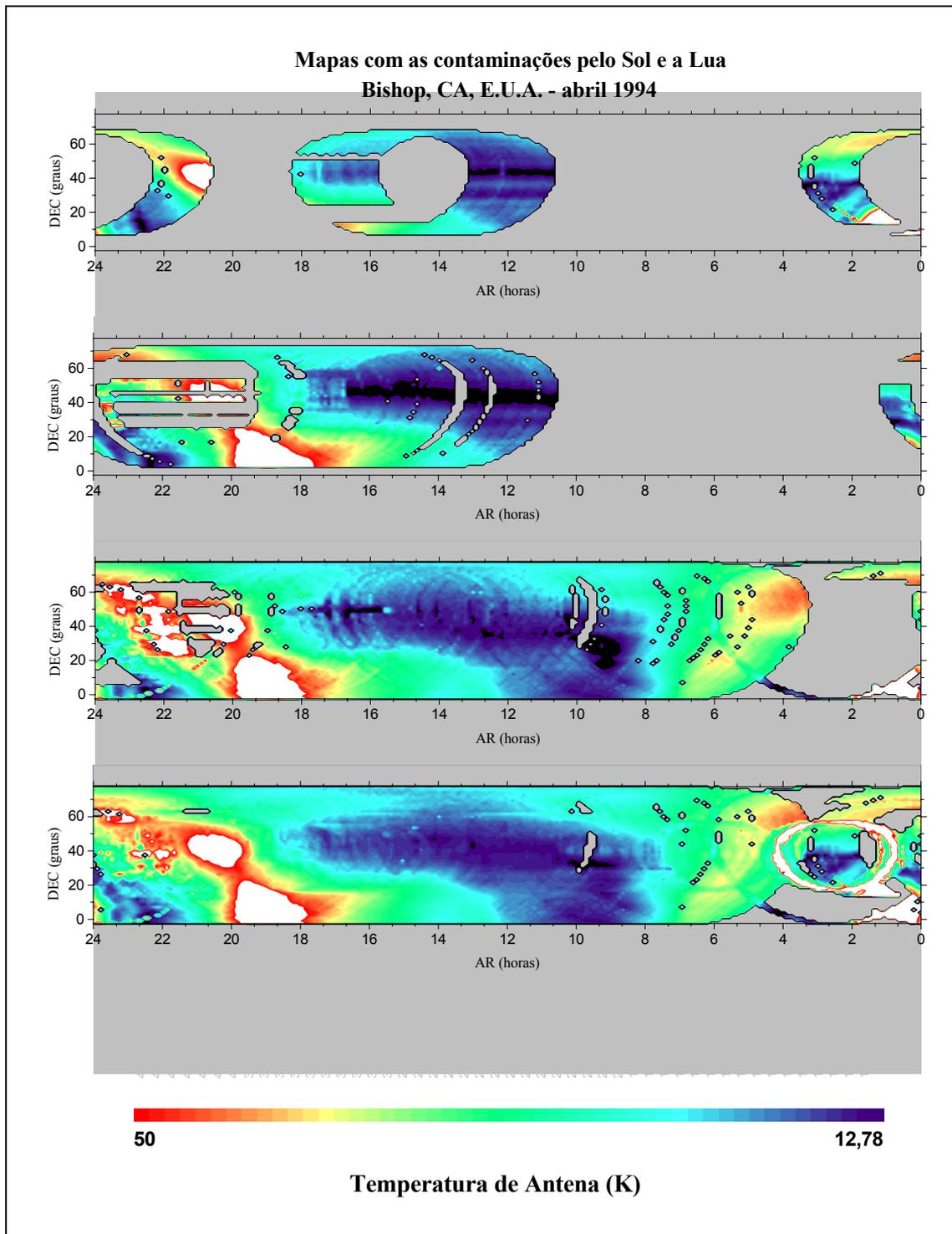


Fig. 5.6 – Mapas com as contaminações pelo Sol e a Lua para as inclinações da antena de 30°, 35°, 40° e do agrupamento de todas as inclinações.

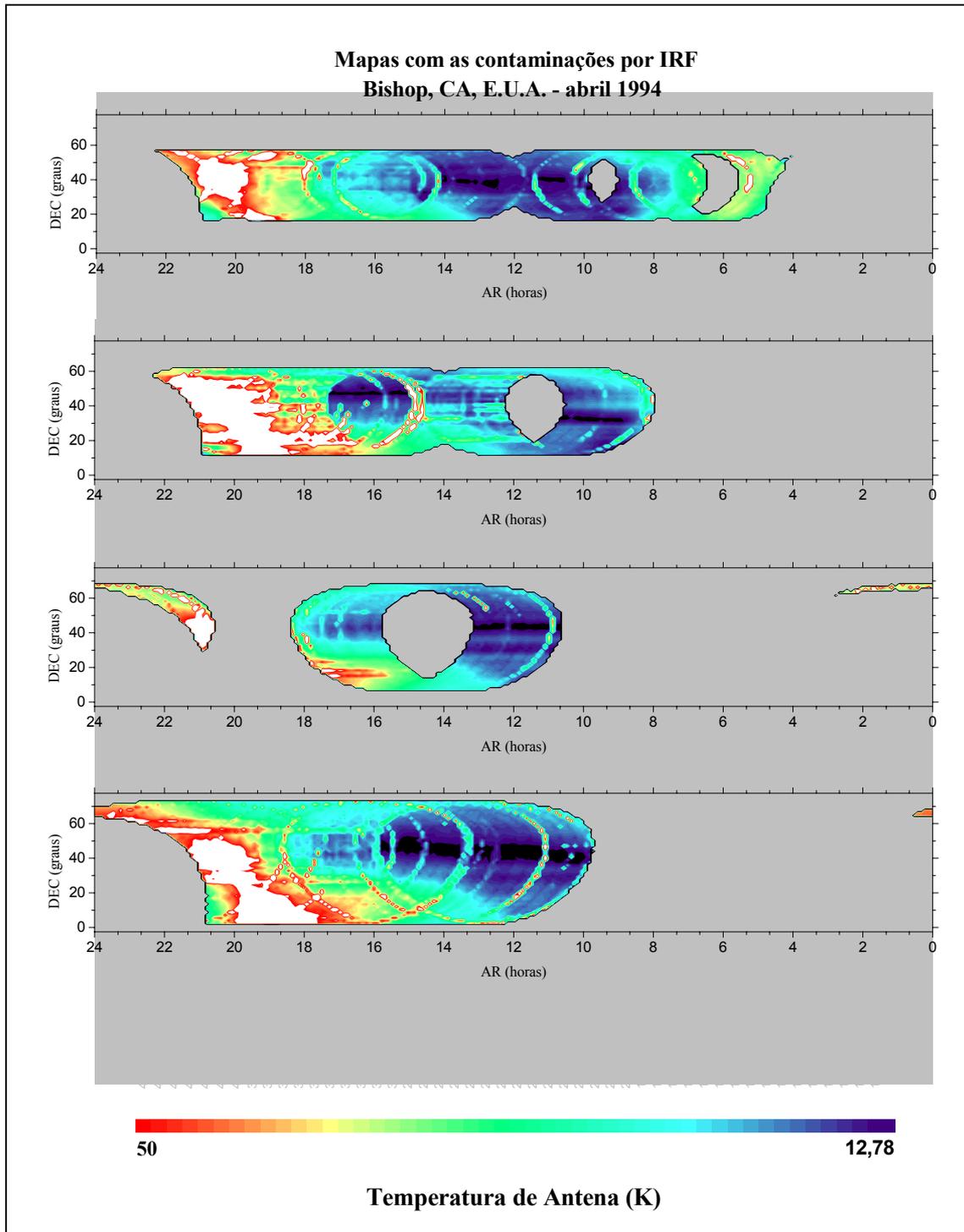


Fig. 5.7 – Mapas com as contaminações por IRF para as inclinações da antena de 20°, 25°, 30° e 35° do zênite.

