

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA

---

**Caracterização das Estruturas Espirais em  
Galáxias Discoidais Grand Design \***

Antonio José Farias Nóbrega

---

Tese realizada sob orientação do Professor Dr.  
Horacio Alberto Dottori e apresentada ao Ins-  
tituto de Física da UFRGS em preenchimento  
parcial dos requisitos para a obtenção do tí-  
tulo de Doutor em Ciências.

Porto Alegre

Novembro, 2007

---

\*Trabalho parcialmente financiado pela Universidade Comunitária Regional de Chapecó (UNO-CHAPECÓ/Santa Catarina)

# Resumo

Neste trabalho analisamos imagens nas cores  $g$  (ou  $r$ ) e  $i$  de 18 galáxias *grand design*, obtidas com telescópios no Monte Palomar, USA e nas ilhas Canárias, Espanha. As bandas espectrais das imagens das galáxias foram escolhidas porque na banda  $i$  se destaca o padrão espiral ou perturbação original do disco, enquanto que a banda  $g$  está dominada pela emissão dos aglomerados ionizantes e as estrelas jovens, formados pela ação do padrão perturbador.

Caracterizamos as estruturas espirais através de métodos objetivos com fundamentação matemática. O primeiro é o de transformada de Fourier bi-dimensional com uma base de espirais logarítmicas, o segundo o método de simetrização de Elmegreen, Elmegreen e Montenegro (1992) (doravante EEM92) e finalmente a transformada de Fourier unidimensional de perfis azimutais dos braços espirais. A posição da ressonância de corotação é determinada, entre outras propriedades. Optamos preferencialmente por galáxias vistas de frente (*face-on*) ou com pequeno ângulo de inclinação em relação ao plano do céu para minimizar o efeito da deprojeção e porque a metodologia não contempla o uso de dados cinemáticos. Além da posição da ressonância de corotação, as transformadas de Fourier bi-dimensionais e o método de simetrização EEM92 fornecem outras informações, tais como a presença de diversos padrões, a extensão e importância relativa dos mesmos, etc. Por serem as galáxias da amostra vistas de frente, praticamente não existem curvas de rotação para as mesmas. Esta é uma tarefa de extrema dificuldade, que deveria ser atacada para aquelas galáxias que apresentam alguma possibilidade de serem estudadas cinematicamente.

Devido ao grande número de figuras necessárias à análise de cada galáxia, apresentamos as figuras impressas somente para cinco casos que consideramos paradigmáticos. As outras treze galáxias são apresentadas como apêndice no CD em anexo.

# Abstract

In this work we analyze  $g$  and  $i$  images of 18 grand design galaxies, obtained with telescopes in Monte Palomar, at the USA and at the Canary islands, Spain. These photometric bands were chosen because the  $i$  band dettachs the spiral pattern density wave or original disk perturbation, while the  $g$  band is dominated by the emission of the ionizing clusters and young stars, formed by the action of this perturbation on the molecular clouds.

We characterized the spiral structures through objective mathematical methods. The first one is that of bi-dimensional Fourier transform with a base of logarithmic spirals, the second one is the method of simetrization of Elmegreen, Elmegreen and Montenegro (1992, from now on EEM92) and finally, the third one is that of one-dimensional Fourier transform of the spiral arms azimuthal profiles. We preferentially treated face-on galaxies or galaxies with small inclination angle in relation to the plan of the sky to minimize the effect of deprojection and because the methodology does not use kinematic data. Besides the position of the corotation resonance, we can discriminate the presence of several spiral patterns, when present, the intensity, extension and relative importance of these patterns. There are no rotation curves for the galaxies of the sample. It would be be an important contribution to determine rotation curves for the galaxies that present some inclination.

Due to the large number of illustrations for each galaxy, we illustrate five paradigmatic cases, and the other thirteen galaxies are shown as appendices in an attached CD.

# Agradecimentos

Há muitas pessoas que estão em meu pensamento e em meu coração que de uma forma ou de outro colobararam conosco nessa caminhada. Apesar de muitas delas não estarem aqui mencionadas, elas continuarão fazendo parte do resto de nossa caminhada...

- Em primeiro lugar, ao Dr. Horacio A. Dottori pela sua orientação, incentivos, paciência e dedicação ao longo desses anos. Muito lhe agradecemos.
- A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Fundação Universidade do Desenvolvimento do Oeste de Santa Catarina, em nome de seus dirigentes, para a realização deste trabalho. A Coordenadora Márcia Barbosa do IF pelo seu especial apoio.
- Aos Drs. Reinaldo Ramos de Carvalho e Rubén Diaz pela aquisição de imagens que tornaram possível a realização deste trabalho. Ao Drs. Ivanio Puerari e Nelson Vera-Villamizar na utilização dos códigos usados neste trabalho. Ao Dr. Nelson, em especial, pela suas contribuições relevantes e sugestões a este trabalho.
- Aos professores, colaboradores, ex-colaboradores e colegas do Departamento de Astronomia, pela importante troca de informações e amizade nestes anos, e que de alguma forma nos apoiaram nessa jornada: Ângelo Fausti, Antonio Endler, Basilio Santiago, Charles Bonatto, Eduardo Bica, Eduardo Lutz, Fatima Saraiva, Fausto Kuhn, Irapuan Rodrigues, José Eduardo Costa, Kepler Oliveira, Mauro Rickes, Miriani Pastoriza, Rogemar Riffel e Rogério Riffel.
- Aos colegas e amigos da Unochapecó que, por várias vezes, ao longo desses anos, se esforçaram e nos apoiaram de diferentes formas: Alex Murillo, Claudio Jacoski, Neila Rupolo, Paulo Innocente, Plínio Seidler e Radamés Pereira.
- A minha esposa Lourdes, e aos meus filhos Igor, Heloiza, Alice e Bárbara. Com certeza, o amor e paciência de cada um deles, tornou possível a realização deste trabalho. Aos meus irmãos David, Débora e Thiago. A minha sogra Benta. Os amarei sempre.
- Em memória eterna dos entes queridos: Natanael Nóbrega, Longino Prim, Antonio P. Farias e Débora Nóbrega.

# Sumário

<b>Sumário</b> . . . . .	<b>iv</b>
<b>Lista de Figuras</b> . . . . .	<b>vi</b>
<b>Apêndice A Scripts</b> . . . . .	<b>1</b>
A.1 Alinhamento de imagens de NGC7479 . . . . .	1
A.2 Obtendo as imagens nos filtros <i>g</i> e <i>i</i> para IC0167 . . . . .	2
A.3 Criando estrutura de diretorios para NGC0622 . . . . .	4
A.4 Escrevendo dimensão das imagens em seus arquivos textos: cata.sh . . . . .	6
A.5 Script utilizado nas rotações EEM92 para galáxia NGC1073 . . . . .	7
<b>Apêndice B Análise das 13 Galáxias Adicionais da Amostra</b> . . . . .	<b>11</b>
B.1 Análise IC0167 . . . . .	12
B.2 Análise IC0267 . . . . .	12
B.3 Análise thesis-n0019 . . . . .	12
B.4 Análise thesis-n0036 . . . . .	12
B.5 Análise thesis-n0047 . . . . .	12
B.6 Análise thesis-n0060 . . . . .	12
B.7 Análise thesis-n0070 . . . . .	12
B.8 Análise thesis-n0753 . . . . .	12
B.9 Análise thesis-n0772 . . . . .	12
B.10 Análise thesis-n1073 . . . . .	12
B.11 Análise thesis-n2336 . . . . .	12
B.12 Análise thesis-n6951 . . . . .	12
B.13 Análise thesis-n7741 . . . . .	12
<b>Apêndice C Análise de IC 0167</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>Apêndice D Análise de IC 0267</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>Apêndice E Análise de NGC0019</b> . . . . .	<b>33</b>

Apêndice F Análise de NGC0036 . . . . .	43
Apêndice G Análise de NGC0047 . . . . .	53
Apêndice H Análise de NGC0060 . . . . .	63
Apêndice I Análise de NGC0070 . . . . .	74
Apêndice J Análise de NGC0753 . . . . .	85
Apêndice K Análise de NGC0772 . . . . .	95
Apêndice L Análise de NGC1073 . . . . .	106
Apêndice M Análise de NGC2336 . . . . .	116
Apêndice N Análise de NGC6951 . . . . .	126
Apêndice O Análise de NGC7741 . . . . .	137

# Lista de Figuras

C.1	Imagem IC0167 extraída do NED no comprimento de onda 4050Å. . . . .	13
C.2	IC0167 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . .	16
C.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ e $i$ de IC0167, obtidos segundo o processo descrito no capítulo 2. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	17
C.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	17
C.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	18
C.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	19
C.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio.	20
C.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	20
C.9	[ <b>Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)</b> ]. Os gráficos correspondem a componente $m = 2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti- transformada. . . . .	21
C.10	Os círculos indicam as posições das ressonâncias de corotação da componente $m = 2$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	22
D.1	Imagem IC0267 extraída do NED na banda I e $\lambda = 6450\text{Å}$ . . . . .	23
D.2	IC0267 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . .	26
D.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ e $i$ de IC0267, obtidos segundo o processo descrito no capítulo 2. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	27
D.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	27
D.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	28
D.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	29
D.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio.	30
D.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	30

D.9	[ <b>Diferenças de Fase (<i>graus</i>) × Raio (<i>kpc</i>)</b> ]. Os gráficos correspondem a componente $m = 2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	31
D.10	Os círculos indicam as posições das ressonâncias de corrotação da componente $m = 2$ . . . . .	32
E.1	Imagem extraída do NED, na banda H e $\lambda = 1.65 \mu m$ . . . . .	33
E.2	NGC0019 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	36
E.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ e $i$ de NGC0019, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	37
E.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	37
E.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	38
E.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	39
E.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	40
E.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	40
E.9	[ <b>Diferenças de Fase (<i>graus</i>) × Raio (<i>kpc</i>)</b> ]. Os gráficos correspondem a componente $m = 2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	41
E.10	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente $m = 2$ . . . . .	42
F.1	Imagem NGC0036 extraído do NED, na banda H, $1.6 \mu m$ . . . . .	43
F.2	NGC0036 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	46
F.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ (a) e $i$ de NGC0036, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	47
F.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	47
F.5	Espirais Sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes $m = 1, 2, 3$ . . . . .	48
F.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	49
F.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	50
F.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	50
F.9	[ <b>Diferenças de Fase (<i>graus</i>) × Raio (<i>kpc</i>)</b> ]. Os gráficos correspondem as componentes $m = 1$ e $m = 2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	51
F.10	Os círculos indicam as posições das CR para as componentes $m = 1$ na posição $\sim 5.3 \pm 0.7 kpc$ na fig. ao topo e, $m = 2$ , em $\sim 11.1 \pm 0.7 kpc$ e $21.6 \pm 1.6 kpc$ na fig. abaixo. As imagens são na cor $g$ . . . . .	52

G.1	Imagem obtida de CADC's Digitized Sky Survey Interface, no filtro B. . . .	53
G.2	NGC0047 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.	56
G.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ e $i$ de NGC0047, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	57
G.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	57
G.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	58
G.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	59
G.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio.	60
G.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	60
G.9	[ <b>Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)</b> ]. Os gráficos correspondem a componente $m = 2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	61
G.10	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação para a componente $m = 2$ . As imagens são na banda $g$ . . . . .	62
H.1	Imagem extraída do CADC's Digitized Sky Survey Interface, no filtro B. . .	63
H.2	NGC0060 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.	66
H.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ (a) e $i$ de NGC0060, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	67
H.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	67
H.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	68
H.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	69
H.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio.	70
H.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	70
H.9	[ <b>Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)</b> ]. Os gráficos correspondem às imagens originais, método EEM92 e antitransformada, relativo às componentes $m = 1, 2$ . . . . .	71
H.10	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação para a componente $m = 1$ . . . . .	72
H.11	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação para a componente $m = 2$ . . . . .	73
I.1	Imagem NGC0070 extraído do NED, $\lambda = 6400\text{\AA}$ . . . . .	74
I.2	NGC0070 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.	77

I.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ (a) e $i$ de NGC0070, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	78
I.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	78
I.5	Espirais Sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	79
I.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	80
I.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	81
I.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	81
I.9	<b>[Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)]</b> . Os gráficos correspondem as componentes $m = 1$ e $m = 2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	82
I.10	O círculo indica a posição do raio da CR para a componente $m = 1$ em $\sim 9.7 \pm 0.7 kpc$ . Imagens (a) e (b) originais, (c) anti-transformada e (d) elmegreen. As imagens são na cor $g$ . . . . .	83
I.11	O círculo indica a posição do raio da CR para a componente $m = 2$ em $\sim 12.6 \pm 1.3 kpc$ . Imagens (a) e (b) originais, (c) anti-transformada e (d) elmegreen. As imagens são na cor $g$ . . . . .	84
J.1	Imagem NGC0753 extraída do NED, e $\lambda = 4050\text{\AA}$ . . . . .	85
J.2	NGC0753 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	88
J.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ e $i$ de NGC0753, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	89
J.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	89
J.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	90
J.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	91
J.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	92
J.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	92
J.9	<b>[Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)]</b> . Os gráficos correspondem às componentes $m = 1$ e $2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada. . . . .	93
J.10	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente $m = 2$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	94
K.1	Imagem NGC0772 extraído do NED, $\lambda = 4050\text{\AA}$ . . . . .	95
K.2	NGC0772 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	98

K.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ (a) e $i$ de NGC0772, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	99
K.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	99
K.5	Espirais Sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	100
K.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	101
K.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	102
K.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	102
K.9	<b>[Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)]</b> . Os gráficos correspondem as componentes $m = 1$ e $m = 2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	103
K.10	O círculo indica a posição da ressonância de corotação da componente $m = 1$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	104
K.11	O círculo indica a posição da ressonância de corotação da componente $m = 1$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	105
L.1	Imagem NGC1073 extraída do NED, na banda 103aO, $\lambda = 4050\text{Å}$ . . . . .	106
L.2	NGC1073 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	108
L.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ (a) e $i$ de NGC1073, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	109
L.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	109
L.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	110
L.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	111
L.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	112
L.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	112
L.9	<b>[Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)]</b> . Os gráficos correspondem as componentes $m = 1$ e 3 relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	113
L.10	O círculo indica a posição da provável CR para a componente 1 em $\sim 3.1 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	114
L.11	O círculo indica a posição da CR para a componente 3 em $\sim 7.0 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	115
M.1	Imagem NGC2336 extraída do NED, e $\lambda = 4050\text{Å}$ . . . . .	116
M.2	NGC2336 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	119

M.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ e $i$ de NGC2336, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	120
M.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	120
M.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	121
M.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	122
M.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	123
M.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	123
M.9	<b>[Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)]</b> . Os gráficos correspondem às componentes $m = 1$ e $2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada. . . . .	124
M.10	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente $m = 2$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	125
N.1	Imagem NGC6951 extraída do NED, na banda I e $\lambda = 8250\text{\AA}$ . . . . .	126
N.2	NGC6951 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	129
N.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ e $i$ de NGC6951, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	130
N.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	130
N.5	Espirais sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	131
N.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	132
N.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	133
N.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	133
N.9	<b>[Diferenças de Fase (<i>graus</i>) <math>\times</math> Raio (<i>kpc</i>)]</b> . Os gráficos correspondem às componentes $m = 1$ e $2$ relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada. No método <i>elmegreen</i> , não se obteve diferença de fase no intervalo visual da imagem. . . . .	134
N.10	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente $m = 1$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	135
N.11	O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente $m = 2$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	136
O.1	Imagem NGC7741 extraída do NED, na banda 103aO, $\lambda = 4050\text{\AA}$ . . . . .	137
O.2	NGC7741 nas bandas $g$ e $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio. . . . .	140

O.3	Coeficientes $A(p, m)$ da transformada bidimensional de Fourier na imagem $g$ (a) e $i$ de NGC7741, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável $p$ está relacionada com o <i>pitch angle</i> $\alpha$ por $p = -m/\tan \alpha$ . . . . .	141
O.4	Funções de densidade radial nas bandas $g$ e $i$ . . . . .	141
O.5	Espirais Sintéticas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes $m = 1, 2, 3$ . . . . .	142
O.6	Imagens simetrizadas nas bandas $g$ e $i$ , e componentes (1), (2) e (3). . . . .	143
O.7	Imagens retificadas $g$ e $i$ das componentes originais, subtraído o disco médio. . . . .	144
O.8	Imagens retificadas $g$ e $i$ para a componente 2 do método EEM92. . . . .	144
O.9	[ <b>Diferenças de Fase (graus) <math>\times</math> Raio (kpc)</b> ]. Os gráficos correspondem as componentes $m = 2$ e $3$ relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada. . . . .	145
O.10	O círculo indica a posição da CR para a componente 2 em $\sim 2.8 \pm 0.5 kpc$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	146
O.11	O círculo indica a posição da CR para a componente 3 em $\sim 2.9 \pm 0.5 kpc$ . As imagens são na cor $g$ . . . . .	147

# Apêndice A

## Scripts

Neste trabalho, utilizou-se vários códigos para execução dos processos de análise das galáxias, além disso, diversos scripts foram escritos no IRAF e rotinas criadas para execução no shell, tendo em vista a repetição de tarefas comuns para todas as galáxias, salvo as suas peculiaridades. Apresentam-se alguns exemplos destes scripts e rotinas.

### A.1 Alinhamento de imagens de NGC7479

O objetivo deste arquivo é alinhar (deslocar) as imagens da galaxia ngc7479 nas duas cores. Para execução no IRAF deste script foram criados scripts auxiliares (box.cl) e (tab).

```
# Agora tomamos as coordenadas de quatro estrelas da galaxia ngc7479
# nas cor g. Para se obter as coordenadas, foi usado o script
# box.cl :
```

```
# 167.497 574.687
# 246.936 394.349
# 290.015 118.264
# 437.640 480.299
```

```
# O arquivo tab contem as coordenadas de quatro estrelas fixas: as
# duas primeiras colunas referem-se as coordenadas das estrelas na
# cor g, e as ultimas duas colunas as coordenadas das respectivas
# estrelas na cor i.
```

```
geomap tab db 1 700 1 700 interac = no
```

```
geotran ngc7479_g1 n7479g1 db tab  
del db
```

```
geomap tab db 1 700 1 700 interac = no  
geotran ngc7479_g2 n7479g2 db tab  
del db
```

```
geomap tab db 1 700 1 700 interac = no  
geotran ngc7479_g3 n7479g3 db tab  
del db
```

```
geomap tab db 1 700 1 700 interac = no  
geotran ngc7479_g4 n7479g4 db tab  
del db
```

O arquivo box.cl citado é descrito como:

```
# Localizando o centro de quatro estrelas:
```

```
imcntr ngc7479_g1 233 838 cboxsiz=25  
imcntr ngc7479_g2 357 573 cboxsiz=25  
imcntr ngc7479_g3 434 165 cboxsiz=25  
imcntr ngc7479_g4 639 710 cboxsiz=25
```

```
# Todas as demais imagens ngc7479_g* estao centralizadas com ngc7479_g1.fits.
```

E o arquivo tab é descrito pelo conjunto de coordenadas:

```
167.497 574.687 232.504 839.501  
246.936 394.349 357.553 573.804  
290.015 118.264 433.294 164.840  
437.640 480.299 638.558 709.748
```

## A.2 Obtendo as imagens nos filtros *g* e *i* para IC0167

O script seguinte combina imagens e as converte em arquivos texto.

```
# As imagens sao todas quadradas e estao centralizadas nos frames,
# alem de limpas e deprojetadas. As varias combinacoes se devem
# ao calculo do ruido :

flpr
task $rm $mkdir = "$foreign"

# Removendo arquivos antes gerados por este script :
imdel IC0167G*.fits,IC0167I*.fits
del IC0167G*.dat,IC0167I*.dat

# Combinando as imagens :
# Filtro G

imcombine ic0167g1,ic0167g2,ic0167g3,ic0167g4 IC0167G combine=median
  reject=avsigclip lsigma=3 hsigma=3
flpr
imcombine ic0167g1,ic0167g2 IC0167G12 combine=median
  reject=avsigclip lsigma=3 hsigma=3
flpr
imcombine ic0167g3,ic0167g4 IC0167G34 combine=median
  reject=avsigclip lsigma=3 hsigma=3
flpr

# Filtro I
imcombine ic0167i1,ic0167i2,ic0167i3,ic0167i4 IC0167I combine=median
  reject=avsigclip lsigma=3 hsigma=3
flpr
imcombine ic0167i1,ic0167i2 IC0167I12 combine=median
  reject=avsigclip lsigma=3 hsigma=3
flpr
imcombine ic0167i3,ic0167i4 IC0167I34 combine=median
  reject=avsigclip lsigma=3 hsigma=3
flpr

# Convertendo as imagens em arquivos texto :
```

```
# Filtro G
wtext IC0167G IC0167G.dat header=no pixels=yes maxline=15
flpr
wtext IC0167G12 IC0167G12.dat header=no pixels=yes maxline=15
flpr
wtext IC0167G34 IC0167G34.dat header=no pixels=yes maxline=15
flpr

# Filtro I
wtext IC0167I IC0167I.dat header=no pixels=yes maxline=15
flpr
wtext IC0167I12 IC0167I12.dat header=no pixels=yes maxline=15
flpr
wtext IC0167I34 IC0167I34.dat header=no pixels=yes maxline=15
flpr

# Verifica o tamanho das imagens de saida :
!wc -l *.dat
```

### A.3 Criando estrutura de diretorios para NGC0622

O script seguinte cria diretorios/sub-diretorios da galaxia n0622

```
# Eh extremamente conveniente executar este script uma unica vez.
flpr
task $mkdir = "$foreign"

# Criando diretorios ELM
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/ELM

# Criando diretorios ORG
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/ORG/G/FT_DADOS/NEW_SPI
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/ORG/I/FT_DADOS/NEW_SPI

# Criando diretorios PD
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/PD/ELM/{M1/filter,M2/filter,M3/filter}
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/PD/ORG/{M1/filter,M2/filter,M3/filter}
```

```
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/PD/SPI/{M1/filter,M2/filter,M3/filter}

# Criando diretorios NOISE

# Criando diretorios NOISE/ELM
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ELM/G/PD/{m1/filter,m2/filter,m3/filter}
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ELM/I/PD/{m1/filter,m2/filter,m3/filter}

# Criando diretorios NOISE/ORG
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ORG/G/FT_DADOS
    /{noise_12/NEW_SPI,noise_34/NEW_SPI}
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ORG/G/PD/{m1/filter,m2/filter,m3/filter}
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ORG/I/FT_DADOS
    /{noise_12/NEW_SPI,noise_34/NEW_SPI}
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ORG/I/PD/{m1/filter,m2/filter,m3/filter}

# Criando diretorios NOISE/SPI
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/SPI/G/PD/{m1/filter,m2/filter,m3/filter}
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/SPI/I/PD/{m1/filter,m2/filter,m3/filter}

# Criando diretorio PS_GIF
mkdir -p ~/IMAGES/ANA/n0622/PS_GIF

# Copiando os arquivos aqui gerados para os seguintes diretorios :

# Analise sem ruído:
cp N0622G.fits N0622G.dat ~/IMAGES/ANA/n0622/ORG/G
cp N0622I.fits N0622I.dat ~/IMAGES/ANA/n0622/ORG/I
cp N0622G.fits N0622I.fits ~/IMAGES/ANA/n0622/ELM

# Analise com ruído:
cp N0622G12.dat N0622G34.dat ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ORG/G
cp N0622I12.dat N0622I34.dat ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ORG/I
cp N0622G12.fits N0622G34.fits ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ELM/G
cp N0622I12.fits N0622I34.fits ~/IMAGES/ANA/n0622/NOISE/ELM/I

# Não esquecer de dimensionar as imagens *.dat em cada primeira linha.
```

## A.4 Escrevendo dimensão das imagens em seus arquivos textos: cata.sh

Inserese em todas as 1as. linhas de arquivos (textos) das galáxias (extensão .dat) a dimensão da galáxia. Os códigos exigem que se escreva essa dimensão, por exemplo,  $500 \times 500$  pixels. Há ainda o arquivo texto (dim) de uma unica linha que informa essa dimensão, necessario durante a execucao deste script (exemplo: 500 500).

```
#!/bin/bash
# cata.sh
# Insere em todas as 1as. linhas de *.dat a dimensao (arquivo dim) da galaxia.

# ATENCAO: E' prioritario escrever a dimensao correta da galaxia atual
# no arquivo "dim" no diretorio ~/IMAGES. Exemplo: 500 500

wc -l *.dat      # exibe numero de linhas atual
cp ~/IMAGES/dim . # copia arquivo para diretorio das imagens .dat

# Inserindo a dimensao da imagem :
OPERATION=cat
SUFFIX=tmp

if [ -n "$1" ]
then
    directory=$1      # If directory name given as a script argument...
else
    directory=$PWD    # Otherwise use current working directory.
fi

for file in $directory/*.dat
do
    filename=${file}
    $OPERATION dim $file > "$filename.$SUFFIX"
    # Redirect conversion to new filename.
    rm -f $file      # Delete original files after converting
    # Nao usar "rm" por causa da renomeacao abaixo
done

# Renomeando *.dat.tmp para *.dat :
```

```

for old in $directory/*.dat.tmp;
do
    new=${old/.dat.tmp/.dat}
    mv $old $new
done

rm -r dim      # remove arquivo dim
echo
wc -l *.dat    # exibe novo numero de linhas
read trash    # pause
echo ":: Mostrando conteudo da 1a. linha ::"
echo
head -n 1 *.dat    # mostra em cada 1a. linha a dimensao da imagem
echo

exit 0

```

## A.5 Script utilizado nas rotações EEM92 para galáxia NGC1073

Este programa é executado no IRAF (elm-g.cl):

```

# Programas Elmegreen para as componentes m=1,2,3. Para cada componente
# ha 3 filtros (em geral). Executar este script por filtro individual.
# S2 tem importancia maior que S1 e S3.

# Parametros:  t   = angulo theta qualquer
#              T   = indica truncamento (pixeis negativos tornados nulos)
# A imagem tem o perfil radial subtraido e eh para determinado filtro.

flpr;gflush

# A2 = [I(r,t) - I(r,t+180)]T
# Imagem assimetrica pura (A1+A3) (elm_a2) ->

del N1073Ga2*
rotate N1073G.fits lixo1.fits 180. ; flpr          # I(r,t+180)
imarith N1073G.fits - lixo1.fits N1073Ga2.fits ; flpr          # I(r,t) - I(r,t+180)
imreplace N1073Ga2.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr    # A2
del lixo*

```

```

wtext N1073Ga2.fits N1073Ga2.dat header=no pixels=yes maxline=15 ; flpr

# S1 = [I(r,t) - I(r,t+180)]T -
# {[I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t+120)]T}T + {I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t-120)]T}T}
# Imagem simetrica 1 (S1=A2-S3) (elm1) ->

del N1073Ge1*
rotate N1073G.fits lixo1.fits 120. ; flpr          # I(r,t+120)
imarith N1073G.fits - lixo1.fits lixo2.fits ; flpr      # I(r,t) - I(r,t+120)
imreplace lixo2.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
# [I(r,t) - I(r,t+120)]T
imarith N1073G.fits - lixo2.fits lixo3.fits ; flpr
# I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t+120)]T
imreplace lixo3.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
# x1={I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t+120)]T}T
rotate N1073G.fits lixo4.fits -120. ; flpr          # I(r,t-120)
imarith N1073G.fits - lixo4.fits lixo5.fits ; flpr
# I(r,t) - I(r,t-120)
imreplace lixo5.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
# [I(r,t) - I(r,t-120)]T
imarith N1073G.fits - lixo5.fits lixo6.fits ; flpr
# I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t-120)]T
imreplace lixo6.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
# x2={I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t-120)]T}T
imarith lixo3.fits + lixo6.fits lixo7.fits ; flpr      # x3=x1+x2
rotate N1073G.fits lixo8.fits 180. ; flpr          # I(r,t+180)
imarith N1073G.fits - lixo8.fits lixo9.fits ; flpr      # I - I(r,t+180)
imreplace lixo9.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
# x4=[I - I(r,t+180)]T
imarith lixo9.fits - lixo7.fits N1073Ge1.fits ; flpr      # x4-x3
imreplace N1073Ge1.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr # S1=[x4-x3]T
del lixo*
wtext N1073Ge1.fits N1073Ge1.dat header=no pixels=yes maxline=15 ; flpr

# S2 = {I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t+180)]T}T
# Imagem simetrica pura (S2=I-A2) (elm2) ->

del N1073Ge2*

```

```

rotate N1073G.fits lixo1.fits 180. ; flpr          # I(r,t+180)
imarith N1073G.fits - lixo1.fits lixo2.fits ; flpr      # I(r,t) - I(r,t+180)
imreplace lixo2.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
  # [I(r,t) - I(r,t+180)]T
imarith N1073G.fits - lixo2.fits N1073Ge2.fits ; flpr
  # I(r,t) - [I(r,t) - I(r,t+180)]T
imreplace N1073Ge2.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr  # S2
del lixo*
wtext N1073Ge2.fits N1073Ge2.dat header=no pixels=yes maxline=15 ; flpr

# S3 = {2I(r,t) - {[I(r,t) - I(r,t+120)]T + [I(r,t) - I(r,t-120)]T}}T
# A3 = {[I(r,t) - I(r,t+120)]T + [I(r,t) - I(r,t-120)]T}
# Imagem simetrica 3 (S3=2I-A3) (elm3) ->

del N1073Ge3*          # removem imagens antes geradas por este script
rotate N1073G.fits lixo1.fits 120. ; flpr          # I(r,t+120)
imarith N1073G.fits - lixo1.fits lixo2.fits ; flpr
  # I(r,t) - I(r,t+120)
imreplace lixo2.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
  # x1=[I(r,t) - I(r,t+120)]T
rotate N1073G.fits lixo3.fits -120. ; flpr        # I(r,t-120)
imarith N1073G.fits - lixo3.fits lixo4.fits ; flpr
  # I(r,t) - I(r,t-120)
imreplace lixo4.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr
  # x2=[I(r,t) - I(r,t-120)]T
imarith lixo2.fits + lixo4.fits lixo5.fits ; flpr   # x=x1+x2 (ou A3)
imarith N1073G.fits * 2. lixo6.fits ; flpr        # y=2I(r,t)
imarith lixo6.fits - lixo5.fits N1073Ge3.fits ; flpr   # y-x
imreplace N1073Ge3.fits value=0. lower=INDEF upper=0. ; flpr  # S3=[y-x]T
del lixo*
wtext N1073Ge3.fits N1073Ge3.dat header=no pixels=yes maxline=15 ; flpr

!wc -l N1073G*.dat # verifica tamanho das imagens texto (500x500 pixels2)

# Copiando as imagens *.dat :
cp N1073Ge1.dat N1073Ge2.dat N1073Ge3.dat ~/IMAGES/ANA/n1073/PD/ELM

```

```
# Exibindo as imagens no terminal grafico :  
disp N1073Ga2 1 ; gflush  
disp N1073Ge1 2 ; gflush  
disp N1073Ge2 3 ; gflush  
disp N1073Ge3 4 ; gflush
```

23 rotinas foram escritas e executadas no shell, enquanto dezenas de outras foram executadas no IRAF no tratamento das galáxias.

## Apêndice B

# Análise das 13 Galáxias Adicionais da Amostra

As treze galáxias estão apresentadas no arquivo *thesis-main-13galaxias.pdf*. Similarmente, o arquivo da parte principal da tese denomina-se *thesis-main.pdf*; e ambos estão contidos no CD em anexo.

- B.1 Análise IC0167**
- B.2 Análise IC0267**
- B.3 Análise thesis-n0019**
- B.4 Análise thesis-n0036**
- B.5 Análise thesis-n0047**
- B.6 Análise thesis-n0060**
- B.7 Análise thesis-n0070**
- B.8 Análise thesis-n0753**
- B.9 Análise thesis-n0772**
- B.10 Análise thesis-n1073**
- B.11 Análise thesis-n2336**
- B.12 Análise thesis-n6951**
- B.13 Análise thesis-n7741**

## Apêndice C

# Análise de IC 0167

As imagens desta galáxia, *fig. C.2*, revelam uma estrutura de dois braços, com uma pequena barra central, só perceptível quando se subtrai o disco médio. Os braços nascem desta pequena barra. Observam-se condensações intensas, provavelmente regiões de formação estelar intensa, ao longo dos braços.

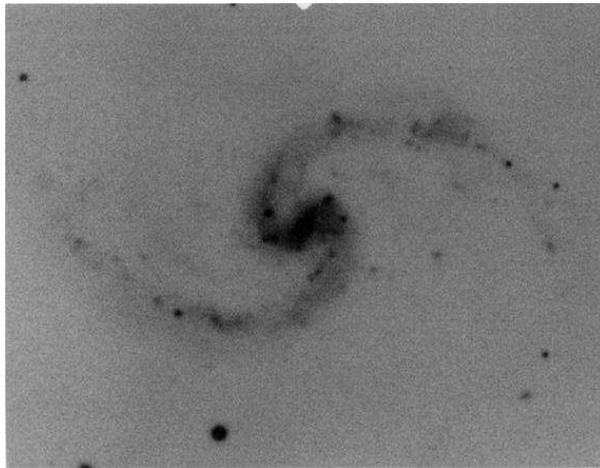


Figura C.1: Imagem IC0167 extraída do NED no comprimento de onda 4050Å.

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.765 \text{ kpc}$  e  $18.7 \text{ kpc}$ . O diagrama de fases (*fig. C.3*) apresenta dois picos na componente  $m = 2$ , os quais mostram contrapartida no diagrama de densidade radial (*fig. C.4*). Com efeito, a componente  $m = 2$  tem um *gap* em  $R = 3.5 \text{ kpc}$  na distribuição radial de densidades. A componente  $m = 1$  se destaca nesta região, em aparente contradição com o histograma de frequências (*fig. C.3*), onde o pico desta componente aparece com amplitude baixa.

O diagrama  $\log(R) \text{ vs } \theta$  (*fig. C.7*) não mostra uma distribuição de luz logarítmica pura. Esta pode ser interpretada como apresentando uma quebra na estrutura dos braços em aproximadamente  $R = 2 \text{ kpc}$  e  $R = 10 \text{ kpc}$ . Esta característica dos braços pode se ver

claramente na imagem  $m = 2$  antitransformada (*fig. C.5*) tanto como naquela derivada da simetrização EEM92 (*fig. C.6*).

A diferença de fase para a componente  $m = 2$  (*fig. C.9*) mostra duas ressonâncias, uma a aproximadamente  $3.0 \pm 0.5 \text{ kpc}$  e outra a aproximadamente  $8.3 \pm 0.5 \text{ kpc}$ , e ambas têm caráter distinto. A ressonância da estrutura maior se interpreta como a *trailing*, enquanto a mais interna deve ser *leading*. Isto indica que a pequena estrutura vista nitidamente na imagem simetrizada  $m = 2$  (*fig. C.6*) deve ser uma estrutura transiente. Este fenômeno transiente lembra ao cenário de barra dentro de barra (Heller, C H, Shlosman, I e Athanassoula, E 2007, ApJ 657, 65), no qual as barras internas acoplam-se por curtos períodos de tempo à barra em grande escala. Um fenômeno semelhante foi descrito por Diaz et al. na galáxia NGC 1241. Em geral, a velocidade angular destas barras nucleares é muito grande (da ordem de *centenas de km/s/kpc*) quando comparada às das perturbações em escalas de discos galácticos (da ordem de *dezenas de km/s/kpc*).

As imagens da *fig. C.10* mostram o círculo de corotação da componente  $m = 2$  para as imagens *original*, *perfil*, *antitransformada* e *elmegreen*.

Pela observação das curvas para a componente  $m = 2$  nos diagramas das funções de densidade radial (*fig. C.4*), depreendem-se duas extensões relevantes (internas e externas) para essa componente, como se vê um *gap* a  $\sim 4 \text{ kpc}$  que limita essas extensões, em contrapartida há também para esta galáxia duas ressonâncias de corotação. Portanto, os raios internos são  $R_1(a) \simeq 1 \text{ kpc}$  e  $R_1(b) \simeq 3.5 \text{ kpc}$  e os externos  $R_2(a) \simeq 4 \text{ kpc}$  e  $R_2(b) \simeq 12 \text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com as CR.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	5.8	3.4	2.1	3.0
2	23.2	13.6	7.2	8.3

Tabela C.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com os CR dos diagramas de fase (*fig. C.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela C.1*). Ambos os raios de corotação estão de acordo com os parâmetros das terceira e quarta colunas da tabela. A *tabela C.2* mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1, 2$  e  $3$  nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	0.5	0.212	$-63.4 \pm 12.6$
	2	-3	1	$33.7 \pm 2.3$
	2	0.25	0.505	$-82.9 \pm 7.1$
	3	-0.25	0.159	$85.2 \pm 4.8$
$i$	1	0.25	0.304	$-76.0 \pm 14$
	2	-3	1	$33.7 \pm 2.3$
	2	0.5	0.612	$-76.0 \pm 6.9$
	3	-0.25	0.136	$85.2 \pm 4.8$

Tabela C.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para IC0167.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$\begin{aligned}
 m = 1 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 12.6^\circ, \\
 m = 2 &\Rightarrow \Delta\alpha \leq 6.9^\circ.
 \end{aligned}$$

Na componente  $m = 2$ , o segundo máximo das amplitudes dos espectros fornecem uma diferença não nula para os *pitch angles* nas duas cores. Observa-se que, em torno da CR mais interna, há uma quebra nos *pitch angles*, e a diferença encontrada pode ser uma consequência desse fato. O resultado nulo para  $m = 3$ , implica não somente na baixa probabilidade da ocorrência de tal componente, mas outros elementos (como *dust lane*) na imagem da banda  $g$ , favorecendo resultados irreais para os demais  $\Delta\alpha$ . Esta galáxia é bissimétrica, de modo que a componente mais relevante é a componente par. Para o valor normalizado máximo da amplitude ( $A = 1$ ), verifica-se a anulação da fase para a componente  $m = 2$ , o que não significa que não haja diferença de fase para as bandas  $g$  e  $i$ . Provavelmente, este resultado está no erro que inerente ao processo. A variação dos valores de  $p$ , com  $\Delta p = 0.25$  para o processo de espirais logarítmicas usado no método da transformada de Fourier, acarreta pequenas diferenças dos *pitch angles*, ou mesmo resultados nulos para essas diferenças, tanto que a incerteza para  $m = 2$ ,  $p = 0.5$  e  $p = 0$  corresponde a  $\sim 6.9^\circ$ , de modo que resultados para  $\Delta\alpha < 6.9^\circ$  são permitidos.

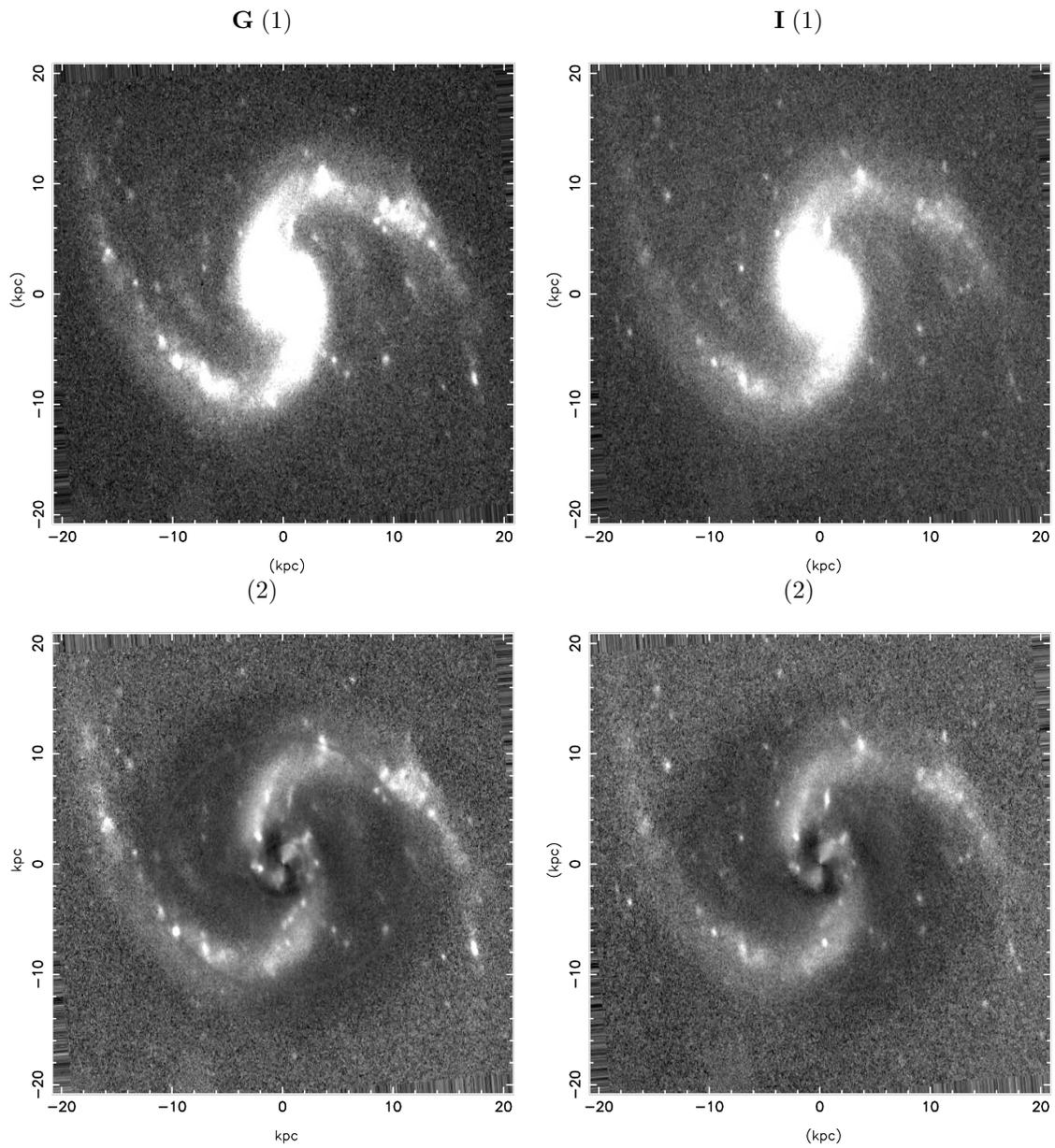


Figura C.2: IC0167 nas bandas  $g$  e  $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

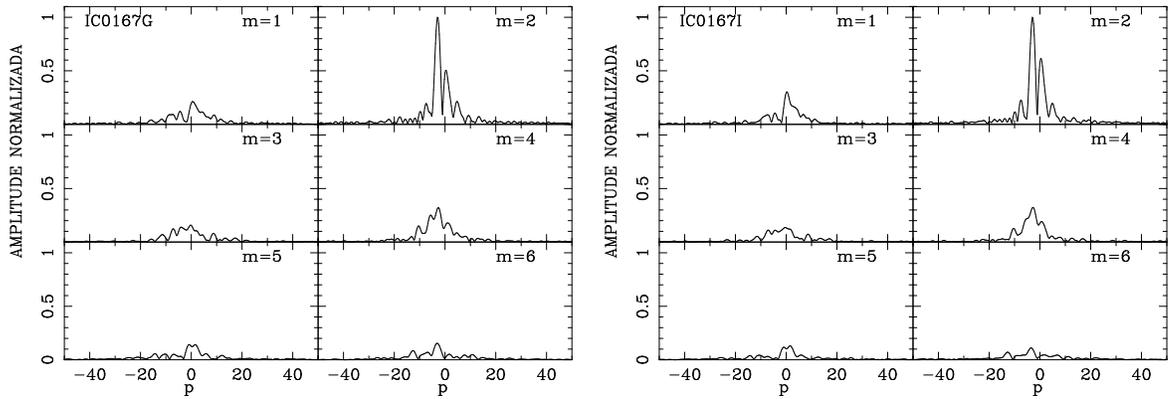


Figura C.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  e  $i$  de IC0167, obtidos segundo o processo descrito no capítulo 2. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

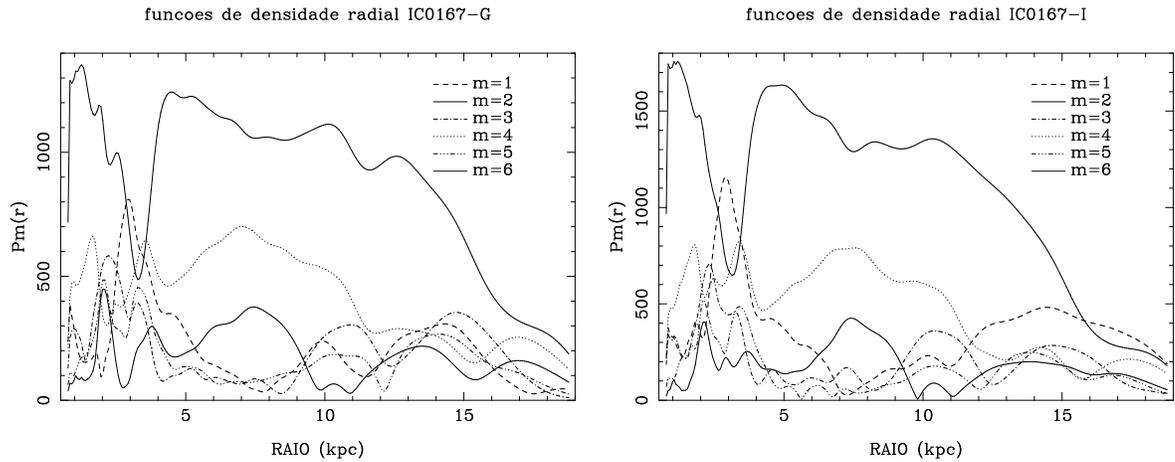


Figura C.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

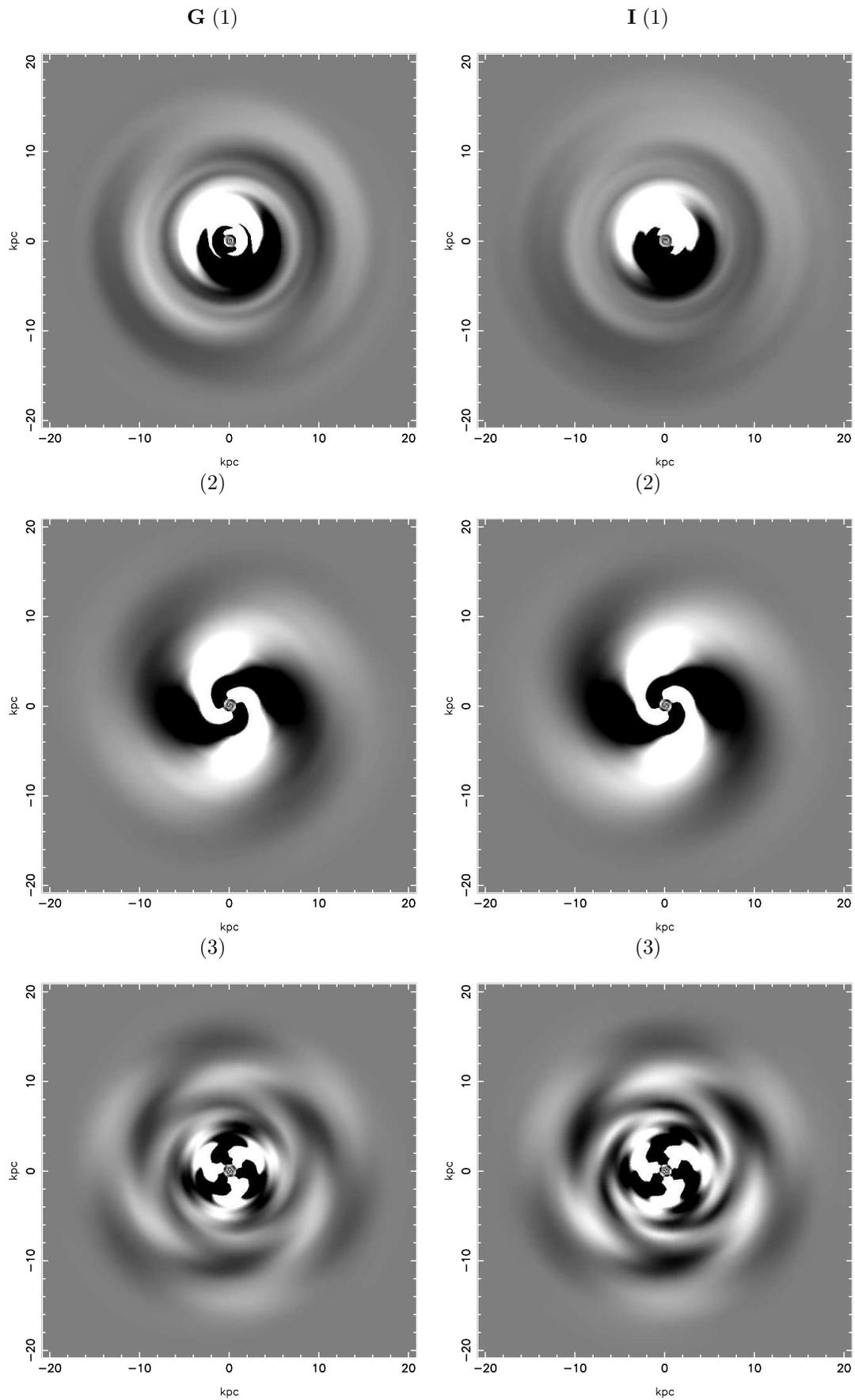


Figura C.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

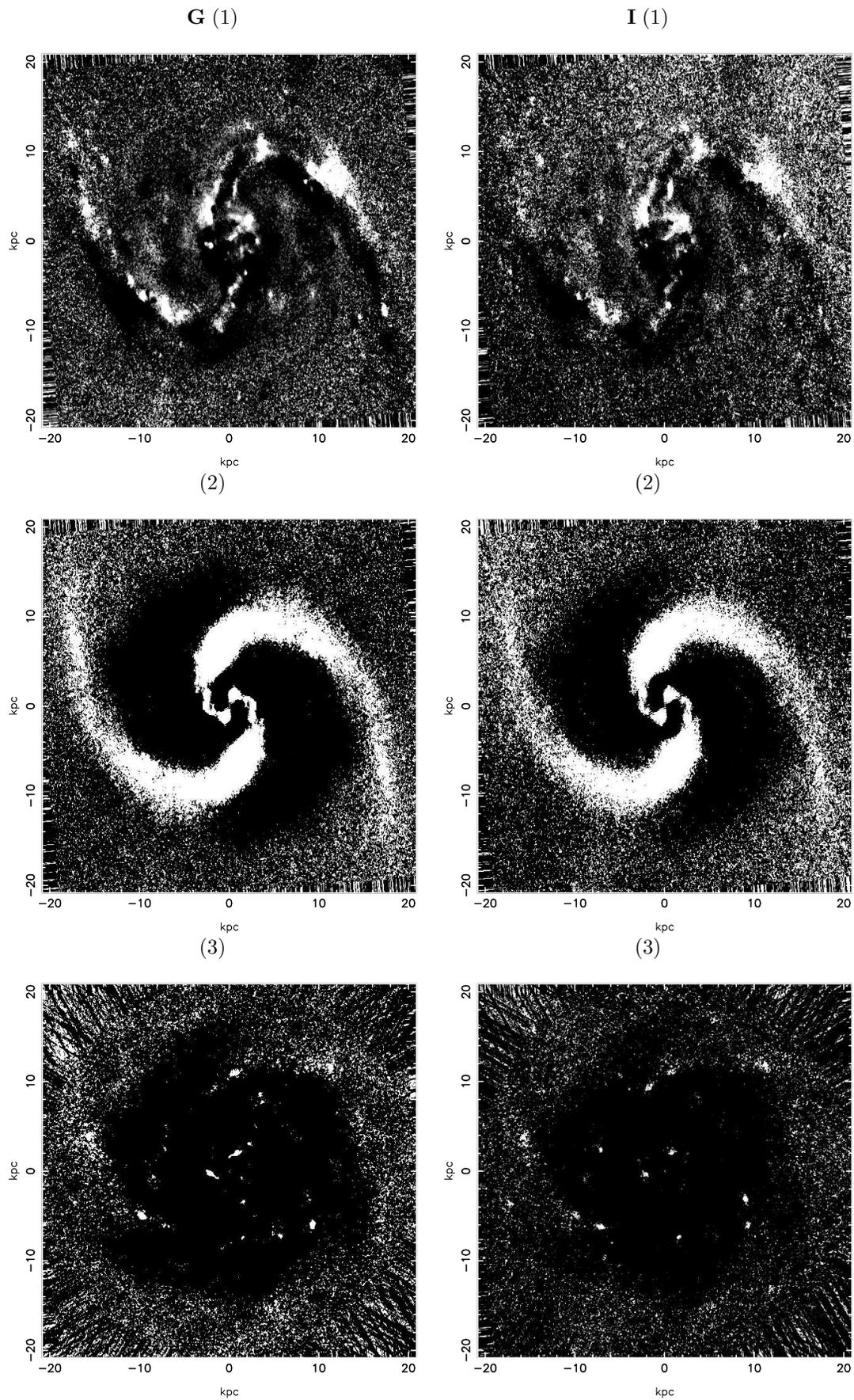


Figura C.6: Imagens simetrizadas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