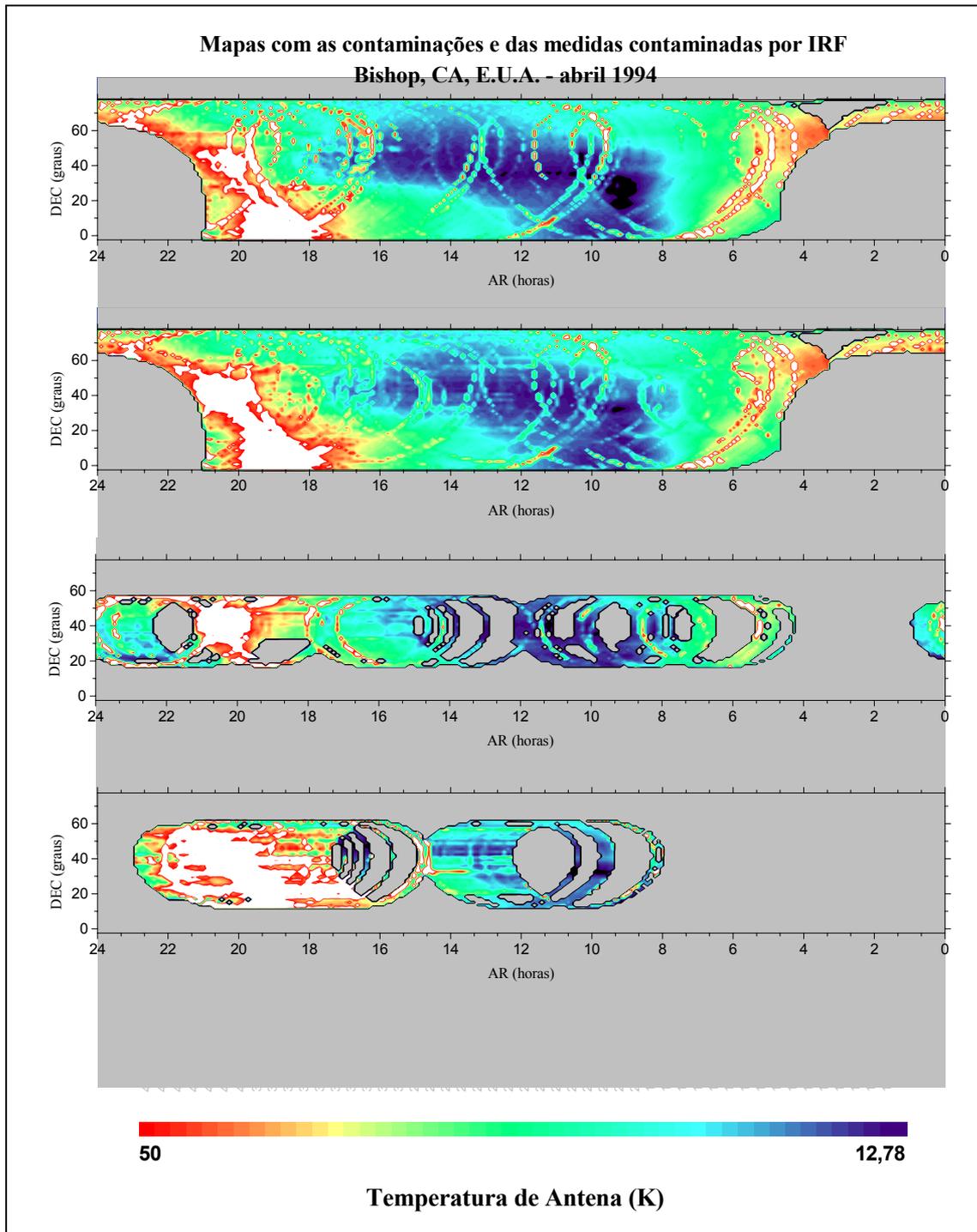


Fig. 5.8 – Mapas com as contaminações por IRF e das medidas contaminadas por IRF para as inclinações da antena de 40° , do agrupamento de todas, 20° e 25° .

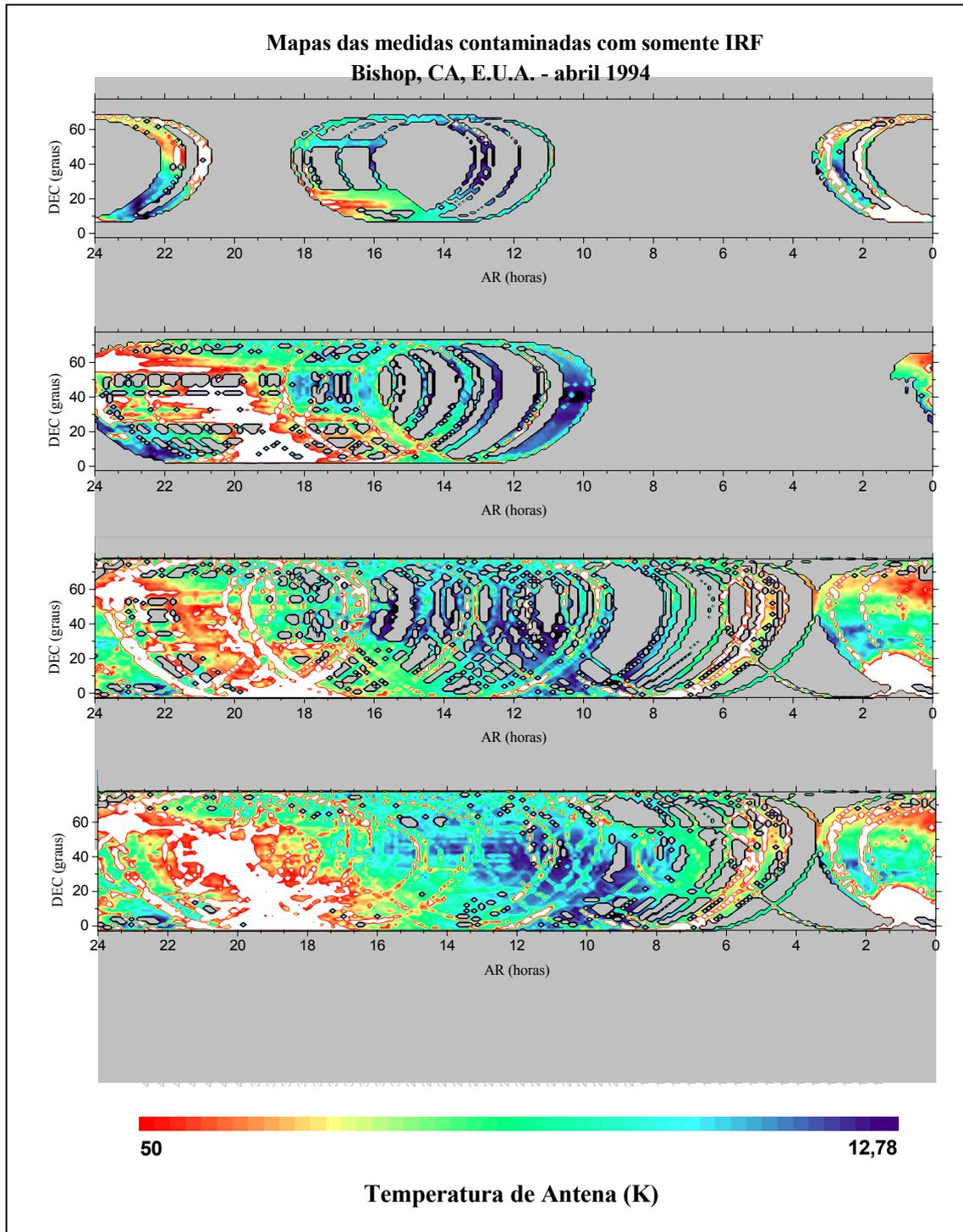


Fig. 5.9 – Mapas das medidas contaminadas por IRF nas inclinações da antena de 30°, 35°, 40° e do agrupamento de todas as inclinações.