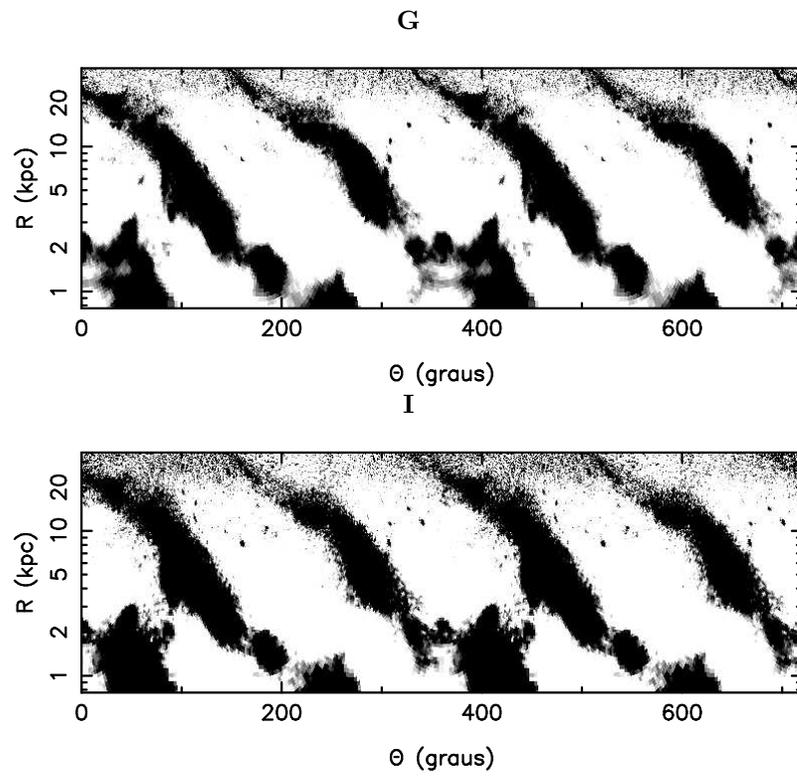


Figura C.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

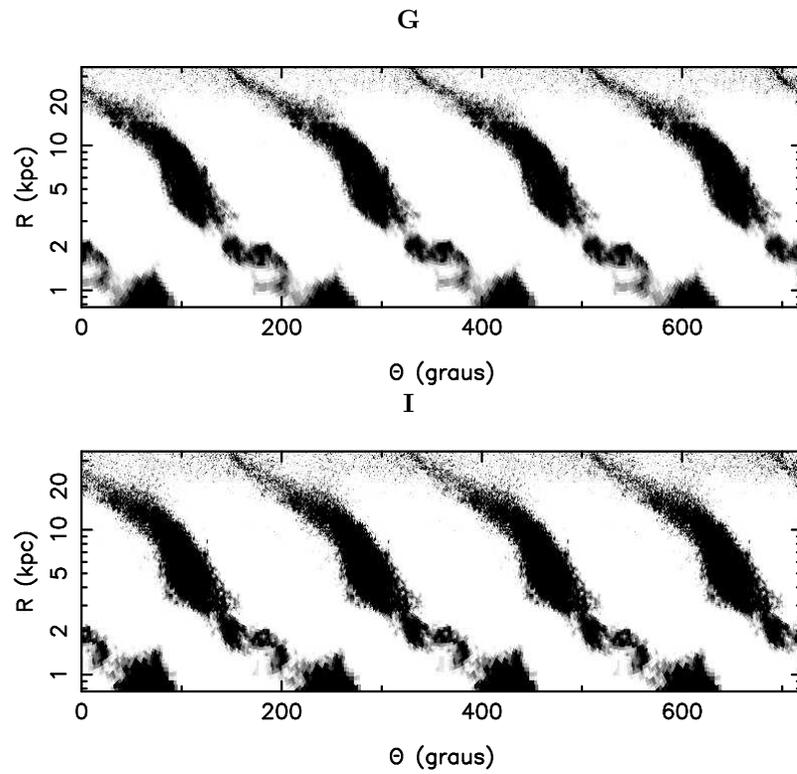


Figura C.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

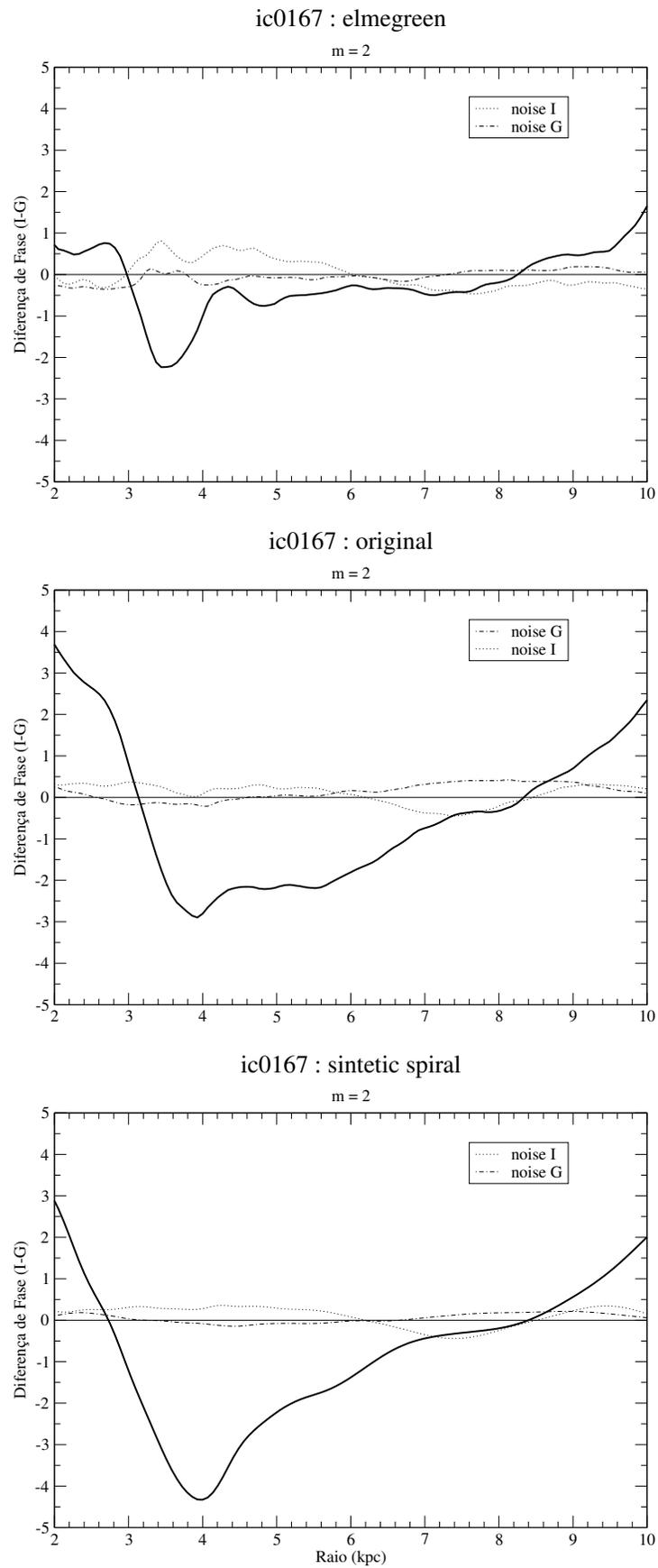


Figura C.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem a componente  $m = 2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada.

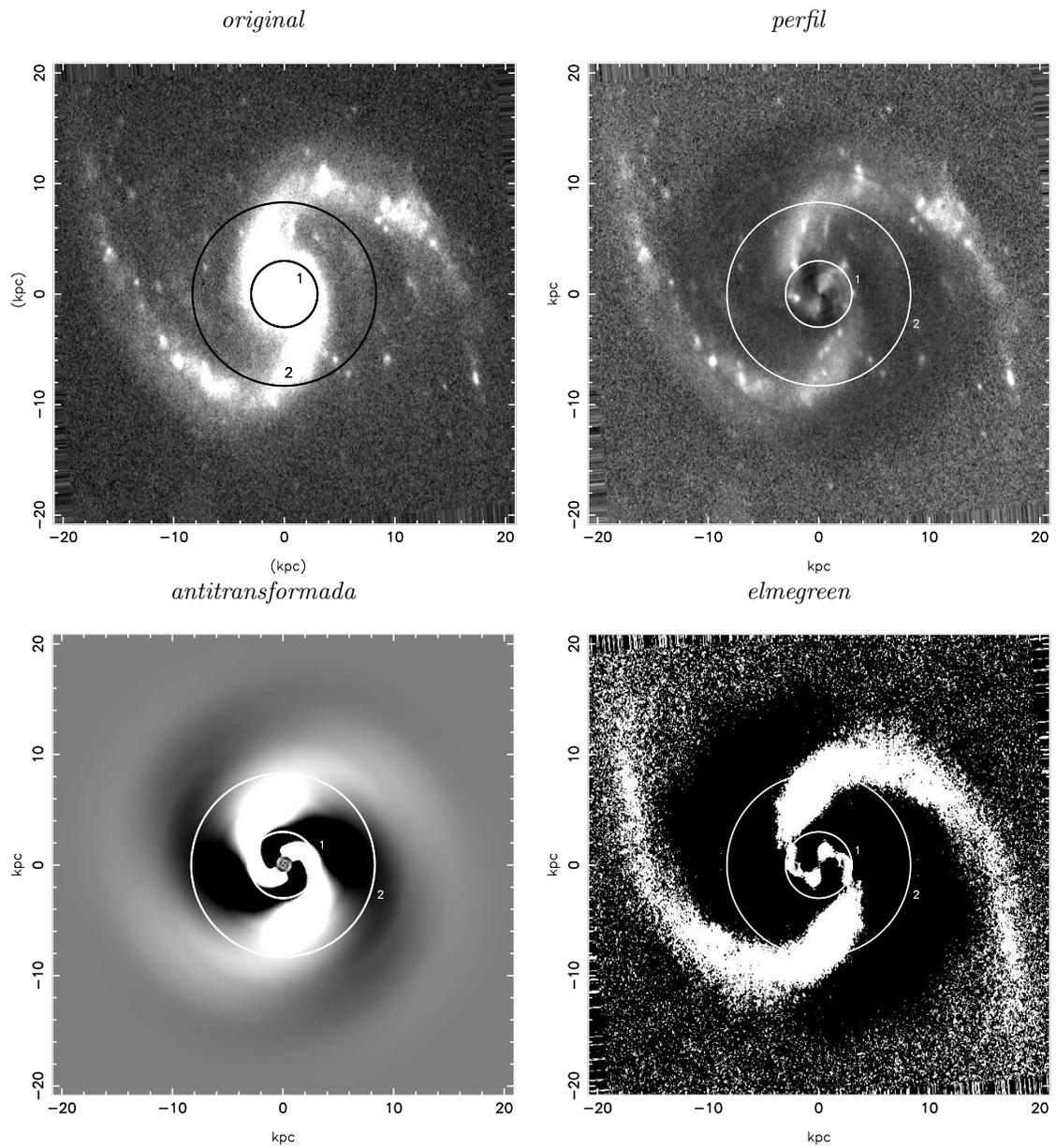


Figura C.10: Os círculos indicam as posições das ressonâncias de corotação da componente  $m = 2$ . As imagens são na cor  $g$ .

## Apêndice D

### Análise de IC 0267

As imagens originais deprojetadas desta galáxia (*fig. D.2*) nos mostram uma estrutura bissimétrica de braços espirais que se originam nos extremos de uma barra, esta estendida na direção aproximada NO-SE.

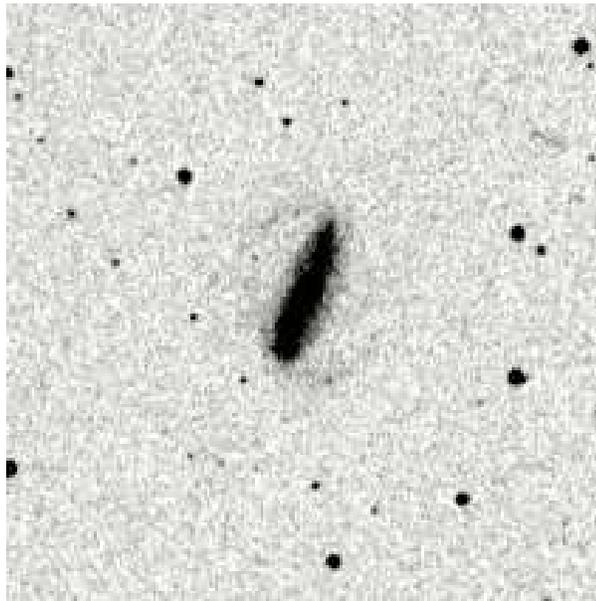


Figura D.1: Imagem IC0267 extraída do NED na banda I e  $\lambda = 6450\text{\AA}$ .

Uma inspeção mais detalhada nas imagens deprojetadas, extraídas o disco médio, *fig. D.2(2)*, mostram que a barra e o braço N são mais brilhantes que os correspondentes ao Sul. No diagrama  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. D.7*) são claramente representados a barra e os braços espirais, onde a barra se estende até os  $\sim 10\text{ kpc}$  no sentido NW e  $\sim 7$  ou  $8\text{ kpc}$  no sentido SE. Neste diagrama verifica-se que o braço N se afasta ligeiramente da espiral logarítmica, enquanto o braço S apresenta uma forma logarítmica mais pura. A parte SE da barra apresenta uma bifurcação devido a poeira fortemente alinhada com a mesma. Esta

espiral, que se estende a partir do extremo da barra, é relevante para a componente  $m = 2$ , como se observa do diagrama  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (fig. D.8) da imagem simetrizada.

A análise de Fourier realizada entre  $1.7 \text{ kpc}$  e  $18.6 \text{ kpc}$ , indica que a componente  $m = 2$  é a única relevante, como se vê nos espectros de Fourier (fig. D.3). As funções de densidade radial (fig. D.4) mostram que essa componente é importante entre  $\sim 2 \text{ kpc}$  e  $\sim 13 \text{ kpc}$ , embora as componentes  $m = 1$  e  $m = 4$  apareçam como significativas em torno de  $8 \text{ kpc}$  e  $10 \text{ kpc}$ , respectivamente. A comparação das figs. D.5 e D.6 mostram uma boa semelhança na descrição da componente  $m = 2$  pelos métodos de EEM92 e de antitransformada.

Os diagramas da fig. D.9, apresentam o comportamento da diferença de fase em função do raio. Para a componente  $m = 2$ , obtém-se duas ressonâncias de corrotação, com resultados médios de  $\sim 4.6 \pm 0.5 \text{ kpc}$  e  $\sim 8.6 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . No entanto, a probabilidade da existência real desta segunda ressonância é baixa, provavelmente é um artefato do braço de poeira. O ruído na banda  $i$  do método EEM92 é significativo, e minimizado na banda  $g$ ; nos dois outros diagramas a flutuação estatística é relativamente baixa em ambas as cores. Como se observam nas imagens da fig. D.10, o círculo de corrotação corta uma região de baixa densidade no braço S da espiral, aproximadamente na extremidade S da barra.

As imagens da fig. D.10 mostram o círculo de corrotação da componente  $m = 2$  para as imagens *original*, *perfil*, *antitransformada* e *elmegreen*.

Através das funções de densidade radial (fig. D.4), e tendo em conta nesta galáxia a existência de duas ressonâncias de corrotação para a componente 2, os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 2 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 12 \text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com as CR.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	11.6	6.8	7.2	(4.6, 8.6)

Tabela D.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com os CR dos diagramas de fase (fig. D.9) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral está relativamente próximo ao parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da tabela D.1). No entanto, apenas para esta galáxia, tais corrotações são parcialmente satisfeitas. O raio de corrotação  $R_{CR(1)} = 4.6 \text{ kpc}$  satisfaz ao parâmetro  $R_{CR(i)}$ , mas não está de acordo com  $R_{CR(o)}$ ; o contrário acontece para o raio de corrotação  $R_{CR(2)} = 8.6 \text{ kpc}$ .

A tabela D.2 mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1, 2$  e  $3$  nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	4	0.140	$-14 \pm 0.93$
	2	0.75	1	$-69.4 \pm 6.6$
	2	5.25	0.311	$20.9 \pm 0.9$
	3	0.25	0.136	$-85.2 \pm 4.8$
$i$	1	3	0.212	$-18.4 \pm 1.6$
	2	0.75	1	$-69.4 \pm 6.6$
	2	5	0.315	$21.8 \pm 1.0$
	3	0.5	0.118	$-80.5 \pm 4.7$

Tabela D.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para IC0267.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$\begin{aligned}
 m = 1 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 4.4^\circ, \\
 m = 2 &\Rightarrow \Delta\alpha \leq 6.6^\circ, \\
 m = 3 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 4.7^\circ.
 \end{aligned}$$

Na componente  $m = 2$ , o segundo máximo das amplitudes dos espectros fornecem uma pequena diferença nos *pitch angles*, nas duas cores. Nesta galáxia destaca-se a bissimetria dos braços espirais, sendo esta componente a mais relevante. Provavelmente, a estreita banda de poeira ao N e ao S da barra mascaram o resultado para  $p = 0.75$ , fornecendo  $\Delta\alpha = 0$ , tanto que a incerteza para  $m = 2$ ,  $p = 0.75$  e  $p = 0.5$  corresponde a  $\sim 6.6^\circ$ , de modo que resultados para  $\Delta\alpha < 6.6^\circ$  são permitidos.

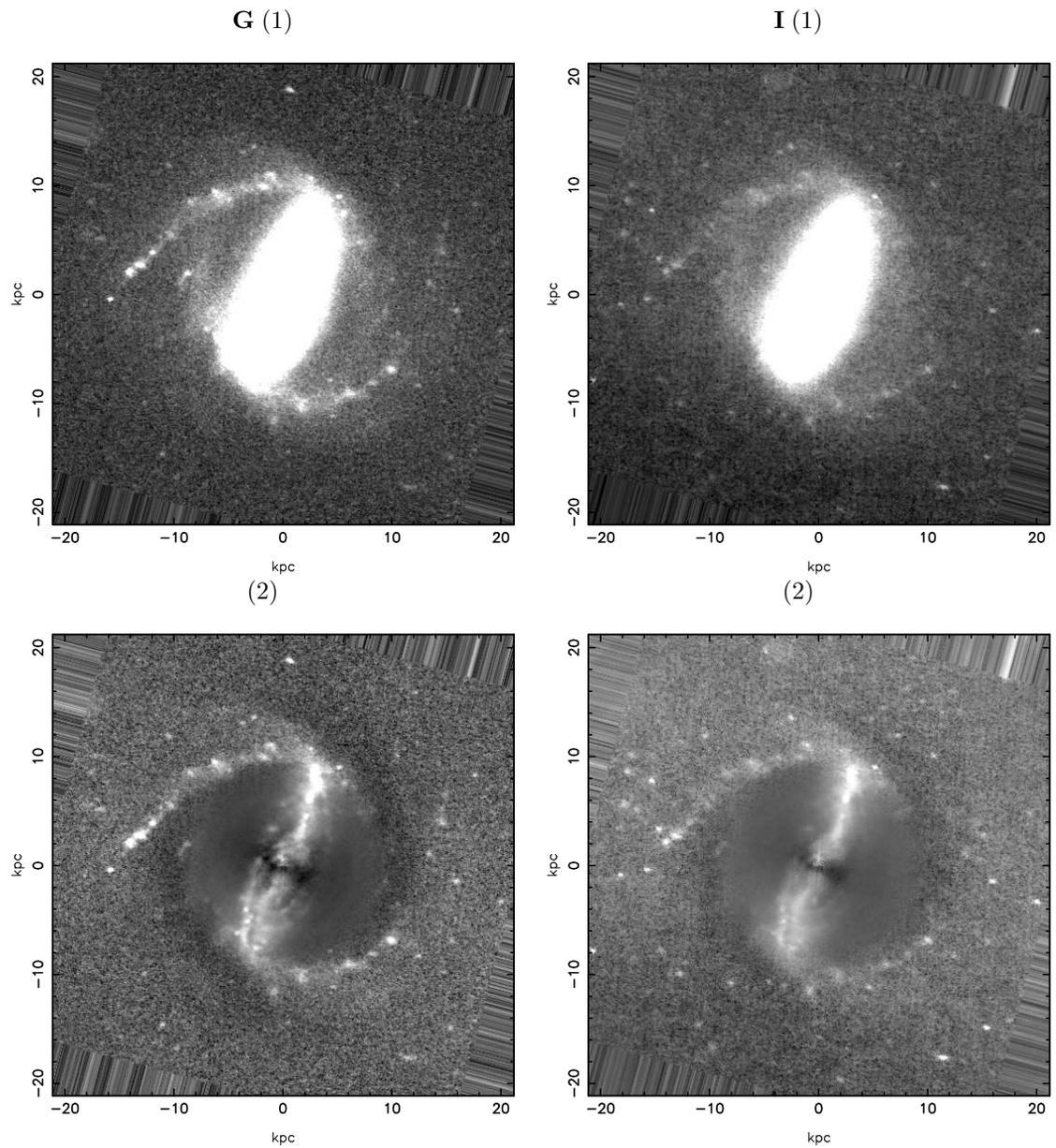


Figura D.2: IC0267 nas bandas  $g$  e  $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

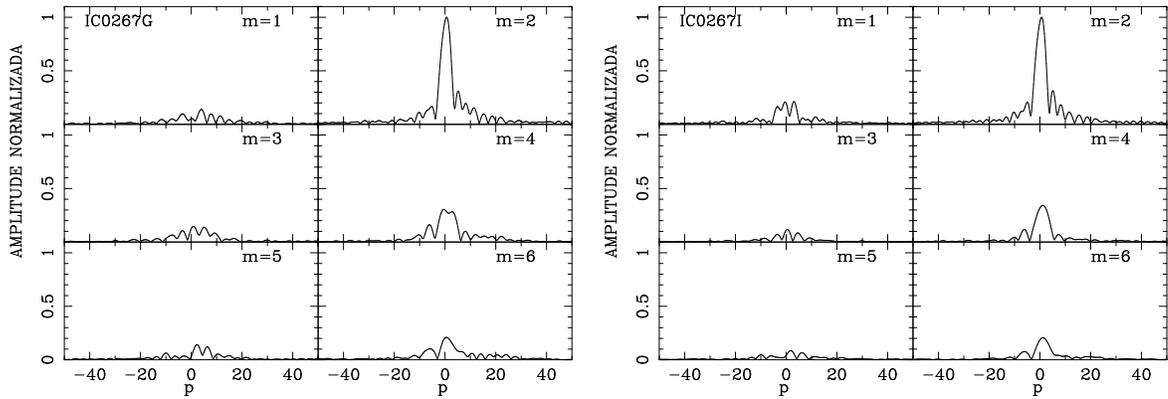


Figura D.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  e  $i$  de IC0267, obtidos segundo o processo descrito no capítulo 2. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

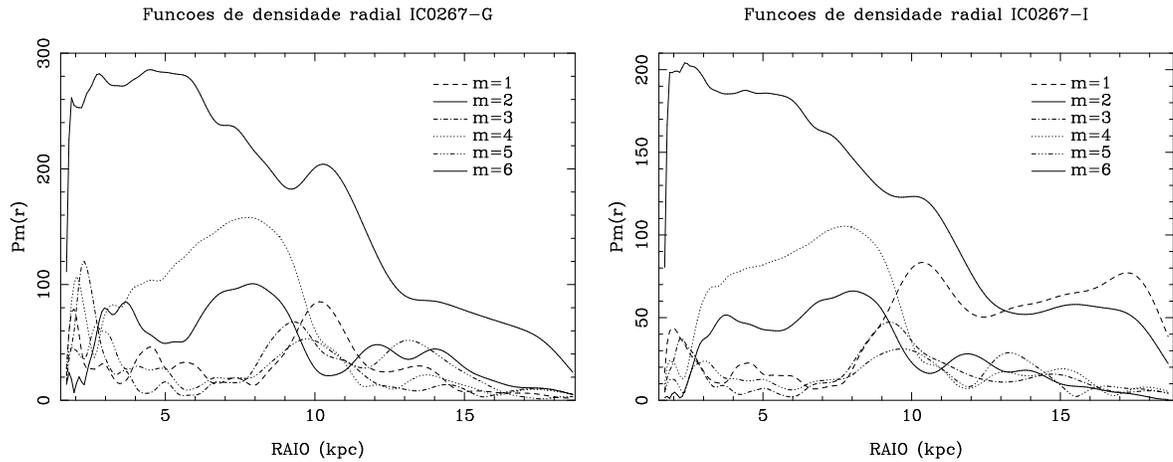


Figura D.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

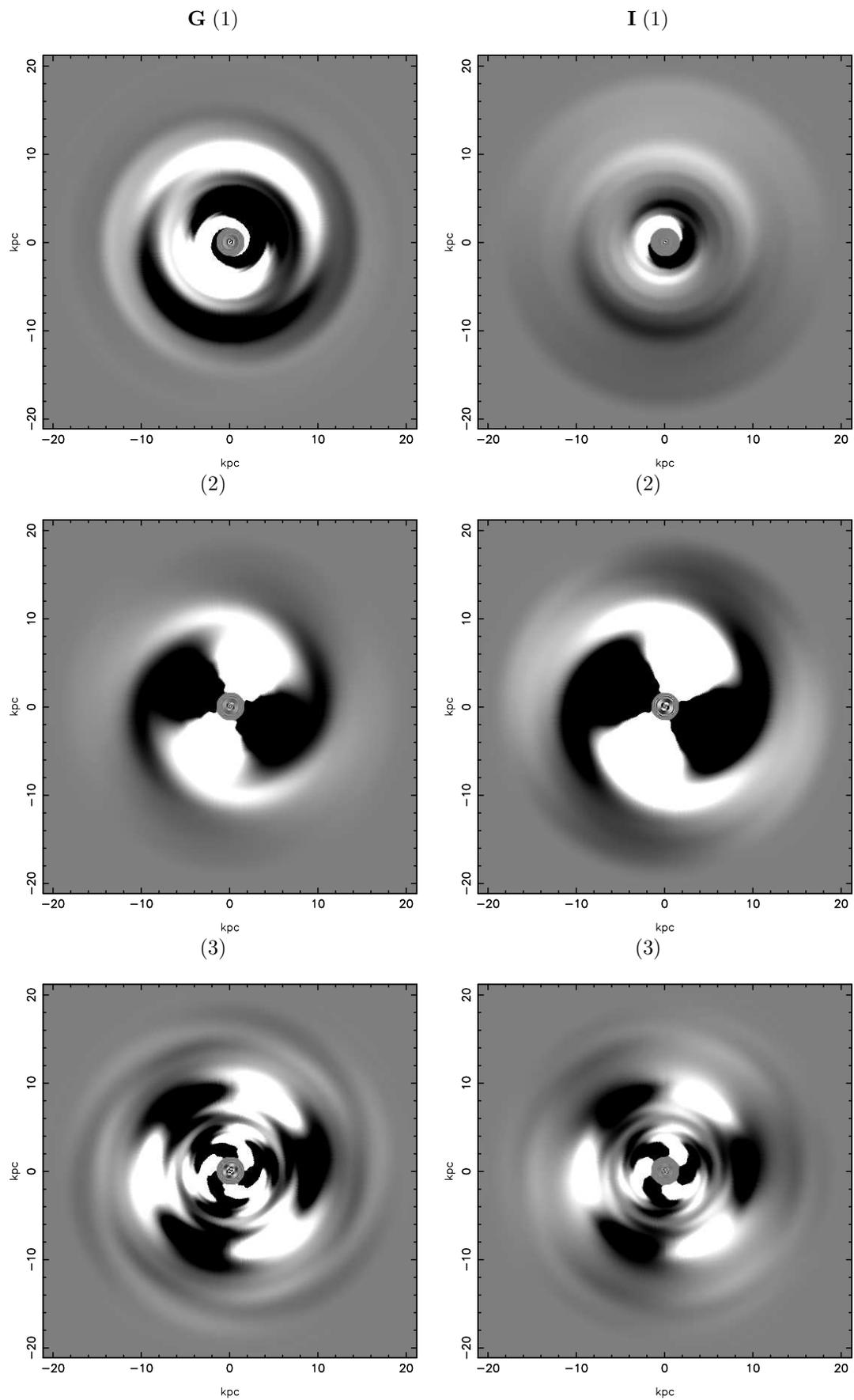


Figura D.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

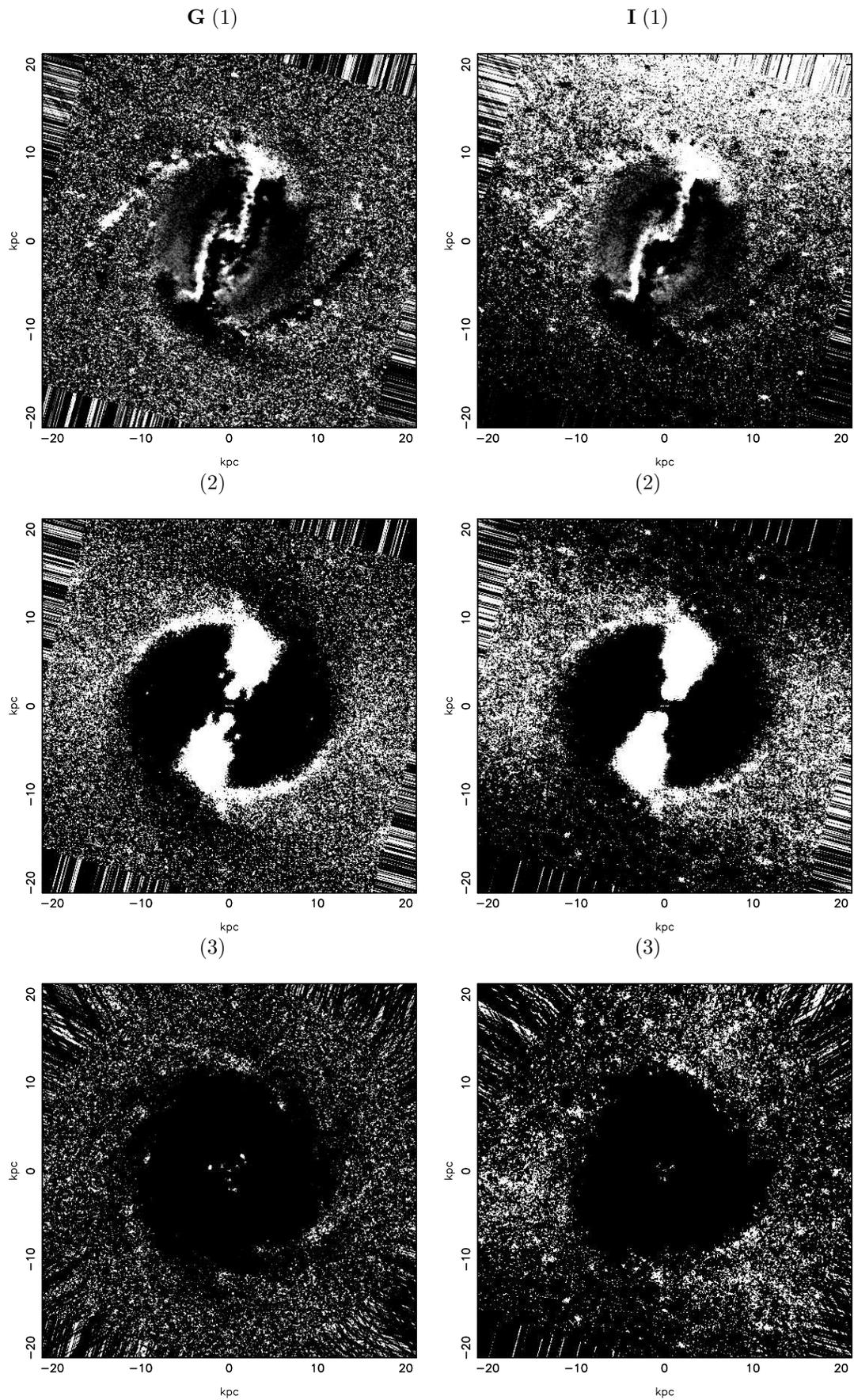


Figura D.6: Imagens simetrizadas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

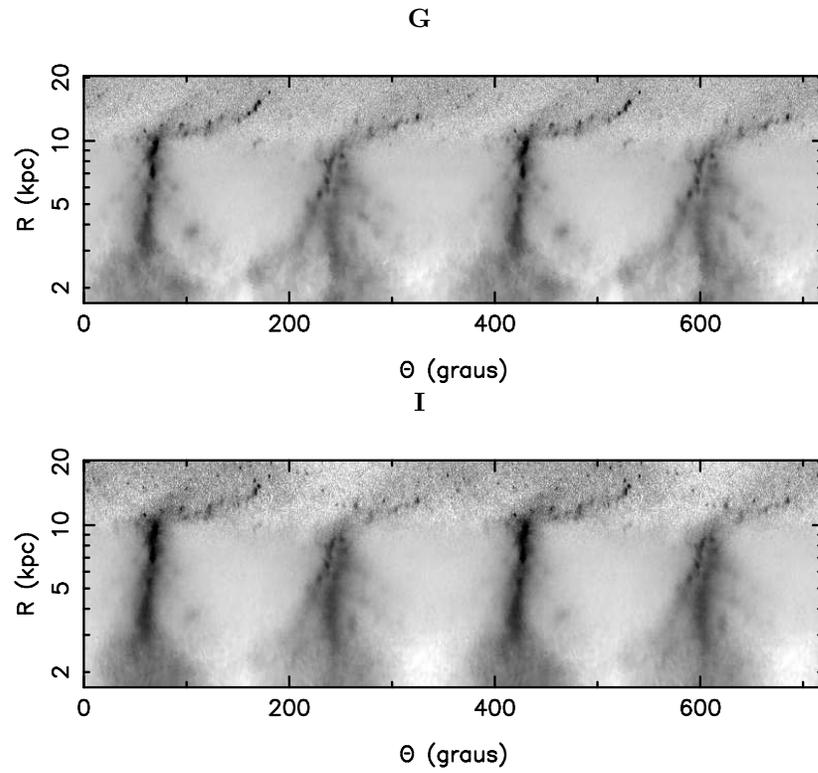


Figura D.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

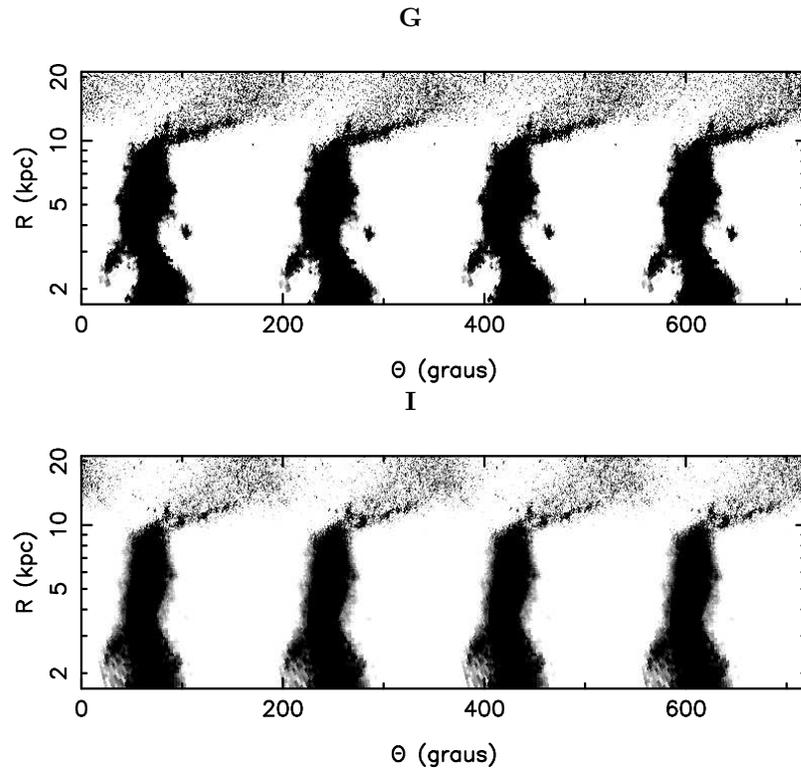


Figura D.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

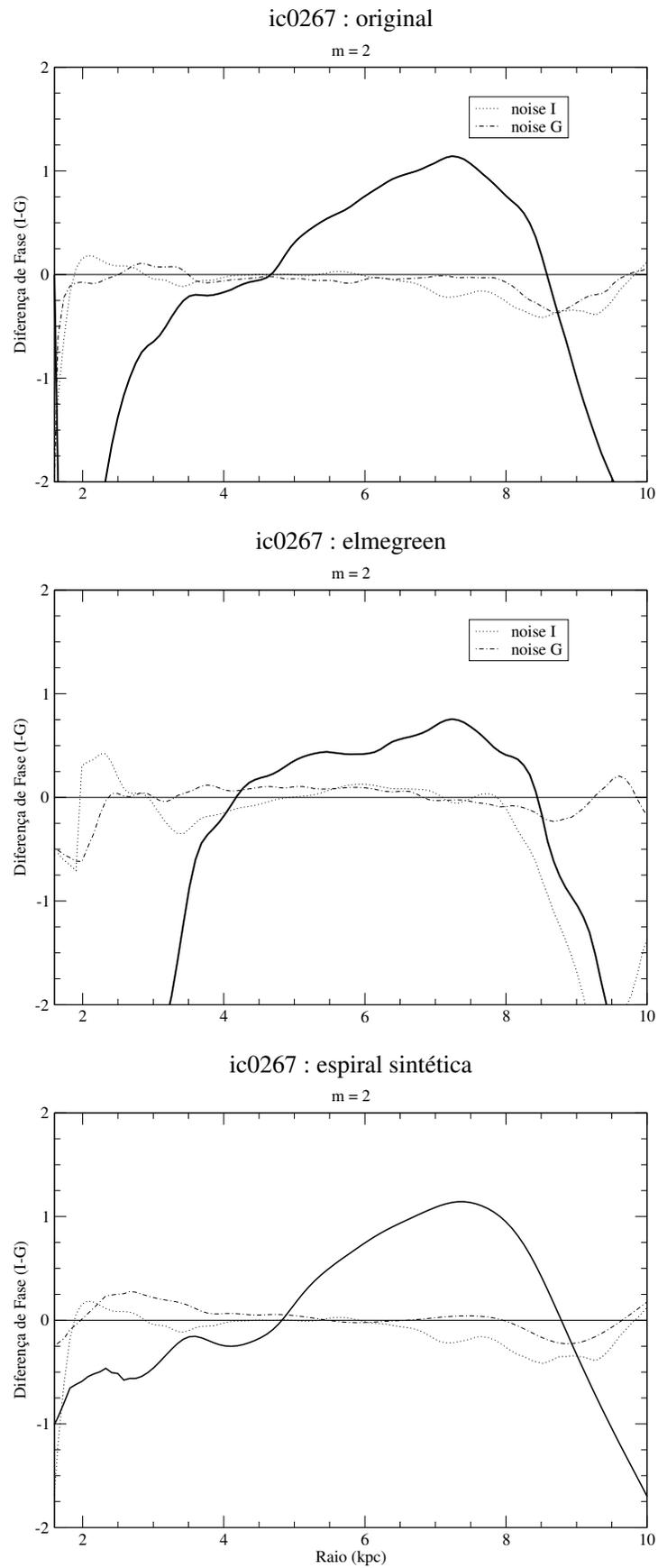


Figura D.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem a componente  $m = 2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada.

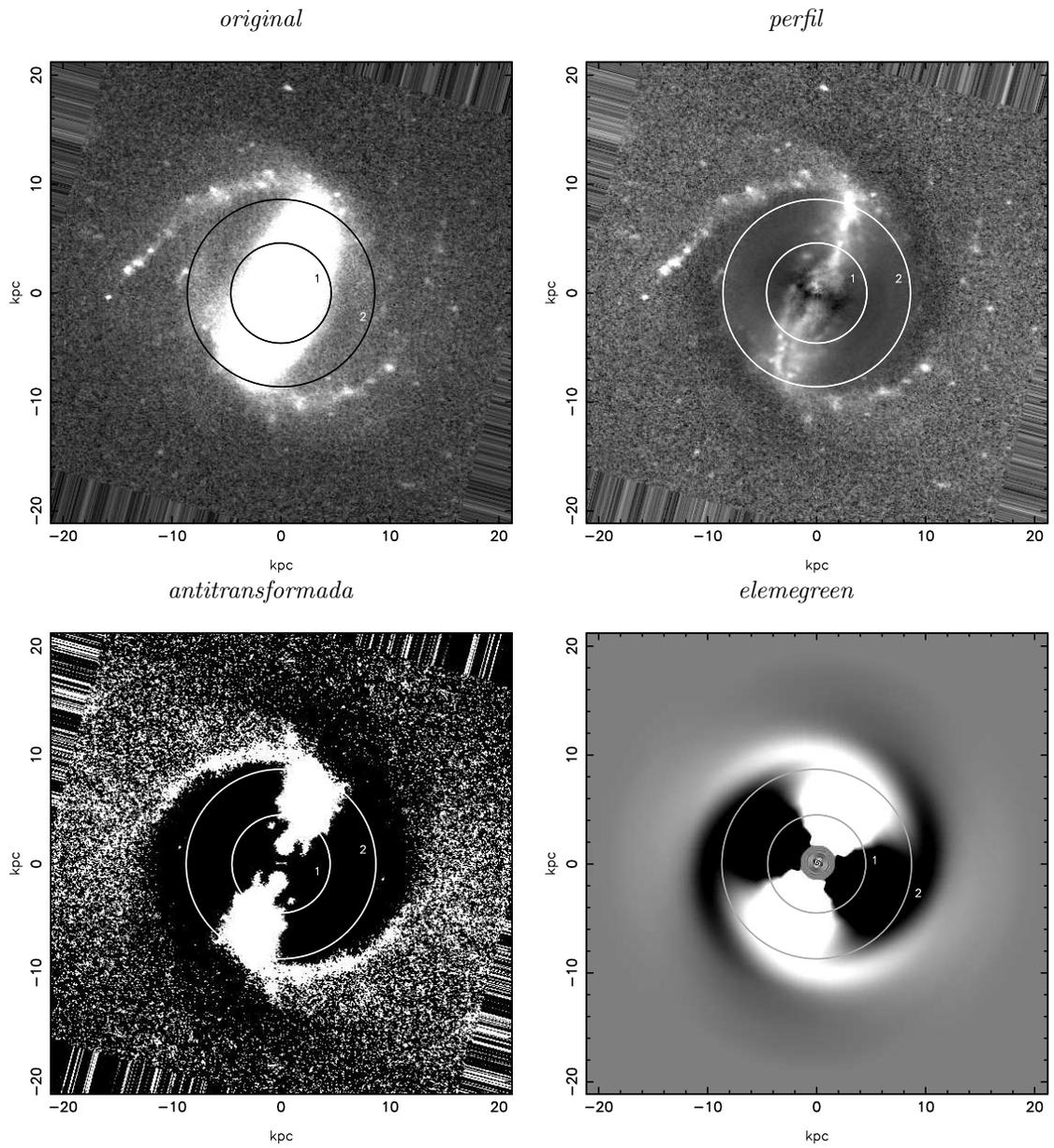


Figura D.10: Os círculos indicam as posições das ressonâncias de corotação da componente  $m = 2$ .

## Apêndice E

# Análise de NGC0019

As imagens de NGC0019 (*fig. E.2*) revelam uma estrutura de dois braços quase circulares e uma barra central, fina, cerca de  $8\text{ kpc}$  que se estende aproximadamente na direção N-S. Embora os braços sejam simétricos, o braço leste se apresenta mais fraco que o braço oeste.

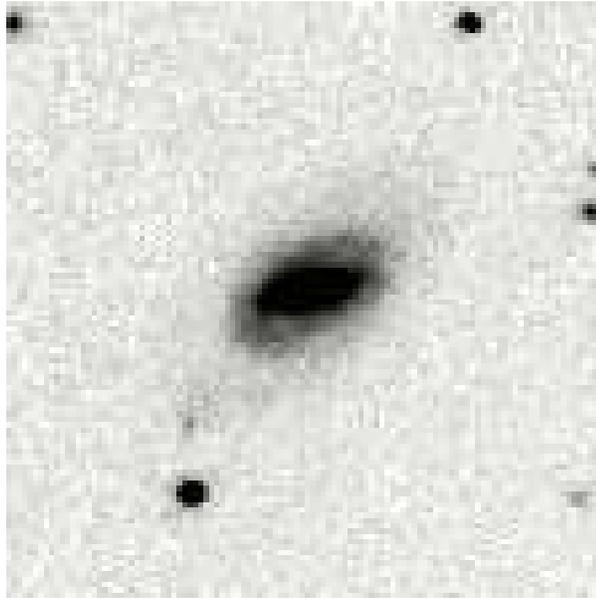


Figura E.1: Imagem extraída do NED, na banda H e  $\lambda = 1.65\text{ }\mu\text{m}$ .

A análise de Fourier realizada entre  $0.568\text{ kpc}$  e  $15.9\text{ kpc}$ , indica que somente a componente  $m = 2$  é relevante, principalmente a que corresponde à barra. Essa componente estende-se até o próprio centro da galáxia, dentro da resolução espacial da imagem. As funções de densidade radial (*fig. E.4*) indicam que a componente  $m = 2$  é importante na região de  $1 - 9\text{ kpc}$ , embora em uma pequena região em torno de  $12\text{ kpc}$  aparece essa componente de forma menos acentuada. Por outro lado, a componente  $m=1$ , predomina entre  $6$  e  $10\text{ kpc}$ , provavelmente como modulação do braço S da componente  $m = 2$ .