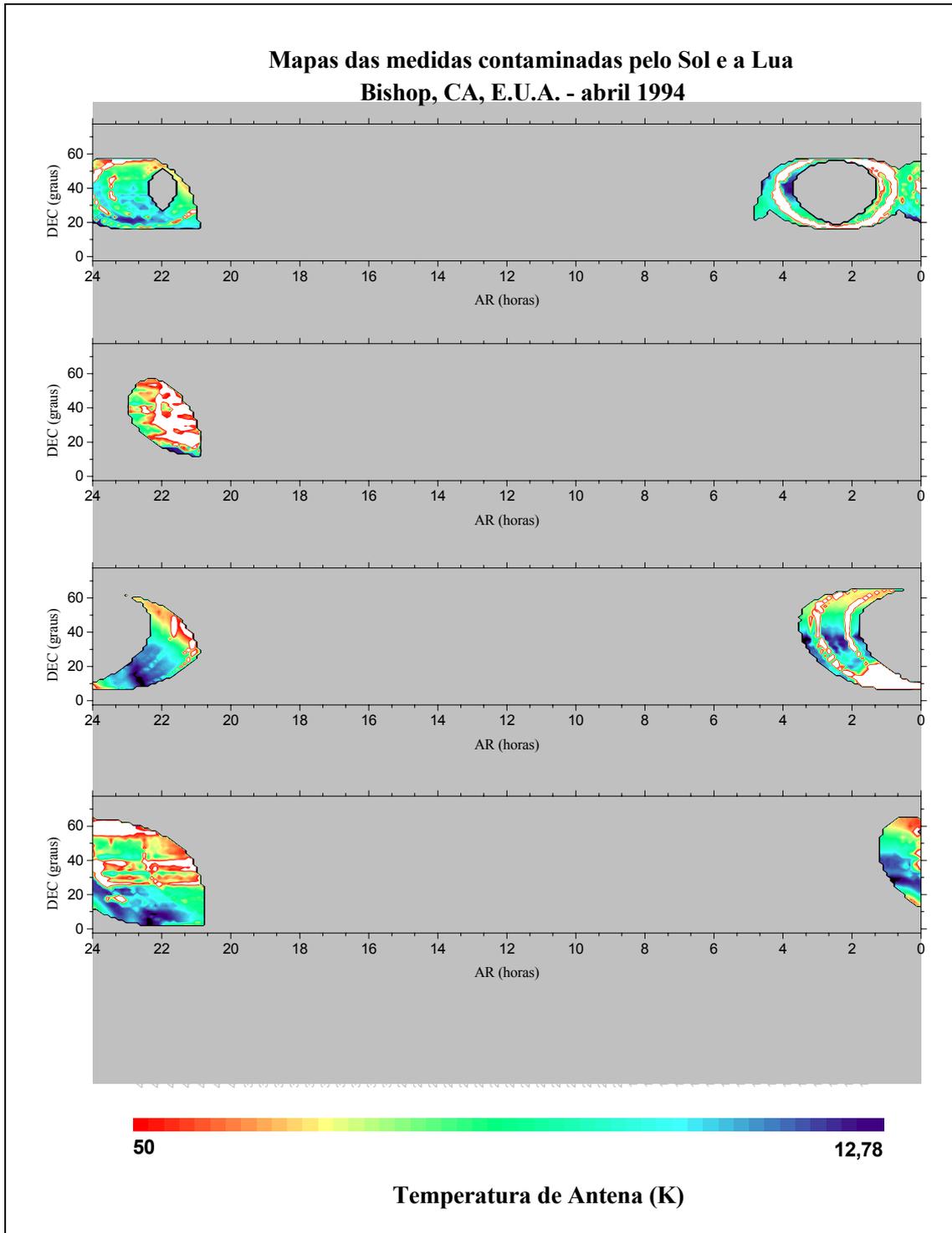


Fig. 5.10 – Mapas das medidas contaminadas pelo Sol e a Lua para as inclinações da antena de 20°, 25°, 30° e 35° do zênite.

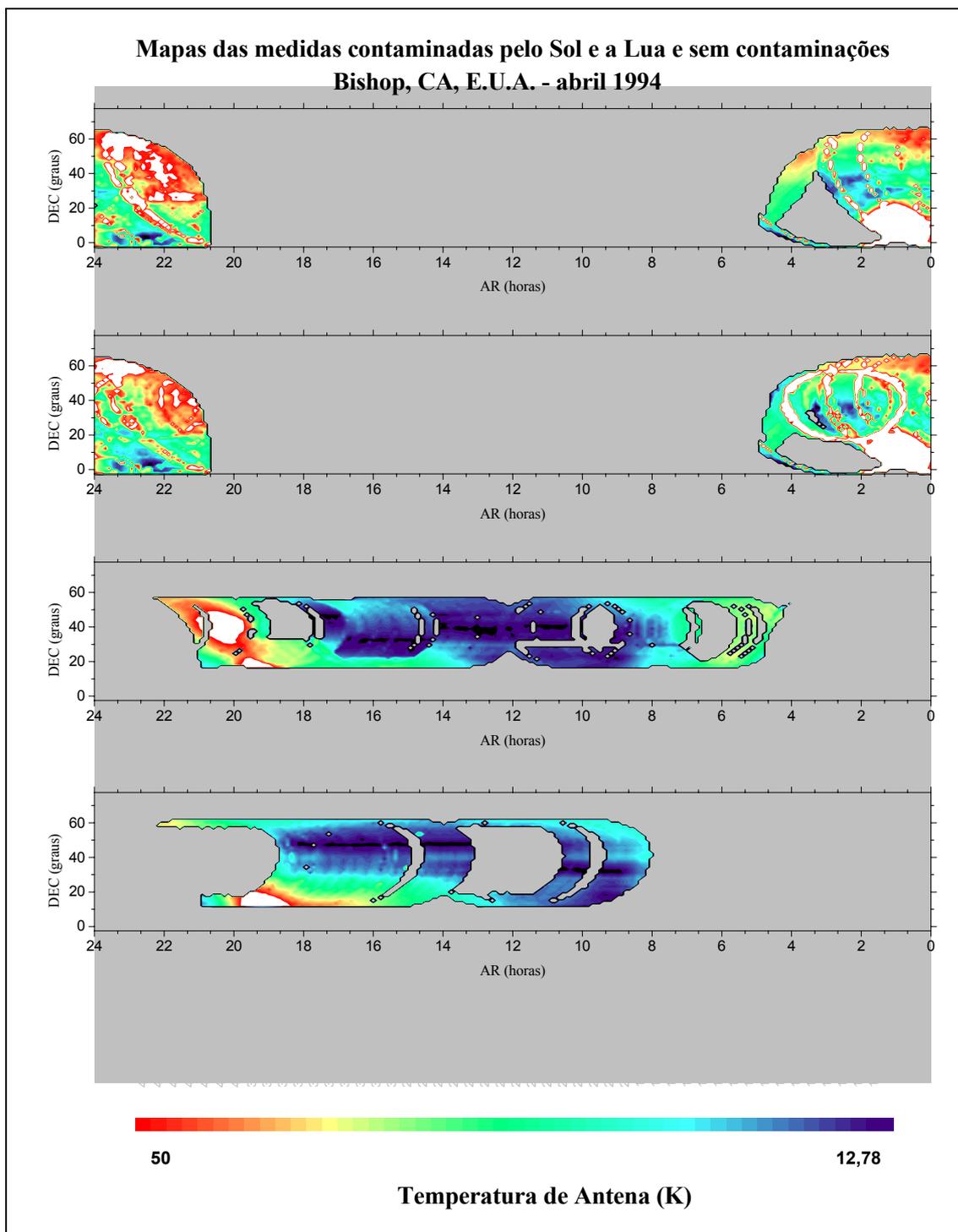


Fig. 5.11 – Mapas das medidas contaminadas pelo Sol e a Lua para a inclinação da antena de 40° do zênite e do agrupamento das inclinações, e sem contaminações para as inclinações da antena de 20° e 25° do zênite.

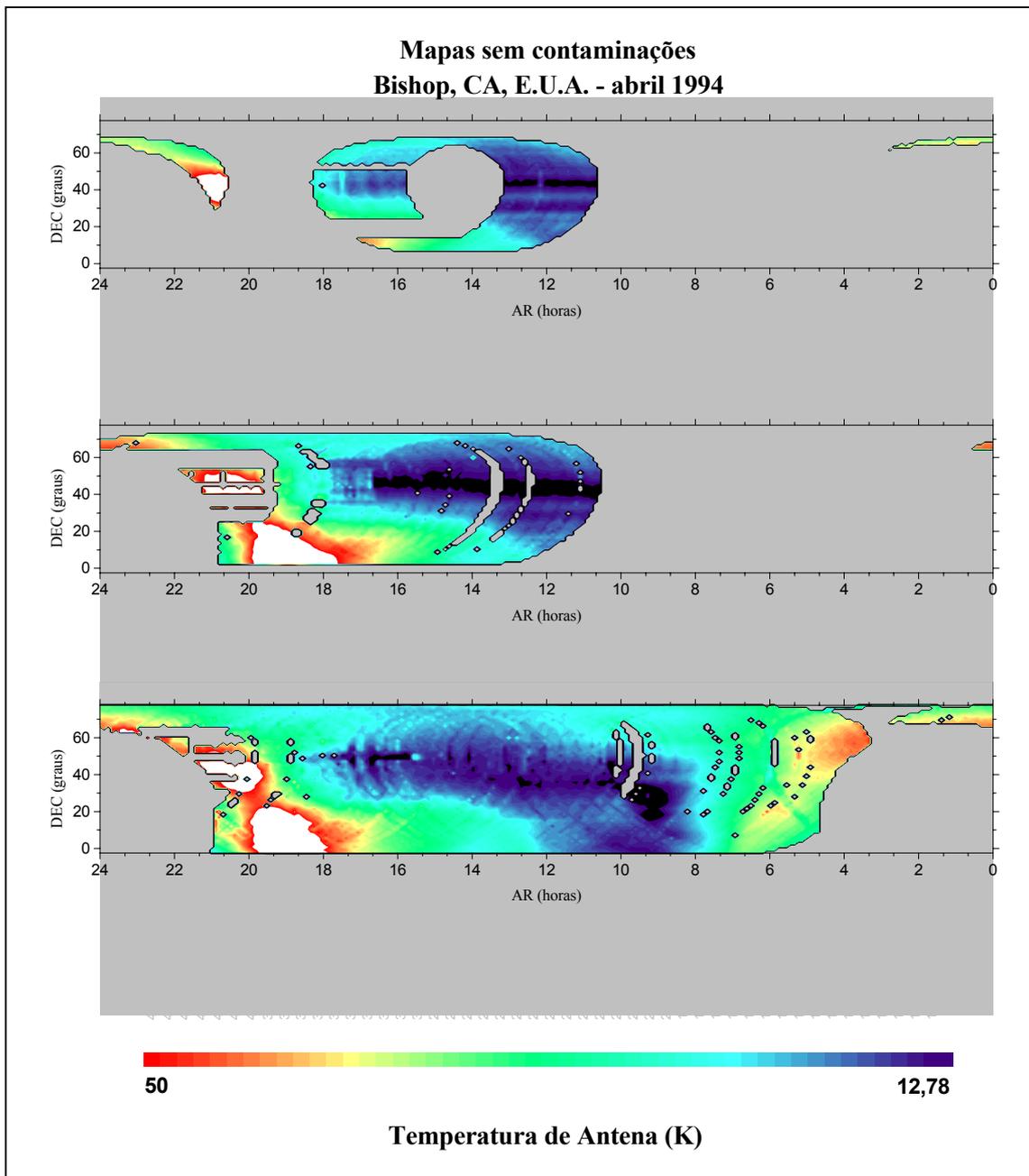


Fig. 5.12 – Mapas sem contaminações para as inclinações da antena de 30°, 35° e 40° do zênite.