Na *fig. E.5*, mostramos as imagens obtidas pelas antitransformadas de Fourier, das componentes  $m = 1, 2, 3$ , embora a componente 3 tenha probabilidade baixa. Verifica-se também que os braços têm extensão limite até  $\sim 12 \text{ kpc}$ . Na imagem simetrizada para a componente  $m = 2$  (*fig. E.6*), verificam-se descontinuidades mutuamente opostas, na direção leste-oeste, identificados sobre os braços espirais a cerca de  $9 \text{ kpc}$  do centro. Esta descontinuidade observada nas duas cores, é externa ao círculo de corrotação.

A comparação das imagens nas *figs. E.5 e E.6* mostram algumas diferenças na descrição das componentes  $m = 1, 3$ , mas a componente  $m = 2$  é descrita similarmente por ambos os métodos. Na componente  $m = 1$  a curvatura do braço é a mesma que a da  $m = 2$ , porém, a lacuna de menor densidade posicionada a aproximadamente  $9 \text{ kpc}$  segundo a *fig. E.4*, está deslocada ligeiramente ao sudeste na imagem simetrizada. Esta apresenta também uma condensação ao N do braço, que não aparece na transformada de Fourier  $m = 1$ . A componente  $m = 3$  é também semelhante em ambos métodos, embora ela seja muito mais fraca do que a  $m = 1$ . Um detalhe é que a parte mais externa aparece como *trailing* na imagem simetrizada e como *leading* na antitransformada de Fourier. Sendo estes detalhes externos tão fracos, de acordo com a densidade de probabilidade (*fig. E.4*) deve se atribuir esta diferença aos erros inerentes a todo o processo. Pode-se dizer então que a descrição destas componentes é supendentemente similar quando realizada pelo método das transformadas de Fourier ou pela simetrização de EEM92, embora a matemática envolvida nos mesmos seja filosoficamente distinta.

Pelo diagrama  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. E.7*) verifica-se que o braço de maior extensão não é estritamente logarítmico, embora a imagem simetrizada EEM92 (*fig. E.8*), mostra que o braço  $m = 2$  tem uma característica logarítmica. Nesse diagrama o braço tem uma quebra na extremidade N da barra e se estende com maior densidade ao longo do disco. Certifica-se também que no extremo N da barra, *fig. E.2(2)*, há uma sub-estrutura brilhante, provavelmente uma região HII. Deve-se salientar aqui, que o processo de simetrização não introduz nenhum viés nas imagens simetrizadas, ele tão só destaca a estrutura da componente  $m = 2$ , qualquer que seja a sua forma como mostrado na *fig. E.7*.

Os diagramas da *fig. E.9*, apresentam o comportamento da diferença de fase em função do raio para a componente  $m = 2$ . Na imagem original a corrotação está situada a  $\sim 6.8 \text{ kpc}$ , na imagem simetrizada a  $\sim 7.1 \text{ kpc}$ , e na imagem antitransformada de Fourier a  $\sim 7.1 \text{ kpc}$ . A relação sinal-ruído é alta até  $\sim 8 \text{ kpc}$ , o que nos dá uma margem de confiabilidade suficiente para afirmar que entre  $6.8$  e  $7.1 \text{ kpc}$  há uma corrotação. Portanto, o raio médio para a CR é  $\sim 7.0 \pm 0.5 \text{ kpc}$ .

As imagens (no filtro  $g$ ) da *fig. E.10* mostram o círculo do raio de corrotação para a componente  $m = 2$ .

Através das funções de densidade radial (*fig. E.4*), e tendo em conta que nesta galáxia há *uma* ressonância de corrotação para a componente  $m = 2$ , os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 4 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 10 \text{ kpc}$ . A *tabela E.1* mostra o resultado dos parâmetros de Canzian para a componente analisada.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	23.2	13.6	6	7.0

Tabela E.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com os CR dos diagramas de fase (*fig. E.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral para a componente 2, está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela E.1*). De forma análoga, o raio de corrotação está de acordo com os parâmetros correspondentes de Canzian ( $R_{CR(i)}$  e  $R_{CR(o)}$ ).

A *tabela E.2* mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1, 2, 3$  e 4 nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	-3.25	0.288	$17.1 \pm 1.2$
	2	0.25	1	$82.9 \pm 6.9$
	3	1.75	0.155	$59.7 \pm 3.4$
	4	0.5	0.228	$82.9 \pm 3.5$
$i$	1	-2.75	0.348	$20.0 \pm 1.6$
	2	0	1	$90 \pm 7.1$
	3	1.25	0.244	$67.4 \pm 4.0$
	4	0.25	0.203	$86.4 \pm 3.5$

Tabela E.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC0019.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$\begin{aligned}
 m = 1 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 2.9^\circ, \\
 m = 2 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 7.1^\circ, \\
 m = 3 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 7.7^\circ, \\
 m = 4 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 3.5^\circ.
 \end{aligned}$$

Obteve-se  $\Delta\alpha$ 's não nulos para as quatro primeiras componentes. A exemplo de outras galáxias, duas estruturas espirais dominam o disco da galáxia, embora uma delas

seja relativamente mais fraca. Com conseqüência, a componente  $m = 2$  é a predominante, corroborado nos diagramas das *figs. E.3 e E.4*. O círculo representativo da CR (*fig. E.10*), atravessa a extremidade S da barra onde acontece uma mudança de direção dos *pitch angles*, em ambas as cores, provavelmente contribuindo para o resultado encontrado para a componente  $m = 2$ .

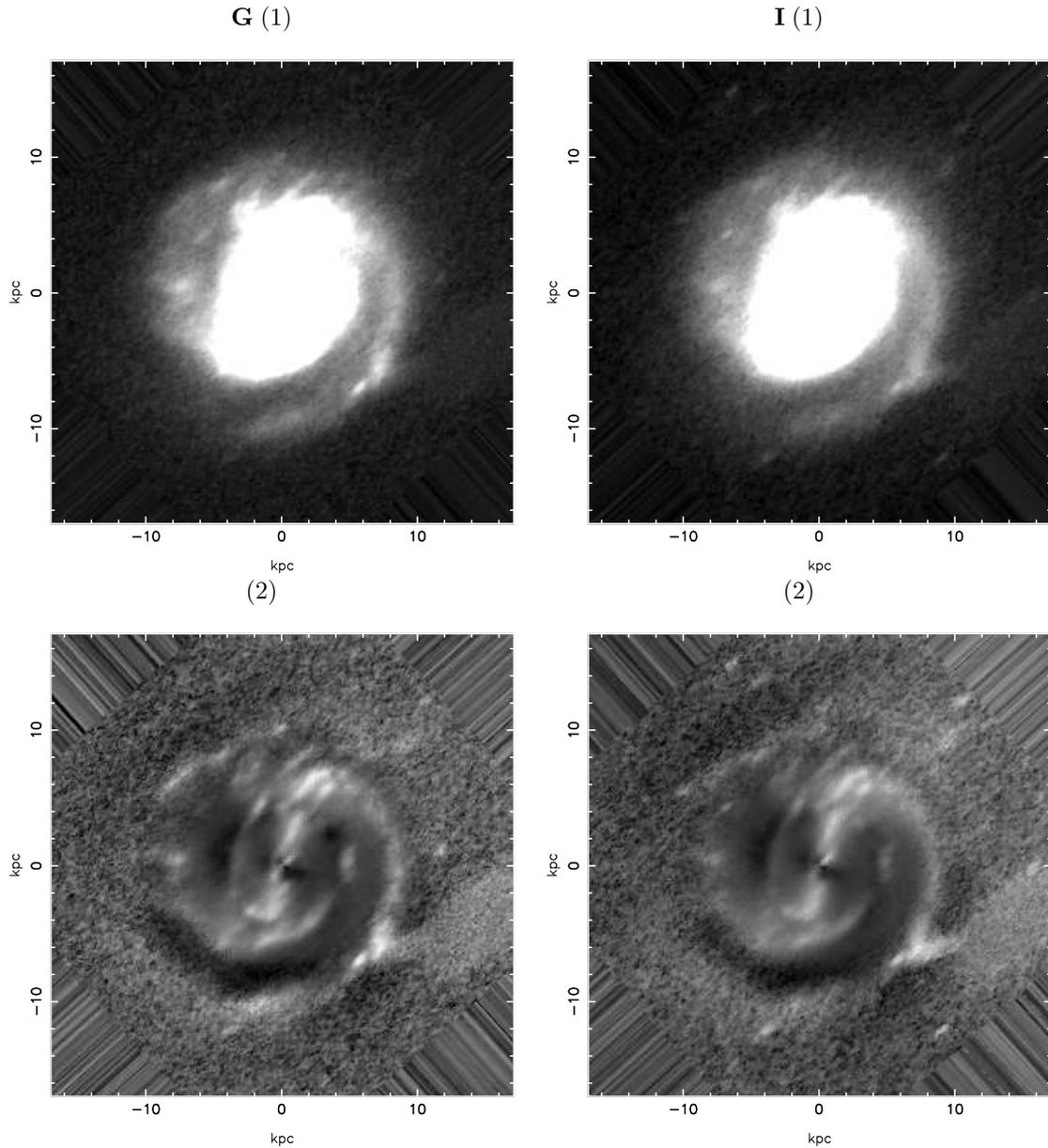


Figura E.2: NGC0019 nas bandas  $g$  e  $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

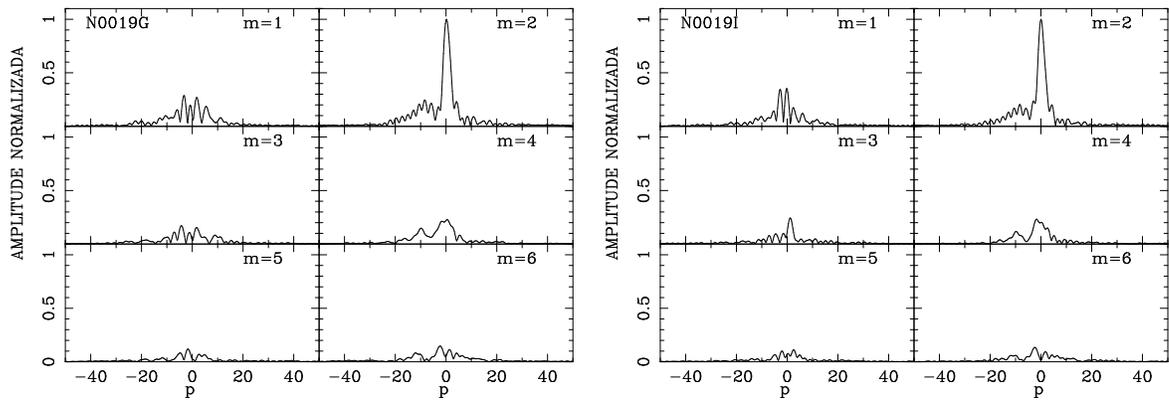


Figura E.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  e  $i$  de NGC0019, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

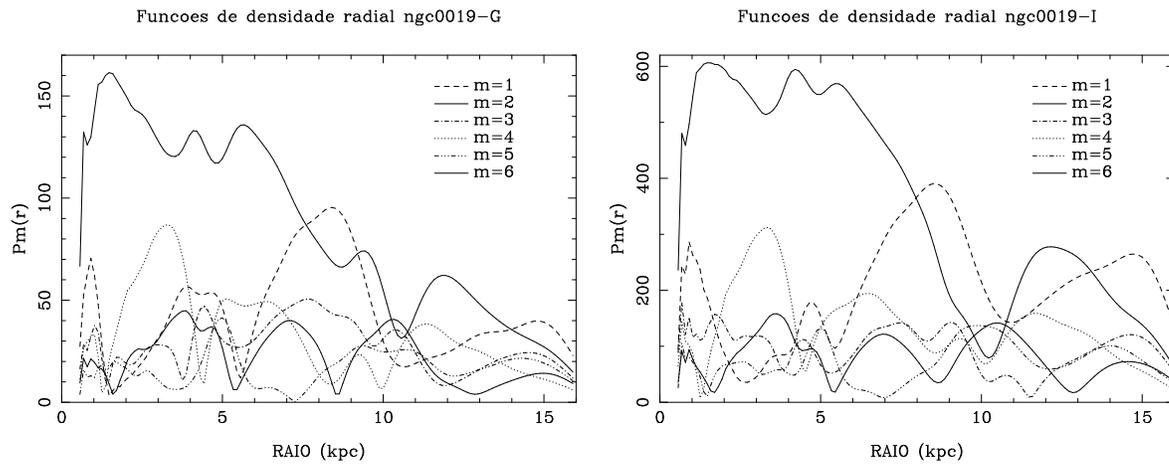


Figura E.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

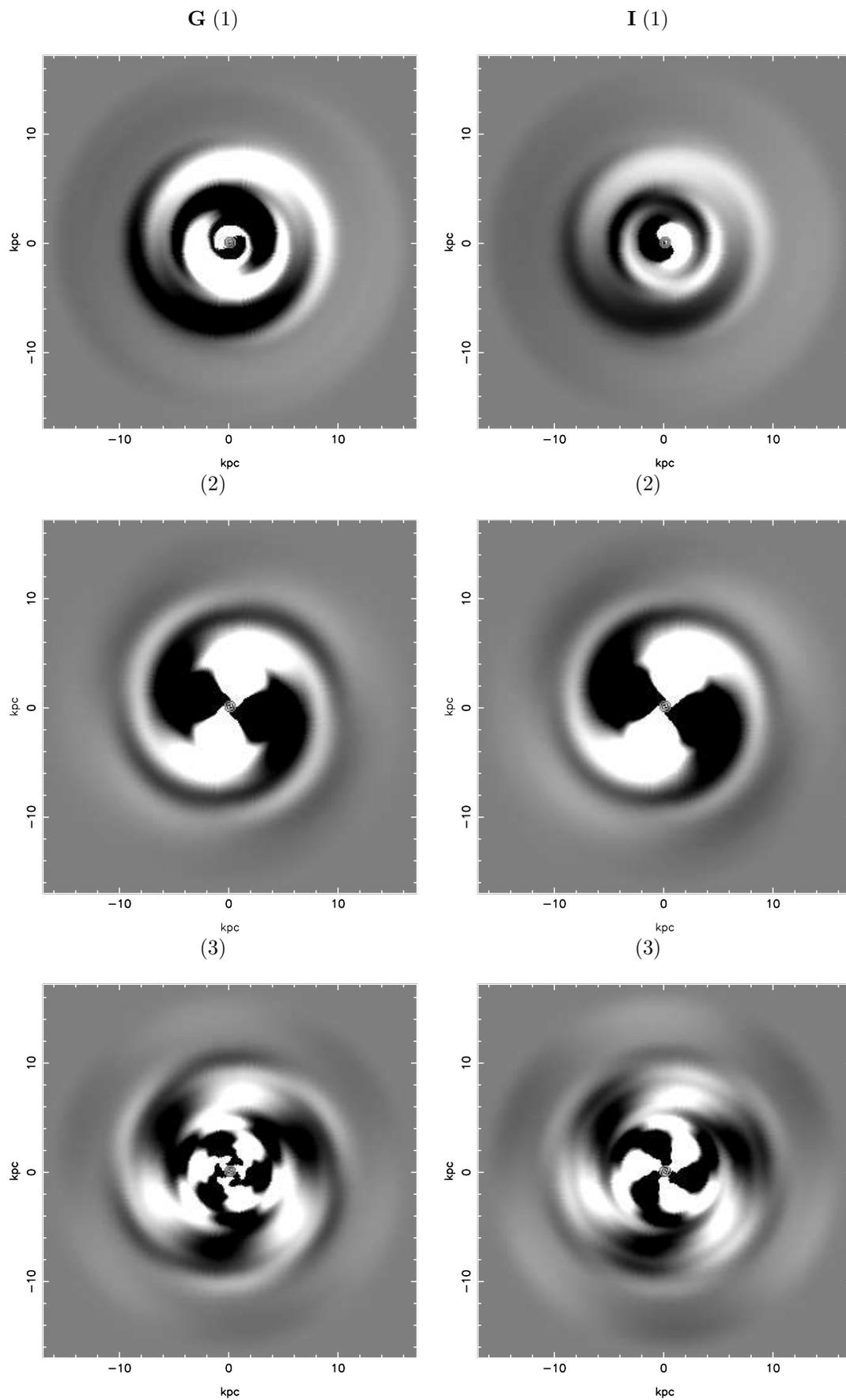


Figura E.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

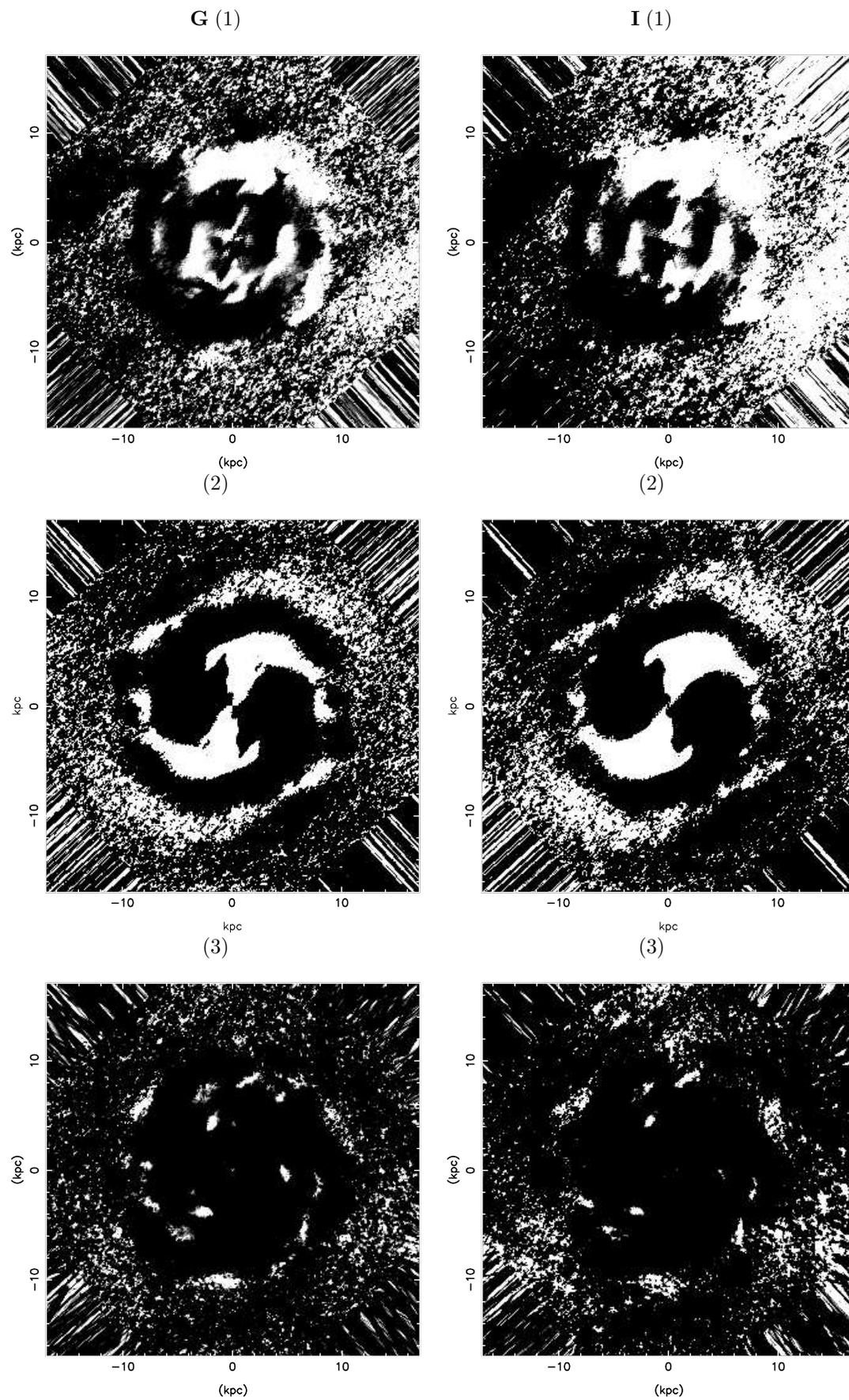


Figura E.6: Imagens simetrizadas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

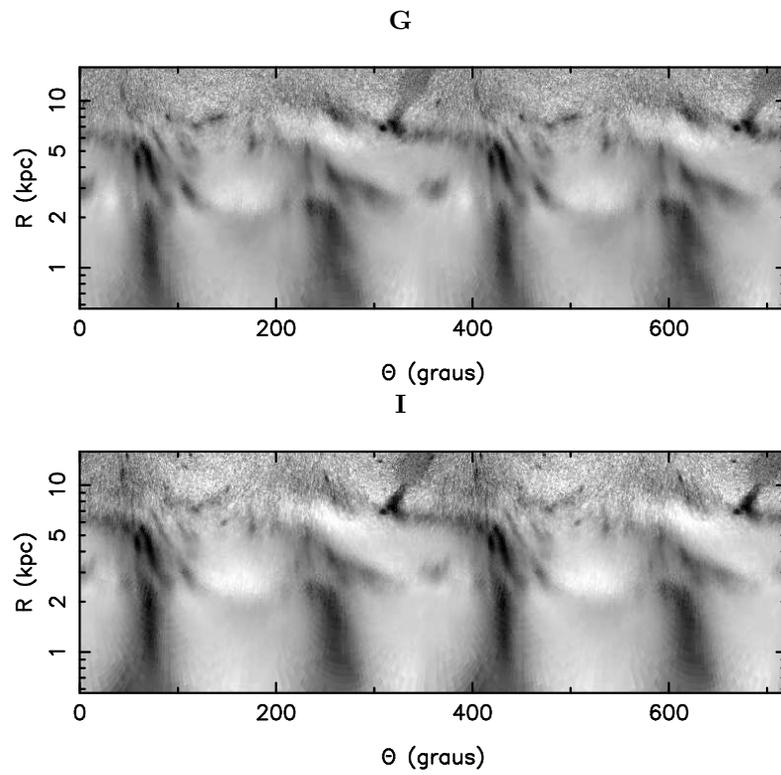


Figura E.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

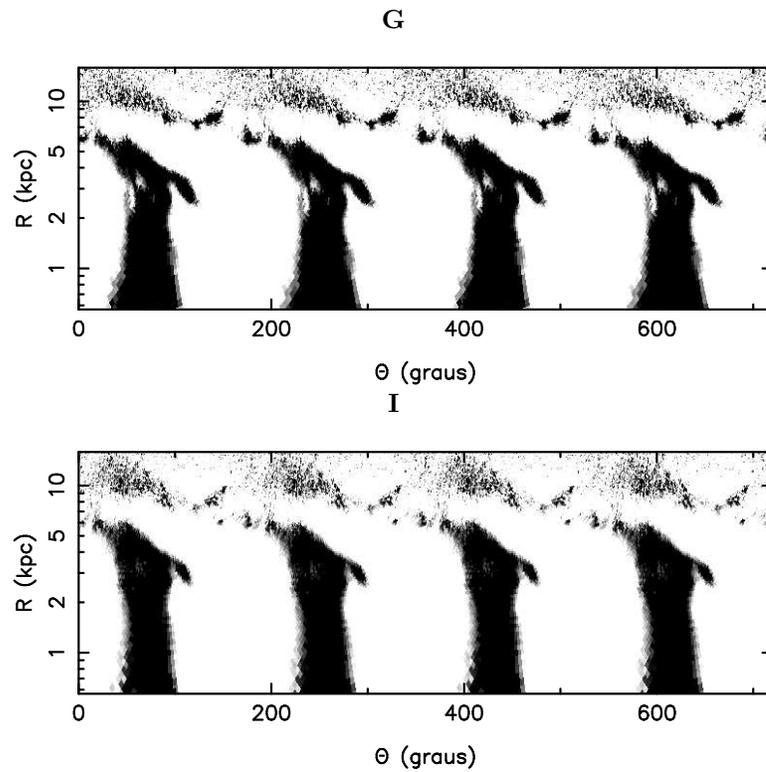


Figura E.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

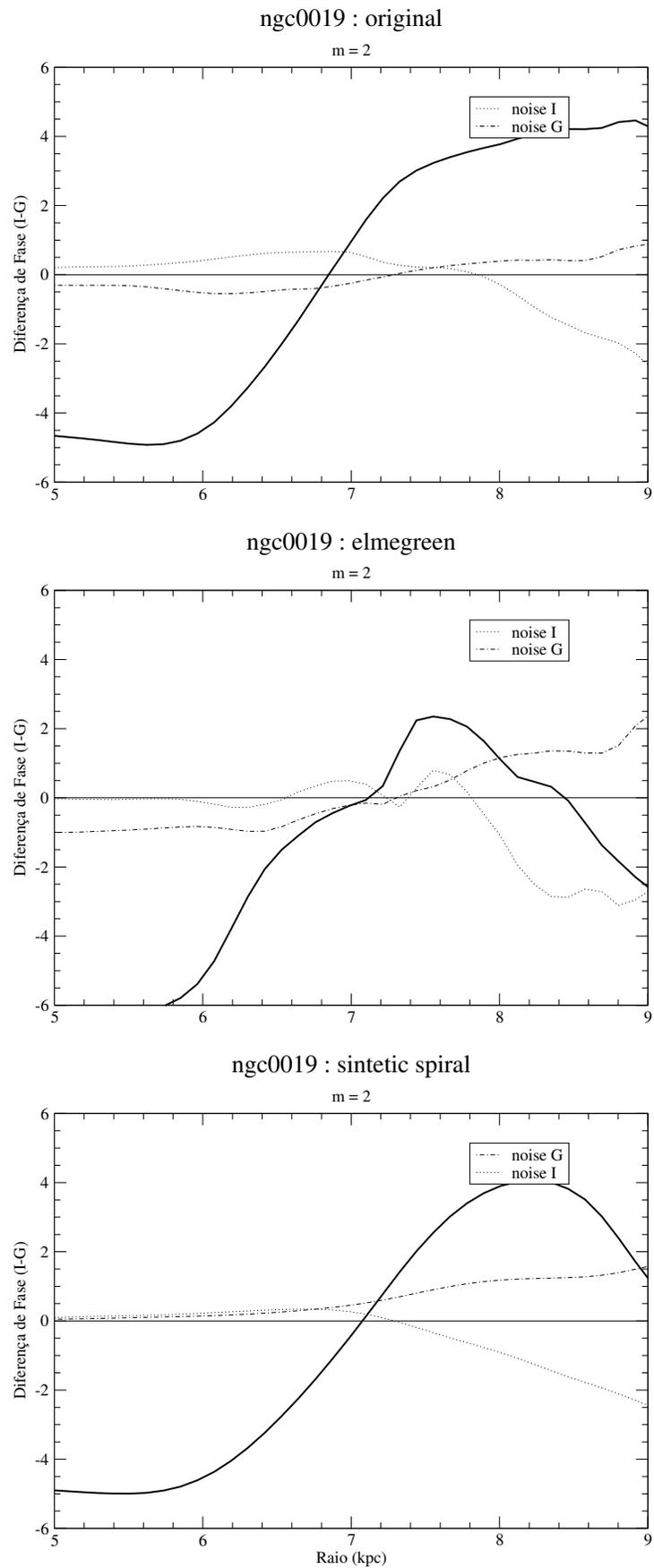


Figura E.9: [Diferenças de Fase (*graus*) × Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem a componente  $m = 2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada.

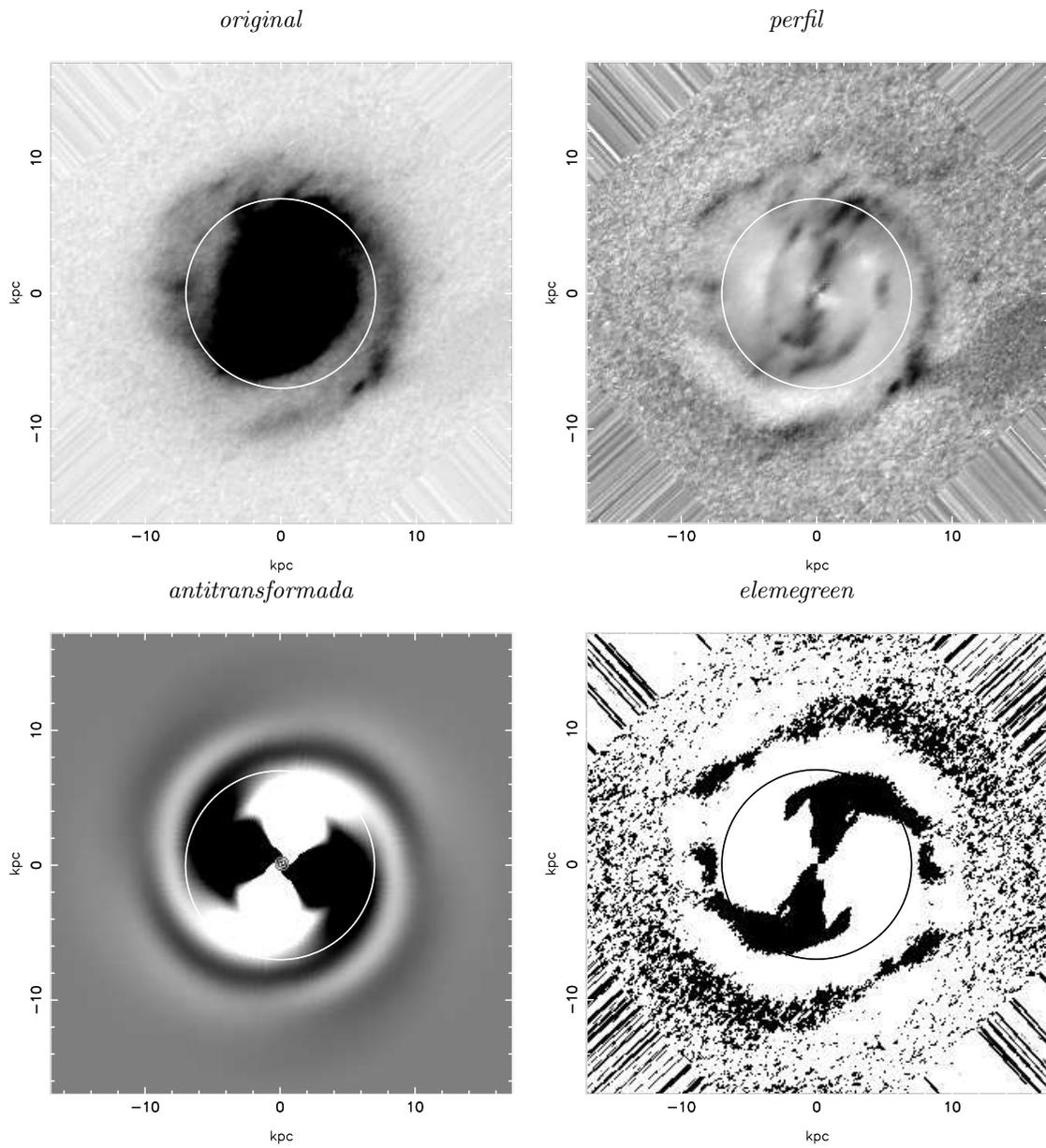


Figura E.10: O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente  $m = 2$ .

## Apêndice F

# Análise de NGC0036

A NGC0036 é uma galáxia com vários braços espirais, indicando haver uma barra fina central de aproximadamente  $12 \text{ kpc}$  e um anel *achatado* na sua extremidade; essa medida foi feita mais facilmente a partir da visualização das imagens na *fig. F.10*. Observam-se que todos os braços apresentam condensações distintas ao longo de suas estruturas, provavelmente forte formação estelar, inclusive próximo aos limites da galáxia, como se vê nos dois braços sul da *fig. F.2*. Apesar de haver várias braços espirais, apenas dois deles partem do anel, havendo uma pequena estrutura ao norte que se conecta a um desses braços a NO. Entre  $20 \leq r \leq 30$  do lado oeste e  $15 \leq r \leq 25$  do lado leste da imagem se percebem braços mais fracos, podendo ser outros sistemas.

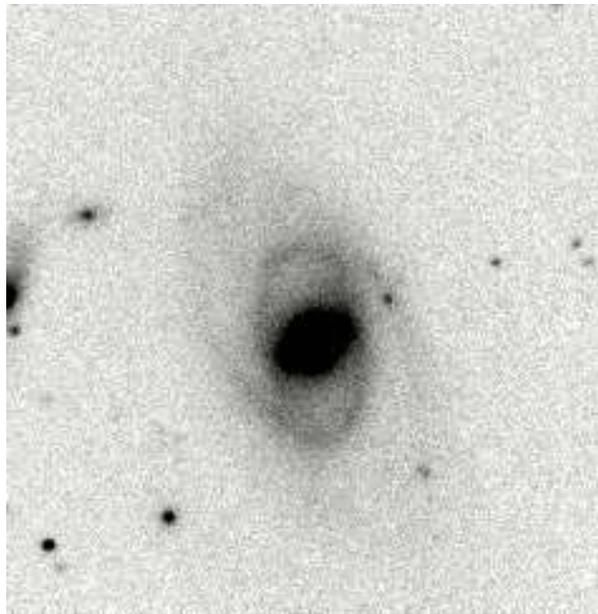


Figura F.1: Imagem NGC0036 extraído do NED, na banda  $H$ ,  $1.6 \mu m$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $1.14 \text{ kpc}$  e  $40.1 \text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. F.3*) informam que as componentes  $m = 1, 2$  e  $3$  são relevantes, sendo bem mais significativa a componente  $2$ . Ambas as componentes apresentam modulações até  $\sim 30 \text{ kpc}$ , de acordo com as funções de densidade, *fig. F.4*. É muito interessante ao fazer essa leitura, em ambas as cores, que nas posições aproximadas de  $8.5 \text{ kpc}$ ,  $12 \text{ kpc}$  e  $23 \text{ kpc}$  a componente  $2$  apresenta amplitudes mínimas, enquanto a componente  $1$  apresenta amplitudes máximas de probabilidade.

Pelo diagrama de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. F.7*), se observam que os dois braços que partem do anel são logarítmicos puros, também observado pelo diagrama de fase da imagem simetrizada (*fig. F.8*). No primeiro diagrama se vê que a barra é fina, conforme já foi colocado antes.

Nas imagens antitransformada de Fourier (*figs. F.5*) e EEM92 (*fig. F.6*), verificam-se a presença das componentes  $m = 1, 2$  e  $3$ , sendo esta última a mais fraca. Na componente  $m = 2$  simetrizada notam-se duas simetrias, relativos aos braços que saem do anel e aos braços N e S mais externos.

A diferença de fase em função do raio (*fig. F.9*) mostra que há uma ressonância de corrotação da componente  $m = 1$ , em torno do raio médio de  $5.3 \pm 0.7 \text{ kpc}$ . Pode-se observar o círculo de corrotação na imagem da *fig. F.10 (a)*. Quanto a componente  $m = 2$ , esta apresenta uma corrotação em  $\sim 11.1 \pm 0.7 \text{ kpc}$ , conforme observado na *fig. F.10 (b)*. Como o nível de ruído na cor  $g$  é elevado na região próxima a esta corrotação nos diagramas *original* e *elmegreen*, essa corrotação tem probabilidade baixa. Uma corrotação bem definida é encontrada em  $\sim 21.6 \pm 1.6 \text{ kpc}$ , Não se obteve ressonâncias para a componente  $m = 3$ . O ruído na cor  $i$  é muito pequeno nos três diagramas.

Pela observação das curvas para a componente  $m = 2$  nos diagramas das funções de densidade radial (*fig. F.4*), depreendem-se duas extensões relevantes (internas e externas) para essa componente, como se vê um *gap* a  $\sim 13.8 \text{ kpc}$  que limita essas extensões, em contrapartida há também para esta galáxia duas ressonâncias de corrotação. Portanto, os raios internos são  $R_1(a) \simeq 9 \text{ kpc}$  e  $R_1(b) \simeq 14 \text{ kpc}$  e os externos  $R_2(a) \simeq 12 \text{ kpc}$  e  $R_2(b) \simeq 22 \text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com as *CR*.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	52.2	30.6	7.2	11.1
2	81.2	47.6	13.2	21.6

Tabela F.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com os CR dos diagramas de fase (*fig. F.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela F.1*). Ambos os raios de corotação estão de acordo com os parâmetros das terceira e quarta colunas da tabela. A *tabela F.2* mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1$  e  $2$  nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	2	0.492	$-26.6 \pm 3.1$
	2	0.5	1	$-76.0 \pm 6.9$
$i$	1	2.25	0.334	$-24.0 \pm 2.6$
	2	1	1	$-63.4 \pm 6.0$

Tabela F.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC0036.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$m = 1 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 2.6^\circ,$$

$$m = 2 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 12.6^\circ.$$

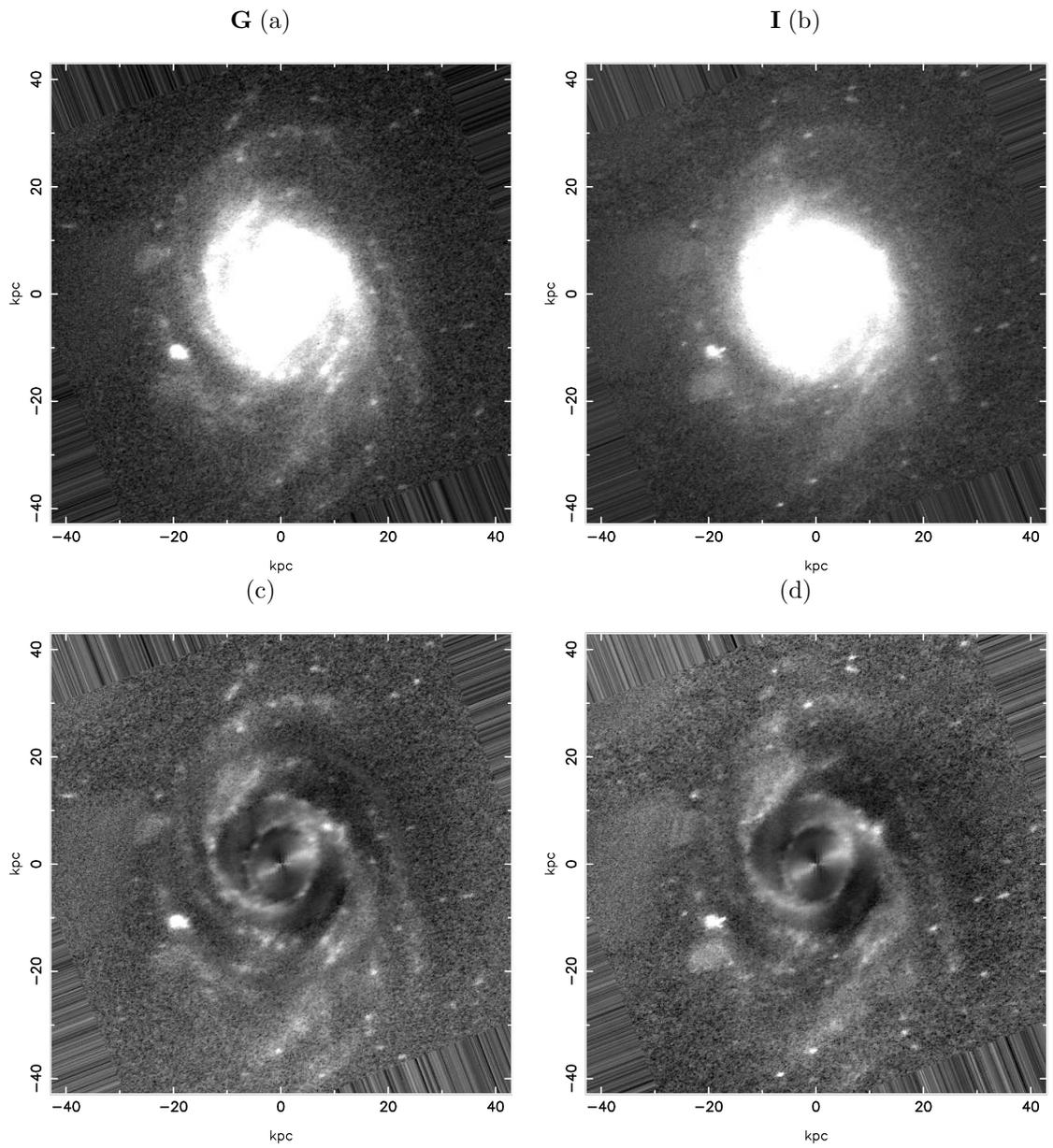


Figura F.2: NGC0036 nas bandas *g* e *i*. (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

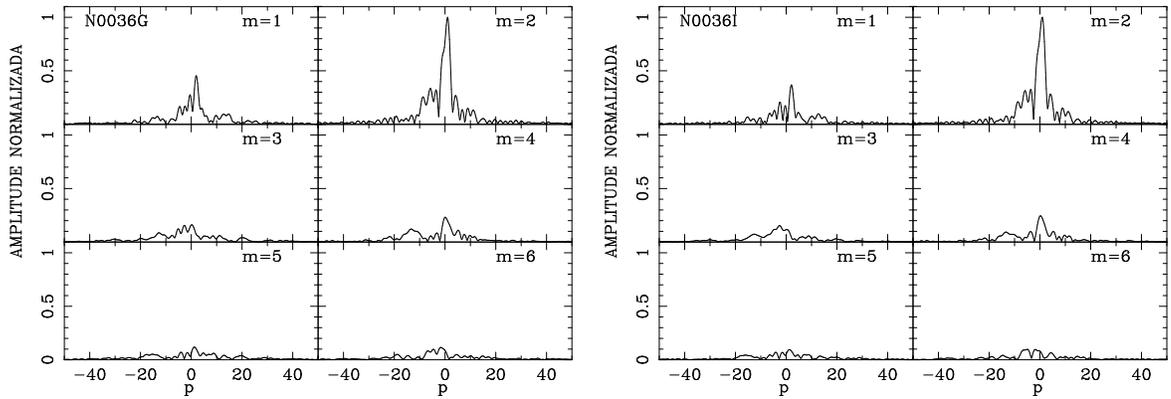


Figura F.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  (a) e  $i$  de NGC0036, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

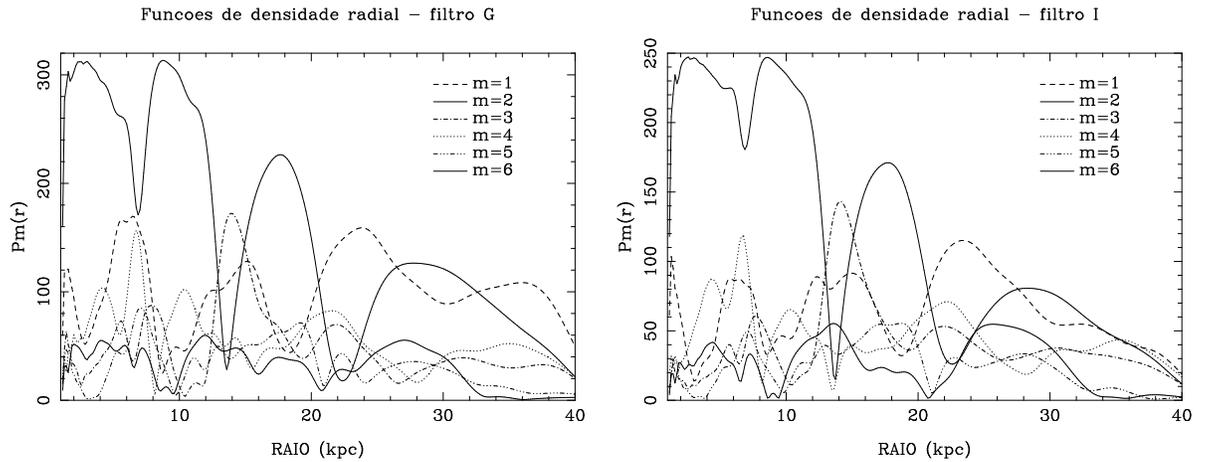


Figura F.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

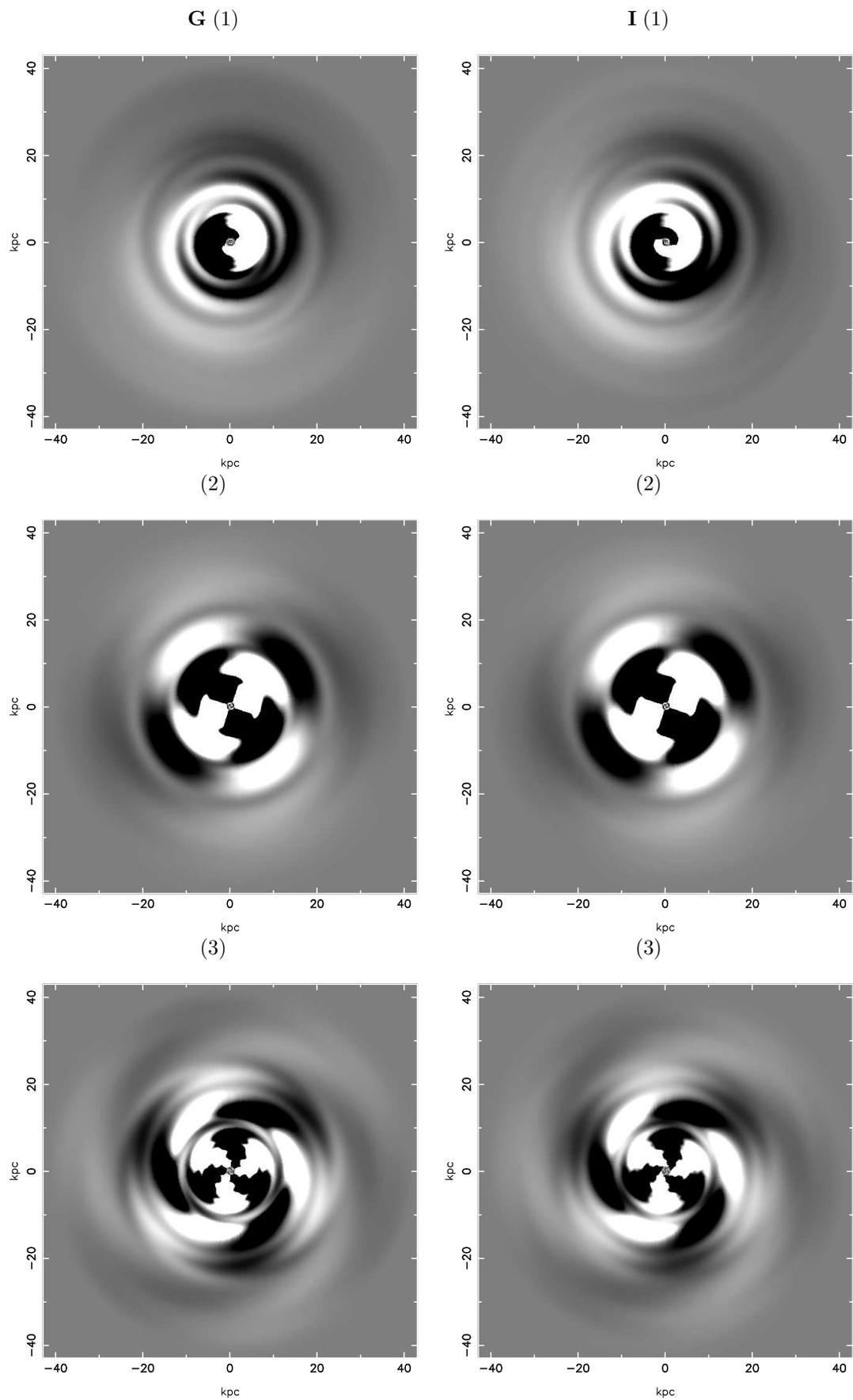


Figura F.5: Espirais Sintéticas nas bandas *g* e *i*, e componentes  $m = 1, 2, 3$ .

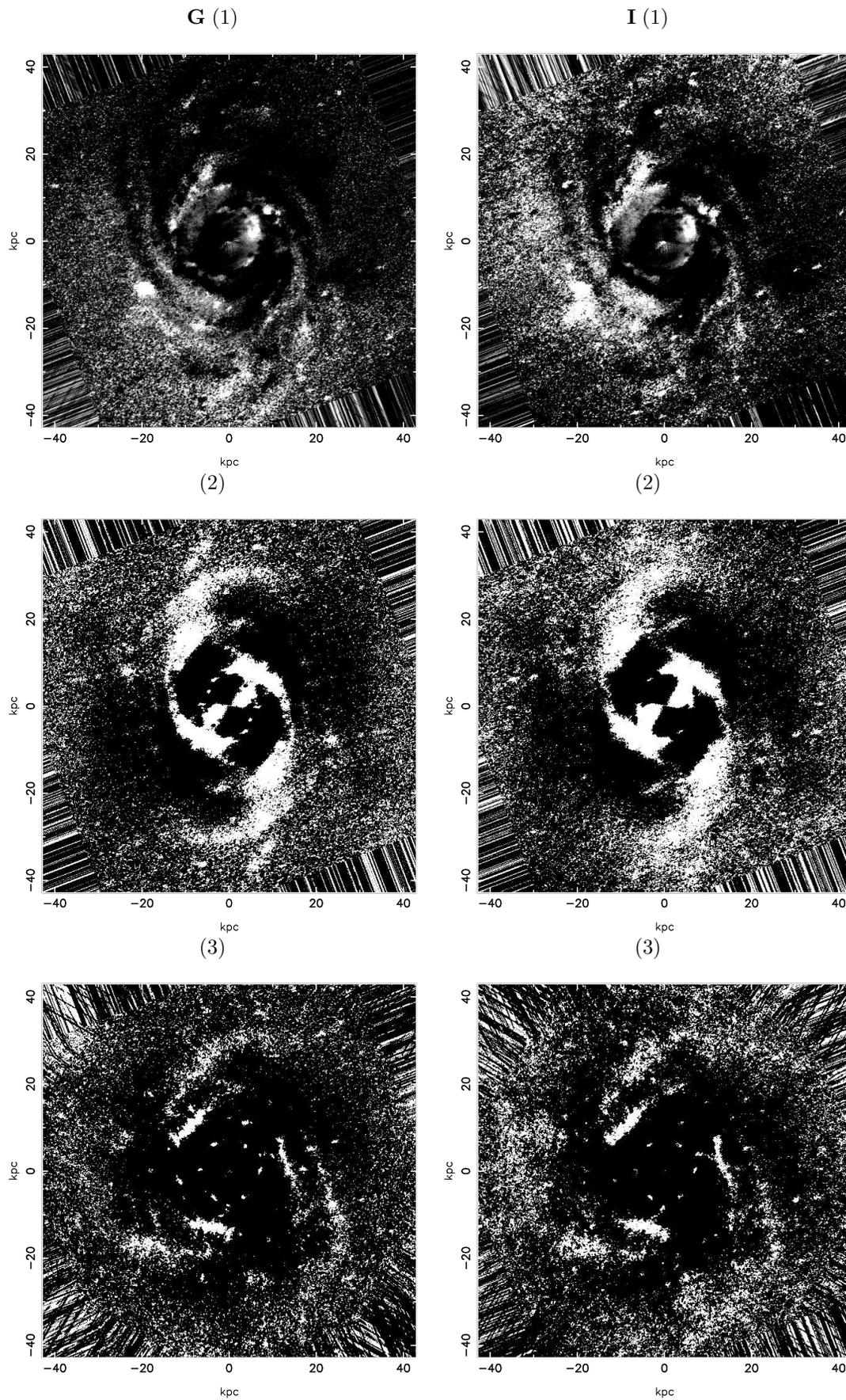


Figura F.6: Imagens simetrizadas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

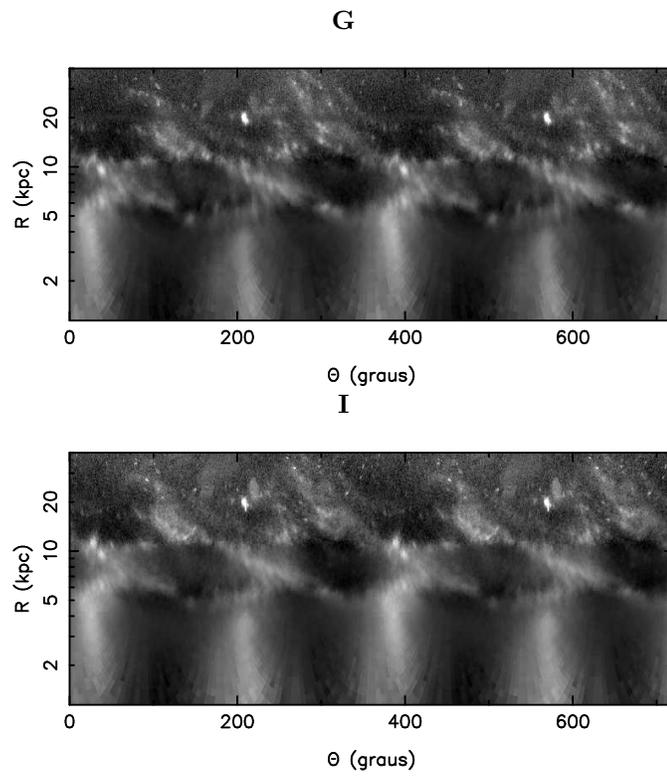


Figura F.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

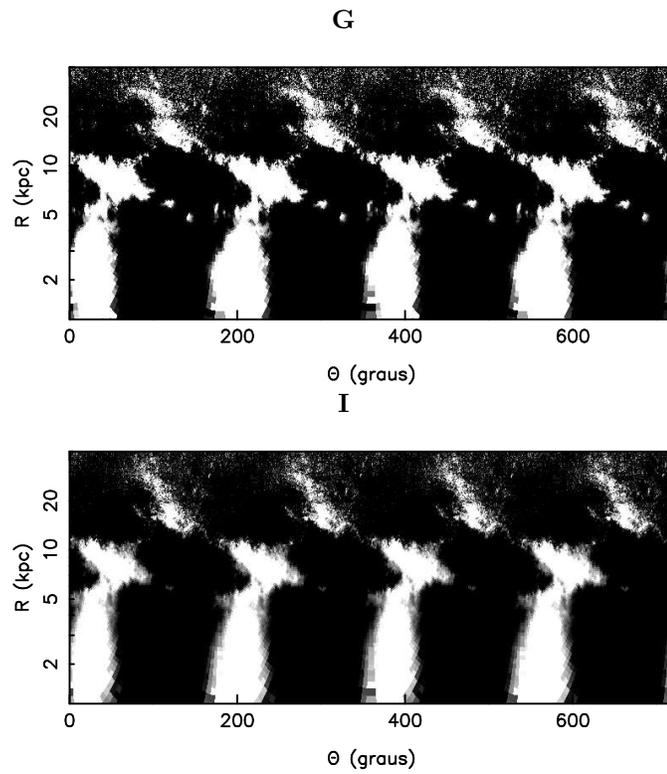


Figura F.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

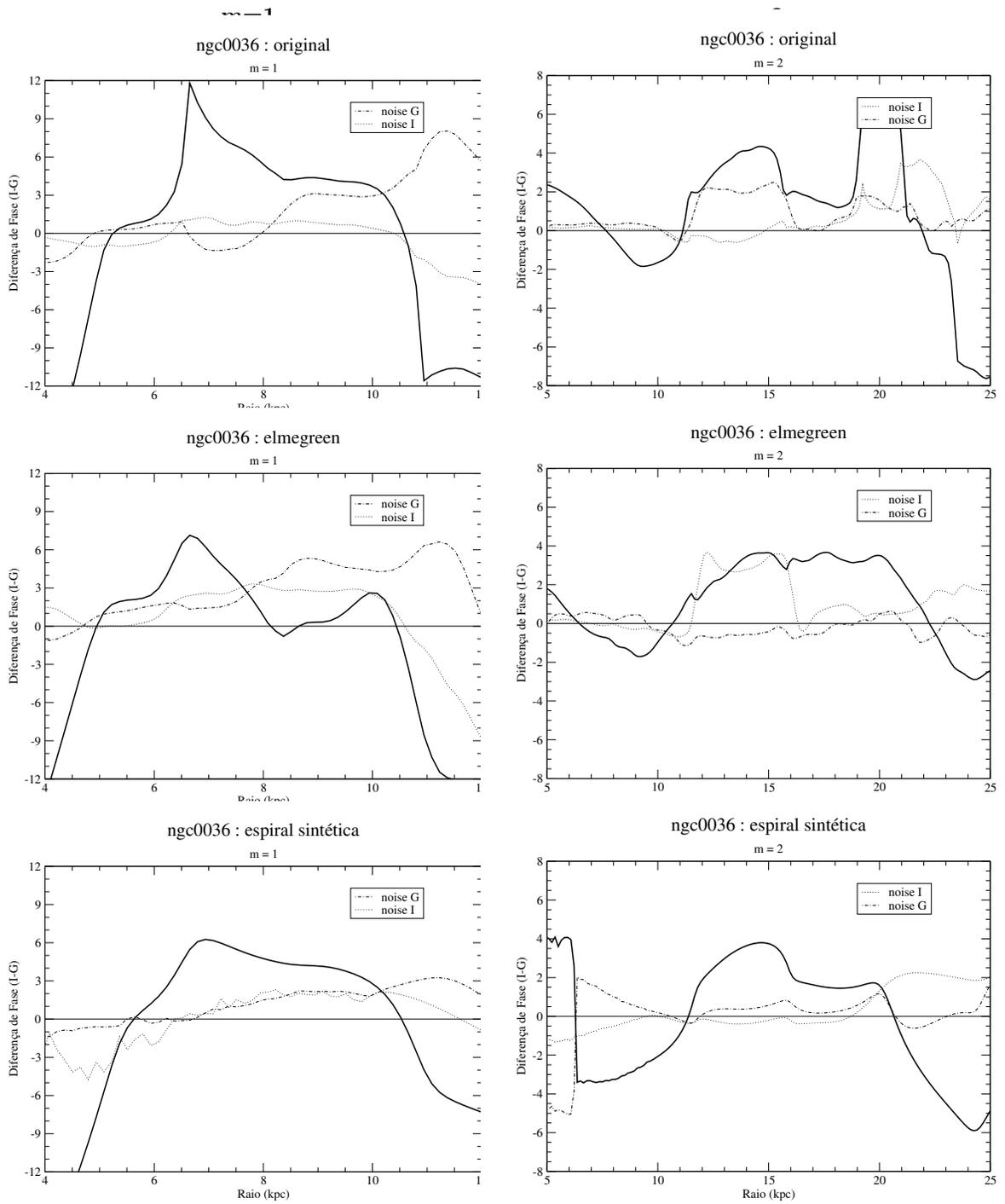


Figura F.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem as componentes  $m = 1$  e  $m = 2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada.

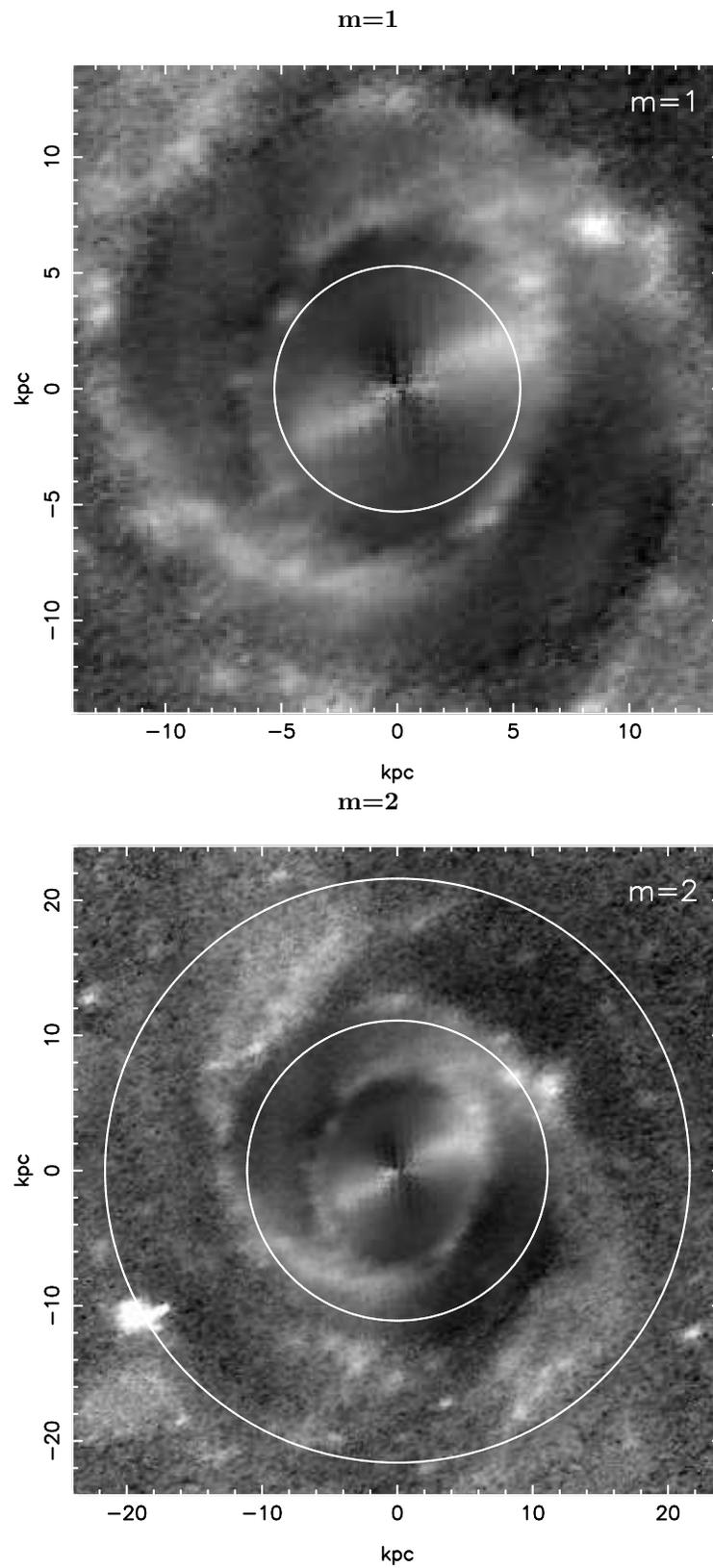


Figura F.10: Os círculos indicam as posições das CR para as componentes  $m = 1$  na posição  $\sim 5.3 \pm 0.7 \text{ kpc}$  na fig. ao topo e,  $m = 2$ , em  $\sim 11.1 \pm 0.7 \text{ kpc}$  e  $21.6 \pm 1.6 \text{ kpc}$  na fig. abaixo. As imagens são na cor  $g$ .

## Apêndice G

# Análise de NGC0047

As imagens de NGC0047 da *fig. G.2* revelam uma estrutura de vários braços espirais, quase circulares, e uma barra central fina, em torno de  $15 \text{ kpc}$  que se estende aproximadamente na direção leste-oeste. Na extremidade oeste originam-se dois braços, sendo um deles um pouco afastado, sendo mais visível na imagem subtraído o disco, na banga  $g$ . Na extremidade L origina-se um braço brilhante mas de pequena extensão e a partir deste há uma bifurcação originando mais dois braços espirais. Como se vê nas imagens da *fig. G.2*, as imagens nas cores no filtro  $i$  são mais ruidosas que a do filtro  $g$ .

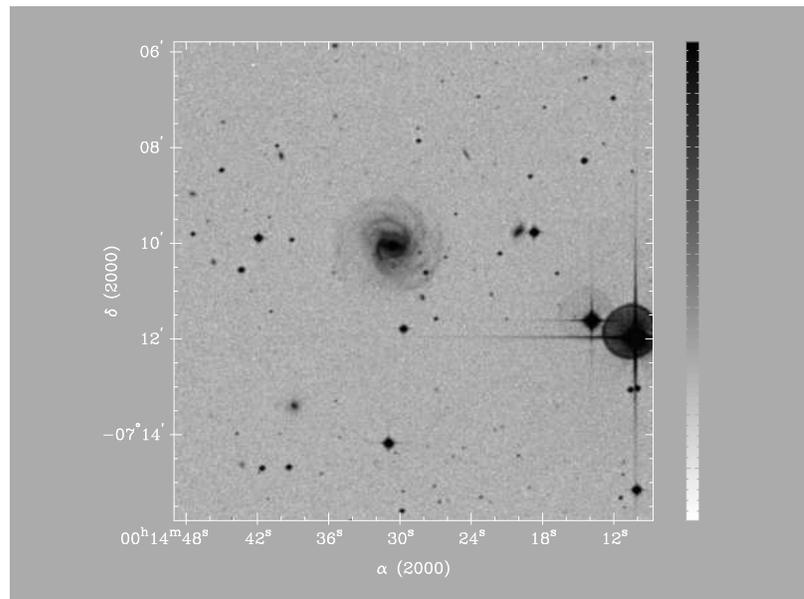


Figura G.1: Imagem obtida de CADC's Digitized Sky Survey Interface, no filtro B.

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.890 \text{ kpc}$  e  $39.1 \text{ kpc}$ . Verifica-se a importância das componentes  $m = 1$  e  $2$  de acordo com os espectros de Fourier (*fig. G.3*). Pelas funções de densidade radial (*fig. G.4*), a componente 2 é forte no intervalo de  $\sim 2 - 12 \text{ kpc}$ ,

provavelmente devido a barra, importante e menos acentuada no intervalo de  $\sim 16 - 22 \text{ kpc}$ . No entanto, para  $m = 1$  mostra duas componentes, nos intervalos de  $7 \leq R \leq 14 \text{ (kpc)}$  e  $20 \leq R \leq 32 \text{ (kpc)}$ .

Pelo diagrama de fase  $\log(R) \text{ vs. } \theta$  (*fig. G.7*), verifica-se que o braço S é logarítmico puro e os demais braços apresentam características aproximadamente logarítmicas. Também se observa uma pequena estrutura no interior da barra, provavelmente um pequeno braço, ou um efeito devido a um corte na barra, do centro para o leste, como se pode vê na imagem para o filtro  $g$  da *fig. G.2*. Por outro lado, no diagrama de fase da imagem simetrizada (*fig. G.8*), se observa para cada extremidade (L e O) dois sistemas de braços logarítmicos, e os braços mais externos à barra também apresentam essa característica, mas visível na cor  $g$ .

Nas imagens antitransformada e EEM92, *figs. G.5 e G.6*, é notado a presença das componentes 1 e 2, porém esta última se apresenta bissimétrica. A componente 3 é mais fraca, porém perceptível.

A diferença de fase em função do raio (*fig. G.9*), mostra *uma* ressonância para a componente  $m = 2$ , não sendo obtidos corrotações para as demais componentes. Na imagem original o raio de corrotação é de  $\sim 8.6 \text{ kpc}$ , na imagem simetrizada  $\sim 10.2 \text{ kpc}$ , e na imagem antitransformada  $\sim 9.3 \text{ kpc}$ , com raio médio de  $\sim 9.4 \pm 0.8 \text{ kpc}$ . Essa corrotação é externa à barra. Nas imagens  $g$  e  $i$  da *fig. G.10* é traçado o círculo de corrotação para  $m = 2$ . Os gráficos das diferenças de fase têm ruídos bastante significativos a partir de  $\sim 10 \text{ kpc}$ ; soma-se a isso o ruído comparável ao sinal no diagrama de fase *elmegreen*. Portanto, a existência da ressonância de corrotação obtida pelos três métodos caracteriza uma probabilidade baixa.

Através das funções de densidade radial (*fig. G.4*), e tendo em conta que nesta galáxia há uma ressonância de corrotação para a componente  $m = 2$ , os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 4 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 14 \text{ kpc}$ . A *tabela G.1* mostra o resultado dos parâmetros de Canzian para a componente analisada.

m	$R_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CRi} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CRo} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	23.2	13.6	8.4	9.4

Tabela G.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com os CR dos diagramas de fase (*fig. G.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela G.1*). Ambos os raios de corrotação estão de acordo com os parâmetros das terceira e quarta colunas da tabela.

A *tabela G.2* mostra os resultados dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1$  e 2 nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	1.25	0.400	$38.7 \pm 5.0$
	2	-1.25	1	$58.0 \pm 4.9$
$i$	1	1.5	0.531	$33.7 \pm 4.0$
	2	-0.75	1	$69.4 \pm 6.0$

Tabela G.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC0047.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$m = 1 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 5.0^\circ,$$

$$m = 2 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 11.4^\circ.$$

Conforme os diagramas das *figs. G.3 e G.4*, a componente 2 é a que mais se destaca e com importância menor para a componente 1. De acordo com o círculo de corotação (*fig. G.10*), e pela observação das imagens simetrizadas, *fig. G.6 (2)*, em ambas as cores, nota-se uma mudança no *pitch angle* na extremidade oeste da barra, por onde corta o círculo que representa a CR. Acredita-se que isto justifica a diferença ( $\Delta\alpha$ ) encontrada para a componente  $m = 2$ .

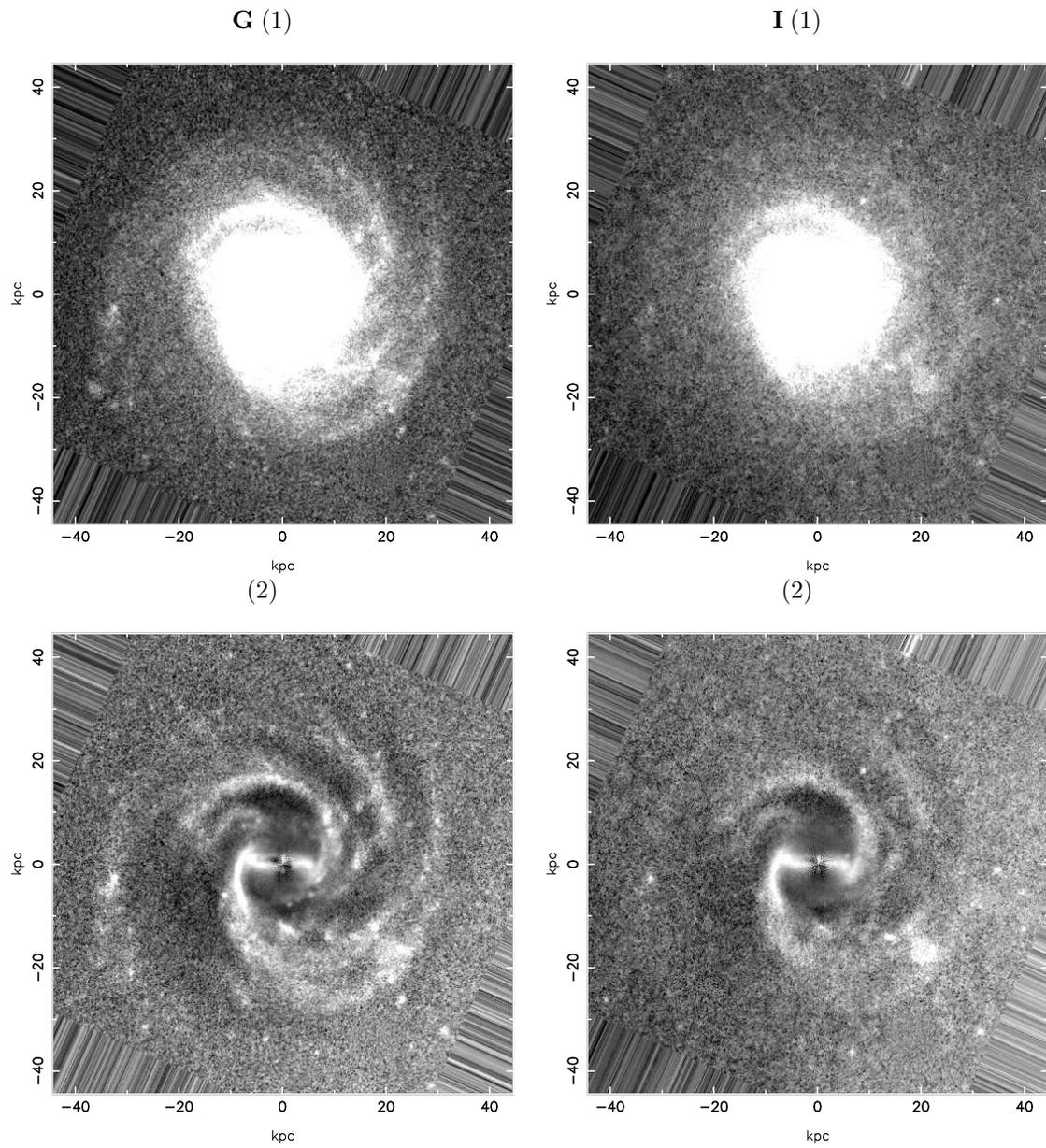


Figura G.2: NGC0047 nas bandas *g* e *i*. (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

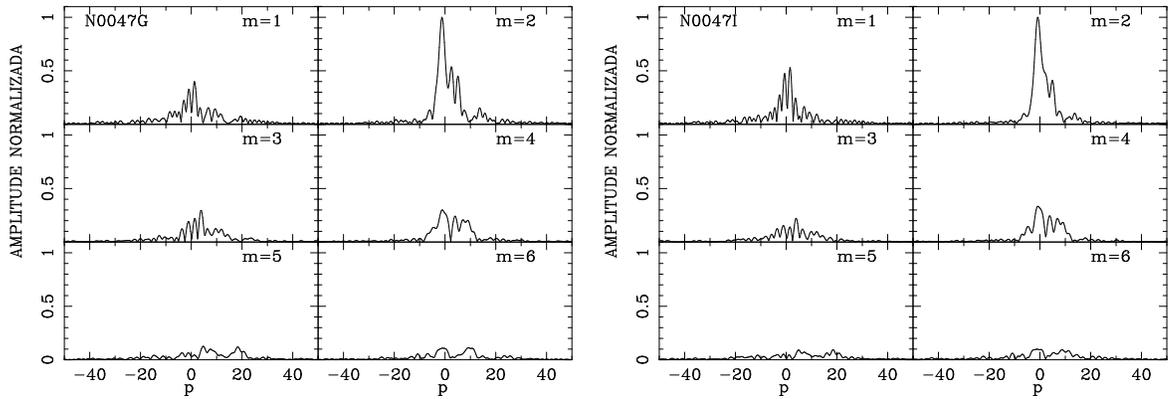


Figura G.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  e  $i$  de NGC0047, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

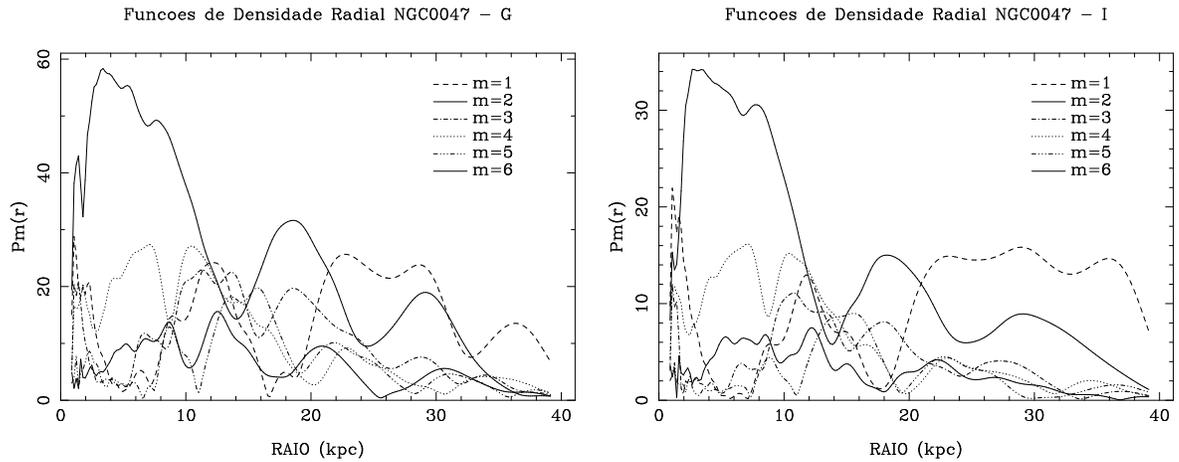


Figura G.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

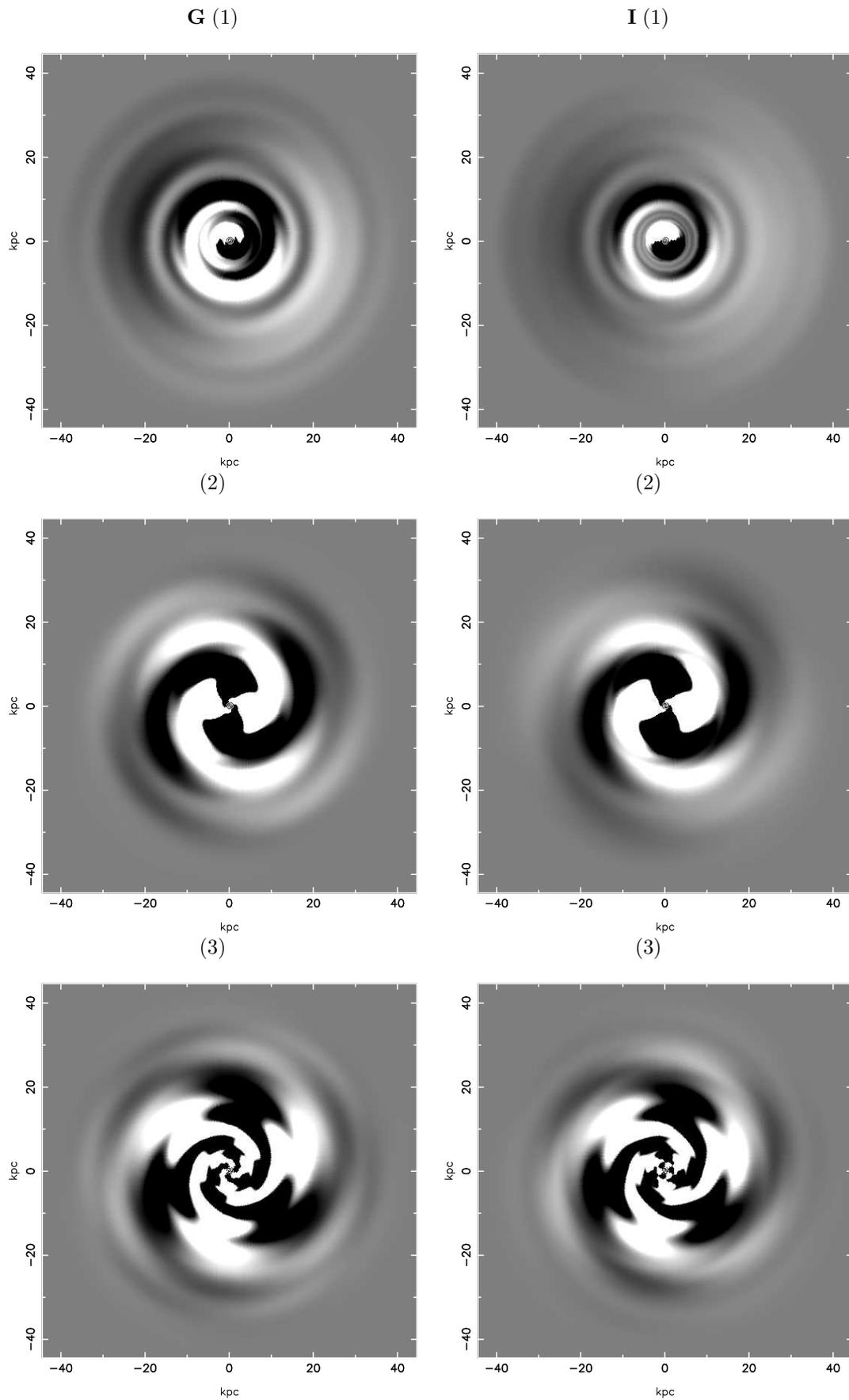


Figura G.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

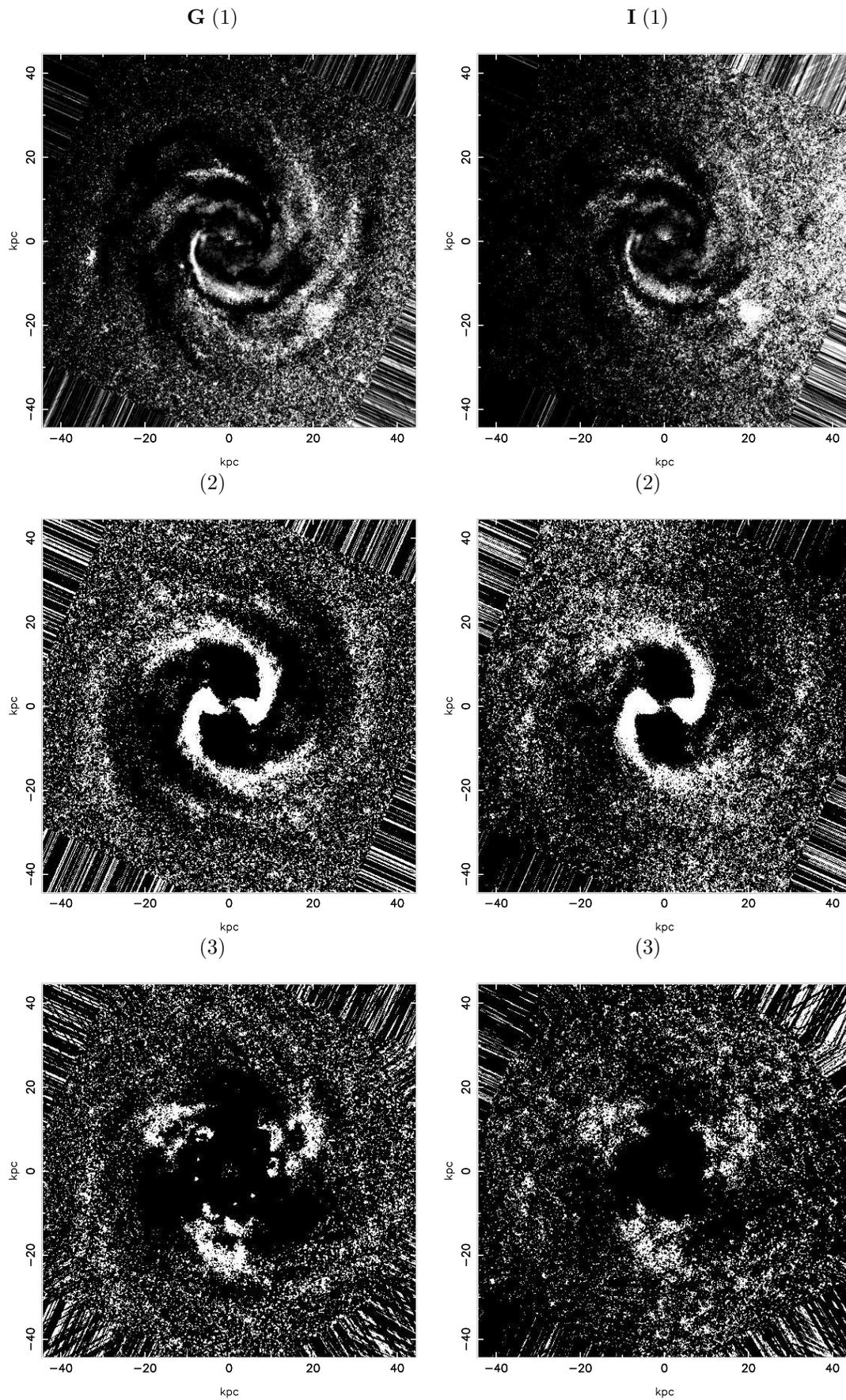


Figura G.6: Imagens simetrizadas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

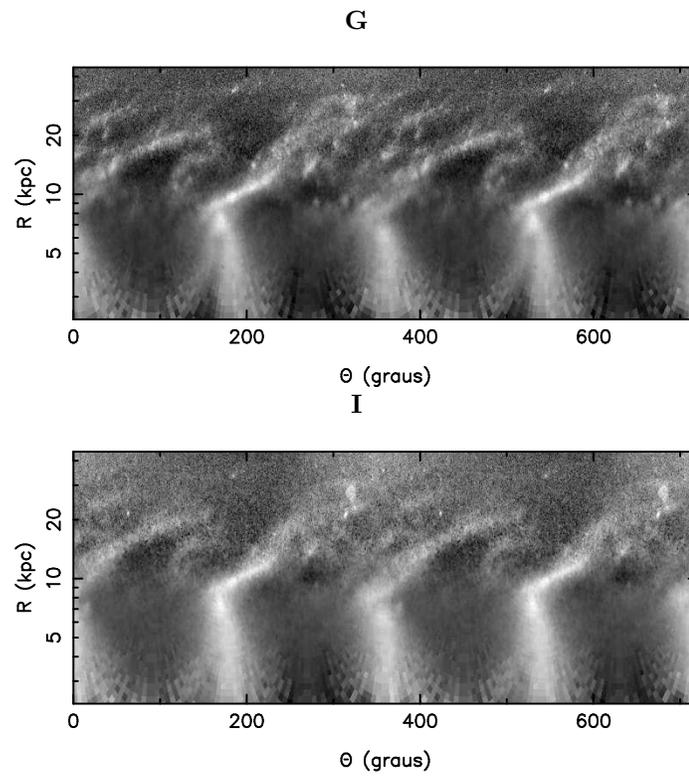


Figura G.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

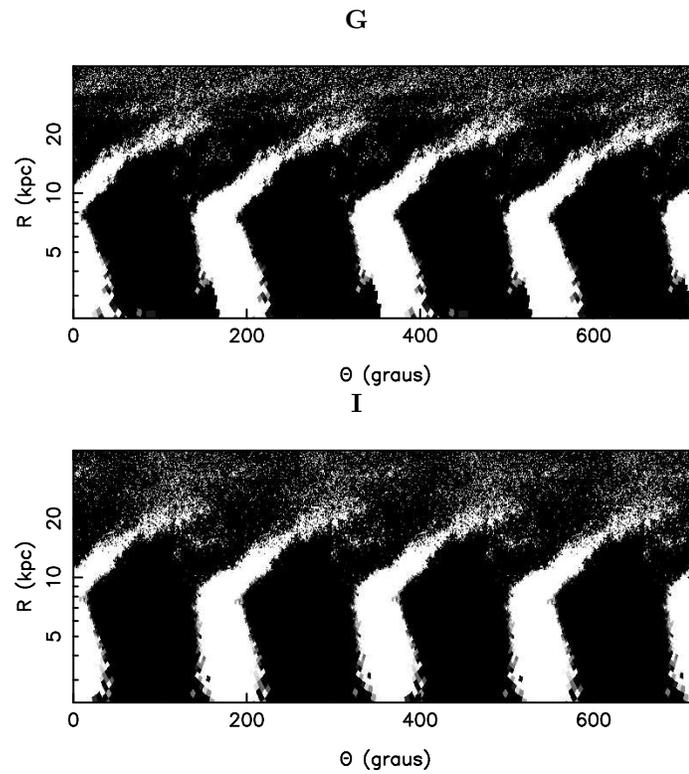


Figura G.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

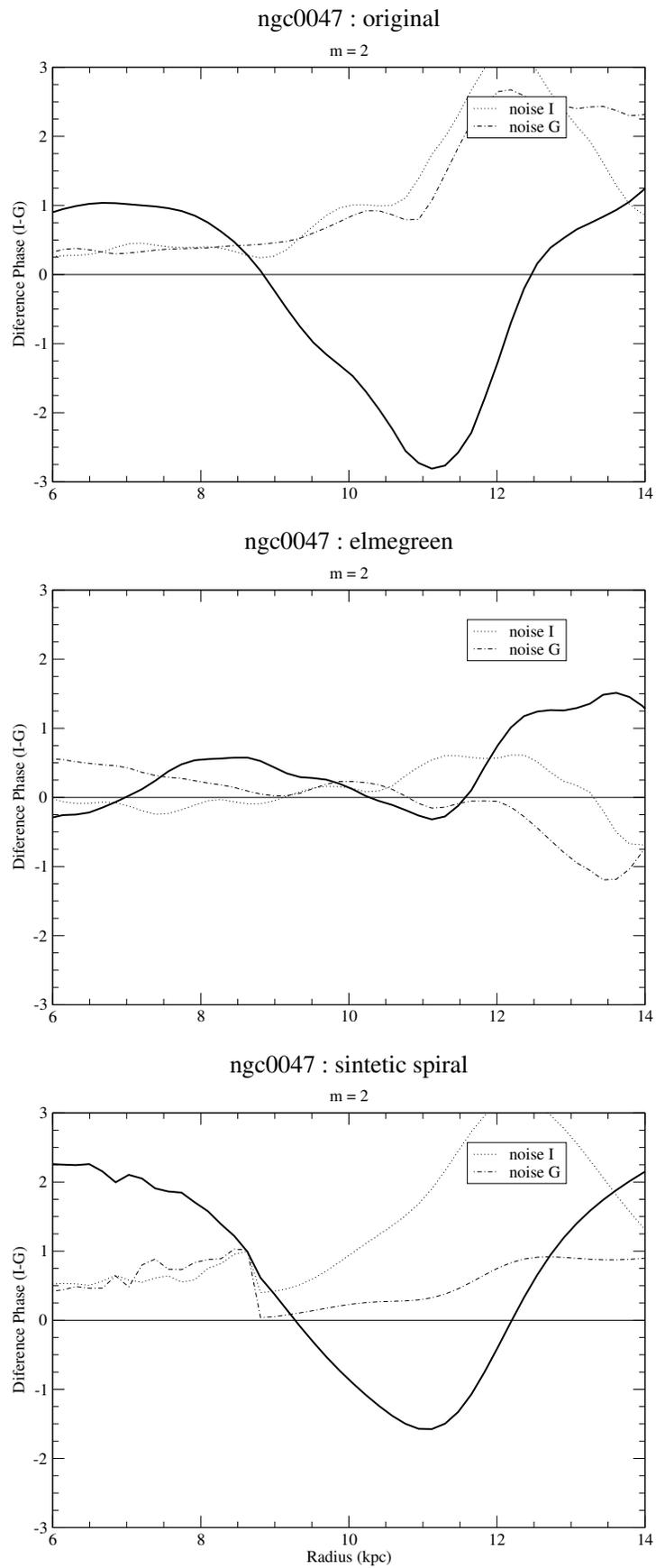


Figura G.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem a componente  $m = 2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada.

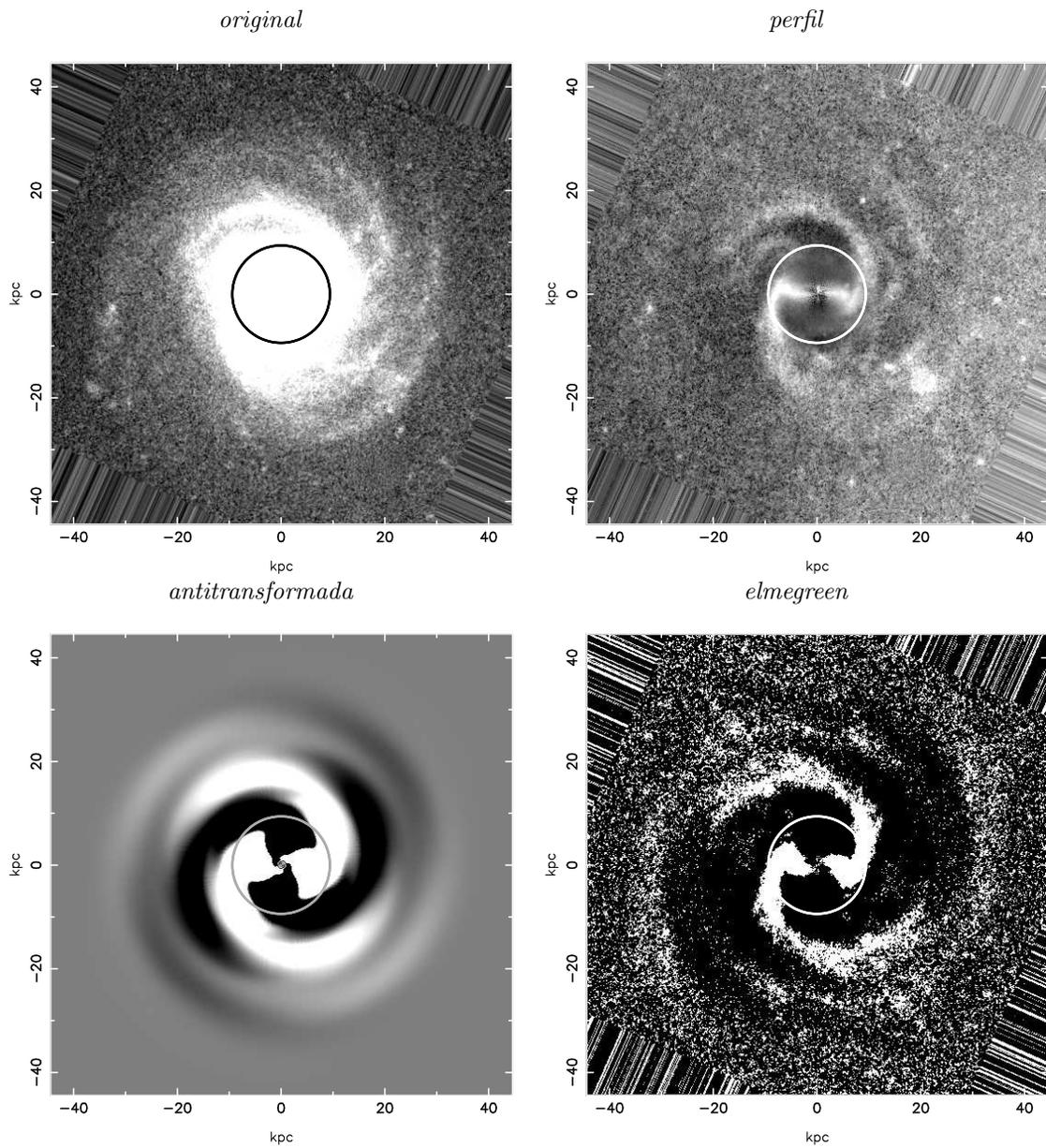


Figura G.10: O círculo indica a posição da ressonância de corrotação para a componente  $m = 2$ . As imagens são na banda  $g$ .

## Apêndice H

# Análise de NGC0060

A galáxia NGC0060 tem uma estrutura de braços complexa e um anel extenso de aproximadamente  $20 \text{ kpc}$  de diâmetro (*fig. H.2*). Ao norte da galáxia e na direção N-L notam-se algumas condensações, indicando ser partes de um braço circular, de acordo com as imagens no filtro  $g$ . Também é fracamente perceptível, no mesmo filtro, um braço estendido ao norte da galáxia. Do centro para o sul da galáxia parte uma estrutura linear de  $\sim 10 \text{ kpc}$  de extensão, com bifurcação para duas estruturas, uma a  $90^\circ$ , e outra aproximadamente circular (no sentido anti-horário). Dentro do campo visual da imagem digitalizada do CADC (*fig. H.1*) se vê que a galáxia é isolada, pelo menos não se observa nenhuma companheira próxima de dimensão equivalente.

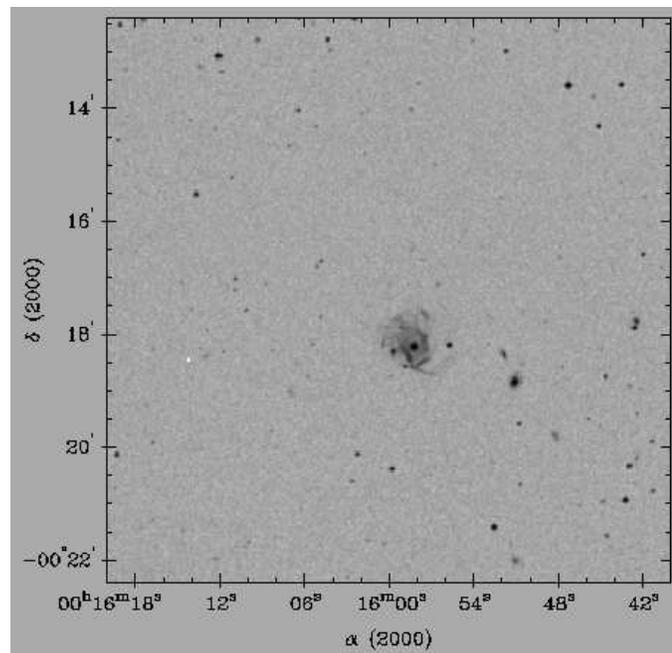


Figura H.1: Imagem extraída do CADC's Digitized Sky Survey Interface, no filtro B.

A análise de Fourier foi realizada entre  $1.7\text{ kpc}$  e  $44.7\text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. H.3*) informam que as componentes  $m = 1$  e  $2$  são as mais preponderantes, com destaque para duas modulações em cada uma delas, e em ambas as cores, sendo confirmado pelas funções de densidade de probabilidade (*fig. H.4*). De acordo com essas funções, a componente 1 apresenta dois picos em torno de  $2.5$  e  $7\text{ kpc}$ , com uma fenda a  $\sim 5\text{ kpc}$  onde há um dos máximos da componente 2; no intervalo de  $\sim 16$  a  $30\text{ kpc}$  a componente 1 também se apresenta com relativa importância. A componente 2 apresenta um máximo de probabilidade em  $\sim 16\text{ kpc}$  e a partir de  $18\text{ kpc}$  é atenuada pela componente 1. Na cor  $i$  a componente 1 predomina sobre a componente 2 a partir de  $\sim 18\text{ kpc}$  até os limites da galáxia.

Nas imagens antitransformada de Fourier (*fig. H.5*) para a componente 1 notam-se duas estruturas de caráter distinto, notadamente uma *leading* e a outra *trailing*. Já nas imagens simetrizadas (*fig. H.6*) é possível identificar essas estruturas, embora menos perceptível. Por outro lado, a componente 2, em ambos os métodos revelam uma fraca simetria, provavelmente devido as duas curvas quase circulares, como descrito acima. Também se observa em ambos os métodos uma estrutura que possibilita identificar uma componente 3, embora esta seja menos relevante que as componentes 1 e 2.

Pelo diagrama de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. H.7*), se destaca uma estrutura que provavelmente representa o braço circular sul, sendo muito fraca a representação do braço norte. Entretanto, no diagrama da imagem simetrizada (*fig. H.8*), os dois braços circulares são enfatizados. Neste caso, os braços têm uma extensão com característica logarítmica.

A diferença de fase em função do raio (*fig. H.9*) mostra que há uma corrotação para  $m = 1$ , com valor médio de  $\sim 34.0\text{ kpc}$ . Esta corrotação está no limite visual da galáxia, e representa um resultado aceitável, não somente pelo sinal ser mais significativo em torno desse raio, como pelas funções densidade de probabilidade (*fig. H.3*), principalmente na cor  $i$ ; nessa posição há o predomínio da componente 1. A componente  $m = 2$  tem raio de corrotação em  $\sim 10.5\text{ kpc}$ . A probabilidade de sua ocorrência é menor do que a componente 1, devido ao ruído na cor  $i$  ser significativo no método antitransformada e muito maior que o sinal no método elmegreen. A posição da corrotação está próximo ao anel e, de acordo com os diagramas da *fig. H.4*, há um fenda em torno desse raio, o que caracteriza, a princípio uma possibilidade aceitável para esse resultado.