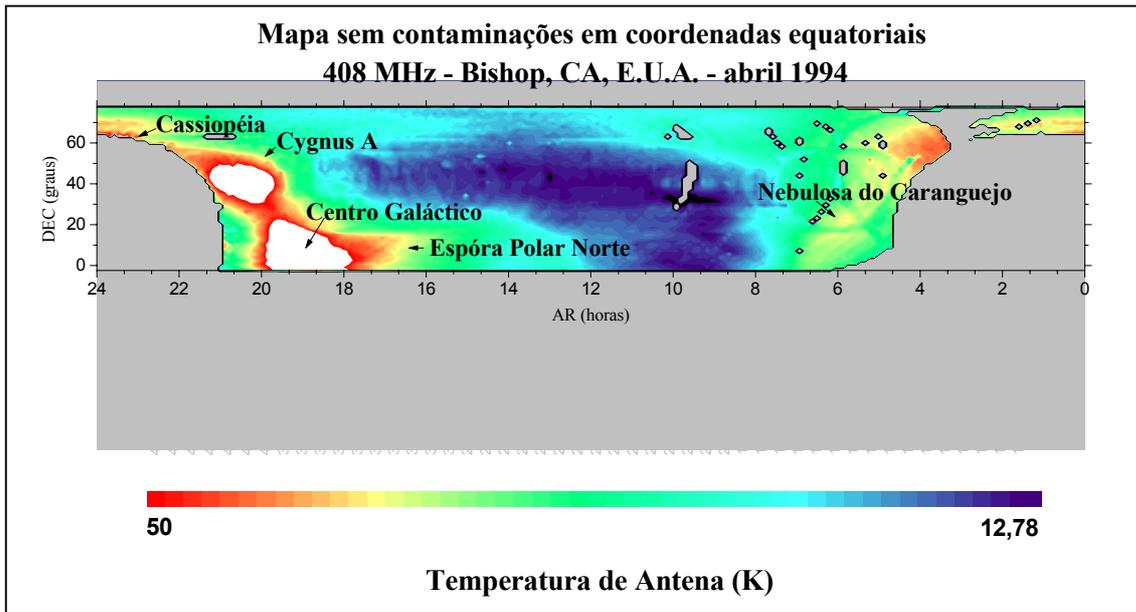


Fig. 5.13 – Mapa sem contaminações em coordenadas equatoriais

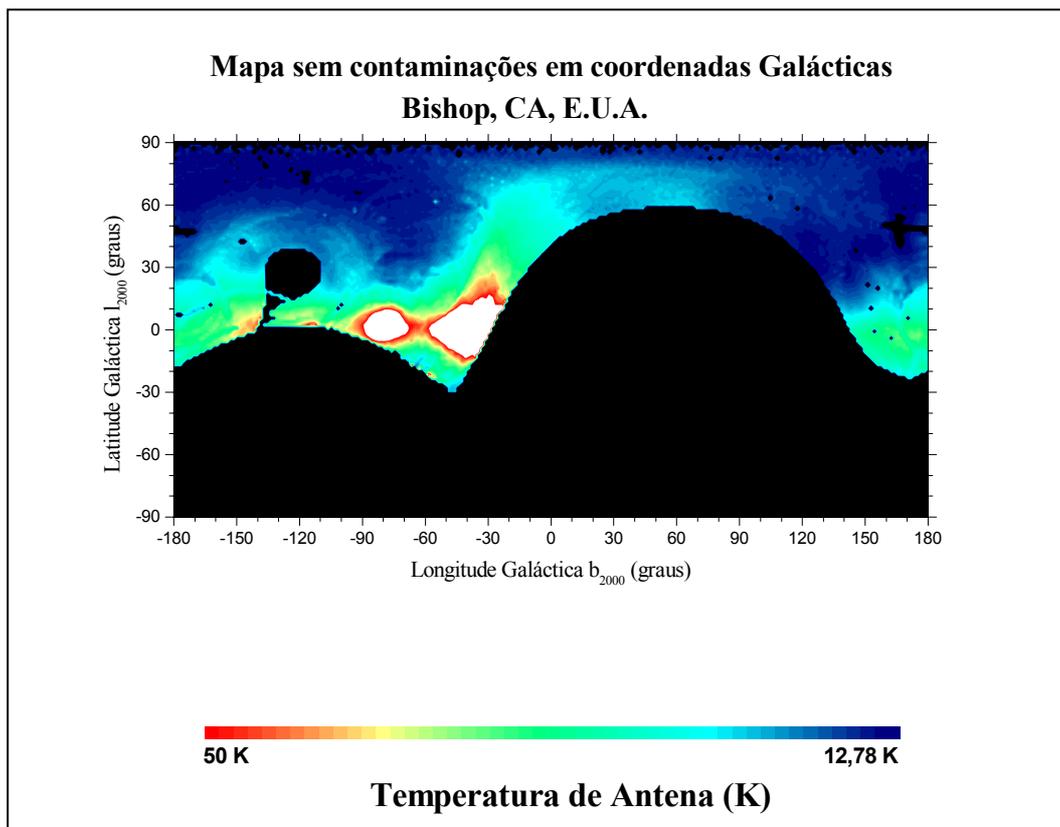


Fig. 5.14 – Mapa sem contaminações em coordenadas Galácticas.

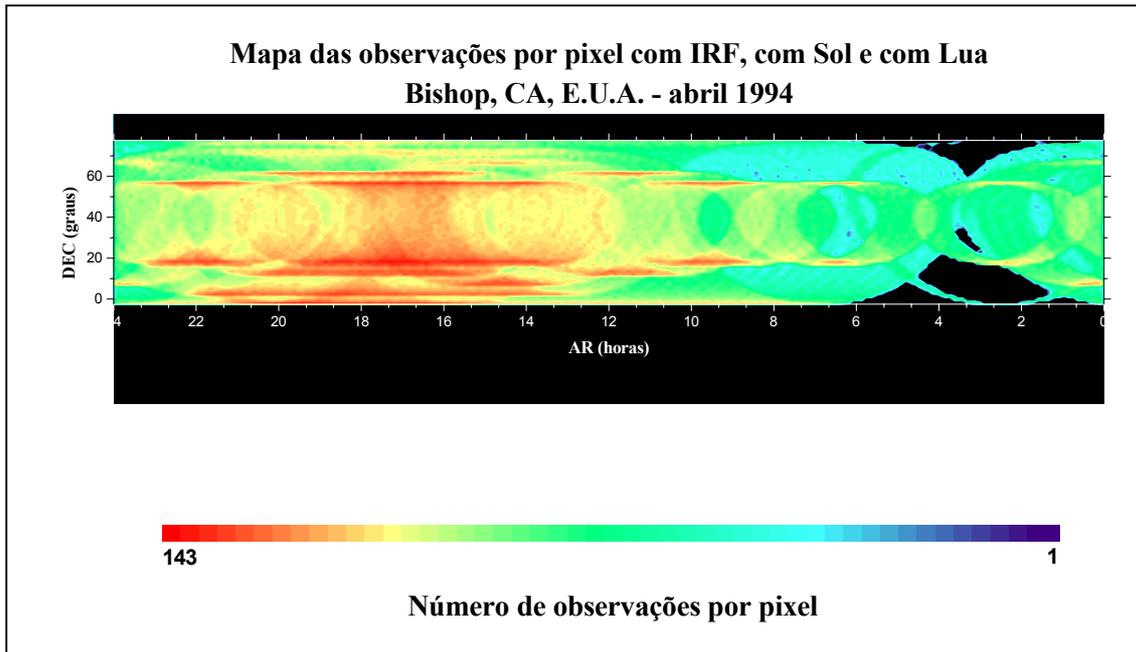


Fig. 5.15 – Mapa das observações por pixel com as contaminações do Sol, da Lua e das IRF.

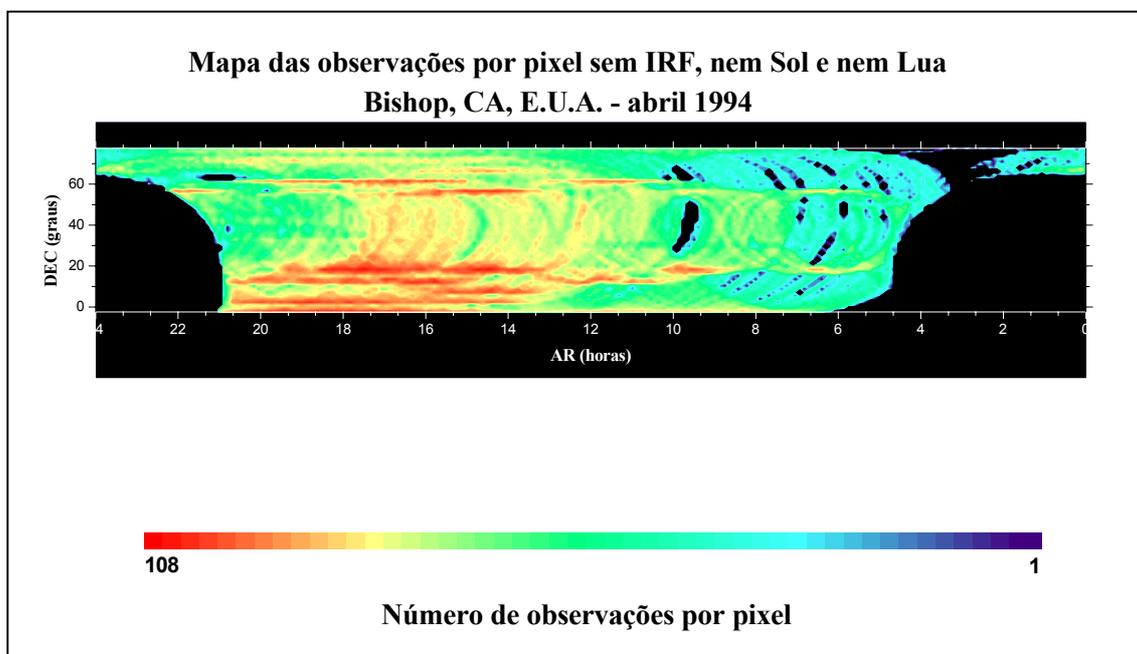


Fig. 5.16 – Mapa das observações por pixel sem contaminações.

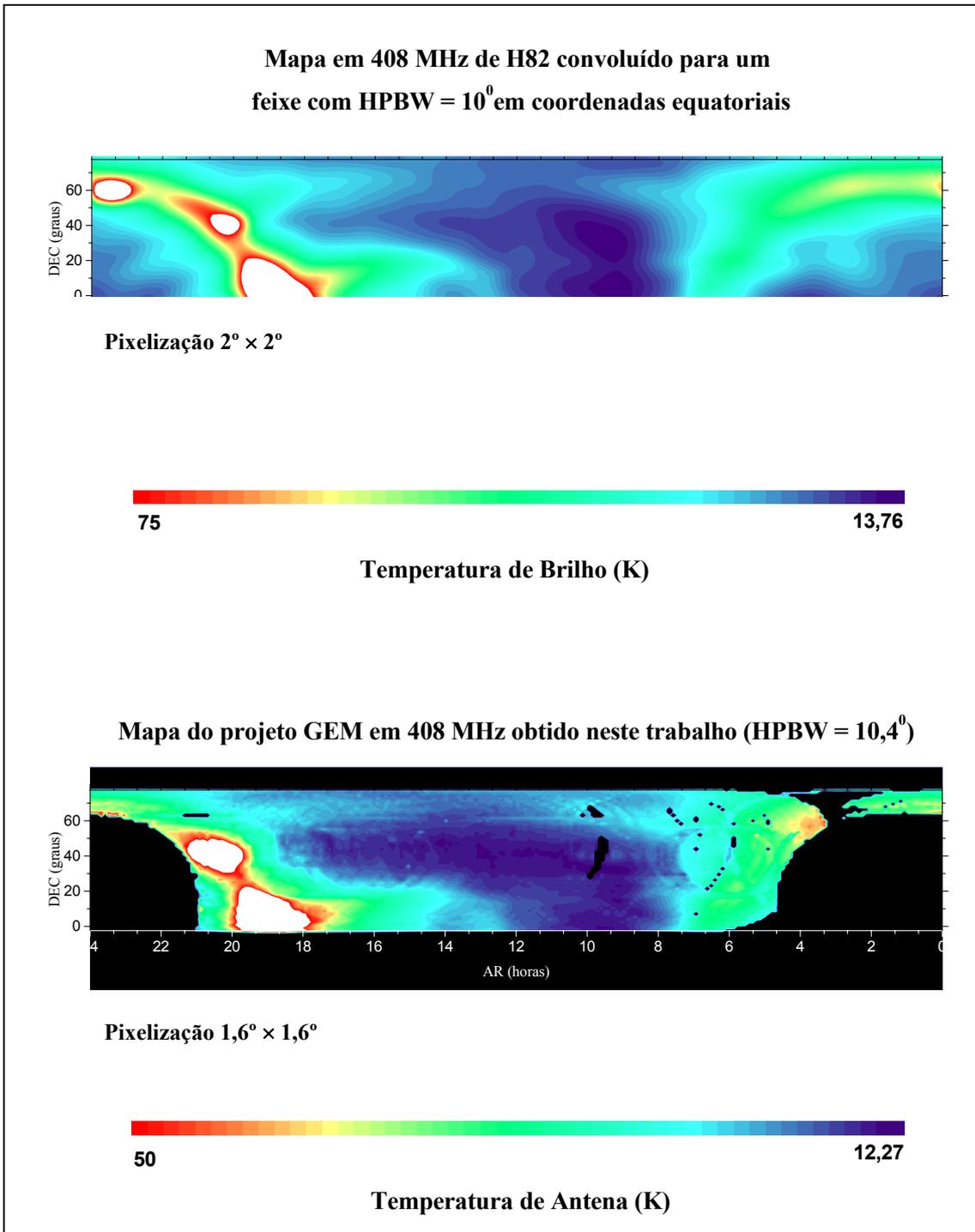


Fig. 5.17 – Mapa de H82 e do projeto GEM em 408 MHz.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Na preparação do mapa em 408 MHz deste trabalho foram utilizadas 53,46 horas de observação, obtidas com o radiotelescópio do projeto *Galactic Emission Mapping (GEM)* para varreduras circulares com inclinações em torno do zênite de 20°, 25°, 30°, 35° e 40°. Dessas medidas 36,58% apresentaram contaminação por sinais de IRF, enquanto que o Sol e a Lua contaminaram 16,25% dos dados. Excluindo as contaminações, obtivemos um mapa final que acumulou 29,40 horas de observações e cobre uma faixa de declinação de $-3^{\circ}22' \leq \delta \leq 77^{\circ}22'$ com uma pixelização de 1,6°. O mapa apresenta uma variação em temperatura de antena de $12,27 \text{ K} \leq T_A \leq 108 \text{ K}$, embora estes valores sejam baseados na suposição de que as varreduras possuem, independentemente da distância zenital, direções nas quais o céu se apresenta igualmente frio com uma temperatura de antena de 13,99 K.

Obtivemos uma estimativa para a largura do feixe do radiotelescópio de 10,4° com os dados referentes ao trânsito solar. Os parâmetros do receptor de 408 MHz foram: $112,7172 \pm 0,7445 \text{ K}$ para a temperatura de ruído do receptor; $57,85 \pm 0,22 \text{ K/V}$ para o ganho; $-0,01545 \pm 0,00027 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para a susceptibilidade térmica do ganho e $0,3800 \pm 0,0025 \text{ K/}^{\circ}\text{C}$ para a susceptibilidade térmica da temperatura de ruído do receptor. Na seqüência de etapas para alcançar o mapa em questão foram desenvolvidos procedimentos específicos para a datação dos arquivos de dados, do apontamento da antena em azimute e para a limpeza dos dados com medidas contaminadas por sinais de IRF.

O mapa apresentado neste trabalho poderá contribuir para a obtenção de informações sobre os mecanismos físicos responsáveis pela emissão da nossa Galáxia em baixas frequências de rádio. O trabalho mostrado nessa dissertação terá grande valia para o

aperfeiçoamento tanto do experimento GEM quanto das técnicas de análise de dados para a obtenção de mapas de boa qualidade do céu em baixas frequências de rádio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, C. W; Gum, C.S. Survey of galactic radio noise at 200 Mc/s. **Australian Journal Scientific Research**. v. A, n. 3, p. 224-229, 1950.
- Alvarez, H. et al. A 45 MHz continuum survey of the southern hemisphere. **Astronomy & Astrophysics Supplement Series**. v. 124, n. 2, p. 315-328, 1997.
- Beichman, C.A. The IRAS view of the Galaxy and the Solar System. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**. v. 25, n. 2, p. 521, 1987.
- Bennett, C.L. et al. Preliminary separation of Galactic and cosmic microwave emission for the COBE differential microwave radiometer. **The Astrophysical Journal Letters**. v. 396, n. 1, Part. 2, L7-L12, 1992.
- Berkhuijsen, E.M. A survey of the continuum radiation at 820 MHz between declinations -7° and $+85^\circ$. **Astronomy & Astrophysics**. v. 14, n. 3, p. 359-386, 1971.
- Cane, H.V. A 30 MHz map of the whole sky. **Australian Journal Physics**. v. 31, n. 1, p. 561-565, 1978.
- Danese, L; Partridge, R.B. Atmospheric emission models: Confrontation between observational data and prediction in the 2.5-300 GHz frequency range. **The Astrophysical Journal**. v. 342, n. 1, p. 604-615, 1989
- Dicke, R.H. The measurement of thermal radiation at the microwave frequencies. **Review Scientific Instruments**. v. 17, n. 1, p. 268, July, 1946.