Através das funções de densidade radial (*fig. H.4*), e tendo em conta nesta galáxia a existência de uma ressonância de corrotação para a componente  $m = 2$ , os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 4\text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 12\text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o cálculo dos parâmetros de Canzian.

De acordo com a *tabela H.1*, o raio médio calculado da ressonância de corrotação para a componente 2 é permitido, pois está de acordo com os intervalos dos parâmetros de Canzian, apesar das incertezas relativos aos ruídos correspondentes a cada banda espectral.

$m$	$R_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CRi} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CRo} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	23.2	13.6	7.2	$\sim 10.5$

Tabela H.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com o CR obtido dos diagramas de fase (*fig. H.9*) para a componente  $m = 2$ . Todos os raios estão em *kpc*.

A *tabela H.2* mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1, 2, 3$  e  $4$  nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	2.75	1	$-20.0 \pm 1.8$
	1	-2.25	0.973	$24.0 \pm 2.6$
	2	2.75	0.881	$-36.0 \pm 2.7$
	2	-0.5	0.732	$76.0 \pm 6.9$
	3	4.25	0.373	$-35.2 \pm 1.7$
	4	-0.25	0.246	$86.4 \pm 3.6$
$i$	1	2.5	1	$-21.8 \pm 2.2$
	1	-2.5	0.993	$21.8 \pm 2.2$
	2	2.75	0.927	$-36.0 \pm 2.7$
	2	-0.25	0.841	$82.9 \pm 7.1$
	3	5	0.318	$-31.0 \pm 1.3$
	4	0	0.278	$90 \pm 3.6$

Tabela H.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC0060.

Na componente  $m = 1$  do espectro de Fourier se verificam para duas amplitudes, ângulos de fase de  $\sim 1.8^\circ$  e  $\sim 2.2^\circ$ . Em  $m = 2$ , há predomínio de duas componentes, no entanto, a de maior amplitude verificam-se ângulos iguais, enquanto na outra se obtém o ângulo de fase de  $\sim 6.9^\circ$ . Como o valor máximo da amplitude ocorre a  $p = 2.75$ , portanto, são permitidos  $\Delta\alpha$  entre  $2.3^\circ$  e  $6.9^\circ$ . Apesar da componente  $m = 4$  não ser relevante, obteve-se em três modulações desse espectro diferenças nulas em suas fases, com exceção dos valores de  $p$  indicados na *tabela H.2*; e para  $m = 3$  considerou-se os valores máximos de suas amplitudes. As componentes 3 e 4 têm probabilidades baixas em comparação às componentes 1 e 2.

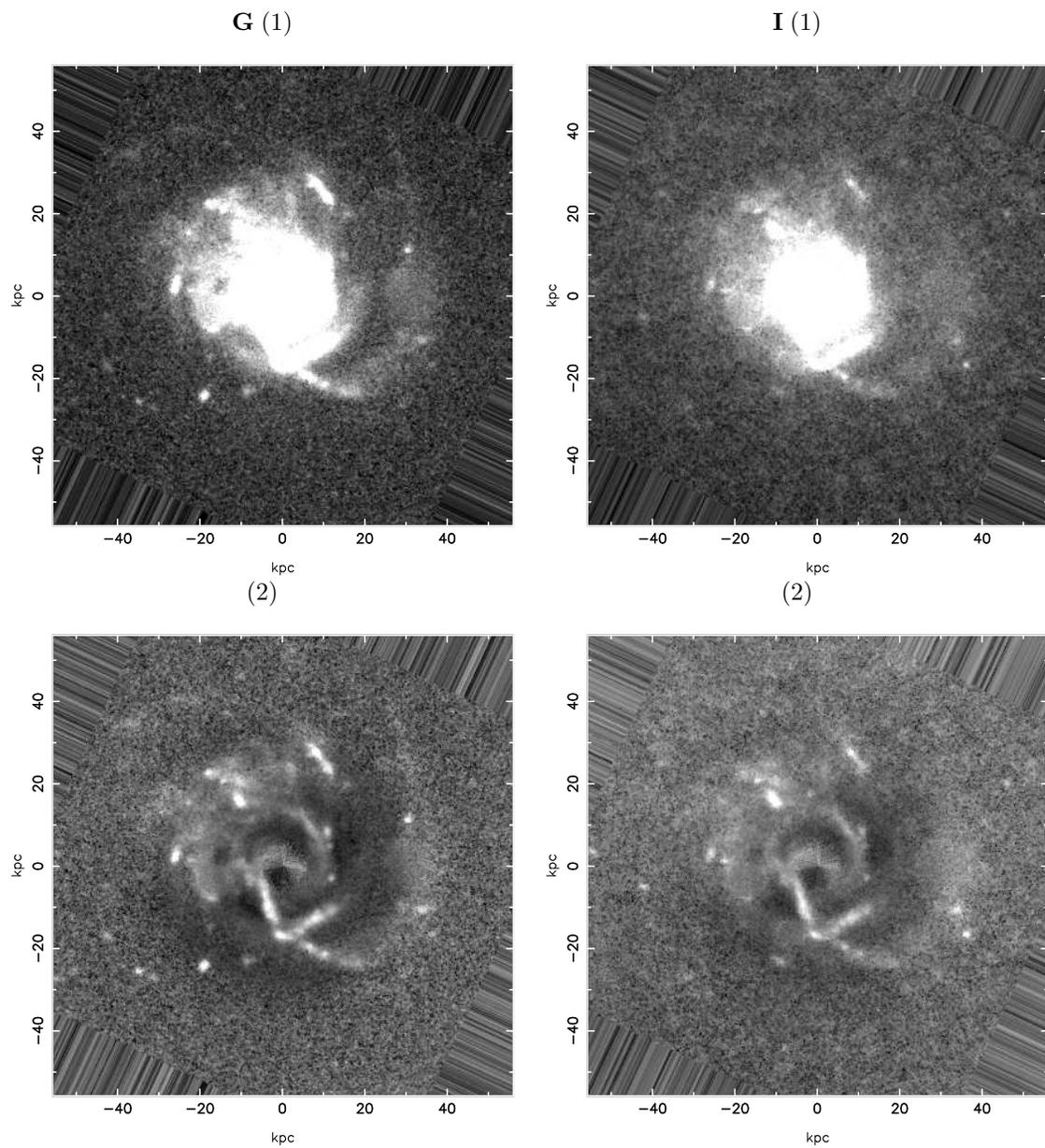


Figura H.2: NGC0060 nas bandas *g* e *i*. (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

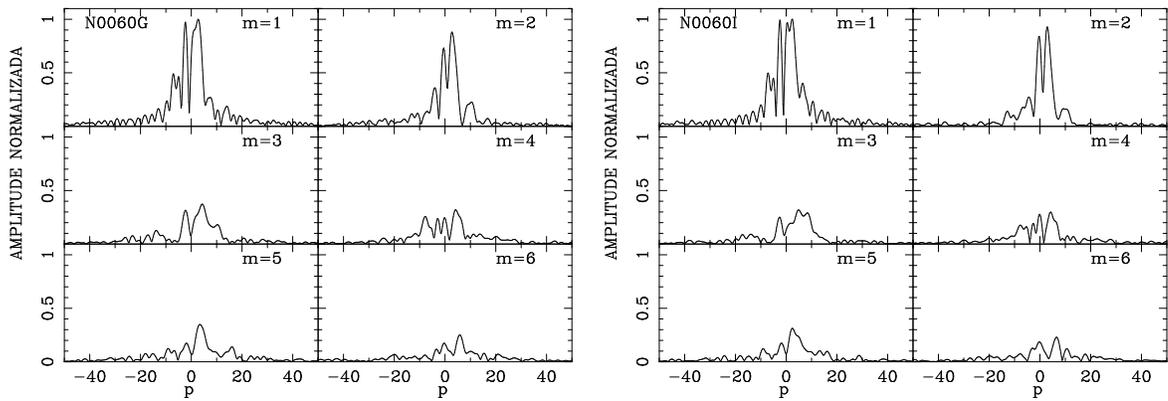


Figura H.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  (a) e  $i$  de NGC0060, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

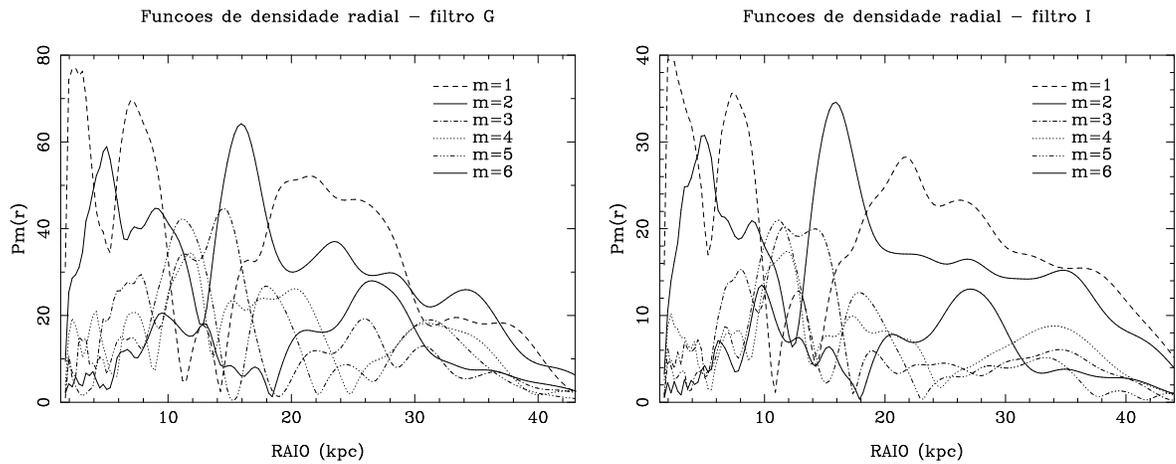


Figura H.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

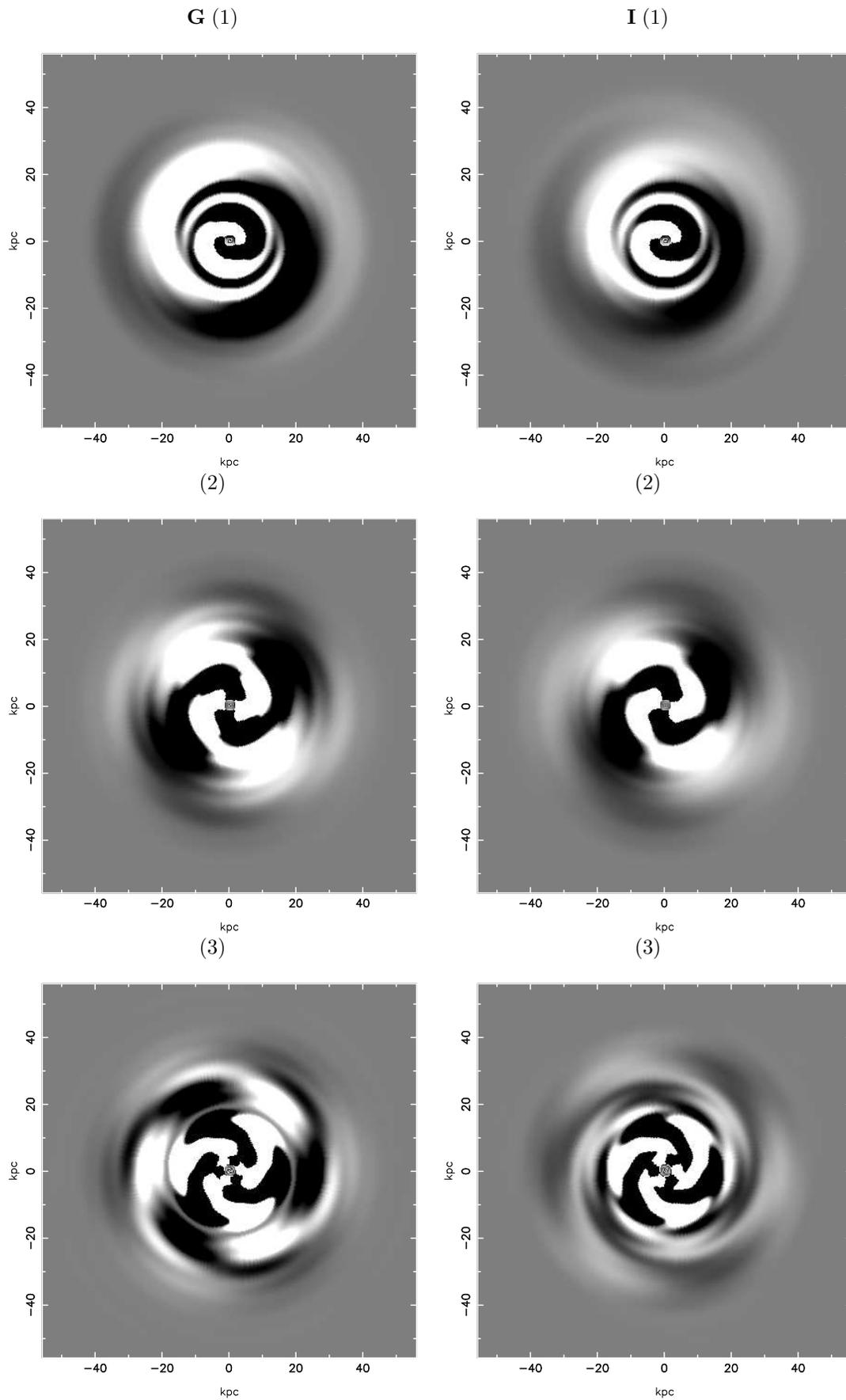


Figura H.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

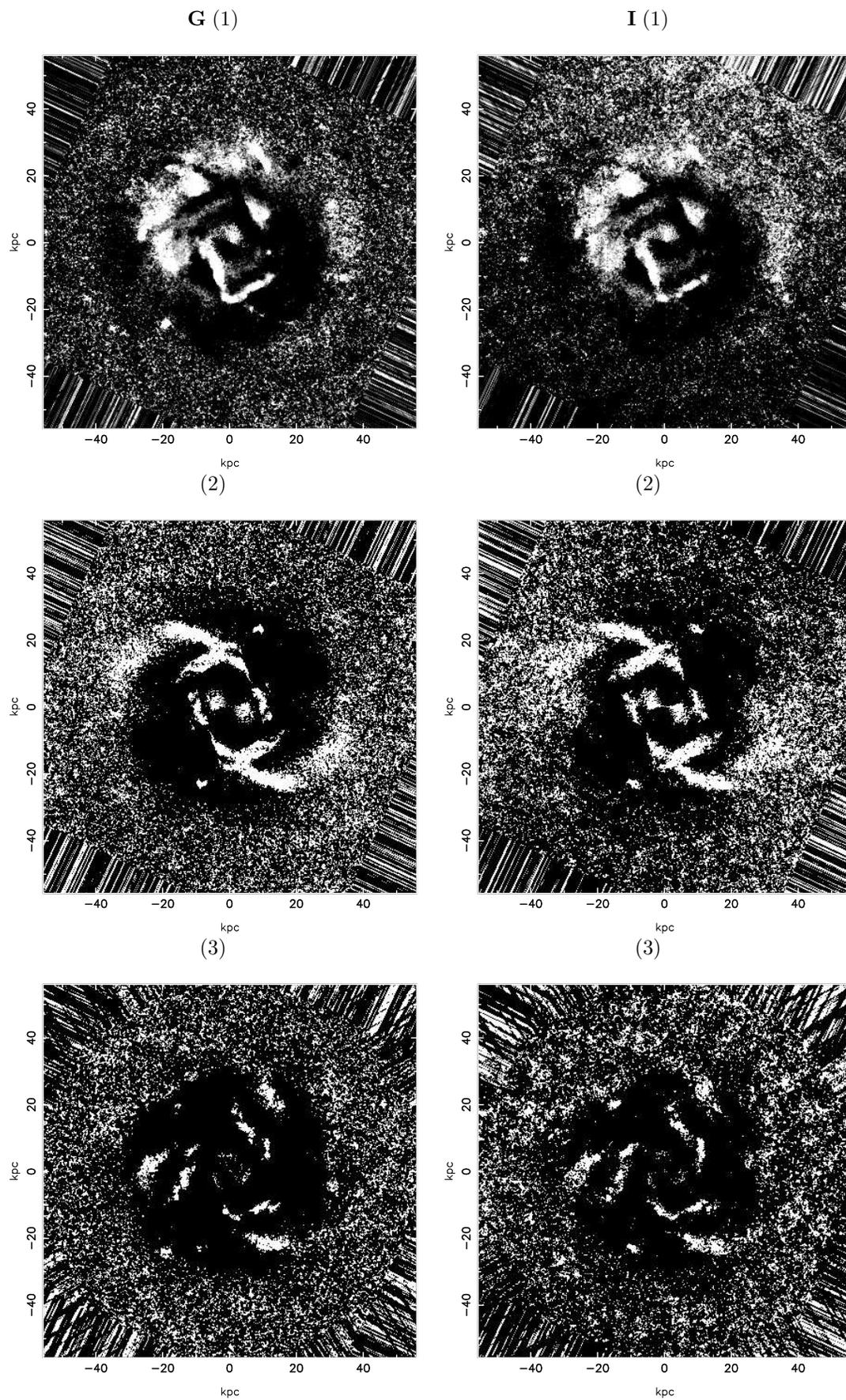


Figura H.6: Imagens simetrizadas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

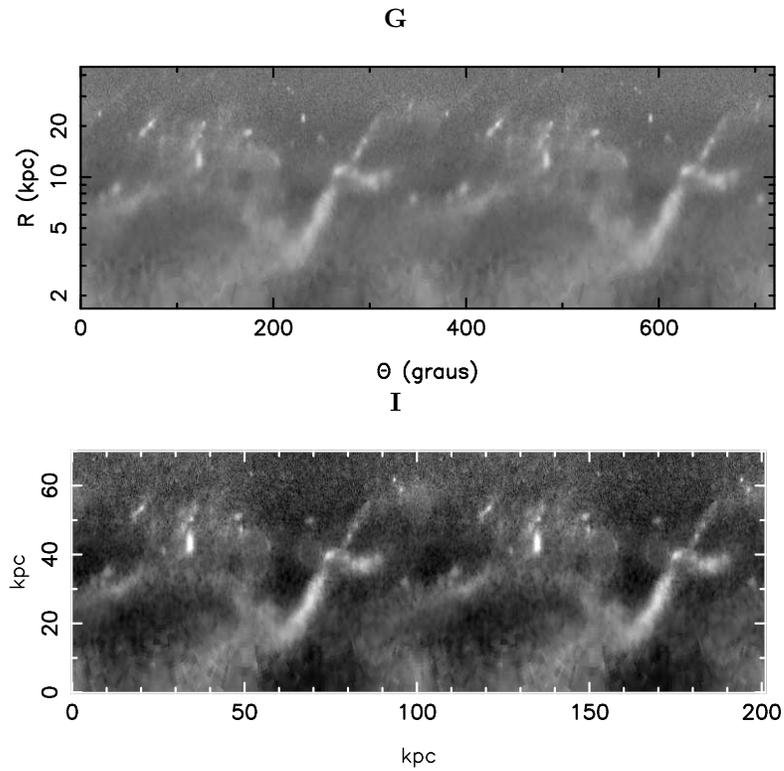


Figura H.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

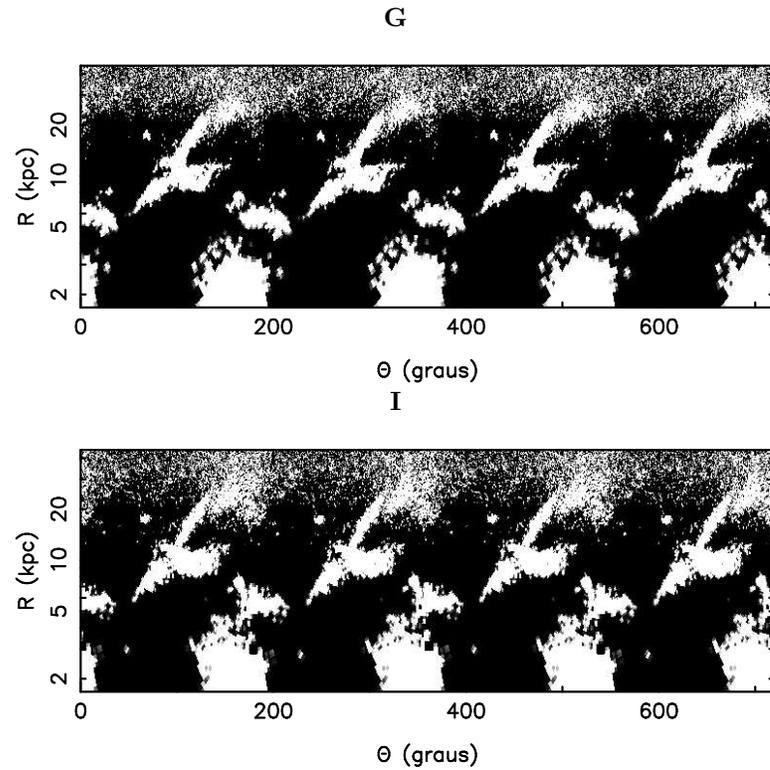


Figura H.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

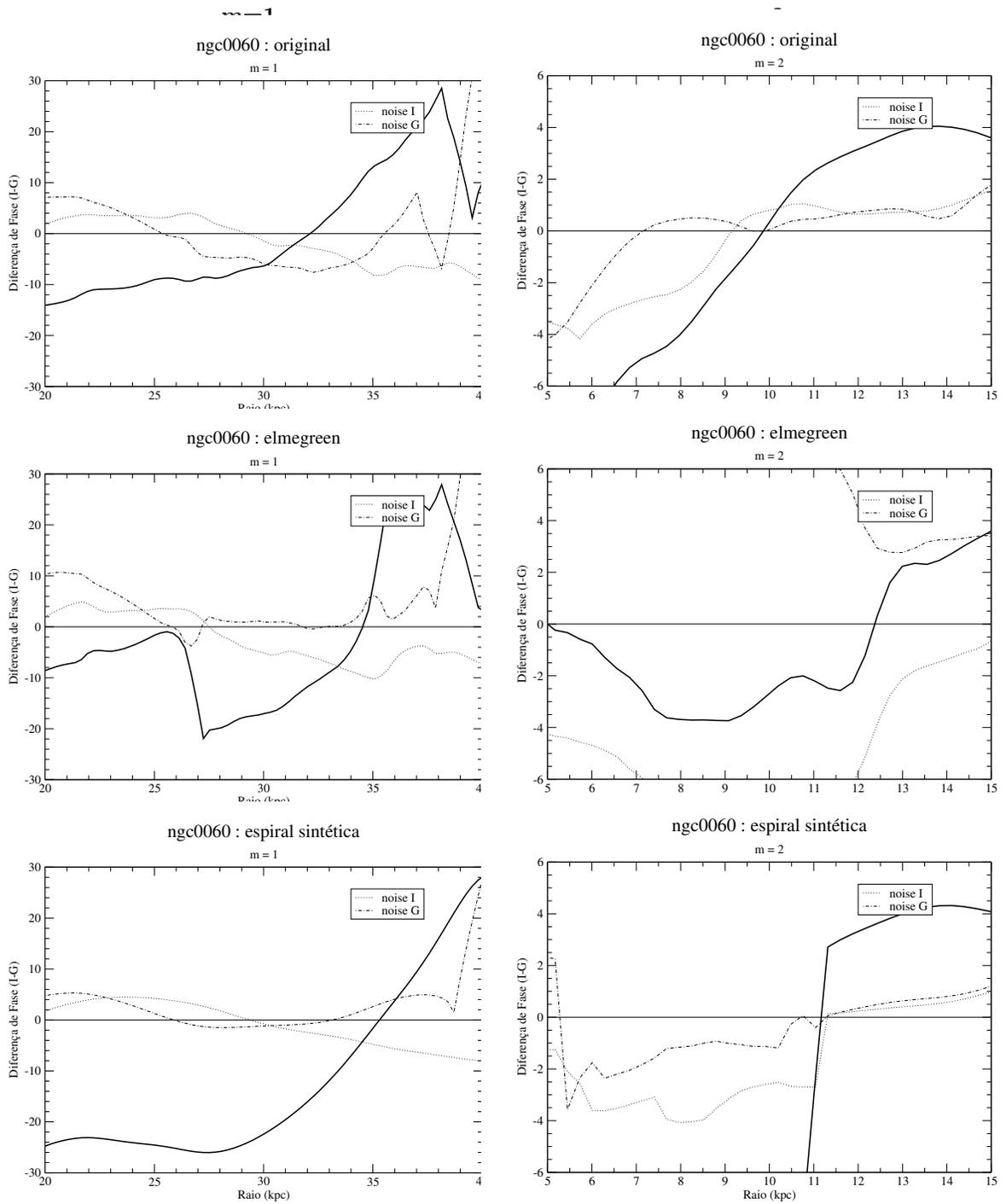


Figura H.9: [Diferenças de Fase (*graus*) × Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem às imagens originais, método EEM92 e antitransformada, relativo às componentes  $m = 1, 2$ .

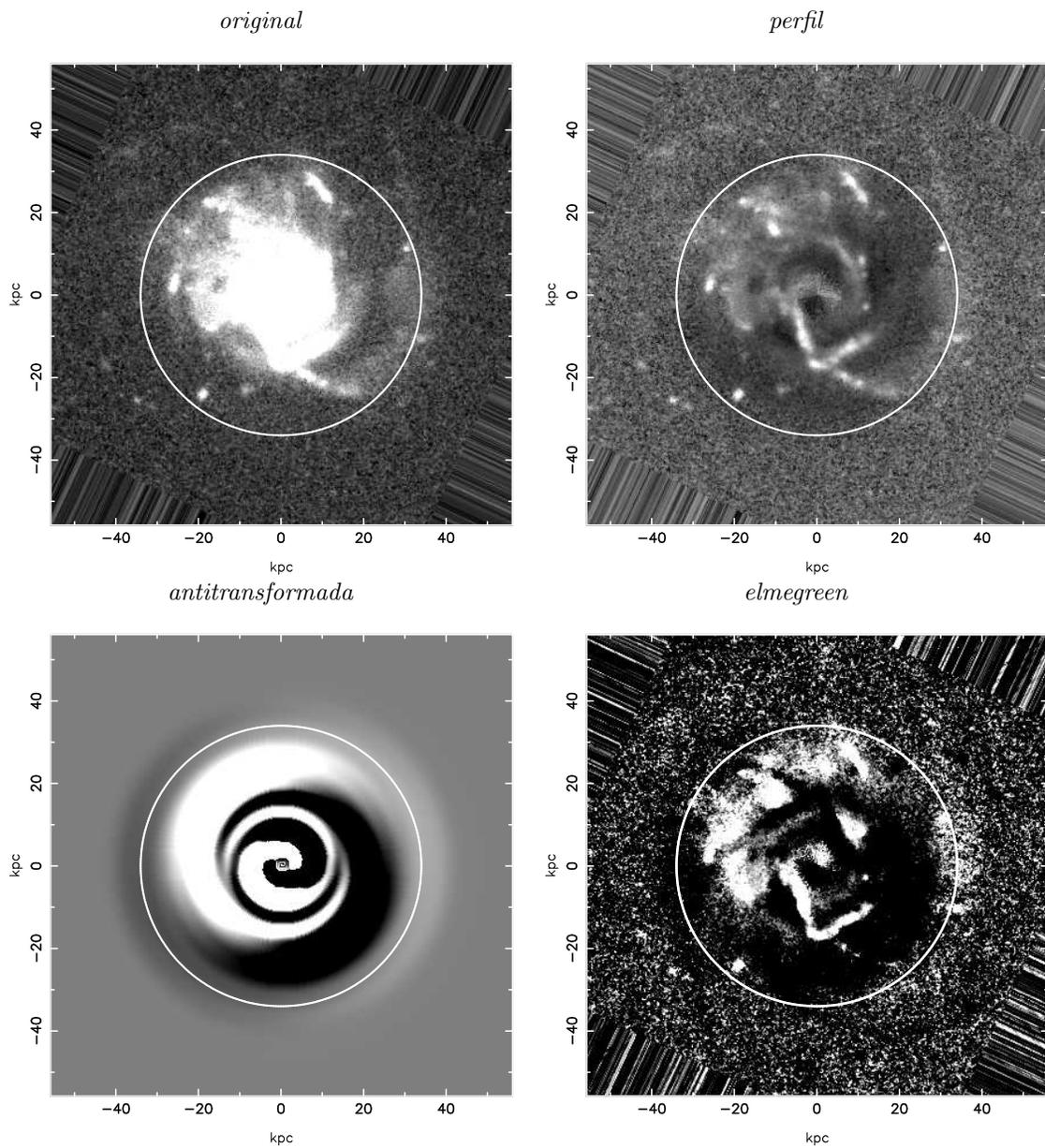


Figura H.10: O círculo indica a posição da ressonância de corotação para a componente  $m = 1$ .

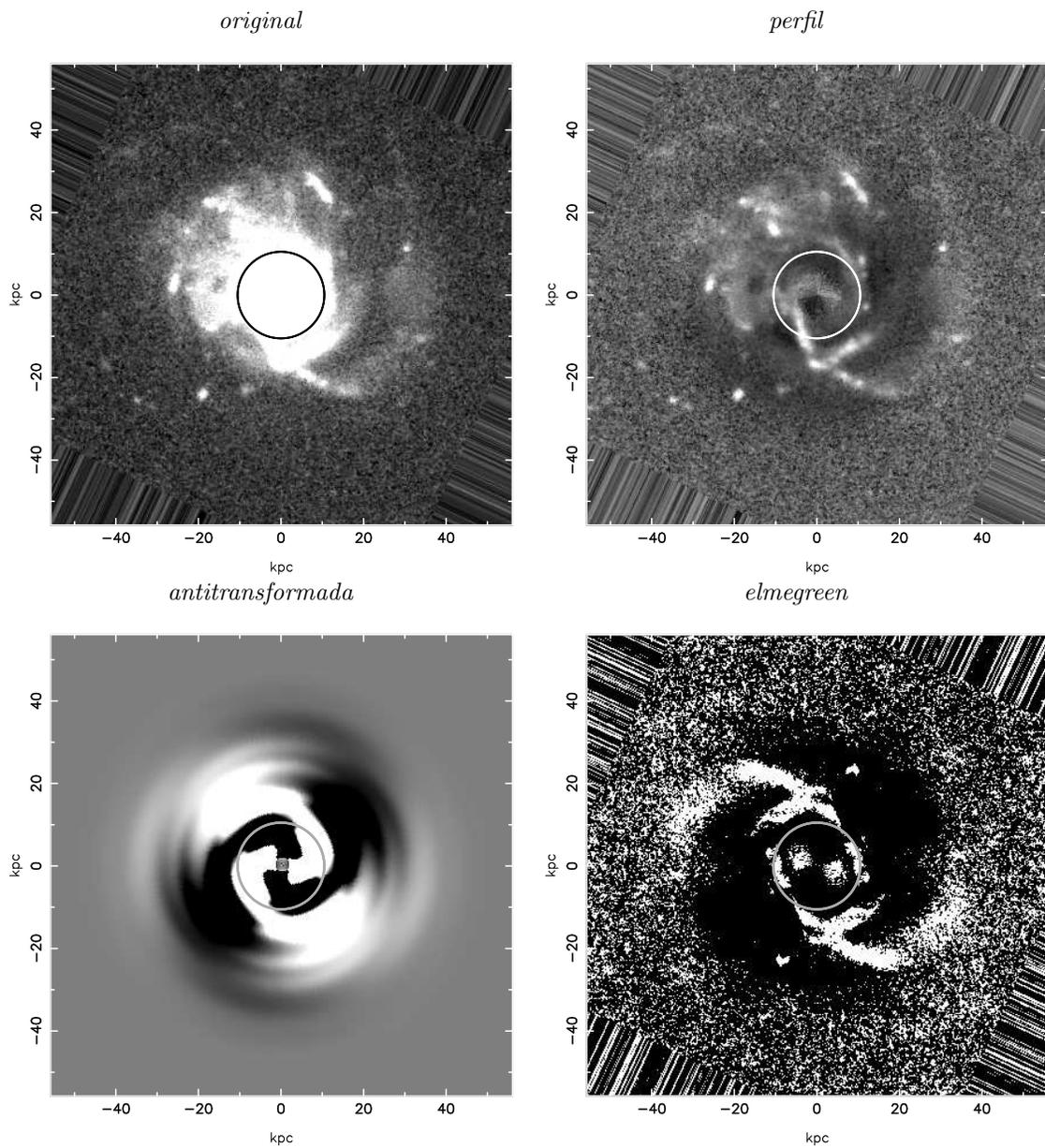


Figura H.11: O círculo indica a posição da ressonância de corotação para a componente  $m = 2$ .

## Apêndice I

# Análise de NGC0070

A NGC0070 é uma galáxia com vários braços espirais e, dentro da resolução espacial da imagem, apresentam-se aproximadamente simétricos (*fig. I.2*). Tais braços se enrolam até o centro da galáxia e mostram-se com densidades próximas. Notam-se ainda que há fortes fortes contaminações, uma a NE, três ao S e uma a SO. Na imagem que se observa do *ned/ipac*, *fig. I.1 (a)*, são estrelas e galáxias menores, estas provavelmente afetam a luminosidade da galáxia em estudo, porém isto não interfere na obtenção das ressonâncias de corrotação.

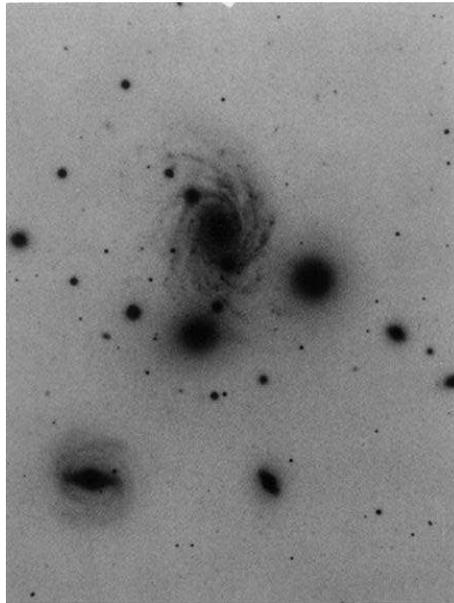


Figura I.1: Imagem NGC0070 extraído do NED,  $\lambda = 6400\text{\AA}$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.850 \text{ kpc}$  e  $27.2 \text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. I.3*) informam que a componente 1 é mais significativa que a componente 2, e praticamente sem relevância para a componente 3. As funções de densidade de probabilidade (*fig. I.4*) mostram a importância de  $m = 1$  entre  $\sim 1 \text{ kpc}$  e  $11 \text{ kpc}$  e depois entre  $\sim 15 \text{ kpc}$  até o limite externo da galáxia, enquanto a componente 2 se revela mais importante entre  $\sim 7 \text{ kpc}$  e  $13 \text{ kpc}$ . As modulações observadas nesses gráficos podem ser confirmadas nos espectros de Fourier.

Nas imagens antitransformada de Fourier (*fig. I.5*) verifica-se a presença forte da componente  $m = 1$ , porém no gráfico do método EEM92 (*fig. I.6*) ela se mostra fraca. Por outro lado, as componentes  $m = 2$  e  $3$  se destacam em ambos os métodos, principalmente a 2, apresentando simetria com respeito aos braços espirais. Pelo diagrama de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$ , (*fig. I.7*) se observam que a maioria dos braços são logarítmicos puros, além de indicar leves condensações em algumas estruturas. Também no diagrama de fase da (*fig. I.8*) se observam traços puros logarítmicos, porém com *pitch angle* distintos.

A diferença de fase em função do raio (*fig. I.9*) mostra que há uma ressonância de corrotação da componente  $m = 1$ , em torno do raio médio de  $9.7 \pm 0.7 \text{ kpc}$ . As imagens da *fig. I.10* mostram o círculo de corrotação para a componente  $m = 1$ . A componente  $m = 2$  apresenta uma corrotação em  $\sim 12.6 \pm 1.3 \text{ kpc}$ , no entanto, sem considerar o ruído significativo na banda  $i$ , nas três imagens, sendo o ruído na banda  $g$  desprezível. As imagens da *fig. I.11* mostram o círculo de corrotação para a componente  $m = 2$ . O campo visual da galáxia é de cerca  $20 \text{ kpc}$ . De acordo com as imagens das *figs. I.10(a)* e *I.11(a)*, os círculos de corrotação cortam as estrelas ao S na primeira imagem e a NO na segunda imagem. É provável que essas contaminações (*fantasmas das estrelas subtraídas*) possam influenciar nas posições das CR obtidas ao calcular as diferenças de fases das bandas  $g$  e  $i$ , no entanto, não há como estimar o erro relativo que se insere nessas medidas.

Outro aspecto importante ao analisar os gráficos das diferenças de fase (*fig. I.9*), se referem às duas ressonâncias detectadas. Se estas são reais, cruzam o eixo da diferença de fase ( $y = 0$ ) em sentidos contrários, inclinação negativa no caso de  $m = 1$  e positiva para  $m = 2$ . Se supomos, como deveria ser, que a componente 2 é a mais estável sempre, então esta é *trailing*, e a outra componente deve ser *leading*.

Através das funções de densidade radial (*fig. I.4*), e tendo em conta que nesta galáxia há *uma* ressonância de corrotação para a componente  $m = 2$ , os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 7 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 14 \text{ kpc}$ . A *tabela I.1* mostra o resultado dos parâmetros de Canzian para a componente 2.

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral para a componente 2, está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela I.1*). De forma análoga, os raios de corrotação estão de acordo com os parâmetros correspondentes de Canzian ( $R_{CR(i)}$  e  $R_{CR(o)}$ ).

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	40.6	23.8	8.4	12.6

Tabela I.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com o raio da ressonância de corotação (fig. I.9) para a componente  $m = 2$ .

A tabela I.2 mostra os resultados dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1, 2$  e  $3$  nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	0.75	1	$-53.1 \pm 10.3$
	2	-0.5	0.401	$76.0 \pm 6.6$
	3	-1	0.173	$71.6 \pm 4.2$
$i$	1	0.5	1	$-63.4 \pm 3.4$
	2	-0.25	0.464	$82.9 \pm 6.9$
	3	-0.75	0.208	$76.0 \pm 4.4$

Tabela I.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC0070.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$m = 1 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 10.3^\circ,$$

$$m = 2 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 6.9^\circ,$$

$$m = 3 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 4.4^\circ.$$

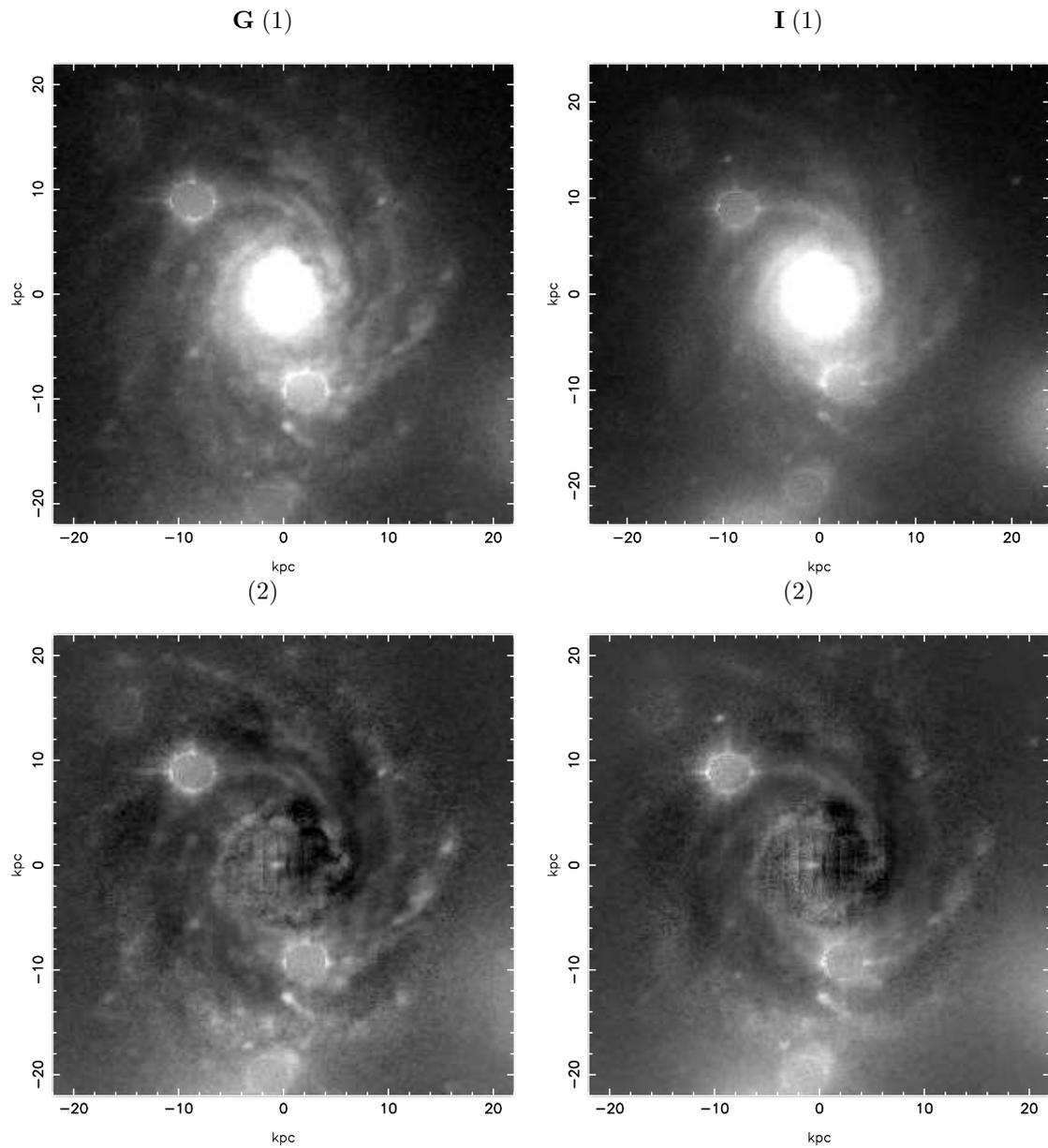


Figura I.2: NGC0070 nas bandas  $g$  e  $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

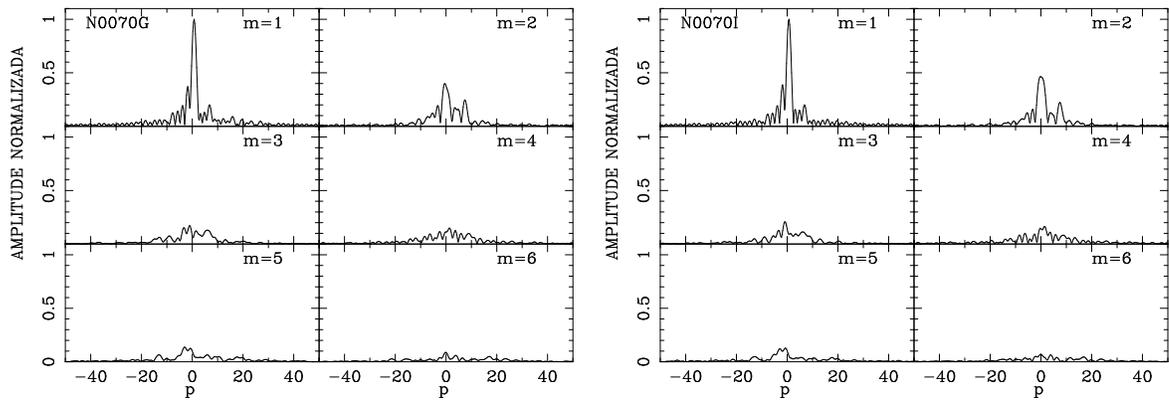


Figura I.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  (a) e  $i$  de NGC0070, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

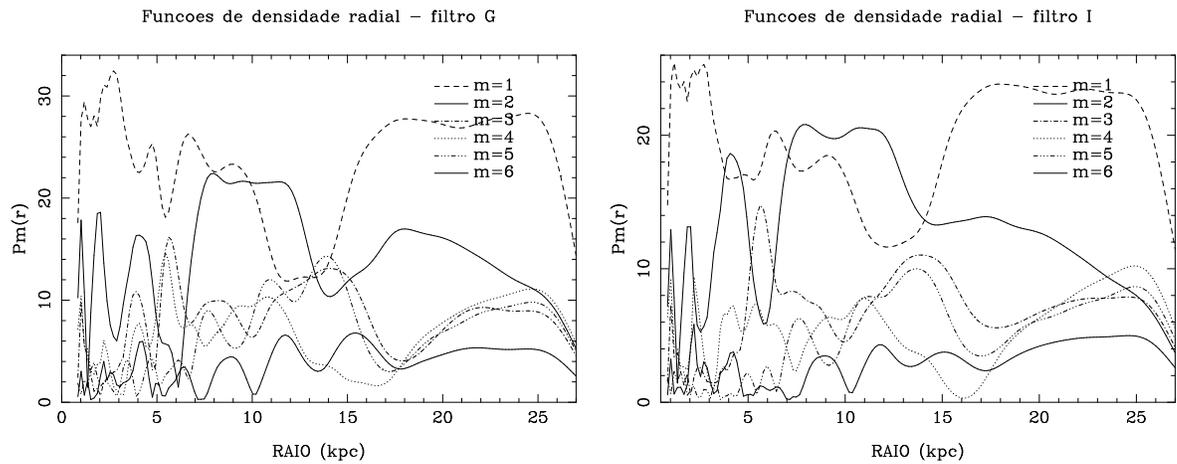


Figura I.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

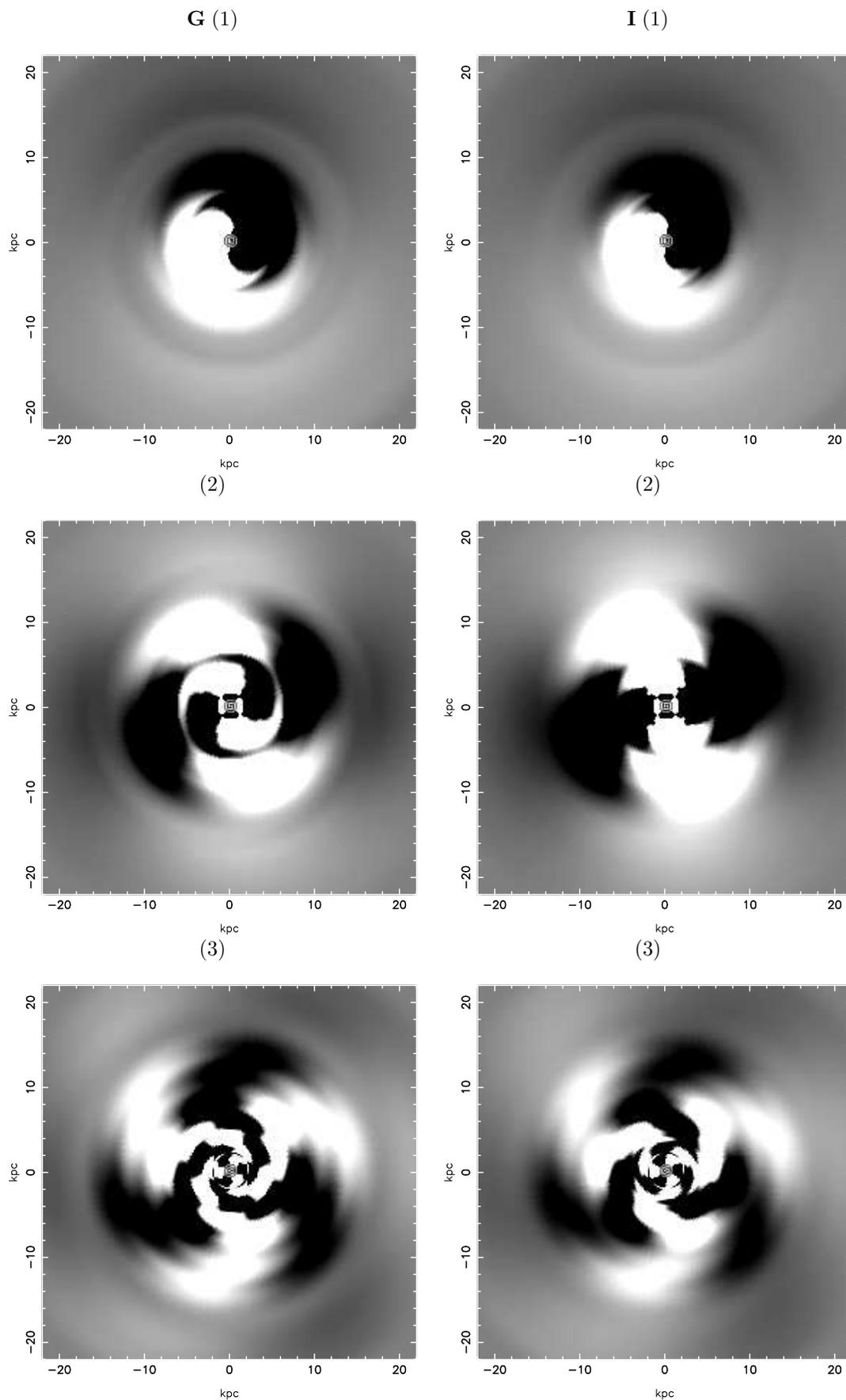


Figura I.5: Espirais Sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

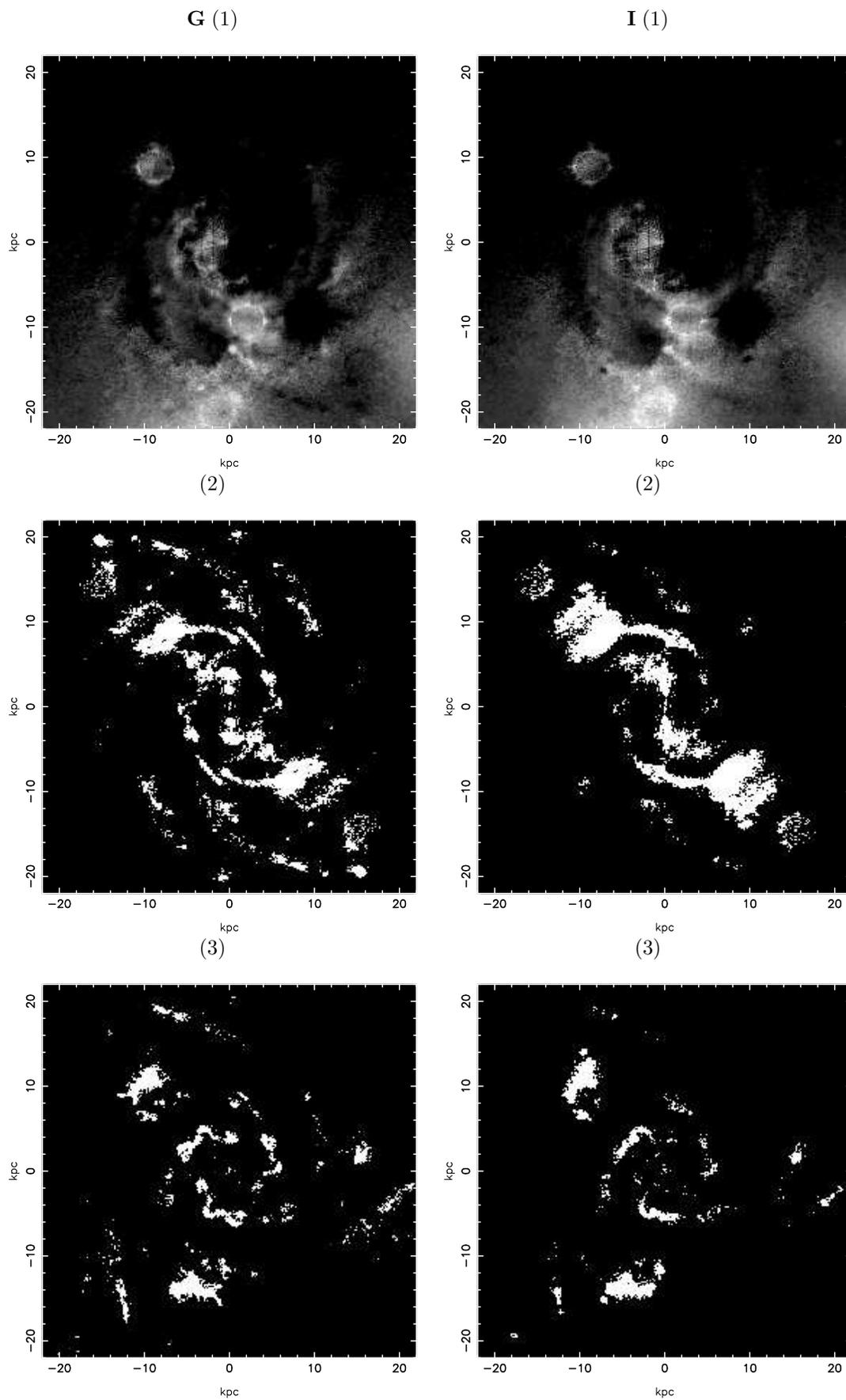


Figura I.6: Imagens simetrizadas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