- Dröge, F.; Priester, W. Distribution of Galactic radiation at 200 MHz. **Zeitschrift für Astrophysik**. v. 40, n. 2, p. 236-242, 1956.
- Evans, G.; McLeisch, C.W. **RF radiometer handbook**. Dedham, MA: Artech House, 1977.
- Haslam, C.G.T. et al. A 408 MHz all-sky continuum survey II. The atlas of Contour Maps. **Astronomy & Astrophysics Supplement Series**. v. 47, n. 1, p. 1-143, 1982.
- Jansky, C.G. Electrical disturbances apparently of extraterrestrial origin. **Proceedings of the Institute of Radio Engineers**. v. 21, n. 1, p. 1387-1398, 1933.
- Kiepenheuer, K.O. Cosmic rays as the source of the general Galactic radio emissio. **Physics Review**. v. 79, n. 6, p. 738-739, 1950.
- Kogut, A. Spatial correlation between dust and the warm ionized interstellar medium. **American Astronomical Society**. v. 187, n. 3, p. 199, 1995.
- Kraus, J.D. **Radio astronomy**. New York: McGraw-Hill, 1966.
- Landecker, T.L.; Wielebinsky, R. The Galactic metre wave radiation. A two frequency survey between declinations $+25^\circ$ and -25° and the preparation of a map of the whole sky. **Australian Journal Physics**. v. 16, n. 1, p. 1-30, 1970.
- Lu, F. **An intuitive introduction to three effects in thermoelectricity: The seebeck effect, the Peltier effect & the Thomson effect**. [online]. <<http://schottky.ucsd.edu/~felix/peltier.html>>. 9:26 AM, July,1999.
- Maeda, K et al. A 45 MHz continuum survey of the northern hemisphere. **Astronomy & Astrophysics Supplement Series**. v. 140, n. 2, p. 145-154, 1999.

Mathewson et al. A survey of the Milky Way in the southern hemisphere at 30 MHz. **Australian Journal Physics**. v. 18, n. 2, p. 665-677, 1965.

Mather, J.C. et al. A preliminary measurement of the cosmic microwave background spectrum by the Cosmic Background Explorer (COBE) satellite. **The Astrophysical Journal Letters**. v. 354, Part 2, p. L37 – L40, May 10, 1990.

Mather, J.C. et al. Measurement of the cosmic microwave background spectrum by the COBE FIRAS instrument. **The Astrophysical Journal**. v. 420, n. 2, p. 439-444, 1994.

Milogradov-Turin, J.; Smith, F.G. A survey of the radio background at 38 MHz. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. v. 161, p. 269-279, 1973.

Pauliny-Toth, I.I.K.; Shakeshaft, J.R. A survey of the background radiation at a frequency of 404 Mc/s. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. v. 124, n. 1, p. 61-77, 1962.

Reber, G. Cosmic static. **Proceedings of the Institute of Radio Engineers**. v. 28, n. 1, p. 68-70, 1940.

Reber, G. Cosmic static. **The Astrophysical Journal**. v. 100, n. 2, p. 279-287, 1944.

Reber, G. Cosmic static. **Proceedings of the Institute of Radio Engineers**. v. 36, n. 5, p. 1215-1218, 1948.

Reich, W. A radio continuum survey of the northern sky at 1420 MHz – Part I. **Astronomy & Astrophysics Supplement Series**. v. 48, n. 1, p. 219-297, 1982.

Reich, P.; Reich, W. A radio continuum survey of the northern sky at 1420 MHz – Part II. **Astronomy & Astrophysics Supplement Series**. v. 63, n. 2, p. 205-292, 1986.

Salter, C. J.; Brown, R. L. Galactic nonthermal continuum emission. In: **Galactic and extragalactic radio astronomy**, n. 2. Springer-Verlag: Berlin, 1988.

Smoot et al. Structure in the COBE Differential Microwave Radiometer first-year maps. **The Astrophysical Journal Letters**. v. 396, Part 2, n. 1, L1-L5, 1992.

Spiesman, W. J. et al. Near- and far-infrared observations of interplanetary dust bands from the COBE diffuse infrared background experiment. **The Astrophysical Journal**. v. 442, n. 2, Part 1, p. 662-667, 1995

Tello, C. **Um experimento para medir o brilho total do céu em comprimentos de onda centimétricos**. São José dos Campos. p. 42 (INPE-7036-TDI/664). Tese (Doutorado em Ciência Espacial/Radioastronomia e Física Solar) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

Tello, C. et al. Diffraction analysis of a double-shielded antenna in the Fraunhofer and Fresnel regimes: Model predictions. **Radio Science**. v. 34, n. 3, p. 575-586, 1999.

Tello, C. et al. A New Radio Continuum Survey of the Sky at 1465 MHz between declinations -52° and $+68^\circ$. In: **New Cosmological Data and the Values of the Fundamental Parameters, International Astronomical Union. Symposium**. n. 201. local: Manchester, England, August 2000a.

Tello, C. et al. Spillover and diffraction sidelobe contamination in a double-shielded experiment for mapping Galactic synchrotron emission. **Astronomy & Astrophysics Supplement Series**. v. 145, n. 2, p. 495-508, 2000b.

Tello, C. **Experimental Astrophysicist**. [online]. <<http://www.das.inpe.br/~tello>>. Julho 2000,10:15 AM.

Turtle, A.J; Baldwin, J.E. Diffuse nonthermal emission at 178 Mc/s. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. v. 124, n. 5, p. 459-470, 1962.

Yates, K.W. et al. The survey of the southern sky at 85 MHz. **Australian Journal Physics**. v. 20, n. 1, p. 595-607, 1967.

Yates, K.W. An interpretation of the distribution of metre wavelength radio emission. **Australian Journal Physics**. v. 21, n. 1, p. 167-183, 1968.

APÊNDICE A

EXEMPLO DE ARQUIVO DE SAÍDA

```

IGOR
WAVES Day Frame Elevation Signal Azimuth T1 T2 T3 T4 ??? Vsat Textn Vextn
BEGIN
25.837269 263129 54915 56720 34333 41091 40946 40868 40941 0 50958 32764 54026 32768
25.837280 263130 54914 56722 34331 41092 40944 40867 40942 0 50959 32765 54026 32767
25.837280 263131 54914 56714 34333 41092 40945 40867 40941 0 50957 32763 54025 32768
25.837280 263132 54914 56711 34332 41091 40946 40866 40940 0 50958 32765 54026 32767
25.837280 263133 54916 56713 34330 41090 40944 40868 40942 0 50958 32764 54027 32768
25.837292 263134 54913 56718 34333 41091 40947 40866 40941 0 50958 32764 54027 32768
25.837292 263135 54915 56724 34331 41092 40945 40867 40940 0 50958 32764 54027 32768
25.837292 263136 54916 56719 34332 41090 40947 40868 40940 0 50959 32764 54024 32768
25.837292 263137 54914 56714 34332 41091 40946 40866 40941 0 50958 32763 54027 32767

```

Fig. A.1 – Exemplo de um arquivo gerado das observações com o radiotelescópio GEM em Bishop (CA. – E.U.A.). Com exceção do dia e do número do “frame”, todos os demais valores aparecem em unidades digitais.

APÊNDICE B

A ESTATÍSTICA UTILIZADA

Este apêndice é reservado para mostrar o método estatístico utilizado na obtenção de parâmetros que caracterizam o receptor de potência total em 408 MHz do projeto GEM: tempo de integração, temperatura de sistema, ganho, susceptibilidades térmicas e sensibilidade.

A média ponderada para um conjunto de medidas, X_i , com seus respectivos erros, σ_i , é dada por:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^N X_i p_i}{\sum_{i=1}^N p_i}, \quad (\text{B.1})$$

em que:

X_p = média ponderada da grandeza X,

$$p_i = \frac{1}{\sigma_i^2} = \text{peso.}$$

Existem dois tipos de erros que se associam a esta estimativa. O primeiro chamado erro *interno*, que é dado pelas fórmulas de propagação das incertezas,

$$\sigma_{\text{int}} \equiv \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial X_w}{\partial X_i} \right)^2 \sigma_i^2 \right]^{1/2} = \left(\sum_{i=1}^N p_i \right)^{-1/2}, \quad (\text{B.2})$$

e o segundo chamado erro *externo*, que se refere à dispersão das medidas em torno da média ponderada:

$$\sigma_{ext} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N \chi_i^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N p_i} \right]^{1/2}. \quad (\text{B.3})$$

em que:

$$\chi_i^2 = (X_i - X_p)^2 \times p_i.$$

Para detectar erros sistemáticos utilizamos a estatística Z , dada por:

$$Z = \frac{\sigma_{ext}}{\sigma_{int}} \quad (\text{B.4})$$

e que na ausência de erros sistemáticos estes dois erros devem ser equivalentes, de tal forma que a razão possui o valor esperado de 1. Sua incerteza é:

$$\sigma_Z = \frac{1}{\sqrt{2(N-1)}}. \quad (\text{B.5})$$

Os valores das médias ponderadas e de seus erros são apresentados na ordem $X_w \pm \sigma_{ext} \pm \sigma_{int}$ neste trabalho.