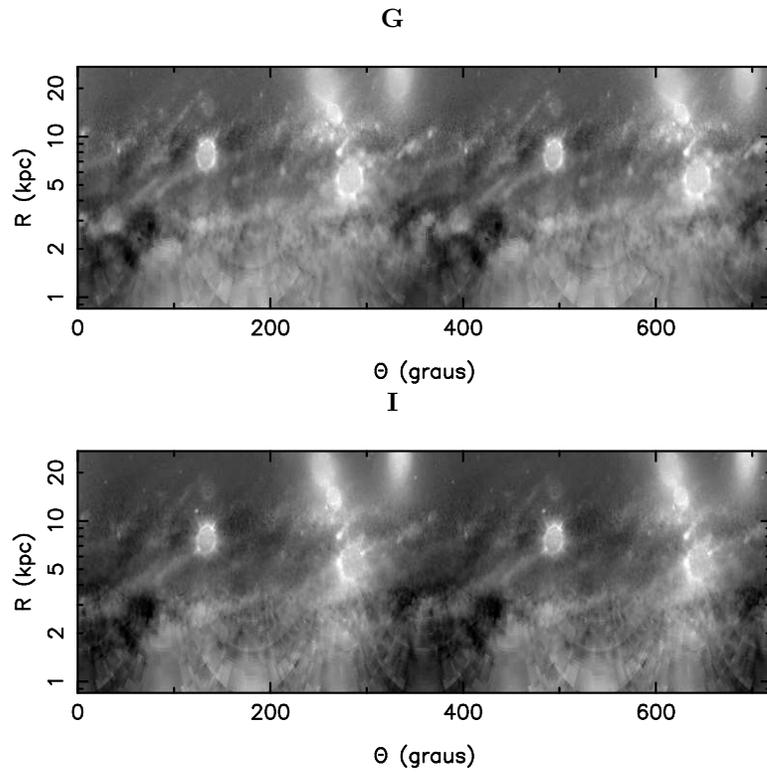


Figura I.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

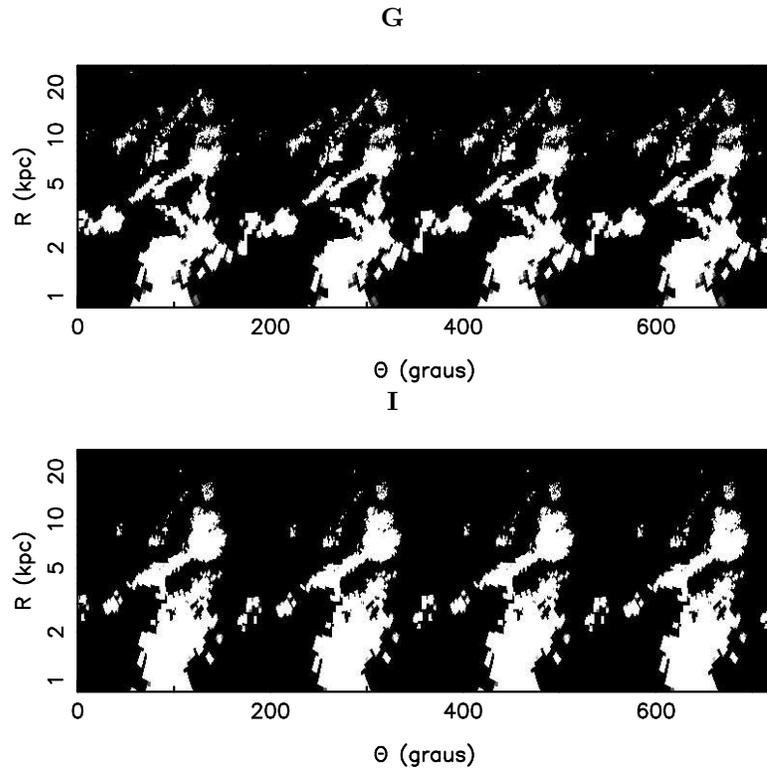


Figura I.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

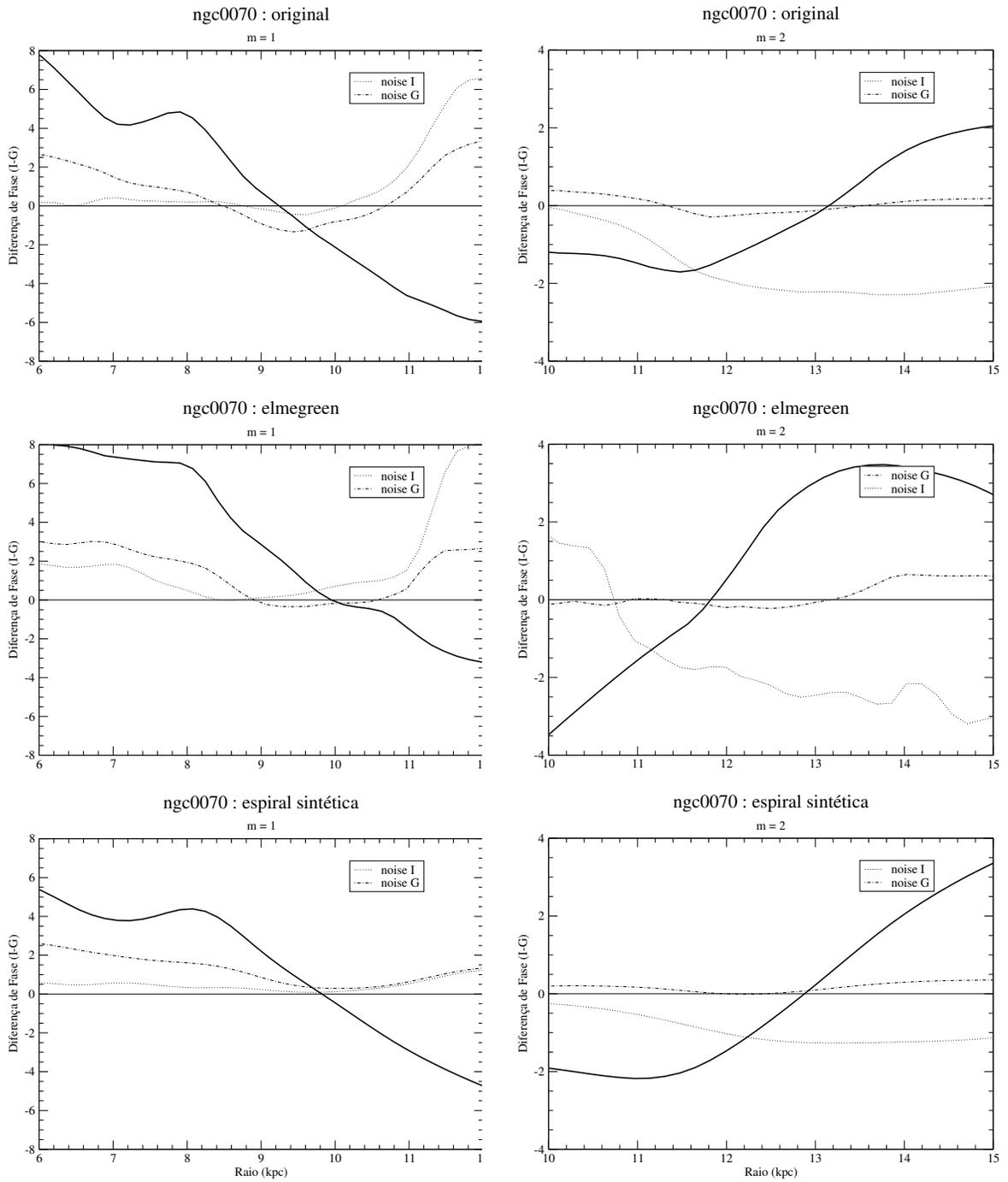


Figura I.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem as componentes  $m = 1$  e  $m = 2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada.

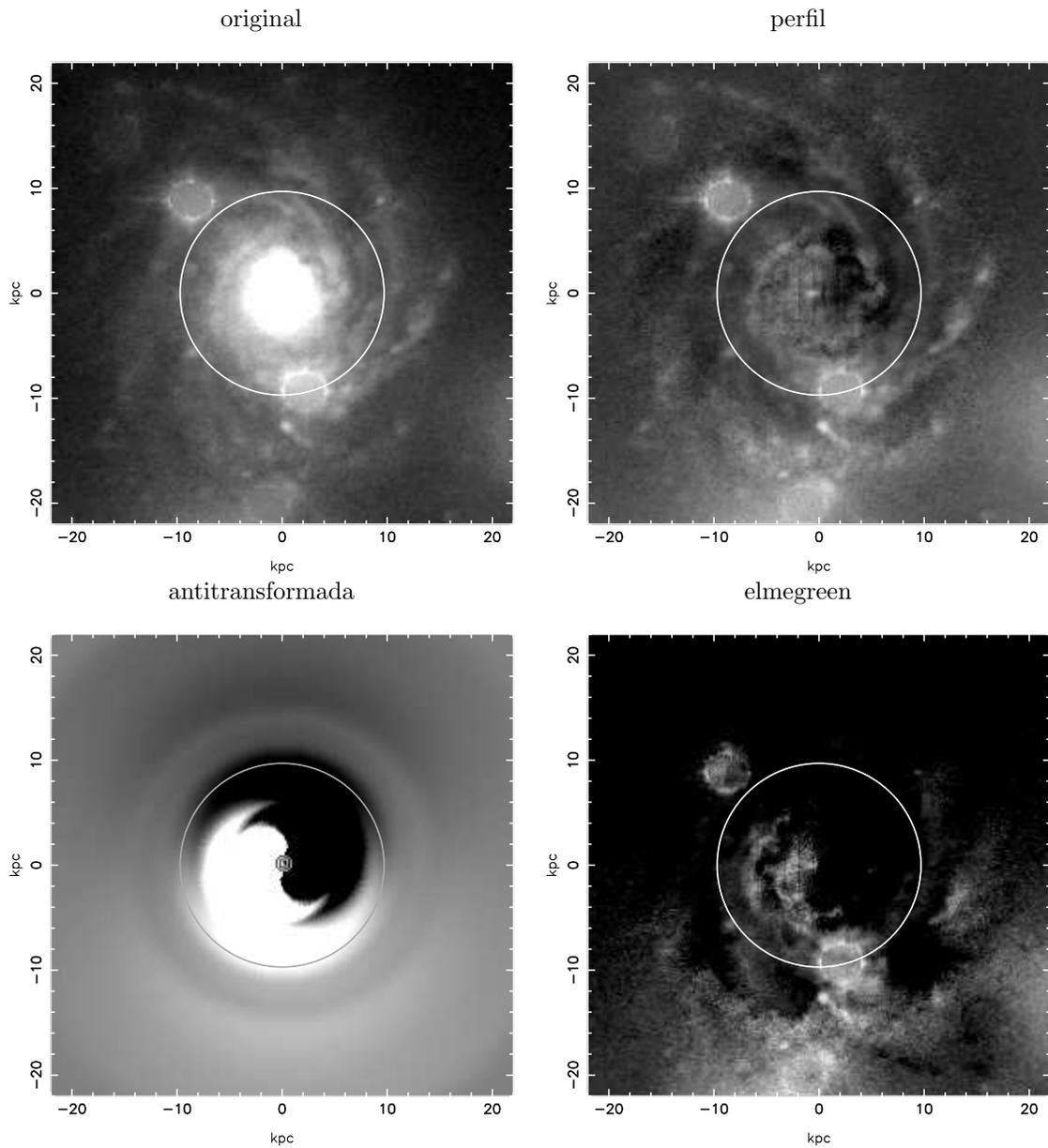


Figura I.10: O círculo indica a posição do raio da CR para a componente  $m = 1$  em  $\sim 9.7 \pm 0.7 \text{ kpc}$ . Imagens (a) e (b) originais, (c) anti-transformada e (d) elmegreen. As imagens são na cor  $g$ .

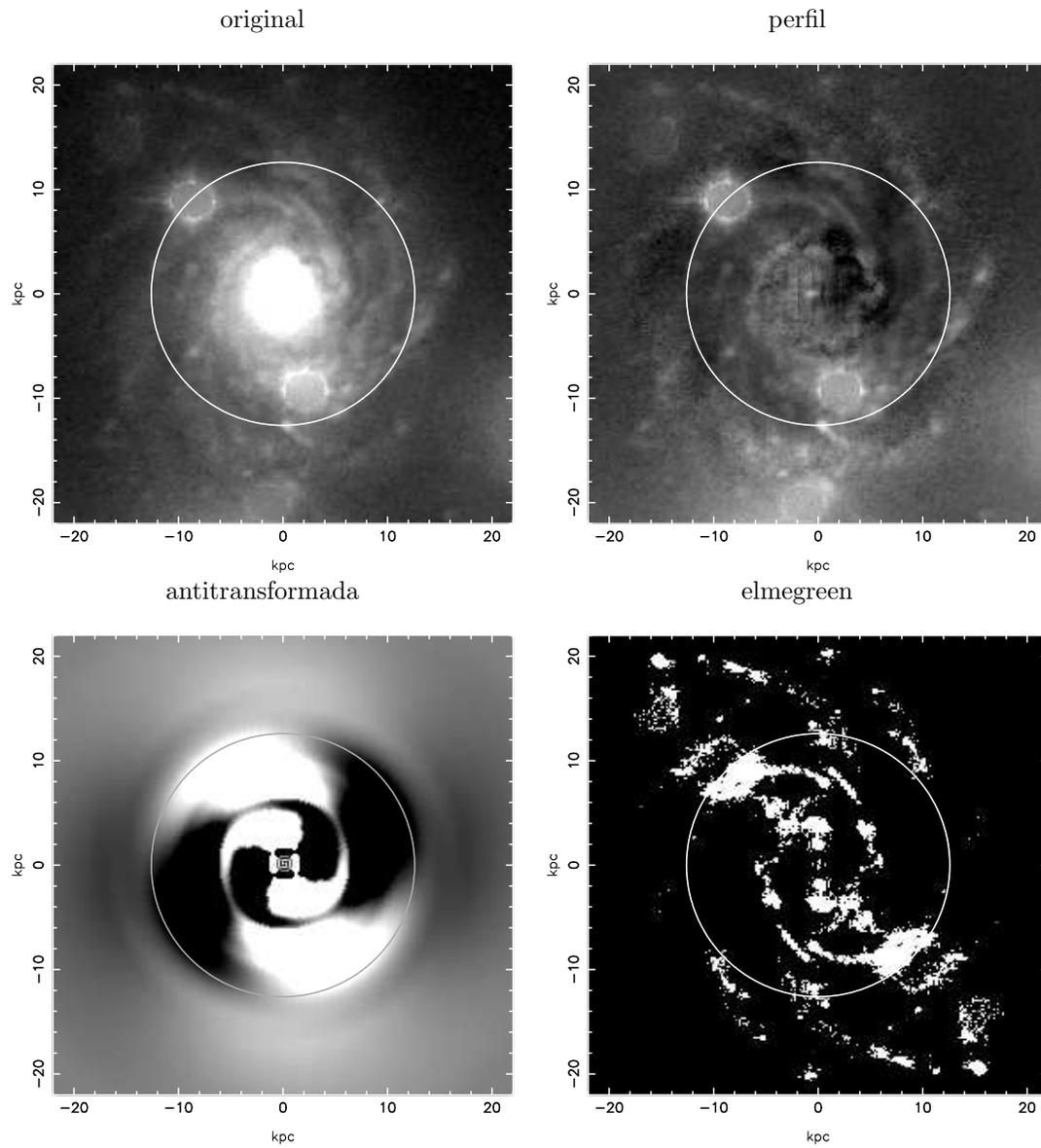


Figura I.11: O círculo indica a posição do raio da CR para a componente  $m = 2$  em  $\sim 12.6 \pm 1.3 \text{ kpc}$ . Imagens (a) e (b) originais, (c) anti-transformada e (d) elmgreen. As imagens são na cor  $g$ .

## Apêndice J

# Análise de NGC0753

A NGC0753 é uma galáxia que tem múltiplos braços espirais circulares, onde destacam-se *um* braço ao N e *dois* braços ao S, entre outras estruturas menores dispersas no disco, conforme se observa na *fig. J.2*. Inspeccionando as imagens *originais* (1) o bojo é extensivo em relação à dimensão da galáxia (na razão  $\sim 1/3$ ). As estruturas espirais bastante luminosas nas imagens *perfis* (2) são dominadas por regiões HII, e se enrolam até o centro da galáxia. O braço que parte do centro ao N tem uma bifurcação a NO onde se origina um braço menor que intercepta o braço que lhe deu origem. O braço S tem condensações distintas e apresenta várias "quebras" no *pitch angle*. O braço N por sua vez se enrola visivelmente até o oeste da galáxia (2) e, a partir de então, é fracamente perceptível na direção S, semelhante a uma banda de poeira.

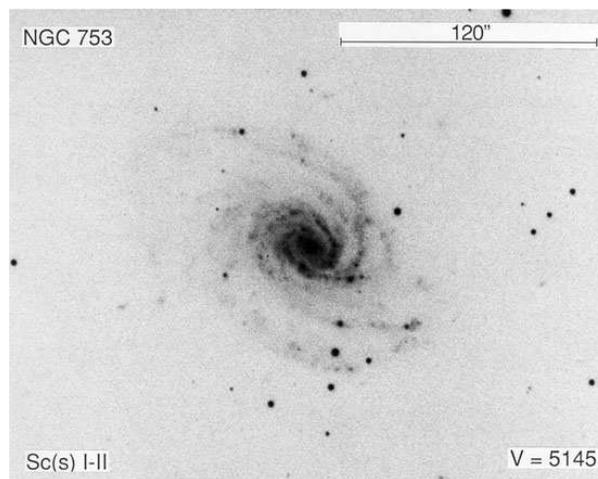


Figura J.1: Imagem NGC0753 extraída do NED, e  $\lambda = 4050\text{\AA}$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $1.2\text{ kpc}$  e  $27.9\text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. J.3*) informam que as componentes 1 e 2 são relevantes, com relevância menor para a componente 3. As modulações existentes nas componentes 1 e 2 equivalem as picos

observados nos diagramas das funções de densidade de probabilidade (*fig. J.4*). Tais funções mostram a importância de  $m = 1$  entre  $\sim 3$  e  $6.5 \text{ kpc}$ , enquanto a componente 2 predomina em toda a extensão da galáxia.

As imagens antitransformada de Fourier (*fig. J.5*) e simetrizadas (*fig. J.6*) verificam a presença forte das três componentes, confirmando os espectros dos diagramas da *fig. J.3*, com simetria clara para as componentes 2 e 3. Nestes casos dois casos os braços se originam do centro da galáxia até os limites da mesma. Na componente 2 (imagem *elmegreen*) notam-se condensações distintas com dois *gaps*, um ao S e outro ao N.

Os braços que se vêem circulares nesta galáxia são logarítmicos puros como se depreende dos diagramas de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*figs. J.7 e J.8*), mas não são sistemas únicos, pois se confirmam as quebras nos *pitch angles*. Esses diagramas parecem indicar a presença de uma pequeníssima barra com menos de  $4 \text{ kpc}$  de extensão, embora não há como confirmar sua presença real, pois o diâmetro mínimo escolhido para a análise da transformada de Fourier é numericamente equivalente.

A diferença de fase em função do raio (*fig. J.9*) mostra que há uma corrotação da componente  $m = 2$ , em torno do valor médio de  $14.7 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . As imagens da *fig. J.10* mostram o círculo de corrotação para essa componente. Apesar da importância revelada para a componente 1 nos diagramas dos *espectros* e nas imagens *antitransformadas* e *simetrizadas*, não se obteve ressonância de corrotação para esta componente e nem para a 3.

Através das funções de densidade radial (*fig. J.4*), e tendo em conta nesta galáxia a existência de apenas *uma* ressonância de corrotação, os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral depreendidos nos diagramas da *fig. J.9* são  $R_1 \simeq 6 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 22 \text{ kpc}$ . Embora componente  $m = 2$  tenha domínio em regiões menores que  $6 \text{ kpc}$ , a escolha da extensão mínima para sua estrutura espiral é a importância que as componentes 1 e 3 têm nas regiões  $< 6 \text{ kpc}$ .

A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com o raio de corrotação.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	34.8	20.4	13.2	14.7

Tabela J.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com o CR dos diagramas de fase (*fig. J.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral para a componente 2, está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela J.1*). De forma análoga, o raio de corrotação está de acordo com os parâmetros correspondentes de Canzian ( $R_{CR(i)}$  e  $R_{CR(o)}$ ).

A tabela J.2 mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1, 2, 3$  e 4 nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	-1	0.974	$45 \pm 6.3$
	2	0	1	$90 \pm 7.1$
	3	-2	0.501	$56.3 \pm 3.2$
	4	2.25	0.262	$60.6 \pm 2.6$
$i$	1	-0.75	1	$53.1 \pm 8.1$
	2	-0.75	0.913	$69.4 \pm 6.0$
	3	-1.75	0.514	$59.7 \pm 3.7$
	4	2.75	0.175	$55.5 \pm 2.4$

Tabela J.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC0753.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$\begin{aligned}
 m = 1 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 8.1^\circ, \\
 m = 2 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 20.6^\circ, \\
 m = 3 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 3.4^\circ, \\
 m = 4 &\Rightarrow \Delta\alpha \simeq 5.1^\circ.
 \end{aligned}$$

Para os valores normalizados máximos das amplitudes, verificam-se que na cor  $g$  o máximo é na componente  $m = 2$ , enquanto na cor  $i$  acontece na componente  $m = 1$ .

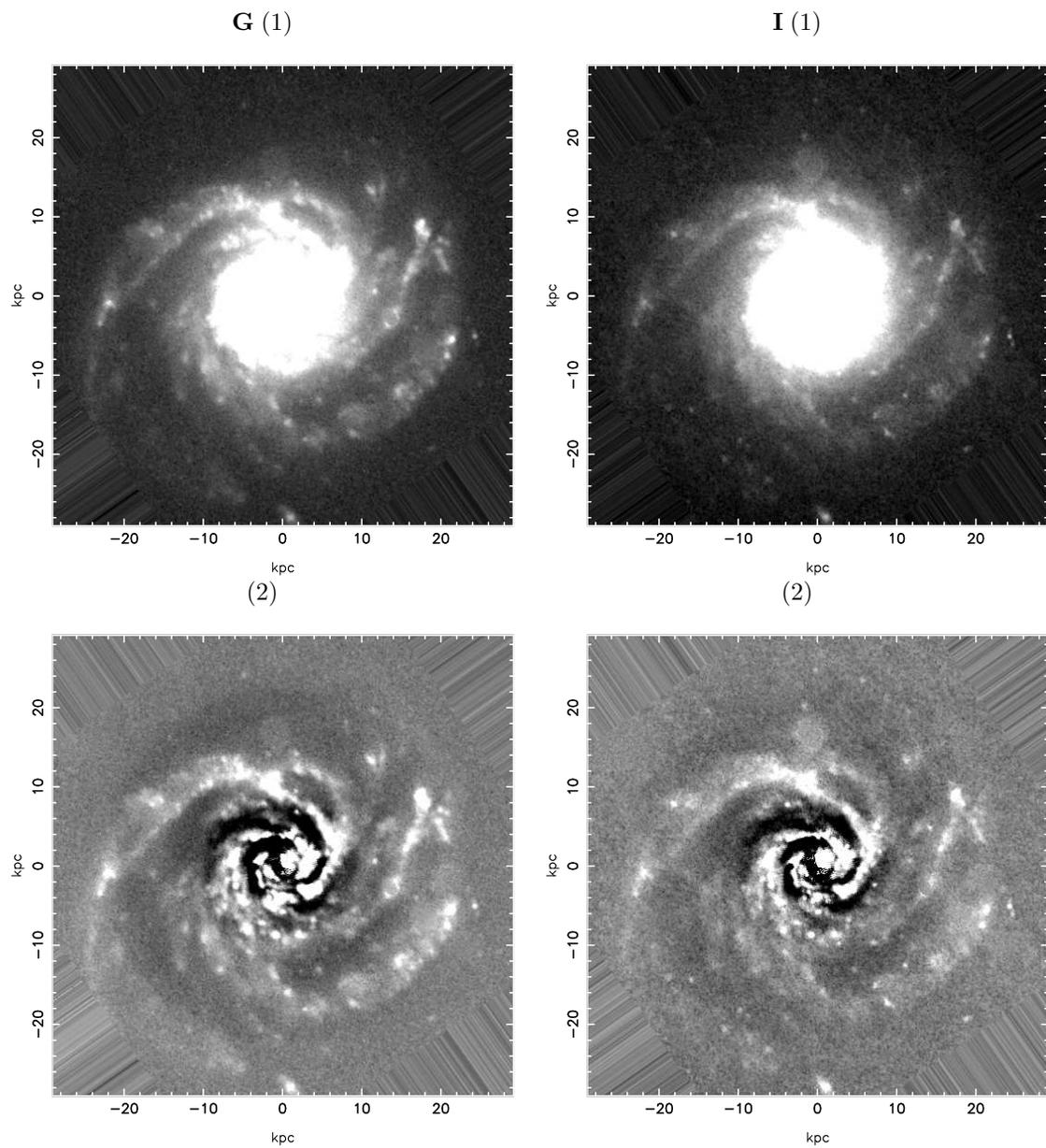


Figura J.2: NGC0753 nas bandas *g* e *i*. (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

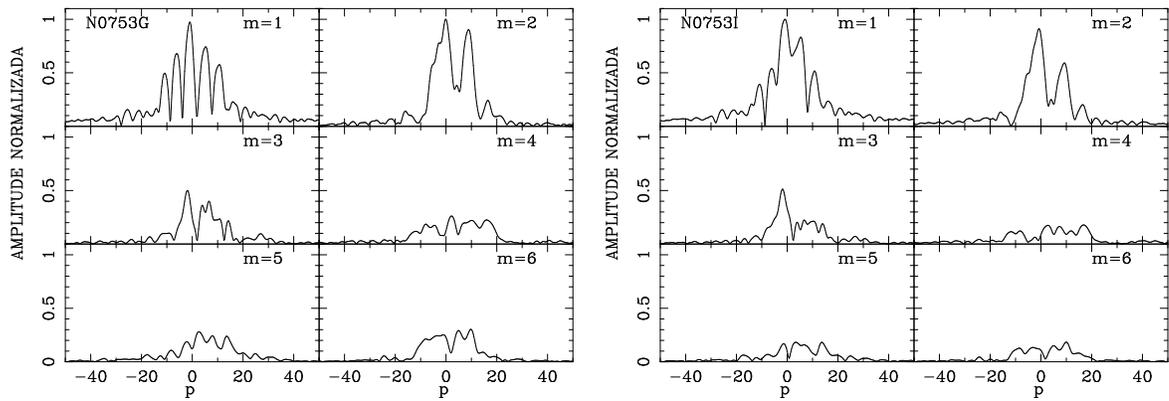


Figura J.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  e  $i$  de NGC0753, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

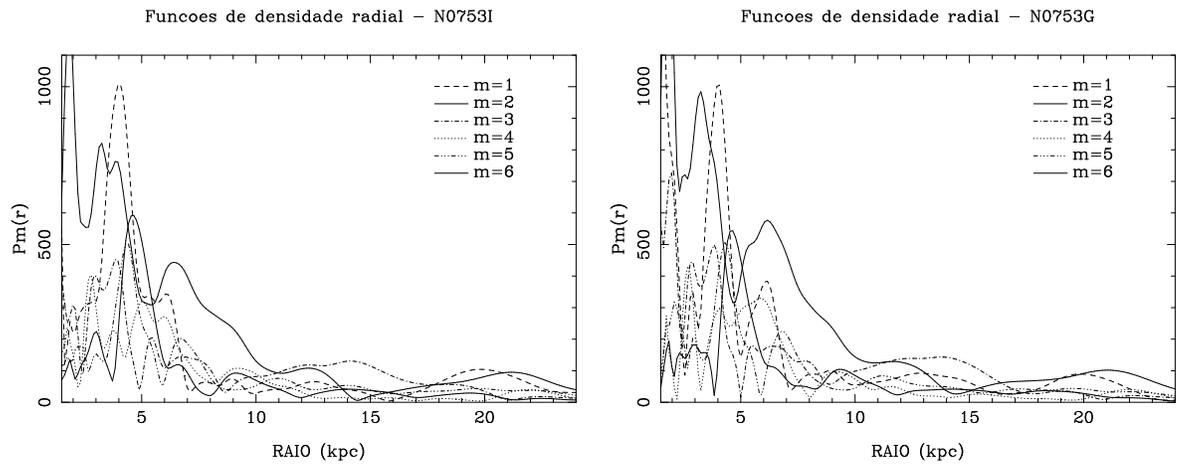


Figura J.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

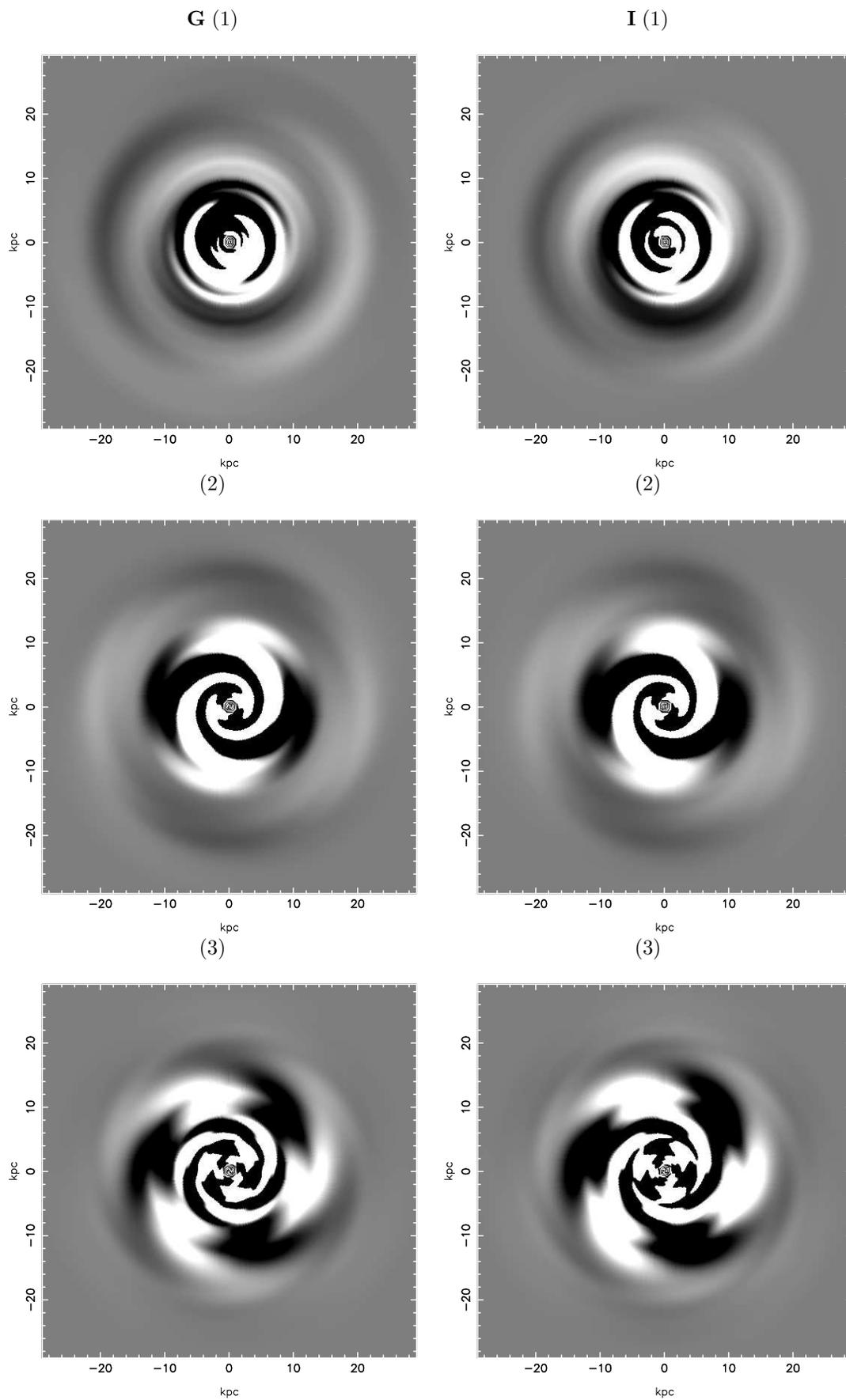


Figura J.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

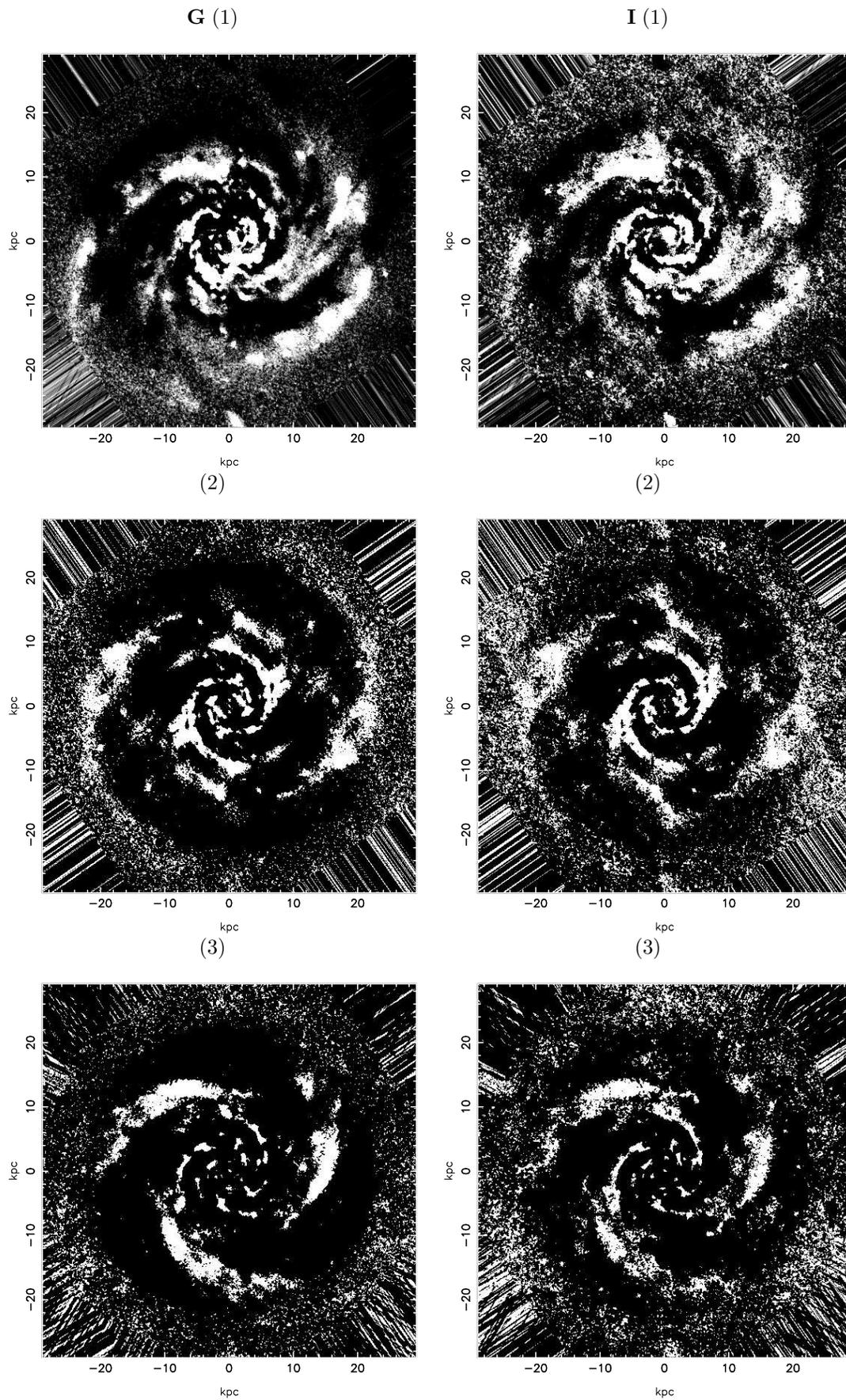


Figura J.6: Imagens simetrizadas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

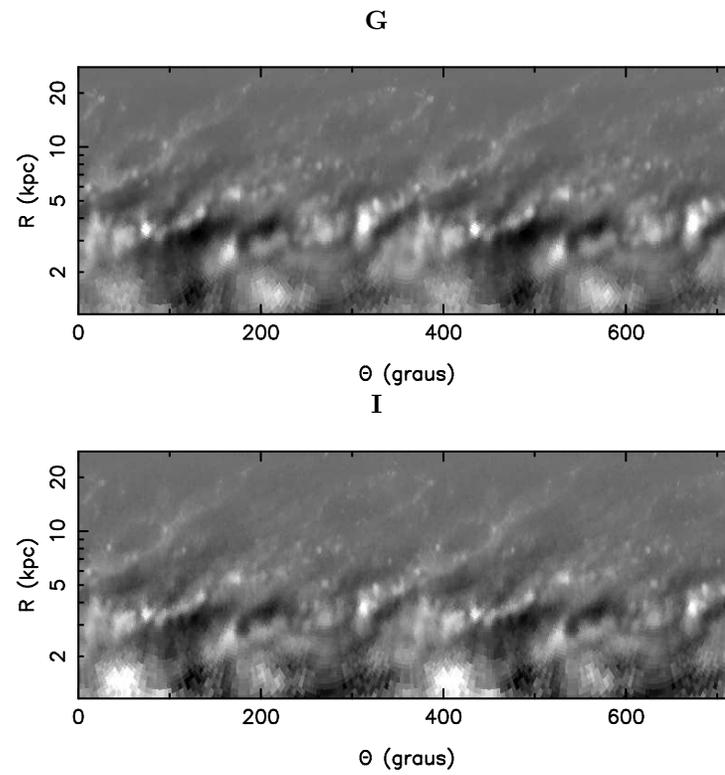


Figura J.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

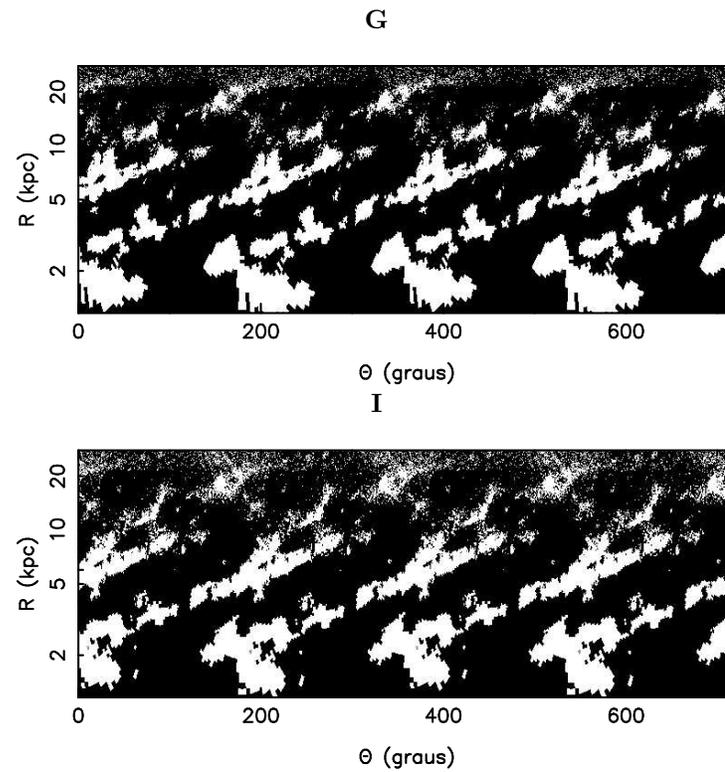


Figura J.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

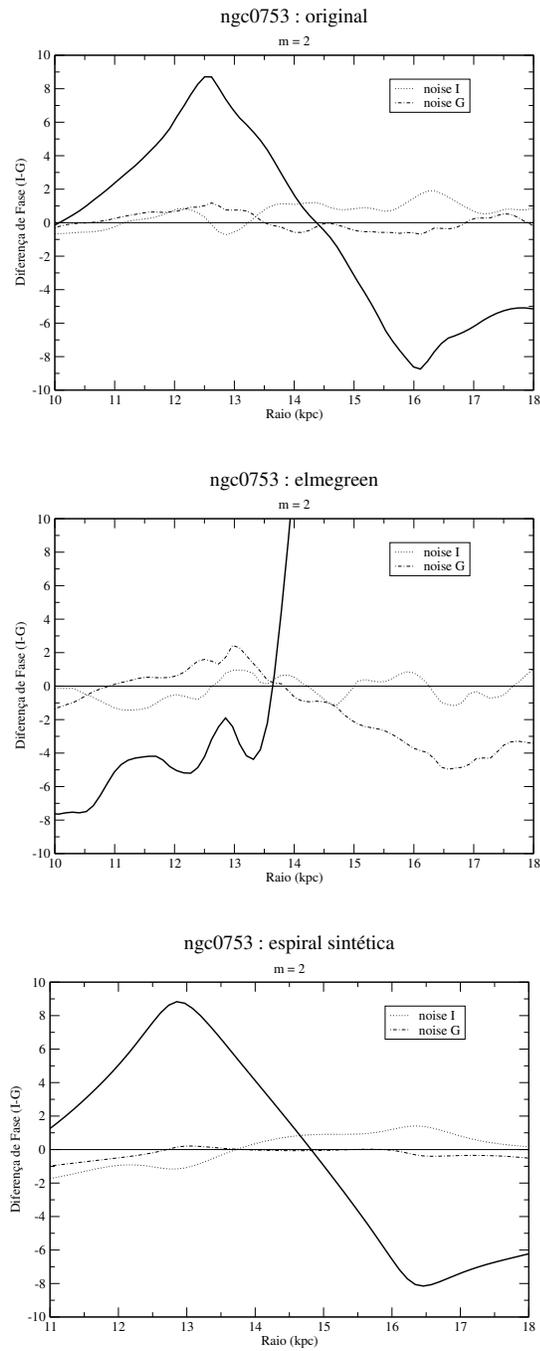


Figura J.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem às componentes  $m = 1$  e  $2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada.

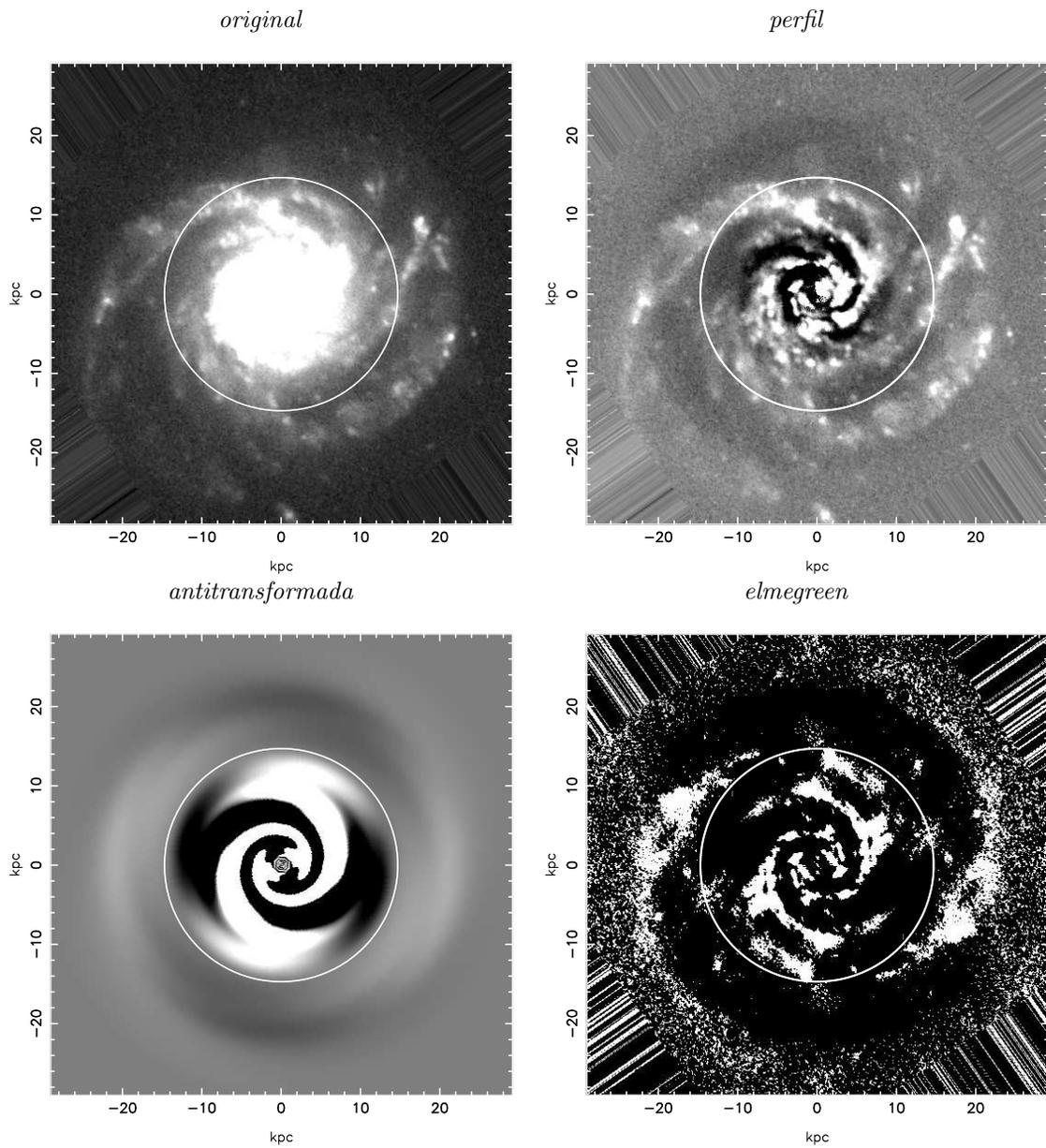


Figura J.10: O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente  $m = 2$ . As imagens são na cor  $g$ .