APÊNDICE C

OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE UM RECEPTOR DE POTÊNCIA TOTAL

Se uma terminação à uma temperatura conhecida T_{amb} é conectada à entrada de um sistema radiométrico com uma temperatura de ruído T_R , a voltagem medida (que é proporcional à potência recebida e ao ruído eletrônico) na saída é:

$$S_{amb} = (T_R + T_{amb})G, \quad (C.1)$$

em que:

S_{amb} = voltagem da terminação operando à uma temperatura T_{amb} ;

T_R = temperatura do sistema;

G = ganho.

Do mesmo modo, uma terminação à uma temperatura T_{NL} produz uma saída:

$$S_{NL} = (T_R + T_{NL})G. \quad (C.2)$$

a razão entre as saídas:

$$Y = \frac{S_{amb}}{S_{NL}} = \frac{T_R + T_{amb}}{T_R + T_{NL}} \quad (C.3)$$

é o chamado fator Y .

Expressando a Equação (C.3) em termos de T_R :

$$T_R = \frac{T_{amb} - YT_{NL}}{Y - 1} = \frac{T_{amb}S_{NL} - T_{NL}S_{amb}}{S_{amb} - S_{NL}} \quad (C.4)$$

e substituindo a equação acima na Equação (C.1) ou na Equação (C.2) obtemos

$$G = \frac{S_{amb} - S_{NL}}{T_{amb} - T_{NL}}. \quad (C.5)$$

APÊNDICE D

COEFICIENTE DE REFLEXÃO E VSWR

O coeficiente de reflexão é definido como:

$$\Psi = \frac{V_{o(r)}}{V_{o(i)}}, \quad (\text{D.1})$$

em que:

$V_{o(r)}$ = voltagem da onda refletida;

$V_{o(i)}$ = voltagem da onda incidente;

Ψ pode também ser expresso em termos das impedâncias:

$$\Psi = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{(Z_L/Z_o) - 1}{(Z_L/Z_o) + 1}, \quad (\text{D.2})$$

em que:

Z_L = impedância da carga;

Z_o = impedância característica da linha de transmissão.

Se a diferença de fase das ondas \underline{r} e \underline{i} não é constante, em alguns pontos as ondas \underline{r} e \underline{i} estarão em fase e se somarão, resultando em uma voltagem máxima:

$$V_{\max} = V_{o(i)} + V_{o(r)}. \quad (\text{D.3})$$

Em outros pontos as ondas estarão completamente fora de fase e se anularão, resultando em uma voltagem mínima:

$$V_{\min} = V_{o(i)} - V_{o(r)}. \quad (\text{D.4})$$

A razão da voltagem máxima para a voltagem mínima é o VSWR (Voltage Standing Wave Ratio):

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_{o(i)} + V_{o(r)}}{V_{o(i)} - V_{o(r)}} = \frac{1 + V_{o(r)}/V_{o(i)}}{1 - V_{o(r)}/V_{o(i)}} = \frac{1 + \Psi}{1 - \Psi}. \quad (\text{D.5})$$

Podemos expressar em termos de Ψ :

$$\Psi = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}. \quad (\text{D.6})$$

APÊNDICE E

COMPONENTES ELETRÔNICOS

Este apêndice contém as informações técnicas a respeito dos principais componentes utilizados no receptor de 408 MHz. Essas informações são apresentadas na tabela abaixo:

Componentes	Modelo	Fabricante
Filtro de Cavidade	3CC408/28-3KK Banda Relativa: 391,692 MHz (-3,512 dB) 424,344 MHz (-3,474 dB) Perda de inserção em 408 MHz: 0,11 dB Rejeição absoluta em 440 MHz: -20 dB VSWR: 1,5 [397,61 MHz → 419,71 MHz]	Thrilitic Inc.
Acoplador Direcional	C3202-30 Acoplamento: $30,00 \pm 1,25$ dB Sensibilidade em frequência: $\pm 0,75$ dB Diretividade mínima: 22 dB Perda de inserção máxima: 0,20 dB VSWR máximo na linha primária: 1,10 VSWR “ “ secundária: 1,10	Mac Technology
Amplificador Primário	AFS3-00400100-08-10P-S-6 Faixa dinâmica: 400 MHz → 1 GHz Características em 400 MHz a 23 °C: Ganho: 41,1 dB Figura de ruído: 0,88 dB → 1,00 dB VSWR na entrada: 1,72 VSWR na saída: 1,59	Miteq

(continua)

Componentes	Modelo	Fabricante
Amplificador Secundário	<p>Faixa dinâmica: 400 MHz → 2 GHz</p> <p>Características em 400 MHz à 23 °C:</p> <p>Ganho 52 dB</p> <p>Figura de ruído: 1,55 dB → 2,50 dB</p> <p>VSWR na entrada: 2</p> <p>VSWR na saída: 1,5</p>	Miteq
Filtro Tubular	<p>3BC408/30-3-KL</p> <p>Banda relativa a 3 dB: 392,1 MHz → 423,5 MHz</p> <p>Perda de inserção em 408 MHz: 0,93 dB</p> <p>Rejeição absoluta em 288 MHz: -46,9 dB</p> <p>“ “ em 501 MHz: -51,1 dB</p> <p>VSWR: 1,5 [399,2 MHz → 417,4 MHz]</p>	Thrilitic Inc.
Diodo Detector	<p>HP33331D</p> <p>Faixa espectral: 100 kHz → 2 GHz</p> <p>Resposta em frequência: ± 0,2 dB [100 kHz→1 GHz]</p> <p>Sensibilidade: 0,5 mVμW⁻¹</p> <p>Entrada operacional máxima: 100 mW</p> <p>Ruído: < 50 μV</p> <p>Temperatura operacional: -20 °C → 85 °C</p>	Hewlett Packard

(conclusão)

APÊNDICE F

VELOCIDADES DE ROTAÇÃO DA ANTENA OBTIDAS DOS ARQUIVOS

**TABELA F.1 – ESTIMATIVA DAS VELOCIDADES DE ROTAÇÃO DA
ANTENA PARA CADA ARQUIVO**

Arquivos (ano_mes_diahhmssmsms)	Velocidade (graus/frame)	Erro	Pontos usados na calibração	Pontos corrigidos	Pontos não corrigidos
94 04 0102060783	-3,3424	0,0083	11660	2446	14054
94 04 0104400824	-3,3426	0,0067	11920	2094	14406
94 04 0107140865	-3,3419	0,0056	11020	1794	14706
94 04 0109480907	-3,3426	0,0071	6300	4567	11933
94 04 0112220948	-3,3462	0,0058	4040	5729	10771
94 04 0114560989	-3,3490	0,0048	460	2297	1667
94 04 0201214622	-3,3424	0,0044	10020	1630	14870
94 04 0202510492	-3,3442	0,0034	5480	3492	13008
94 04 0203554663	-3,3442	0,0027	4500	4735	11434
94 04 0205250533	-3,3416	0,0030	2480	7204	9296
94 04 0206294705	-3,3424	0,0025	2920	7124	9376
94 04 0207590574	-3,3428	0,0046	1710	6529	4254
94 04 0210300745	-3,3416	0,0030	2480	7204	9296
94 04 0213040787	-3,3424	0,0025	2920	7124	9376
94 04 0215380828	-3,3411	0,0043	6740	6680	9820
94 04 0218120869	-3,3413	0,0048	1060	121	1220
94 04 0218325814	-3,3458	0,0059	1150	10358	6142
94 04 0221065855	-3,3431	0,0085	2440	8368	4769
94 04 0305450445	-3,3413	0,0043	9360	1883	14617
94 04 0308190486	-3,3411	0,0037	6800	3094	13406
94 04 0310530528	-3,3456	0,0071	4480	5543	10957
94 04 0313270569	-3,3412	0,0068	3260	1358	7055
94 04 0318174990	-3,3441	0,0114	4520	3737	7213
94 04 0400501333	-3,3457	0,0107	2860	4095	5698
94 04 0405100532	-3,3449	0,0069	3380	5526	10974
94 04 0407440573	-3,3444	0,0026	3220	7890	8610
94 04 0410180614	-3,3437	0,0051	2860	9540	6960
94 04 0412520655	-3,3442	0,0059	3140	9073	7401
94 04 0415260696	-3,3443	0,0045	360	1567	1206
94 04 0416102761	-3,3538	0,0092	1040	10675	5801
94 04 0418442802	-3,3518	0,0140	3460	8268	8232
94 04 0421182843	-3,3566	0,0142	660	1297	1369
94 04 0507201180	-3,3405	0,0046	1980	10915	5585
94 04 0509541221	-3,3442	0,0037	1860	9639	6861
94 04 0510301218	-3,3437	0,0016	2660	8540	7960
94 04 0513041259	-3,3459	0,0028	2560	7943	8247
94 04 0515381300	-3,3453	0,0055	130	10998	5466

(continua)

TABELA F.1 – (conclusão)