## Apêndice K

# Análise de NGC0772

A NGC0772 é uma galáxia de múltiplos braços espirais, indicando haver uma pequeníssima barra central de aproximadamente  $2.0 \text{ kpc}$ . Nas imagens da *fig. K.2* destacam-se um braço ao norte na direção LO. Este braço apresenta várias condensações, com pequenas regiões brilhantes, sugerindo forte indício de formação estelar ao longo de sua estrutura. Existem vários braços de menor extensão aproximadamente circulares; nesses braços também se observam condensações, embora menos acentuadas. Existe ainda um longo braço que se estende deste o leste até oeste atravessando o norte da galáxia.

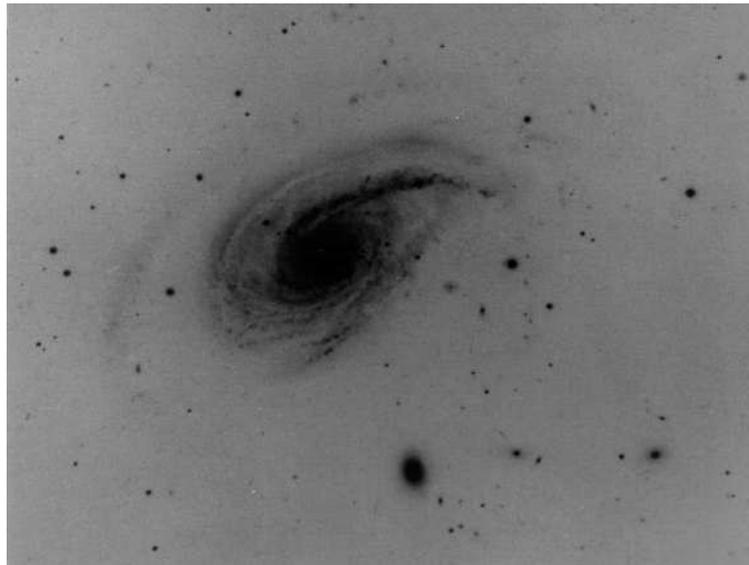


Figura K.1: Imagem NGC0772 extraído do NED,  $\lambda = 4050\text{\AA}$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.586 \text{ kpc}$  e  $19.4 \text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. K.3*) informam que as componentes  $m = 1, 2$  e  $3$  são relevantes, sendo confirmado pelas funções de densidade de probabilidade (*fig. K.4*). Segundo esse gráfico, mas na banda  $g$ , a componente 2 é forte nas posições entre  $\sim 2.5 \text{ kpc}$  e  $10 \text{ kpc}$ , enquanto a componente 1

se destaca aproximadamente no mesmo intervalo, apresentando diversas modulações. Por outro lado, na banda  $i$ , a componente 2 é mais significativa até  $\sim 10 \text{ kpc}$ , e também a partir dessa posição a componente 1 apresenta relevância. Em ambas as cores, a componente 3 se destaca a partir de  $\sim 15 \text{ kpc}$ , isto é, aproximadamente no final dos dois braços de maior extensão.

Pelo diagrama de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. K.6*), se observam que a maioria dos braços são logarítmicos e os braços menores se estendem até o interior da pequena barra central. Estes diagramas confirmam as variações de densidade observadas nas imagens originais, sugerindo regiões *HII* imerso no disco da galáxia. Por outro lado, no diagrama de fase da imagem simetrizada (*fig. K.8*) mostra que não há qualquer simetria entre os braços correspondentes a componente  $m = 2$ .

Nas imagens antitransformada de Fourier (*fig. K.5*) e EEM92 (*fig. K.7*), verificam-se a presença forte da componente  $m = 1$ , e também a presença da componente  $m = 2$ , embora mais fraca nessas imagens. A componente  $m = 3$  também se destaca em ambos os métodos, principalmente na imagem simetrizada, apresentando simetria com respeito aos braços espirais.

A diferença de fase em função do raio (*fig. K.9*), mostra que há uma corrotação da componente  $m = 1$ , em torno do raio médio de  $\sim 5.9 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . A componente  $m = 2$  apresenta uma corrotação em  $\sim 8.2 \pm 0.5 \text{ kpc}$ , no entanto, sem considerar o método EEM92, face ao ruído não desprezível na banda  $g$ . As imagens da *figs. K.10* e *K.11* mostram os círculos de corrotação das componentes 1 e 2 na mesma banda  $g$ . Obteve-se outros resultados de CR's para regiões mais externas, mais os dados não se apresentaram confiáveis pelo ruído significativo nessas regiões.

Através das funções de densidade radial (*fig. K.4*), e tendo em conta nesta galáxia a existência de *uma* ressonância de corrotação para a componente  $m = 2$ , os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 3 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 10 \text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com o raio de corrotação.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	17.4	10.2	6	8.2

Tabela K.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com o CR dos diagramas de fase (*fig. K.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral para a componente 2, está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela K.1*). De forma análoga, o raio de corrotação está de acordo com os parâmetros correspondentes de Canzian ( $R_{CR(i)}$  e  $R_{CR(o)}$ ).

Para o valor normalizado máximo das amplitudes, em relação às componentes  $m = 1$ , 2 e 3, verificam-se resultados nulos para as diferenças entre os *pitch angles* nas bandas  $g$  e  $i$ , correspondentes aos passos  $p = 0, 0.5$  e 3, respectivamente. Contudo, isto não significa que não haja  $\Delta\alpha \neq 0$  para passos menores que  $\Delta p = 0.25$ . Sendo o passo menor, deve-se admitir diferença nos *pitch angles* menores que  $27^\circ$  para  $m = 1$ , e  $14^\circ$  para  $m = 2$ , embora no processo atual não há como estimar o resultado mais provável para  $\Delta\alpha$ . Estes resultados atípicos são uma consequência do próprio método em que se limita matematicamente o passo. Exemplos semelhantes aconteceram para outras galáxias, como a NGC1073.

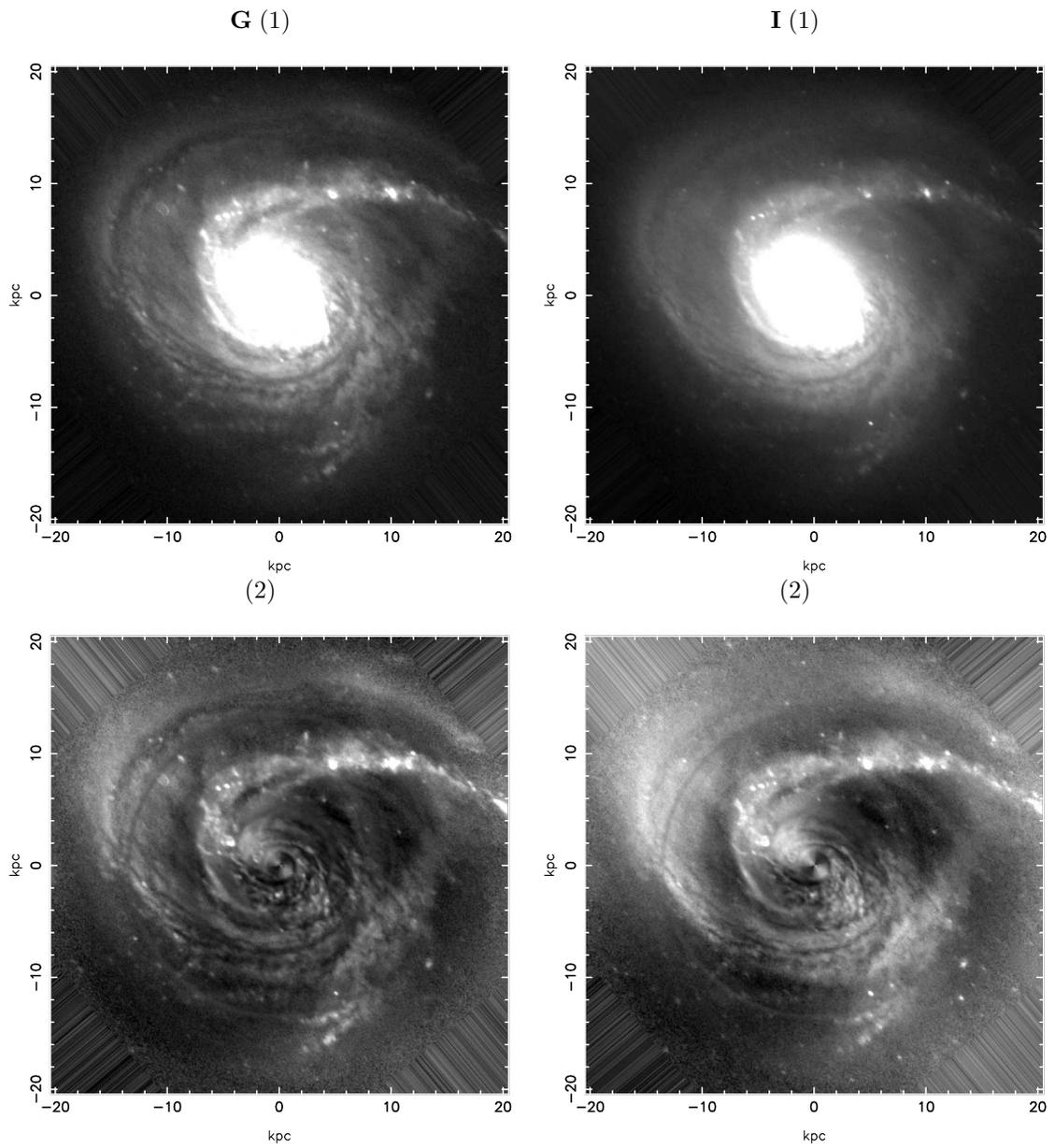


Figura K.2: NGC0772 nas bandas *g* e *i*. (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

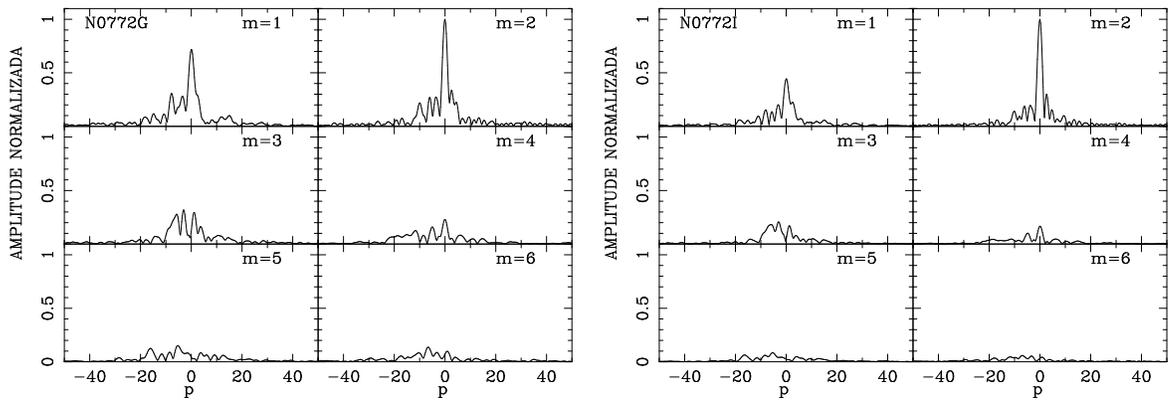


Figura K.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  (a) e  $i$  de NGC0772, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

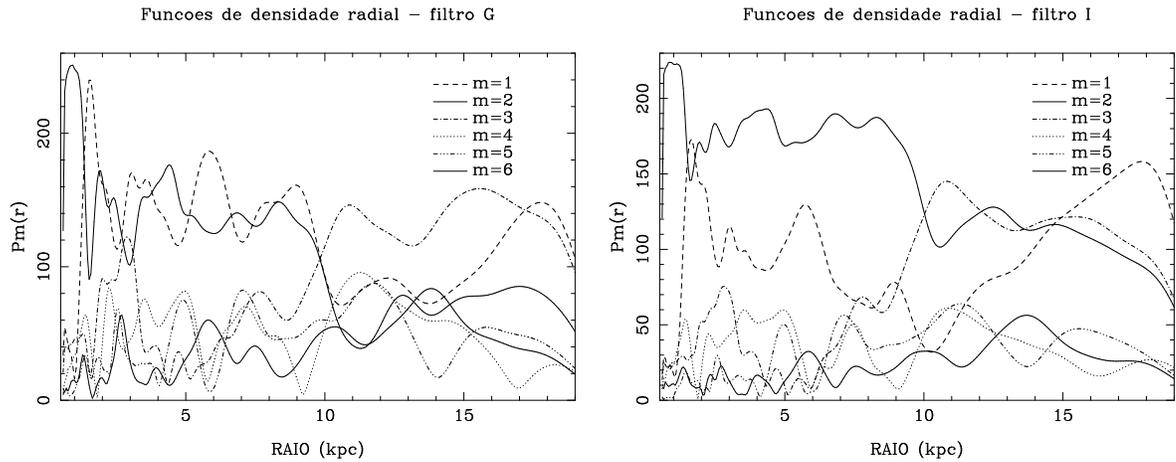


Figura K.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

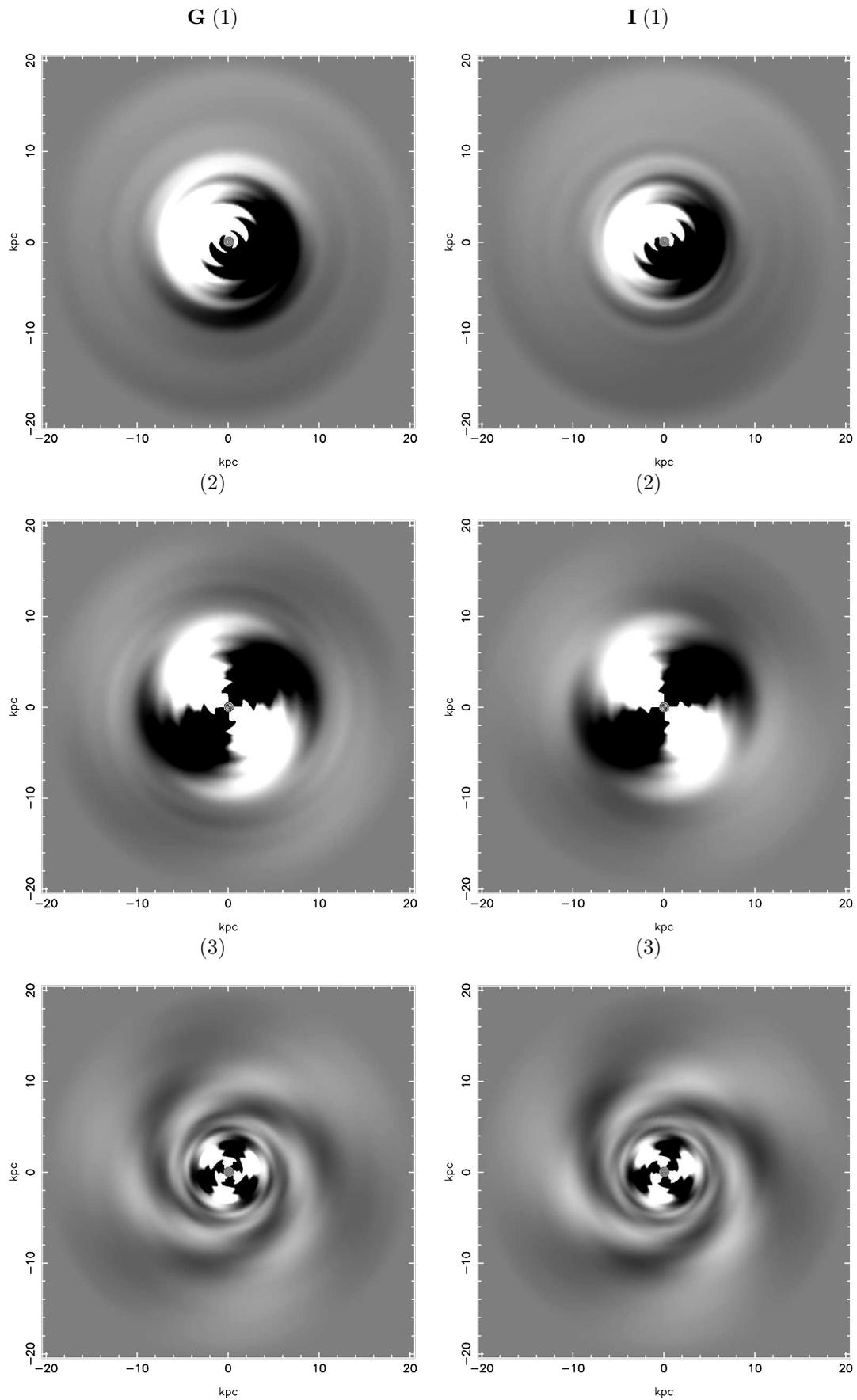


Figura K.5: Espirais Sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

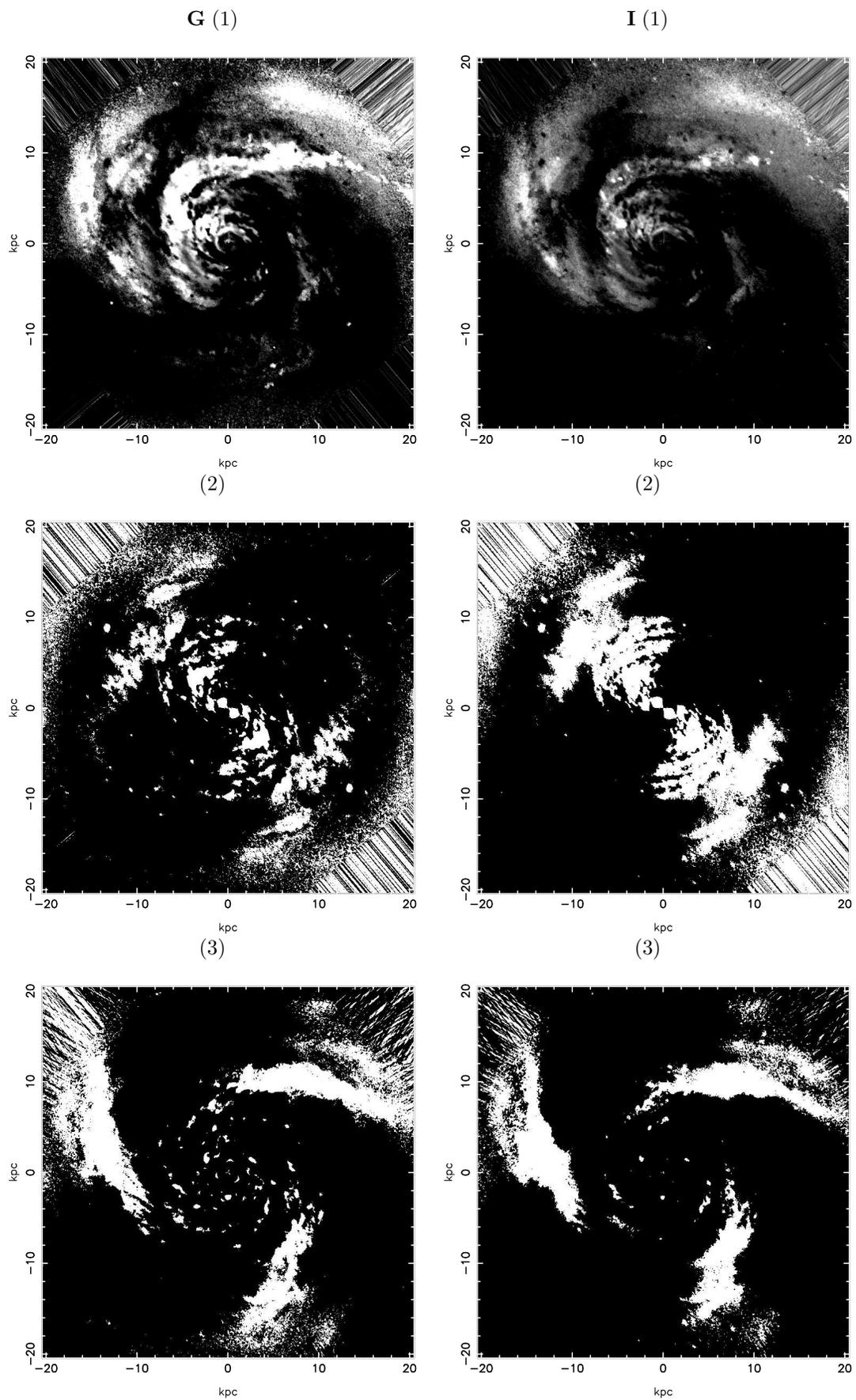


Figura K.6: Imagens simetrizadas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

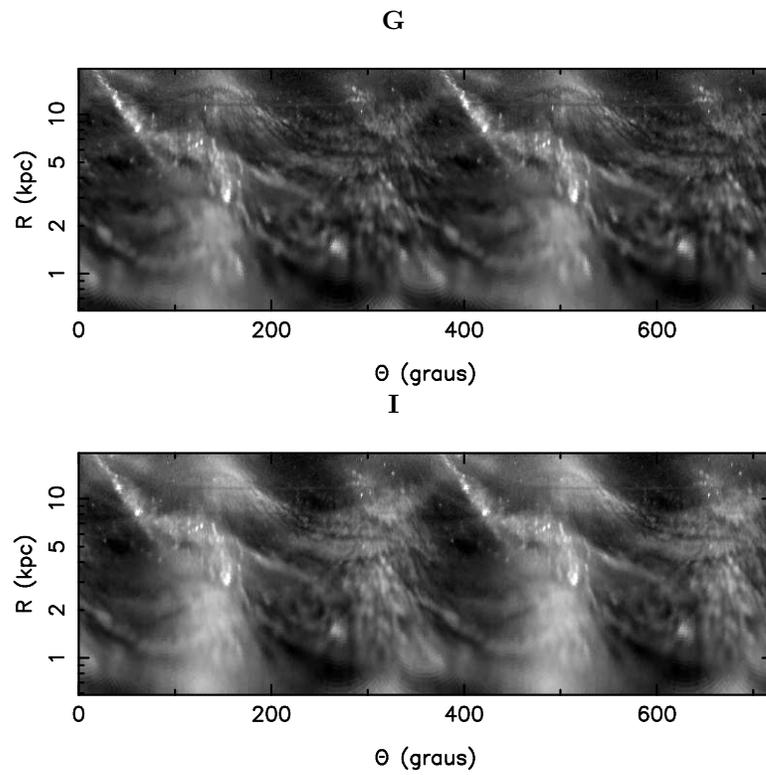


Figura K.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

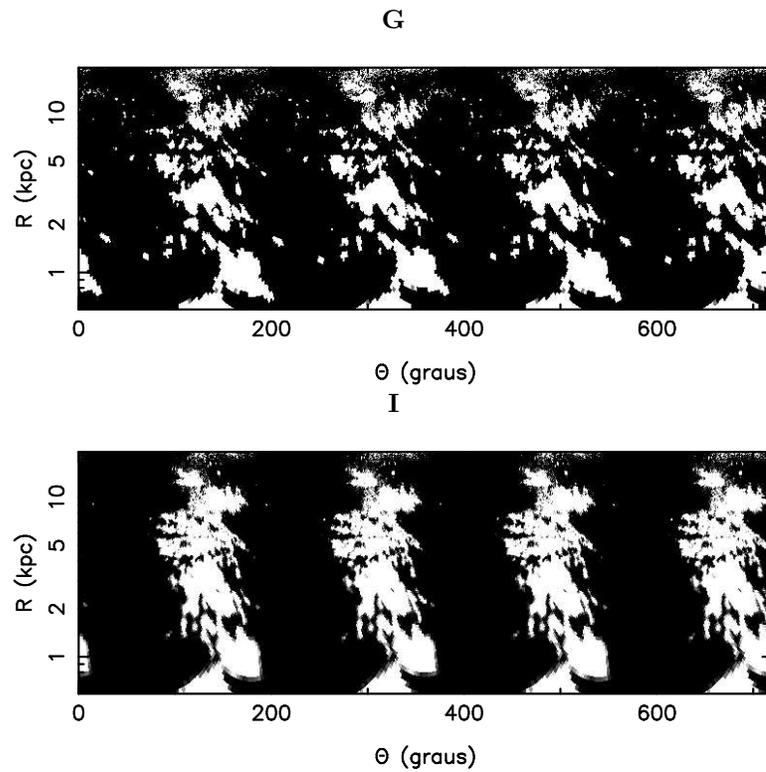


Figura K.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

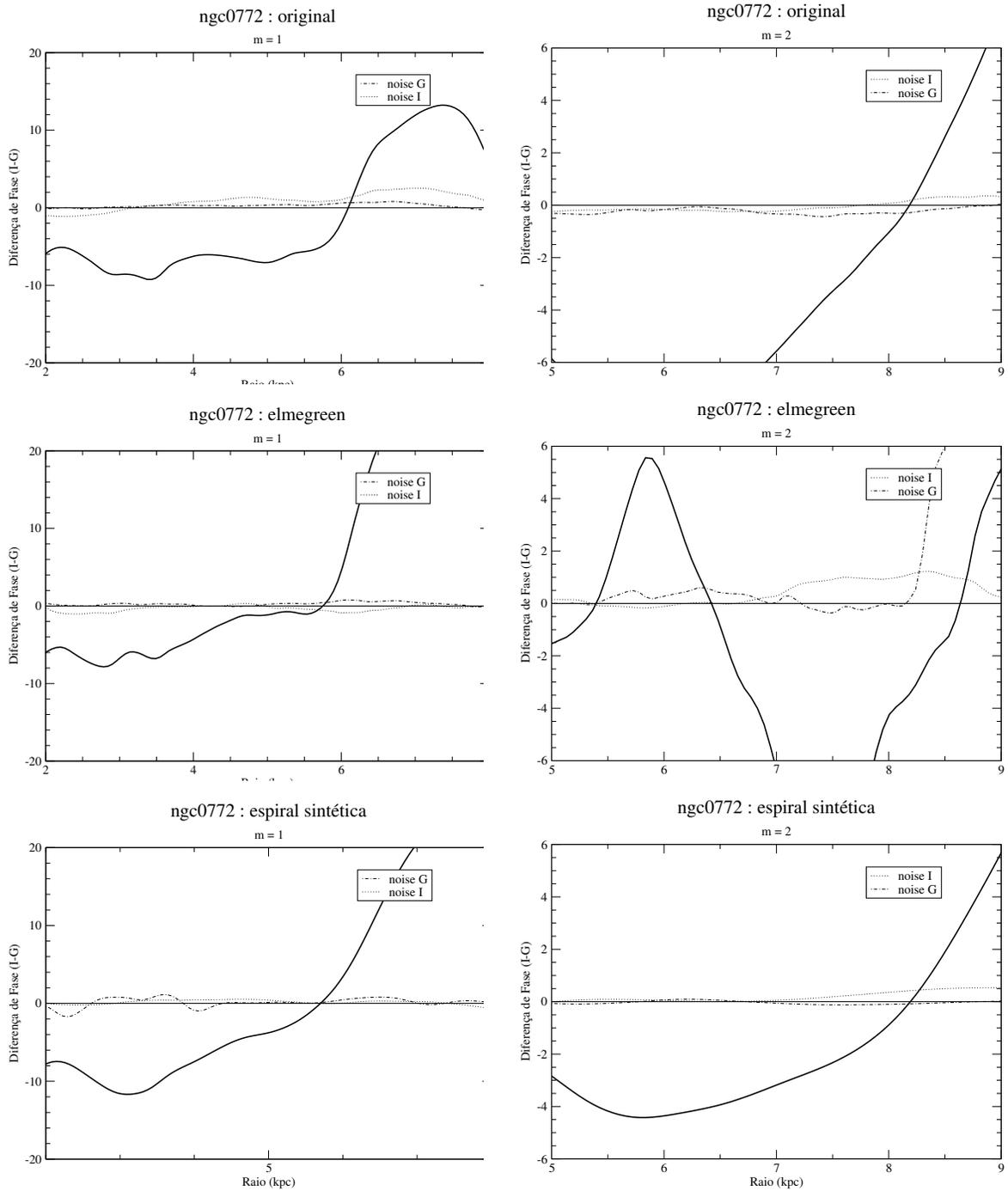


Figura K.9: [Diferenças de Fase (*graus*) × Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem às componentes  $m = 1$  e  $m = 2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada.

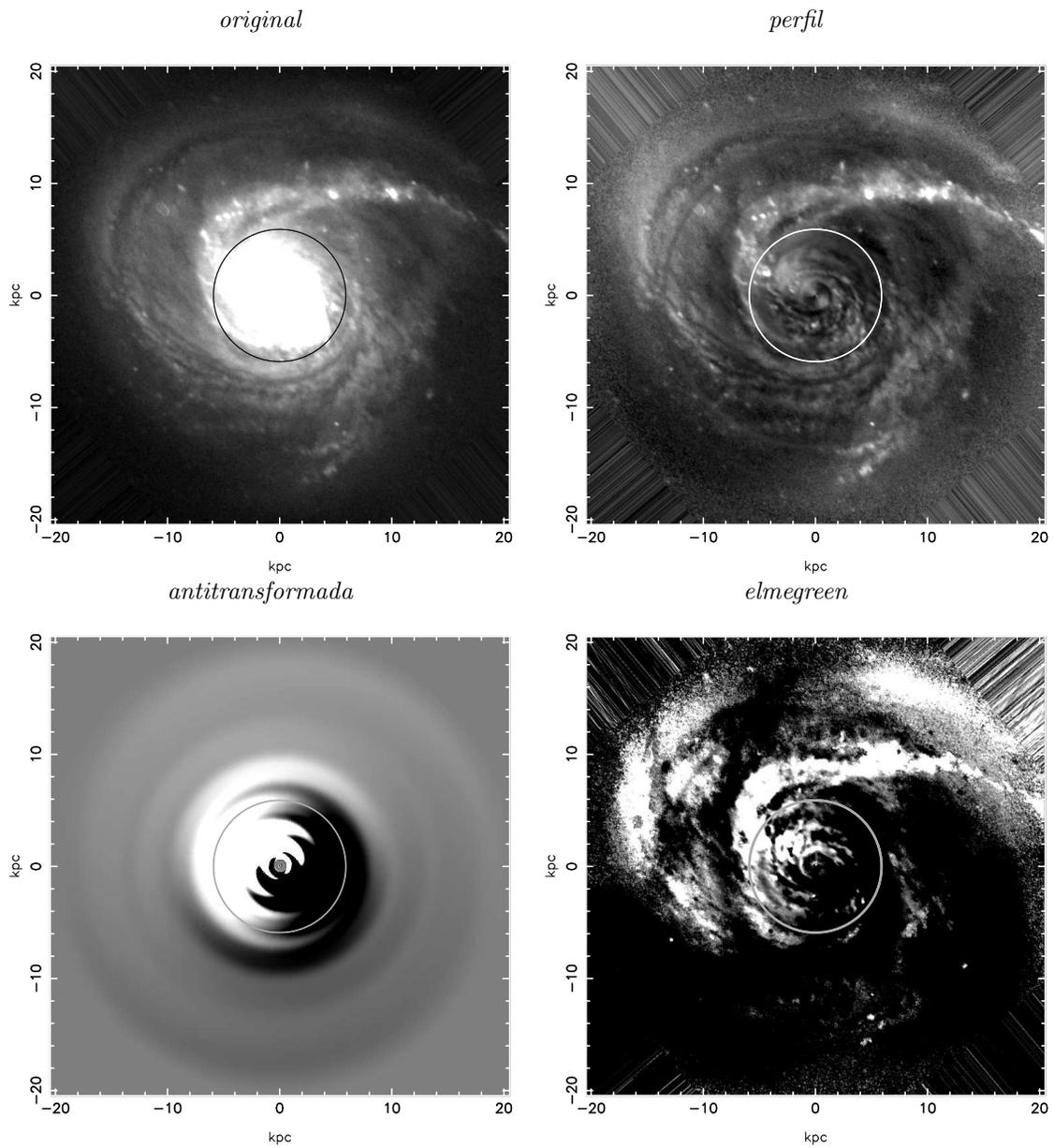


Figura K.10: O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente  $m = 1$ . As imagens são na cor  $g$ .

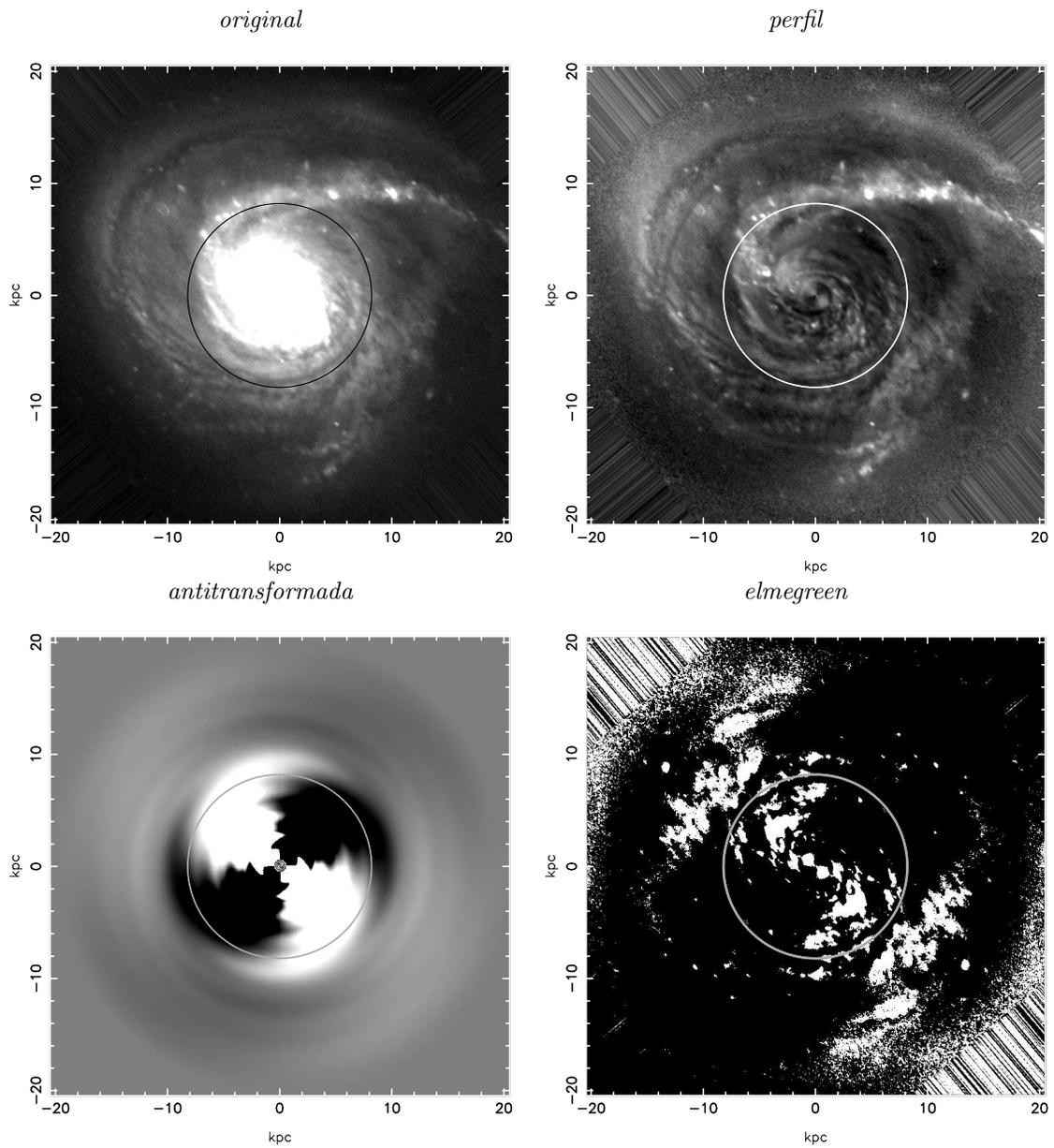


Figura K.11: O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente  $m = 1$ . As imagens são na cor  $g$ .

## Apêndice L

### Análise de NGC1073

A NGC1073 é uma galáxia com múltiplos braços espirais e com uma barra central. No extremo L da barra parte um braço circular com uma ramificação ao N e uma bifurcação a NO, com mudança expressiva no *pitch angle*, como se observa nas imagens da *fig. L.2*. No extremo O da barra partem visivelmente dois braços espirais, sendo o primeiro circular, interno à barra, e o segundo, linear e externo; o outro braço, ligeiramente mais afastado é aproximadamente circular com uma quebra ao S. Além disso, há mais estruturas fragmentadas que se estendem nas direções norte e sul. Observam-se também condensações no disco da galáxia e regiões *HII*, indicando formação estelar. As imagens da galáxia são de  $700 \times 700$  *pixels* com  $1 \text{ pix} = 0.02873 \text{ kpc}$ .

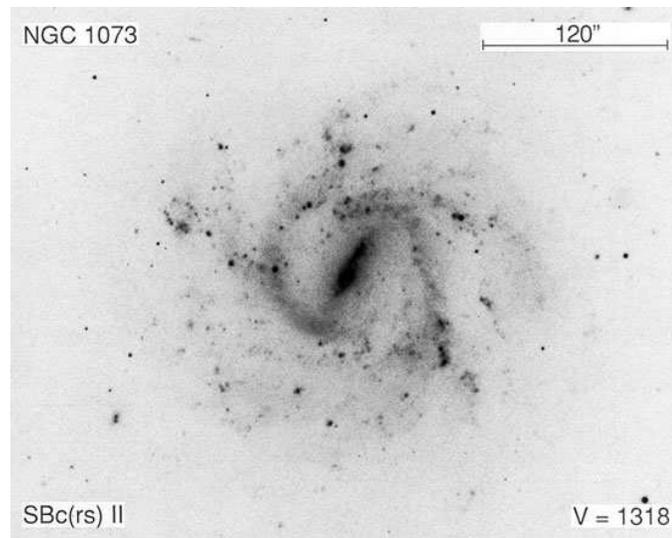


Figura L.1: Imagem NGC1073 extraída do NED, na banda 103aO,  $\lambda = 4050\text{\AA}$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.144 \text{ kpc}$  e  $10.0 \text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. L.3*) informam que a componente 2 é mais relevante que a componente 1, e esta por sua

vez mais relevante que a 3. As funções de densidade de probabilidade (*fig. L.4*) mostram a importância de  $m = 1$  entre  $\sim 3 \text{ kpc}$  e  $4 \text{ kpc}$  e depois entre  $\sim 5 \text{ kpc}$  e  $9 \text{ kpc}$ . A componente  $m = 2$   $\ddot{u}_L \frac{1}{2}$  relevante entre  $\sim 0.5 \text{ kpc}$  e  $3 \text{ kpc}$  e na região entre  $\sim 4 \text{ kpc}$  e  $6.5 \text{ kpc}$ . Na posição próxima a  $3.5 \text{ kpc}$  o valor mínimo do espectro da componente 2 corresponde ao valor máximo da componente 1. Por último, a componente  $m = 3$  se destaca entre as posições  $\sim 3 \text{ kpc}$  e  $6 \text{ kpc}$ . Apesar do espectro de frequências da componente par ser mais destacado em relação às componentes 1 e 3, ressonâncias de corotação não foram encontradas para  $m = 2$ .

Nas imagens antitransformadas de Fourier (*fig. L.5*) verificam-se a presença das três componentes, com destaques de maior para menor relevância na seqüência,  $m = 1, 2$  e  $3$ . No método EEM92 (*fig. L.8*) também se destacam as três componentes, principalmente 2 e 3. Na componente 1 observa-se o braço N-O-S com uma quebra a O. Na componente par verifica-se a simetria correspondentes aos braços N e um dos braços na direção S, além da barra; e na componente 3 também se observam as 3 pequenas estruturas,  $\sim$ N, SO e SE.

Pelos diagramas de fase  $\log(R)$  *vs.*  $\theta$  (*fig. L.6*), se observam que o braço que parte a L da barra é quase logarítmico, o mesmo para o braço que parte a oeste, porém, com extensão visivelmente menor, confirmado pelas imagens originais (*fig. L.2*). A barra tem raio de  $\sim 4/4.5 \text{ kpc}$  e inclinada de  $\sim 30^\circ$  em relação a direção L-O e no sentido horário. Outras estruturas também são visíveis, mas com inclinações distintas. Nos diagramas da *fig. L.8* fica mais evidente que a componente 2 é formada por sistemas distintos que partem dos extremos da barra central.

A diferença de fase em função do raio (*fig. L.10*) mostra que, para a componente  $m = 1$ , há ressonância de corotação na posição  $3.1 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . A componente  $m = 3$  tem CR na posição  $\sim 7.0 \pm 0.5 \text{ kpc}$ , isto é verificado com boa aproximação nas imagens da *fig. L.11*, conforme as estruturas visíveis nas mesmas. Por outro lado, para a componente  $m = 2$ , encontrou-se duas CR's apenas no gráfico da diferença de fase da imagem original, nas posições  $\sim 4.1$  e  $6.3 \text{ kpc}$ . Com efeito, estes valores não podem ser considerados reais, pois não é corroborado pelos métodos elmegreen e antitransformada, embora tenha o espectro de frequências mais relevante. É provável que as várias modulações encontradas para as demais componentes a partir de  $\sim 3 \text{ kpc}$  (*fig. L.4*), possam contribuir para que resultados reais de CR's para essa componente sejam mascarados.

Para o valor normalizado máximo das amplitudes, em relação às componentes  $m = 1, 2$  e  $3$ , verificam-se resultados nulos para as diferenças entre os *pitch angles* nas bandas  $g$  e  $i$ , correspondentes aos passos  $p = -1, 0$  e  $0.75$ , respectivamente. Contudo, isto não significa que não haja  $\Delta\alpha \neq 0$  para passos menores que  $\Delta p = 0.25$ . Sendo o passo menor, deve-se admitir diferença nos *pitch angles* menores que  $18^\circ$  para  $m = 1$ , e  $4.5^\circ$  para  $m = 3$ , embora no processo atual não há como estimar o resultado mais provável para  $\Delta\alpha$ . Estes resultados atípicos são uma consequência do próprio método em que se limita matemática o passo. Exemplos semelhantes aconteceram para outras galáxias, como a NGC0772.