Arquivos (ano_mes_diahhmssmsms)	Velocidade (graus/frame)	Erro	Pontos usados na calibração	Pontos corrigidos	Pontos não corrigidos
94_04_0518121341	-3,3418	0,0055	180	4996	1071
94_04_0518234254	-3,3453	0,0055	130	11031	5469
94_04_0520574295	-3,3431	0,0089	930	4395	1684
94_04_0600305194	-3,3434	0,0046	1390	9956	6043
94_04_0603053883	-3,3469	0,0042	4160	6665	9835
94_04_0650393924	-3,3480	0,0042	2020	8307	8193
94_04_0608133965	-3,3479	0,0038	1900	8577	7923
94_04_0610474006	-3,3444	0,0022	3240	8616	7871
94_04_0613214048	-3,3439	0,0110	1200	3332	2867
94_04_0614250755	-3,3420	0,0016	1780	5711	4489

APÊNDICE G

CORTES DE IRF – I

TABELA G.1 – CORTES NOS DADOS DEVIDOS À CONTAMINAÇÃO POR SINAIS ESPORÁDICOS DE IRF

Arquivos (ano_mes_diahhmmssmsms)	Intervalos de azimutes que foram excluídos
94_04_04_00501333	302275 – 302508; 305315 – 306748; 306355 – 306748; 307795 – 308348; 308435 – 309148
94_04_05_10301218	240513 – 241066; 241873 – 242986; 243633 – 243866; 246273 – 246426; 249553 – 249626; 249873 – 251386; 252113 – 252506; 253793 – 253946
94_04_06_03053883	312993 – 313946; 314266 – 316186; 316513 – 317066; 320986 – 321306; 322513 – 323386; 324913 – 325626; 326273 – 328026
94_04_06_08133965	346033 – 346906; 354113 – 354906; 359473 – 360186; 361873 – 362346
94_04_06_10474006	362513 – 362906; 364423 – 365793
94_04_06_13214048	382993 – 384906
94_04_04_05100532	17793 – 18106; 19233 – 19626; 26433 – 29226; 32673 – 32746; 32913 – 33146; 33393 – 33626
94_04_04_10180614	59873 – 62346; 66673 – 66986
94_04_04_12520655	70833 – 70906; 71393 – 71706; 73553 – 73706; 75313 – 75866; 78273 – 78666; 79473 – 80106; 80673 – 81306; 81953 – 82106; 83313 – 83626
94_04_04_15260696	SEM CORTES
94_04_03_08190486	196515 – 197068; 202595 – 202828; 207555 – 207708; 208915 – 209388; 210915 – 211308
94_04_03_18174990	259635 – 260188; 260515 – 260668; 261235 – 261628; 264115 – 264268; 264515 – 264588; 265235 – 265708; 266035 – 266188; 266515 – 266988; 267475 – 268348; 269155 – 269228
94_04_02_03554663	38515 – 43708; 46835 – 47468; 48355 – 48588
94_04_02_05250533	55075 – 56508; 58995 – 59228; 60435 – 62668; 63475 – 63628; 67555 – 67788; 68995 – 69708
94_04_02_06294705	73235 – 73308; 74595 – 75228; 78355 – 78508; 81075 – 81308; 83475 – 83708; 84675 – 84908; 86915 – 87068
94_04_02_07590574	87795 – 87868; 88915 – 89068; 89875 – 92508; 93155 – 93468; 93635 – 93708; 94755 – 94828; 95395 – 95468
94_04_05_18121341	SEM CORTES

(continua)

TABELA G.1 – (conclusão)

Arquivos (ano_mes_diahhmmssmsms)	Intervalos de azimutes que foram excluídos
94_04_04 16102761	89313 – 89786; 90993 – 91706; 94433 – 94986; 95473 – 95626; 95873 – 96026; 96273 – 97386; 101633 – 101866; 102433 – 103706
94_04_04 21182843	121553 – 122186; 122833 – 122986
94_04_05 07201180	206593 – 207306; 208993 – 210586; 213153 – 214106
94_04_05 09541221	223713 – 224266; 224673 – 224826; 228033 – 228266; 228913 – 229706; 233633 – 233946; 234913 – 235226; 235873 – 236186; 238033 – 238266; 238586 – 238826
94_04_06 14250755	385793 – 389626; 391393 – 392266; 392753 – 392986
94_04_01 02060783	1075 – 1628; 6435 – 6508; 6915 – 7148; 8355 – 8588; 9075 – 9148; 9715 – 9868; 10595 – 11308; 11635 – 11708; 13155 – 13548; 13635 – 14108
94_04_01 04400824	17155 – 18028; 20435 – 20588; 23315 – 24188; 26515 – 26748; 26915 – 27628; 28995 – 29148;
94_04_01 07140865	38195 – 38988; 39795 – 41948; 43395 – 44748; 46355 – 46508; 46835 – 47148; 48275 – 48428
94_04_01 09480907	52835 – 53148; 59635 – 60908; 64195 – 64588; 65395 – 65868
94_04_01 12220948	67555 – 67708; 71395 – 72268; 81955 – 82668
94_04_01 14560989	83155 – 83628; 84355 – 84908; 85475 – 86108

APÊNDICE H

CORTES DE IRF – II

**TABELA H.1 – CORTES NOS DADOS DEVIDOS À CONTAMINAÇÃO POR
SINAIS CONTÍNUOS DE IRF**

Arquivos (ano_mês_dia_hhmmssmsms)	Intervalos de azimutes que foram excluídos
94_04_04_00501333	137 – 142
94_04_05_10301218	215 – 320
94_04_06_03053883	70 – 79; 169 – 185; 278 – 289
94_04_06_08133965	207 – 317
94_04_06_10474006	162 – 275
94_04_06_13214048	207 – 317
94_04_04_05100532	207 – 311
94_04_04_10180614	207 – 340
94_04_04_12520655	209 – 317
94_04_04_15260696	206 – 319;
94_04_03_08190486	224 – 232; 286 – 315
94_04_03_18174990	319 – 360
94_04_02_03554663	216 – 227; 257 – 263; 267 – 279; 292 – 298
94_04_02_05250533	207 – 227; 240 – 245; 250 – 263; 265 – 280; 293 – 298;
94_04_02_06294705	207 – 227; 240 – 245; 250 – 263; 265 – 280; 293 – 298
94_04_02_07590574	207 – 232
94_04_05_18121341	SEM CORTES
94_04_04_16102761	206 – 317
94_04_04_21182843	SEM CORTES
94_04_05_07201180	208 – 322
94_04_05_09541221	208 – 217
94_04_06_14250755	211 – 315
94_04_01_02060783	SEM CORTES
94_04_01_04400824	SEM CORTES
94_04_01_07140865	230 – 237; 267 – 274
94_04_01_09480907	217 – 224; 230 – 241; 250 – 255; 264 – 281
94_04_01_12220948	207 – 226; 232 – 237; 249 – 256; 262 – 280
94_04_01_14560989	219 – 221; 266 – 278

APÊNDICE I

TEMPOS DE OBSERVAÇÃO E ROTEIRO DOS MAPAS

TABELA I.1 – TEMPOS DE OBSERVAÇÃO DOS MAPAS EM 408 MHz COM O EXPERIMENTO GEM

Inclinação da antena	Mapa Inicial	Mapa sem IRF (céu+Sol+Lua)	Mapa sem Sol nem Lua (céu+IRF)	Mapa com IRF (B-C)	Mapa com Sol e Lua (B-D)	Mapa final (só céu)	Nível de contaminação das medidas com IRF	Nível de contaminação das medidas com Sol e Lua
(A) Graus	(B) (Horas)	(C) (Horas)	(D) (Horas)	(E*) (Horas)	(F*) (Horas)	(G) (Horas)	(H) (%)	(I) (%)
20	12,43	7,34	10,05	5,09	2,38	5,83	40,95	19,15
25	7,42	4,04	6,99	3,38	0,43	3,99	45,55	5,79
30	3,91	2,82	2,70	1,09	1,21	2,11	27,87	30,94
35	8,54	5,38	7,27	3,16	1,27	4,69	37,00	14,87
40	21,16	14,32	17,76	6,84	3,40	12,78	32,32	16,06
Total	53,46	33,90	44,77	19,56	8,69	29,40	36,58	16,25

*Estes mapas são de medidas contaminadas e não dos sinais contaminantes

TABELA I.2 – ROTEIRO DOS MAPAS PREPARADOS EM 408 MHz

Inclinação da antena	Mapa Inicial	Mapa sem IRF (céu+Sol+Lua)	Mapa sem Sol nem Lua (céu+IRF)	Mapa com IRF (B-C)	Mapa com Sol e Lua (B-D)	Mapa final (só céu)
(A) Graus	(B)	(C)	(D)	(E*)	(F*)	(G)
20	Fig. 5.4	Fig. 5.5	Fig. 5.7	Fig. 5.8	Fig. 5.10	Fig. 5.11
25	Fig. 5.4	Fig. 5.5	Fig. 5.7	Fig. 5.8	Fig. 5.10	Fig. 5.11
30	Fig. 5.4	Fig. 5.6	Fig. 5.7	Fig. 5.9	Fig. 5.10	Fig. 5.12
35	Fig. 5.4	Fig. 5.6	Fig. 5.7	Fig. 5.9	Fig. 5.10	Fig. 5.12
40	Fig. 5.5	Fig. 5.6	Fig. 5.8	Fig. 5.9	Fig. 5.11	Fig. 5.12
Todos	Fig. 5.5	Fig. 5.6	Fig. 5.8	Fig. 5.9	Fig. 5.11	Fig. 5.13