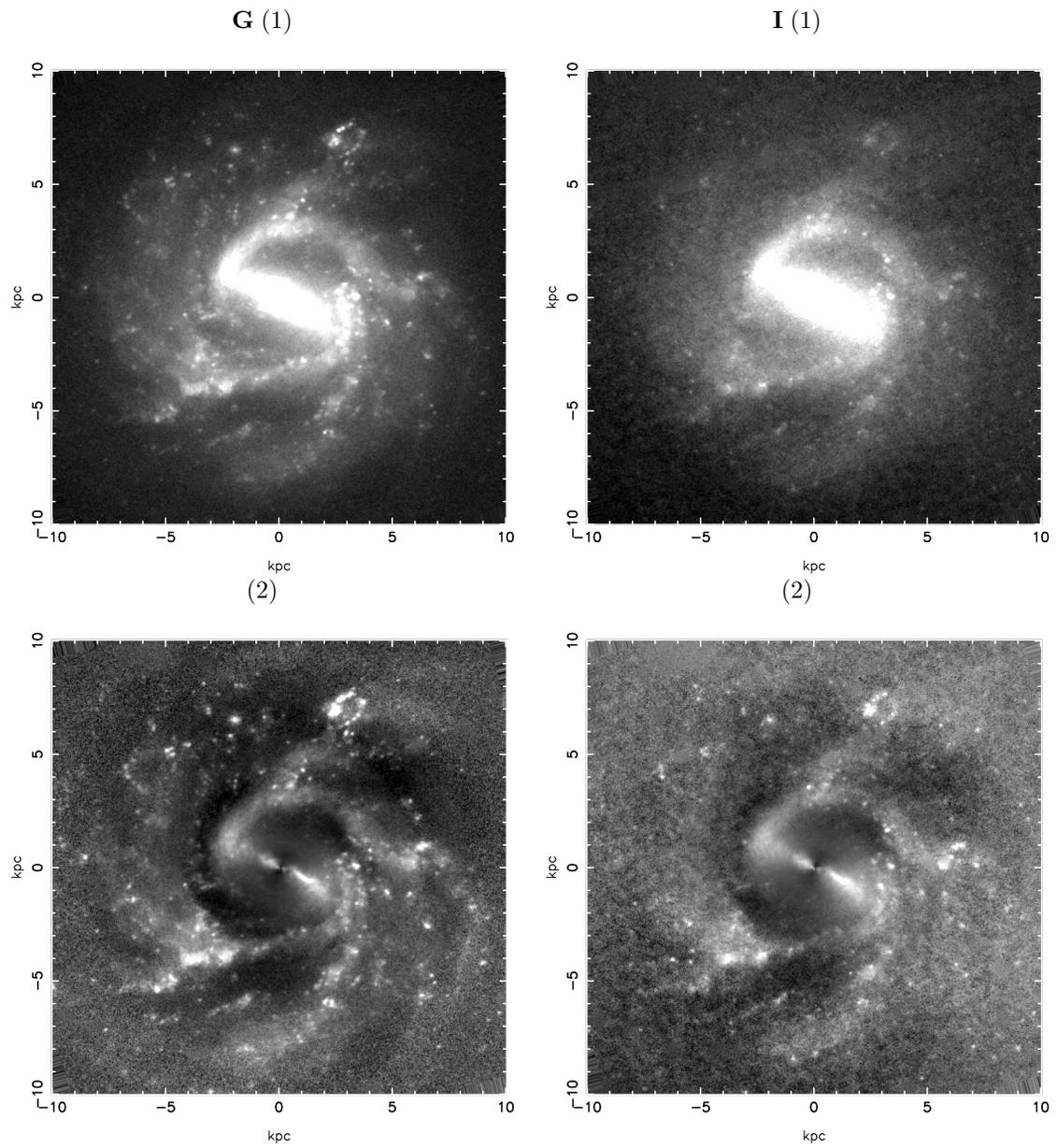


Figura L.2: NGC1073 nas bandas  $g$  e  $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

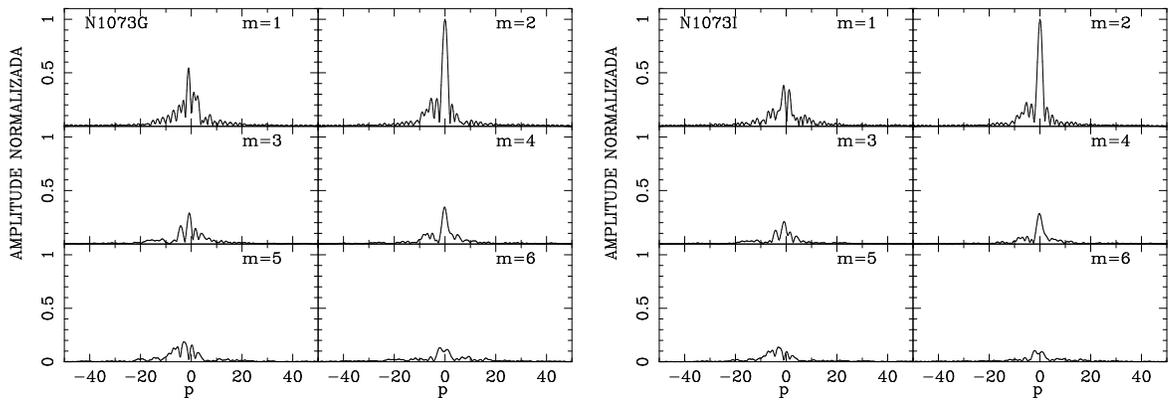


Figura L.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  (a) e  $i$  de NGC1073, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

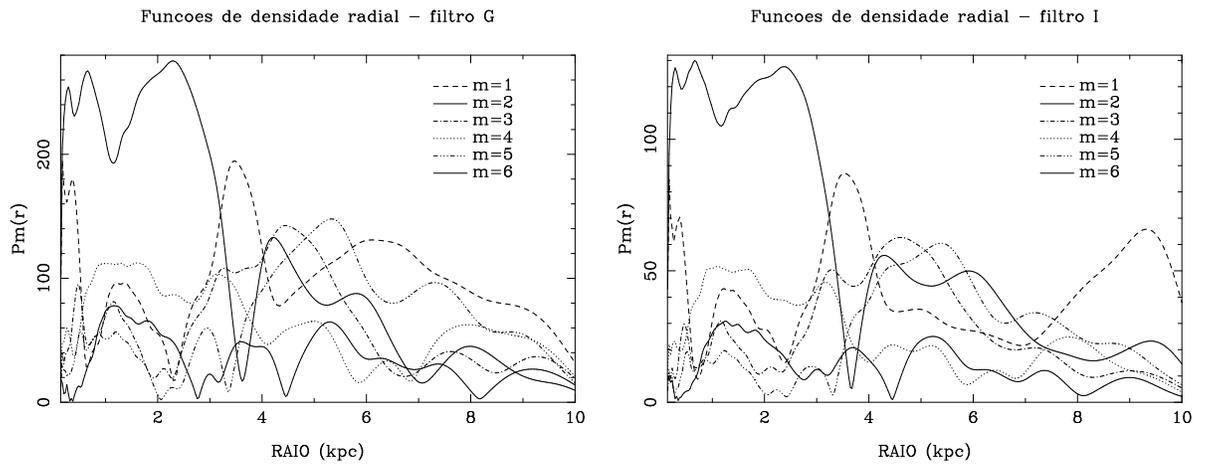


Figura L.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

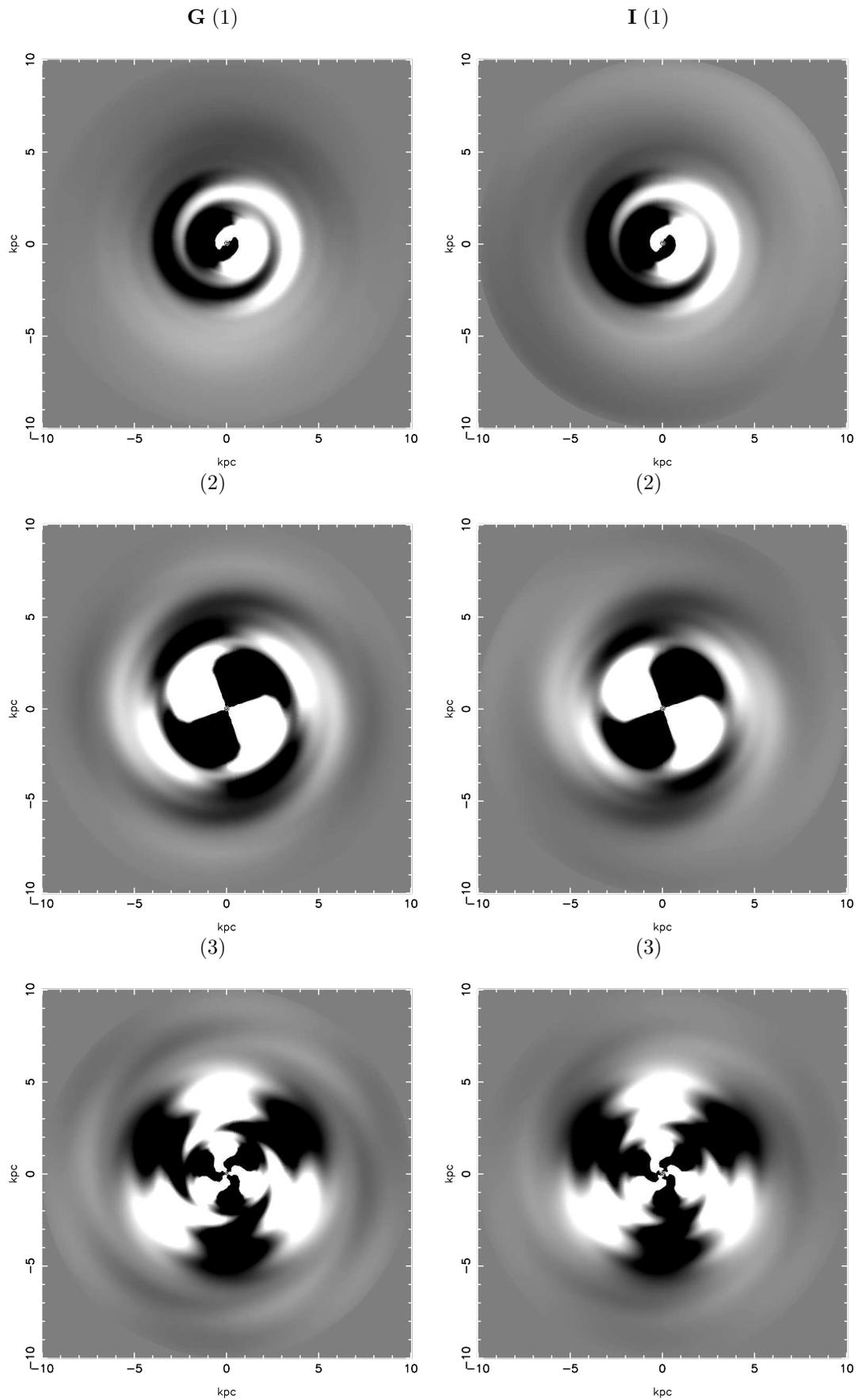


Figura L.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

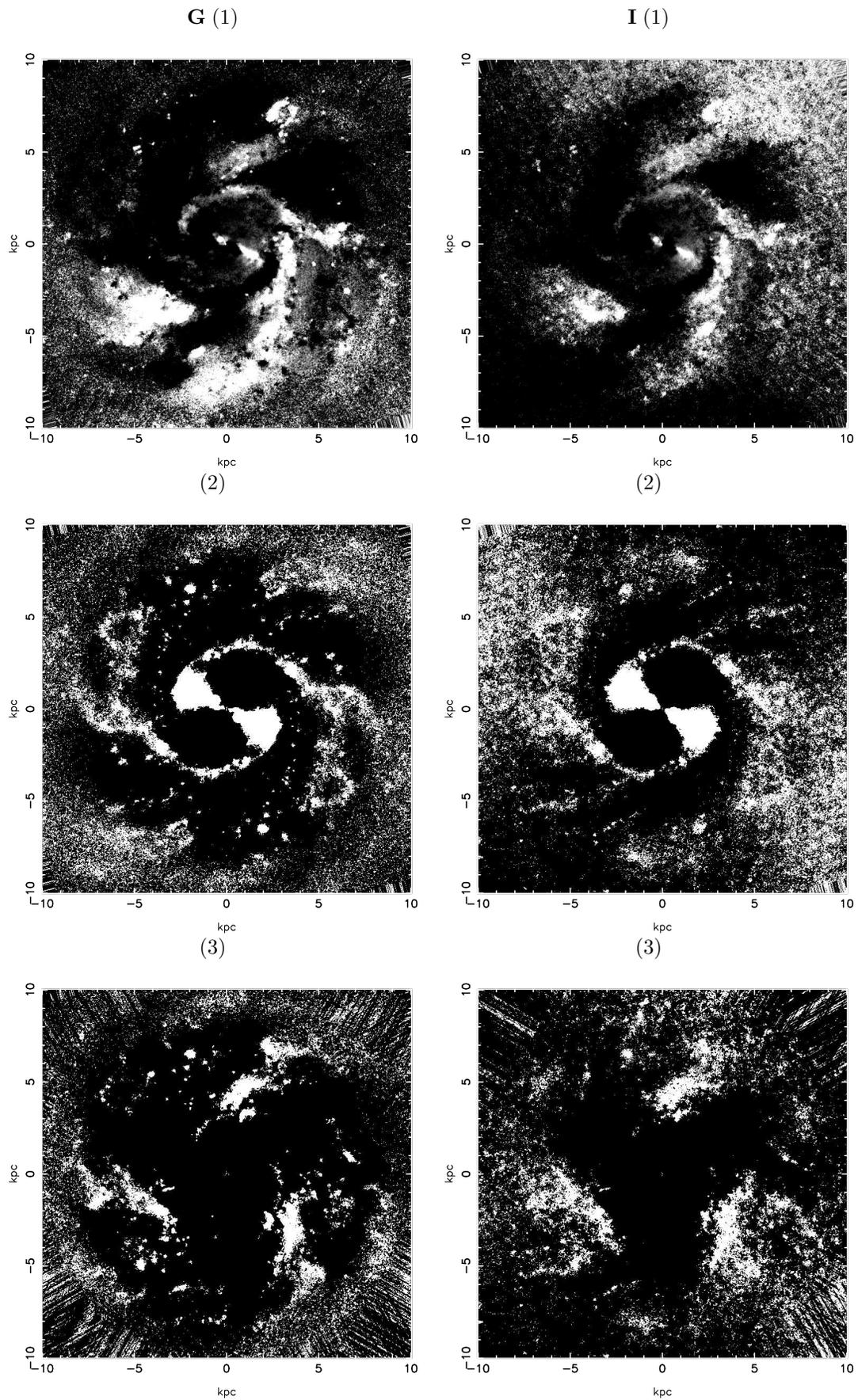


Figura L.6: Imagens simetrizadas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

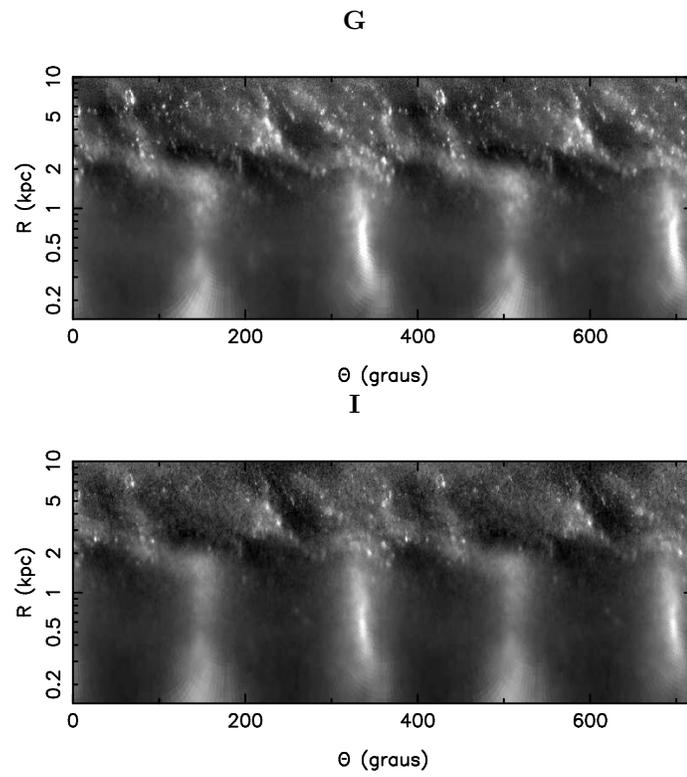


Figura L.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

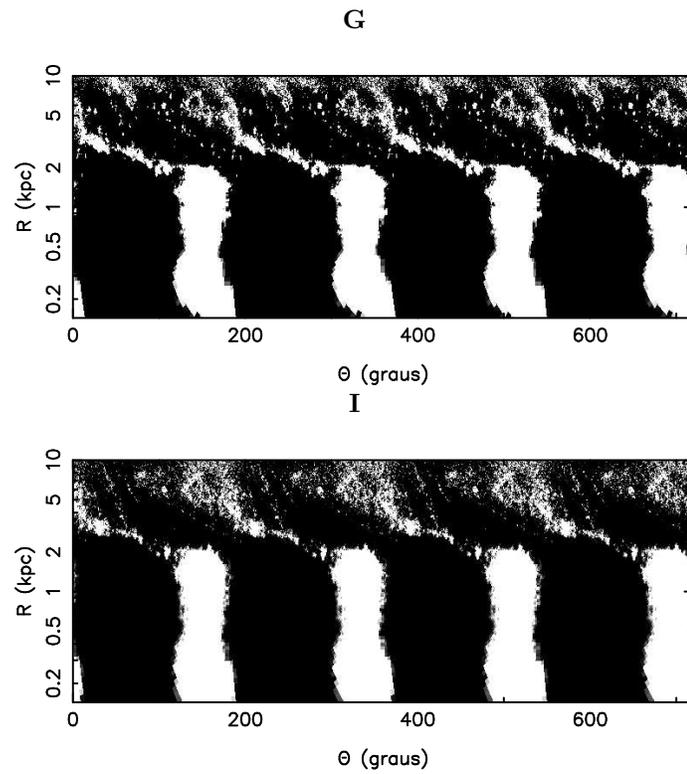


Figura L.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

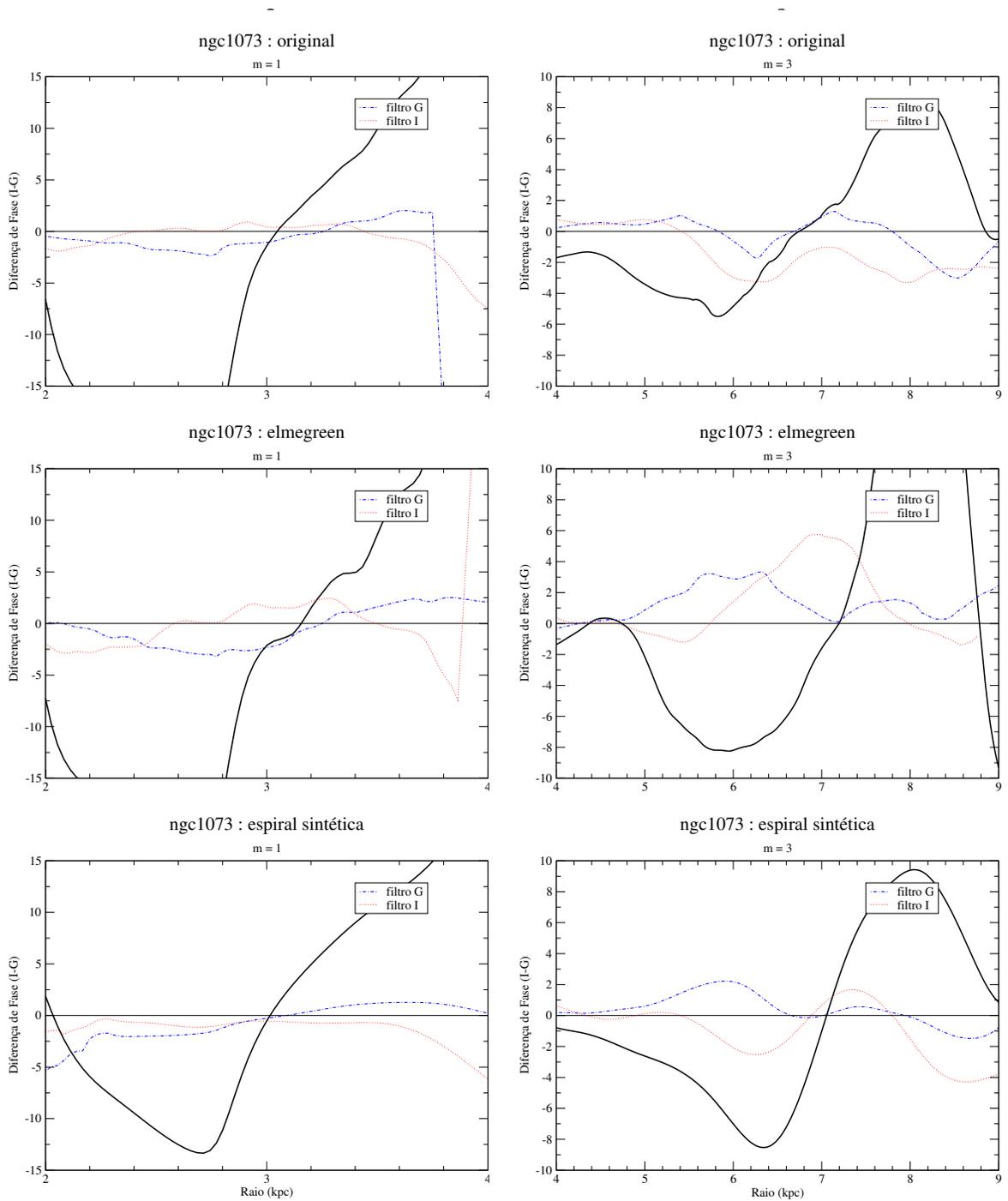


Figura L.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem às componentes  $m = 1$  e  $3$  relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada.

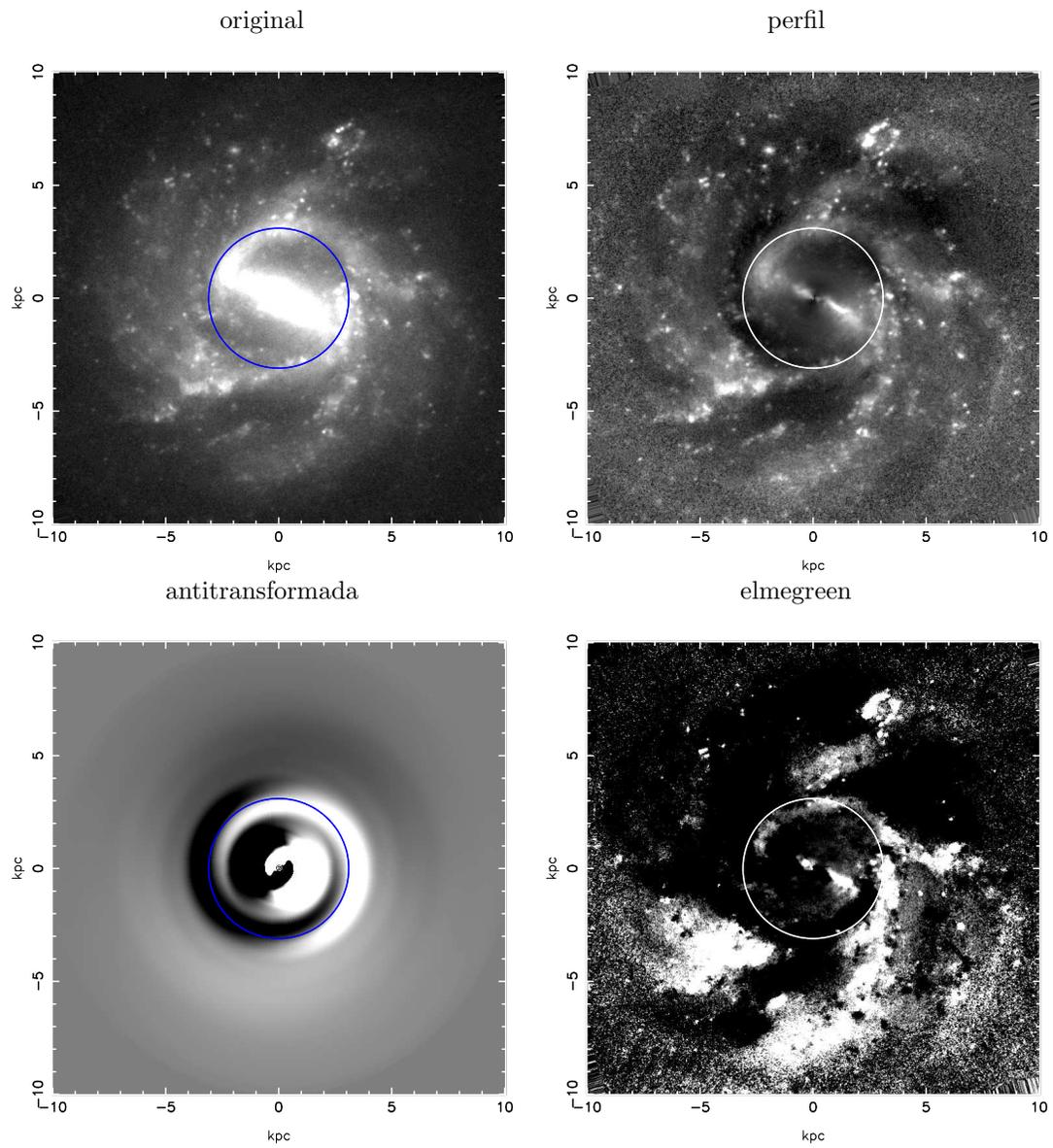


Figura L.10: O círculo indica a posição da provável CR para a componente 1 em  $\sim 3.1 \pm 0.5$  kpc. As imagens são na cor  $g$ .

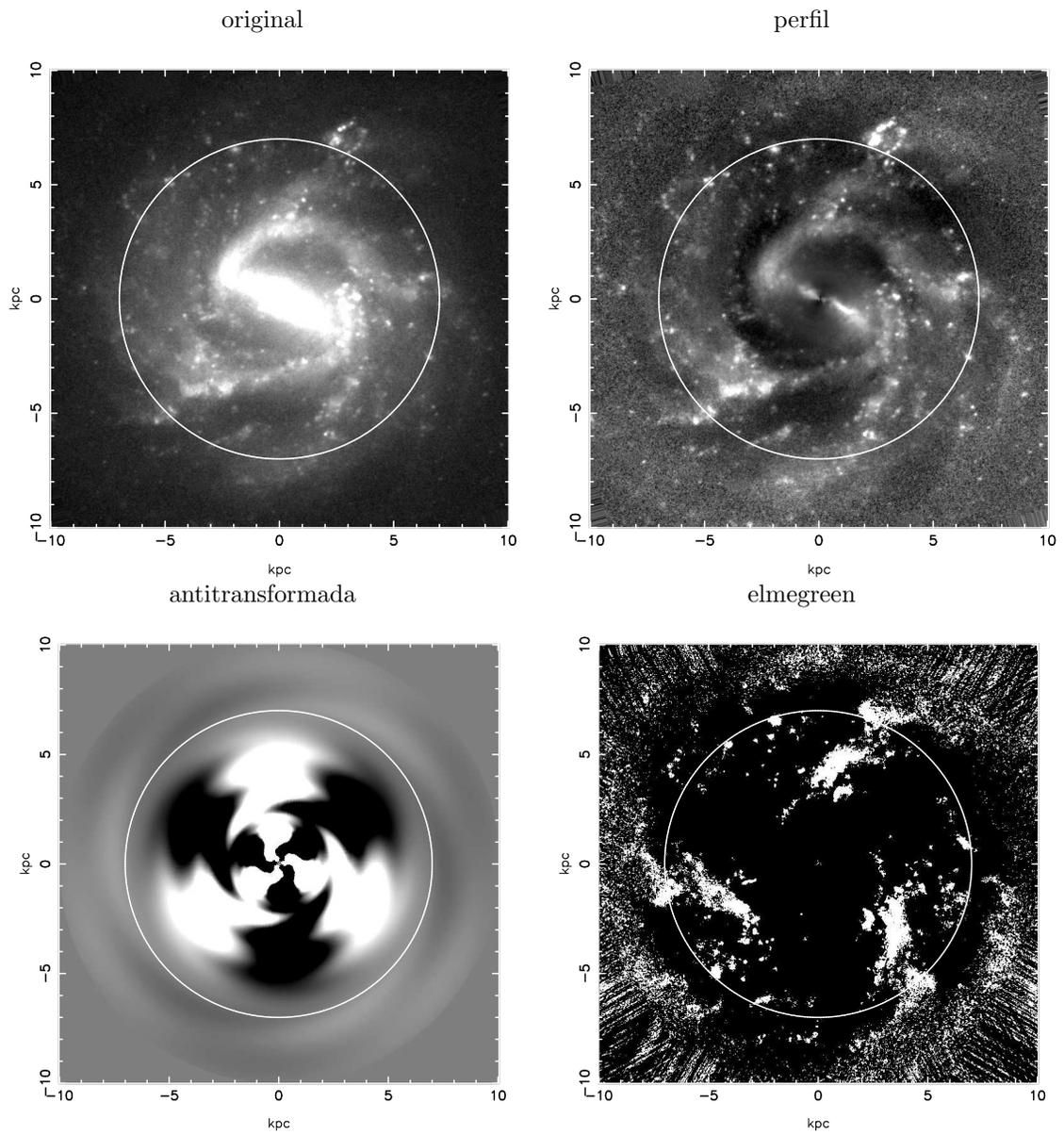


Figura L.11: O círculo indica a posição da CR para a componente 3 em  $\sim 7.0 \pm 0.5$  kpc. As imagens são na cor *g*.

## Apêndice M

# Análise de NGC2336

A NGC2336 é uma galáxia que tem uma pequena barra central, onde partem múltiplos braços espirais circulares. Destacam-se 4 braços bastante luminosos que se estendem aos limites externos da galáxia e outras estruturas menores também circulares, conforme indicam as imagens da *fig. M.2*. Notam-se *três* braços na direção N e *dois* braços na direção S. O braço mais ao norte tem uma quebra no *pitch angle* e este intercepta o segundo braço norte; também se verifica quebras no *pitch angle* no primeiro braço sul. Os braços nitidamente luminosos apresentam condensações variadas. Há um anel circumnuclear que envolve as extremidades da barra, mais destacado nas imagens *perfis* (2).

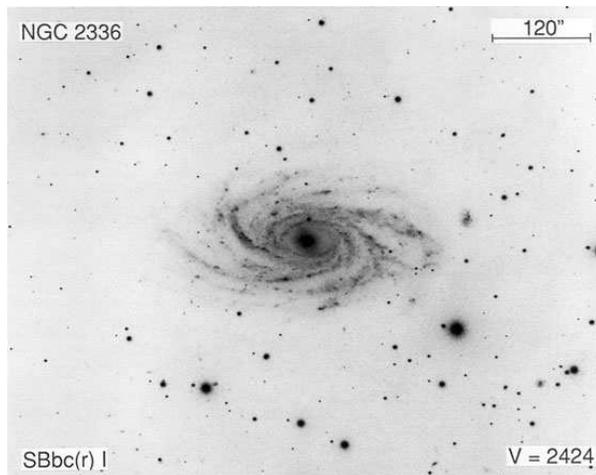


Figura M.1: Imagem NGC2336 extraída do NED, e  $\lambda = 4050\text{\AA}$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.31\text{ kpc}$  e  $18.3\text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. M.3*) informam que a componente 2 é mais relevante que a componente 1, com razão  $\frac{1}{2}$  nas amplitudes de  $(A_1/A_2 =)0.626$  na cor  $g$ , e com menor relevância para a componente 3. As funções de densidade de probabilidade (*fig. M.4*) mostram a importância componente  $m = 1$  até  $\sim 2\text{ kpc}$  e depois entre  $\sim 4$  e  $9\text{ kpc}$  apresentando um *gap* em  $\sim 6\text{ kpc}$ , enquanto a

componente  $m = 2$  é expressiva até  $\sim 7 \text{ kpc}$ , porém apresenta simetria a partir de  $\sim 5 \text{ kpc}$ , ressaltando sua importância em toda a extensão da galáxia. Nos diagramas da *fig. M.4* a componente 3 se destaca entre  $\sim 4$  e  $8 \text{ kpc}$  com dois picos aproximadamente nessas posições.

As imagens antitransformada de Fourier (*fig. M.5*) e simetrizadas (*fig. M.6*) verificam simetria nas componentes 2 e 3, apesar da simetria de  $m = 3$  não seja confirmada pelas *funções de densidade radial*. Com respeito à componente 2, ambos os métodos apresentam simetria com respeito à barra. Esta barra tem uma extensão de  $\sim 7 \text{ kpc}$ .

Pelo diagrama de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. M.6*), observam-se que a maioria dos braços são aproximadamente logarítmicos, embora apresentem mudanças em seus *pitch angles*. No outro diagrama (*fig. M.8*), a aproximação logarítmica é maior, mas não pura. Todos os braços têm origem na barra, e apresentam bifurcações a  $\sim 10 \text{ kpc}$ .

A diferença de fase em função do raio (*fig. M.9*) mostra que há uma corrotação da componente  $m = 2$ , em torno do valor médio de  $\pm 6.9 \text{ kpc}$ . As imagens da *fig. M.10* mostram o círculo de corrotação para essa componente. Como se vê, o círculo está além da extremidade da barra, e corta uma região de baixa densidade. Apesar da importância revelada para a componente 1 nos diagramas dos *espectros* e das *funções de densidade*, não se obteve ressonância de corrotação para esta componente.

Através das funções de densidade radial (*fig. M.4*), e tendo em conta nesta galáxia a existência de apenas *uma* ressonância de corrotação para a componente 2, os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 3.0 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 8.0 \text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com o raio de corrotação.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	17.4	10.2	4.8	6.9

Tabela M.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com o CR dos diagramas de fase (*fig. M.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral para a componente 2, está condizente com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela M.1*). De forma análoga, os raios de corrotação estão de acordo com os parâmetros correspondentes de Canzian ( $R_{CR(i)}$  e  $R_{CR(o)}$ ).

A *tabela M.2* mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1$  e 2 nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	0.75	0.626	$-53.1^\circ \pm 8.1$
	2	0.25	1	$-76^\circ \pm 12.5$
$i$	1	0.25	0.671	$-76^\circ \pm 12.5$
	2	0.25	1	$-76^\circ \pm 12.5$

Tabela M.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC2336.

Para o valor normalizado máximo da amplitude ( $A = 2$ ), verifica-se resultado nulo para a diferença entre os *pitch angles* nas bandas  $g$  e  $i$  para a componente  $m = 2$ , e passo  $p = 0.25$ . Contudo, isto não significa que não haja  $\Delta\alpha \neq 0$  para passos menores que  $\Delta p = 0.25$ . Outro fato intrigante é que nesta galáxia, não se verifica a partir dos dados derivados dos espectros de Fourier, um segundo ou terceiro máximos de amplitude que fornecem  $\Delta\alpha \neq 0$ , pois a curva desses espectros é contínua, ou seja, não há outros picos relevantes na região de domínio da galáxia; isto acontece inclusive para a componente  $m = 1$ . Sendo o passo menor, deve-se admitir uma diferença nos *pitch angles* menor que  $7.1^\circ$  para  $m = 2$ , embora no processo atual não há como estimular o resultado mais próximo para  $\Delta\alpha$ . A variação no *pitch angle* para a componente  $m = 1$  fornece  $\sim 22.9^\circ$ . Outras galáxias apresentam resultados atípicos para as diferenças nos *pitch angles* em algumas componentes.

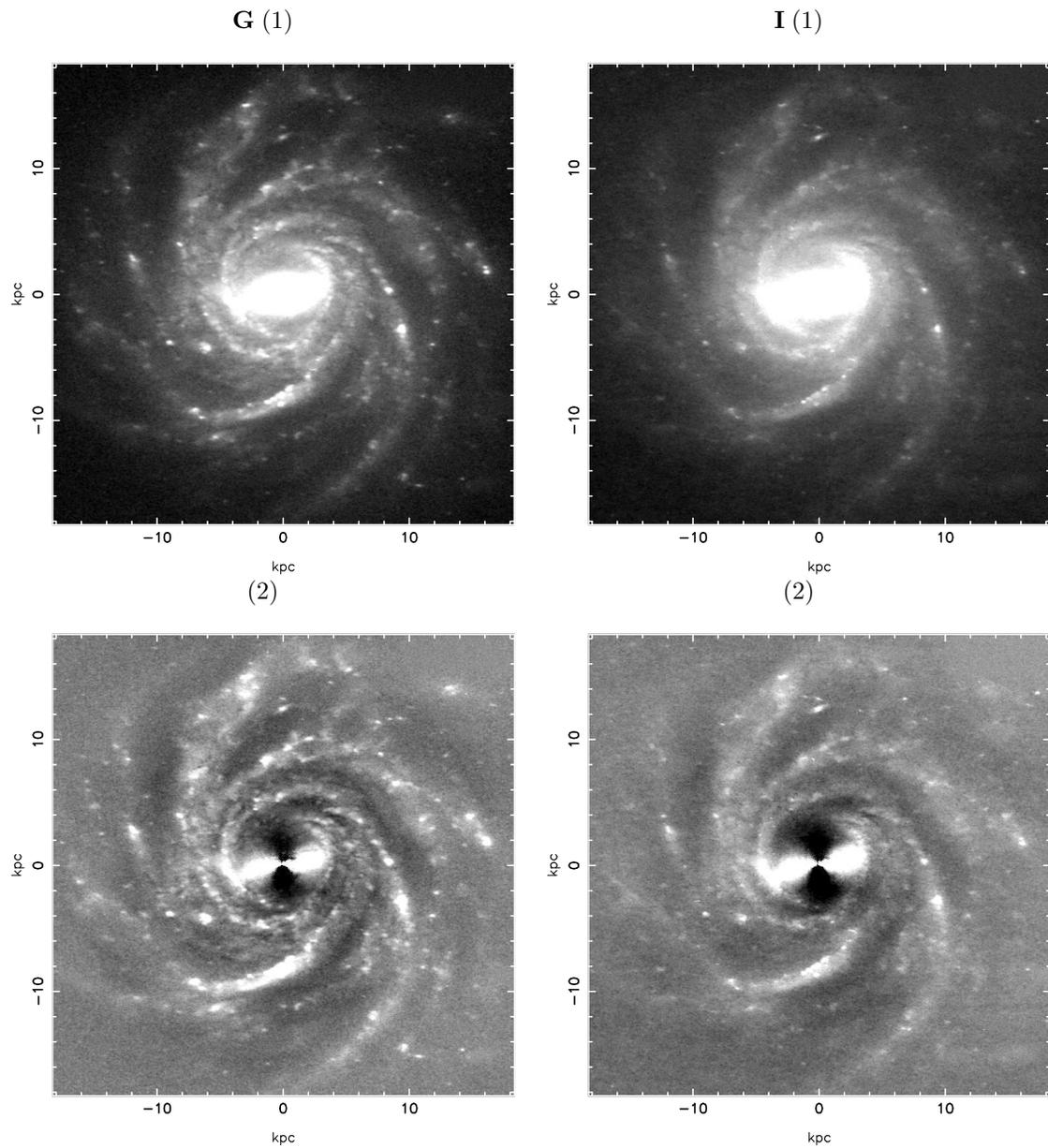


Figura M.2: NGC2336 nas bandas  $g$  e  $i$ . (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

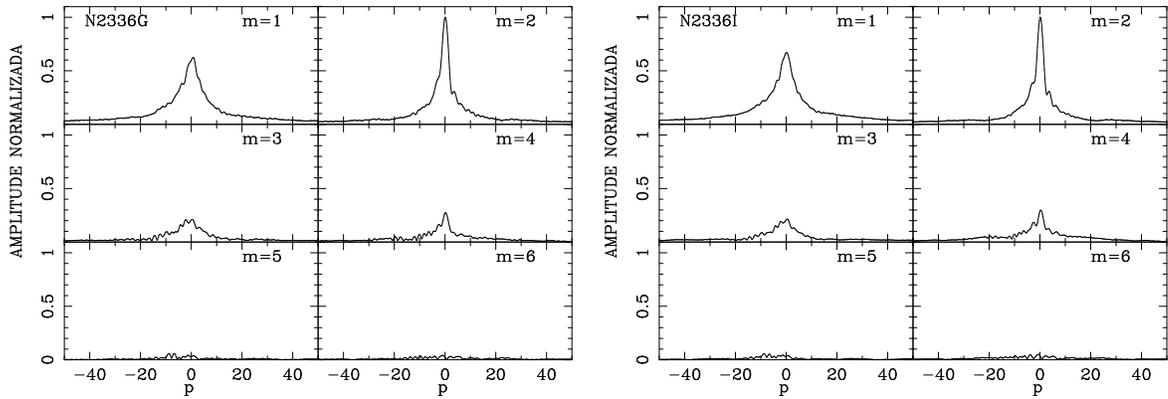


Figura M.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  e  $i$  de NGC2336, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

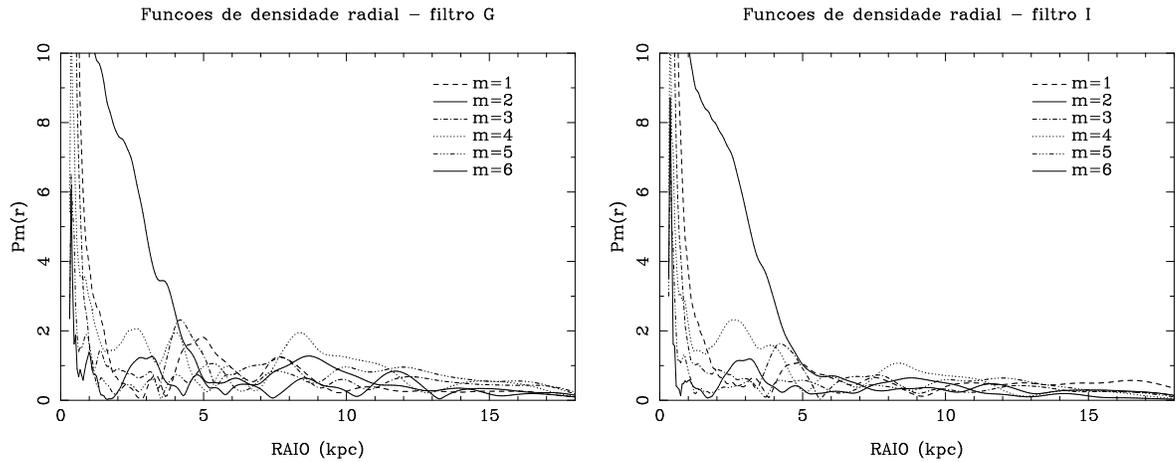


Figura M.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

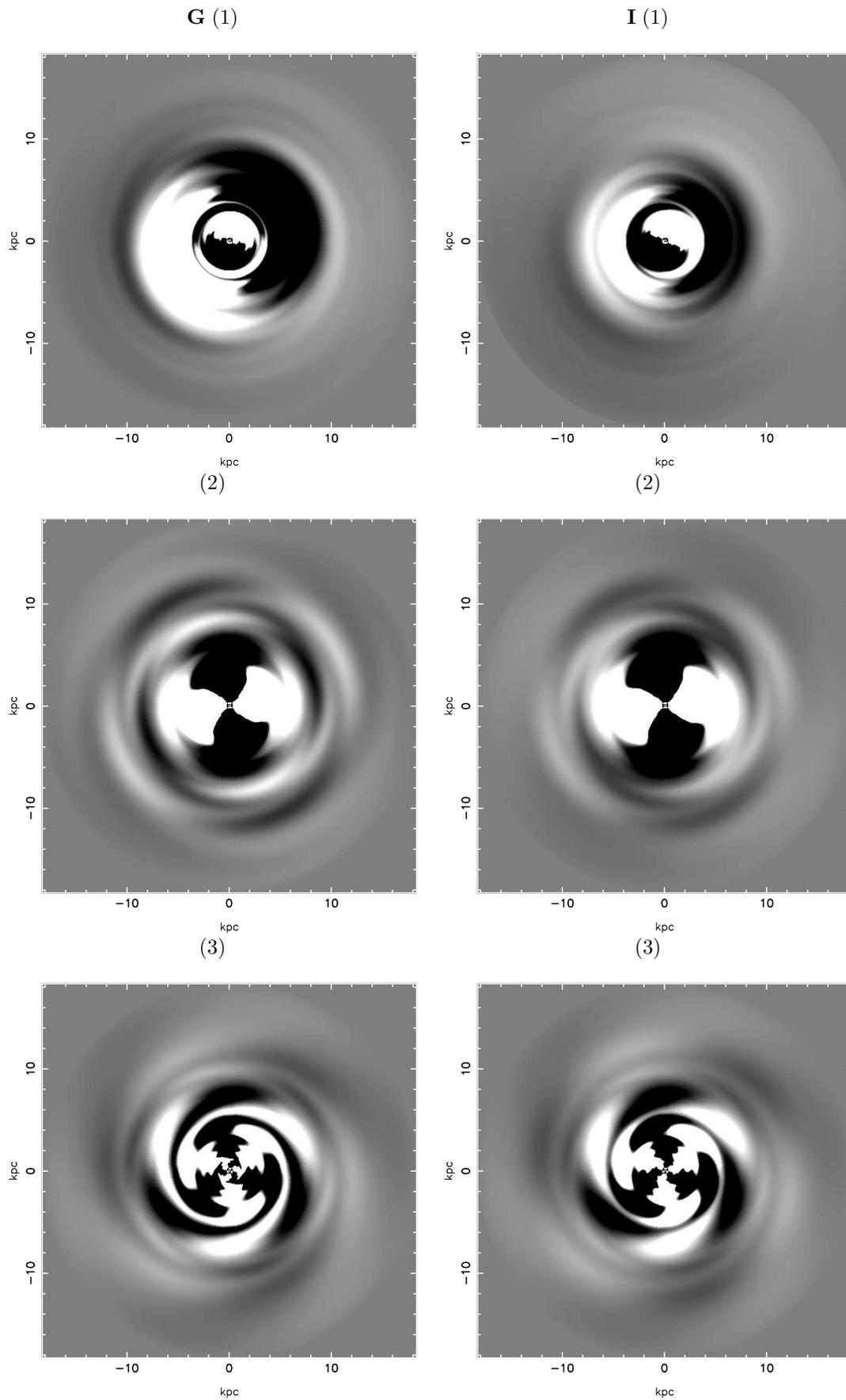


Figura M.5: Espirais sintéticas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

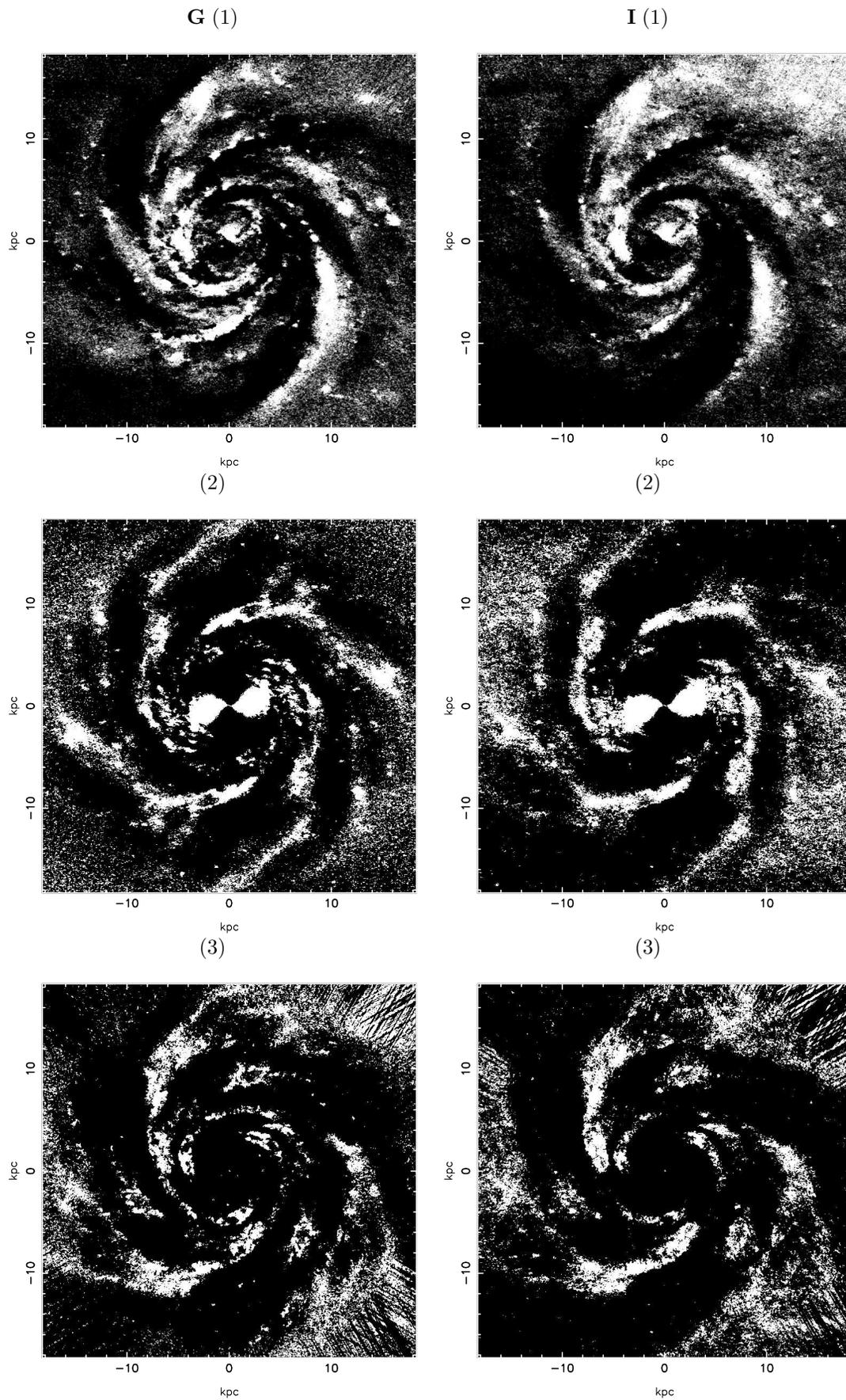


Figura M.6: Imagens simetrizadas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

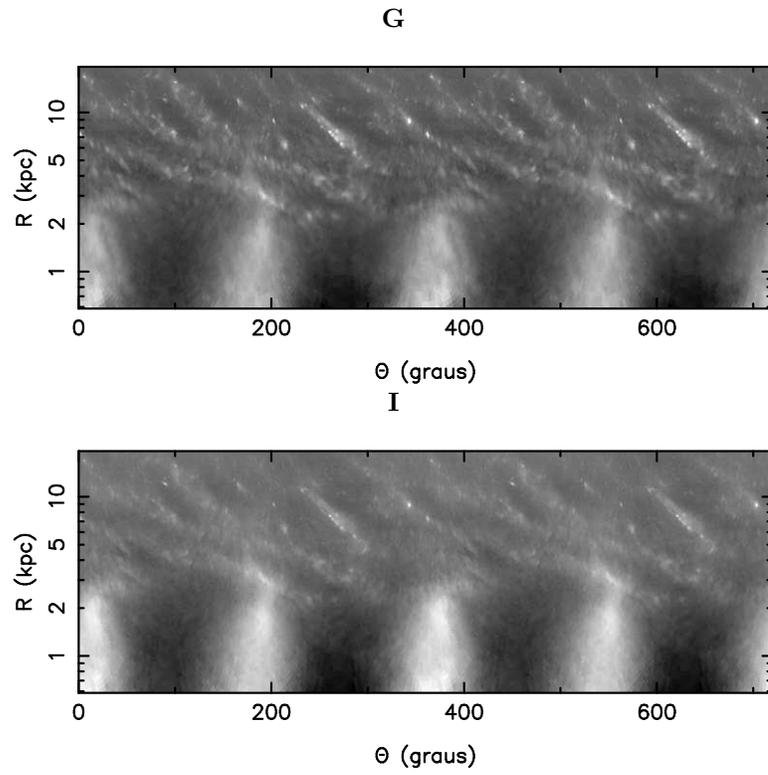


Figura M.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

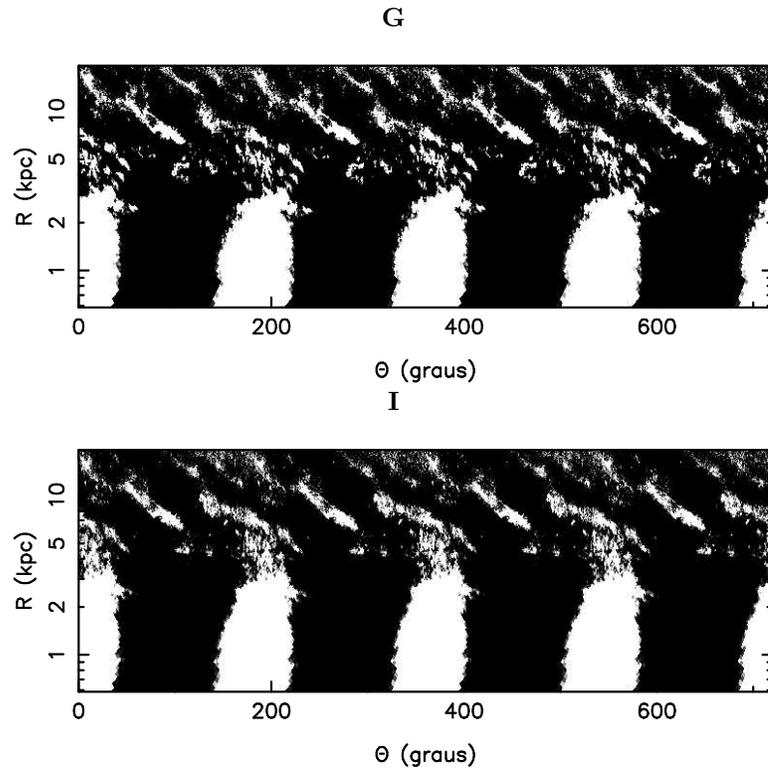


Figura M.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

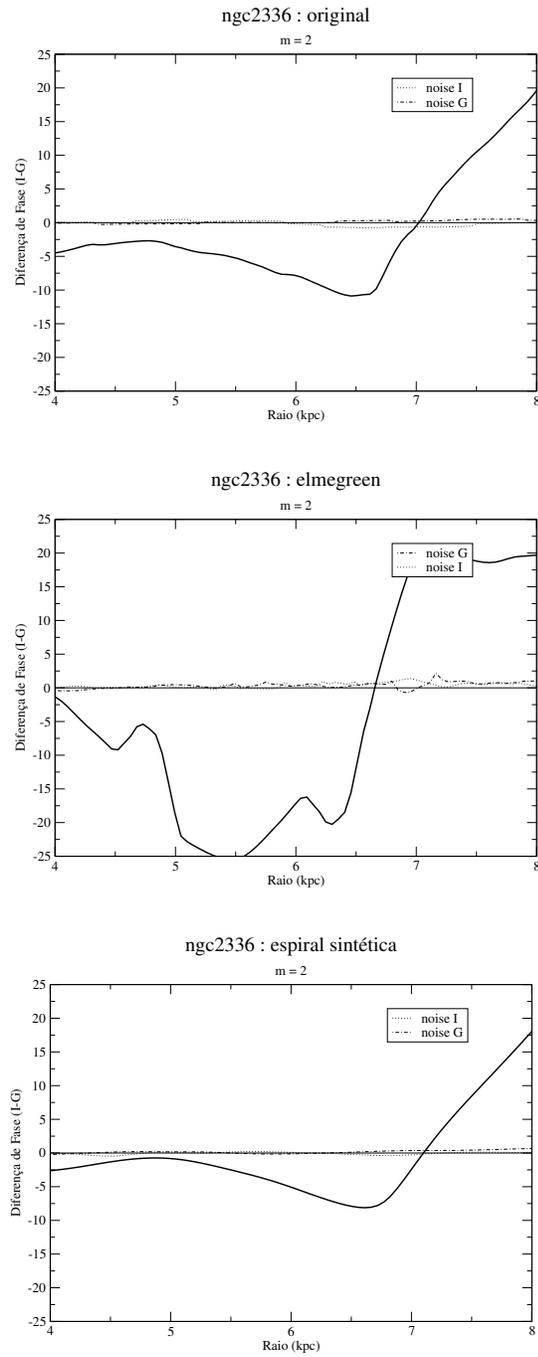


Figura M.9: [Diferenças de Fase (*graus*) × Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem às componentes  $m = 1$  e  $2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada.

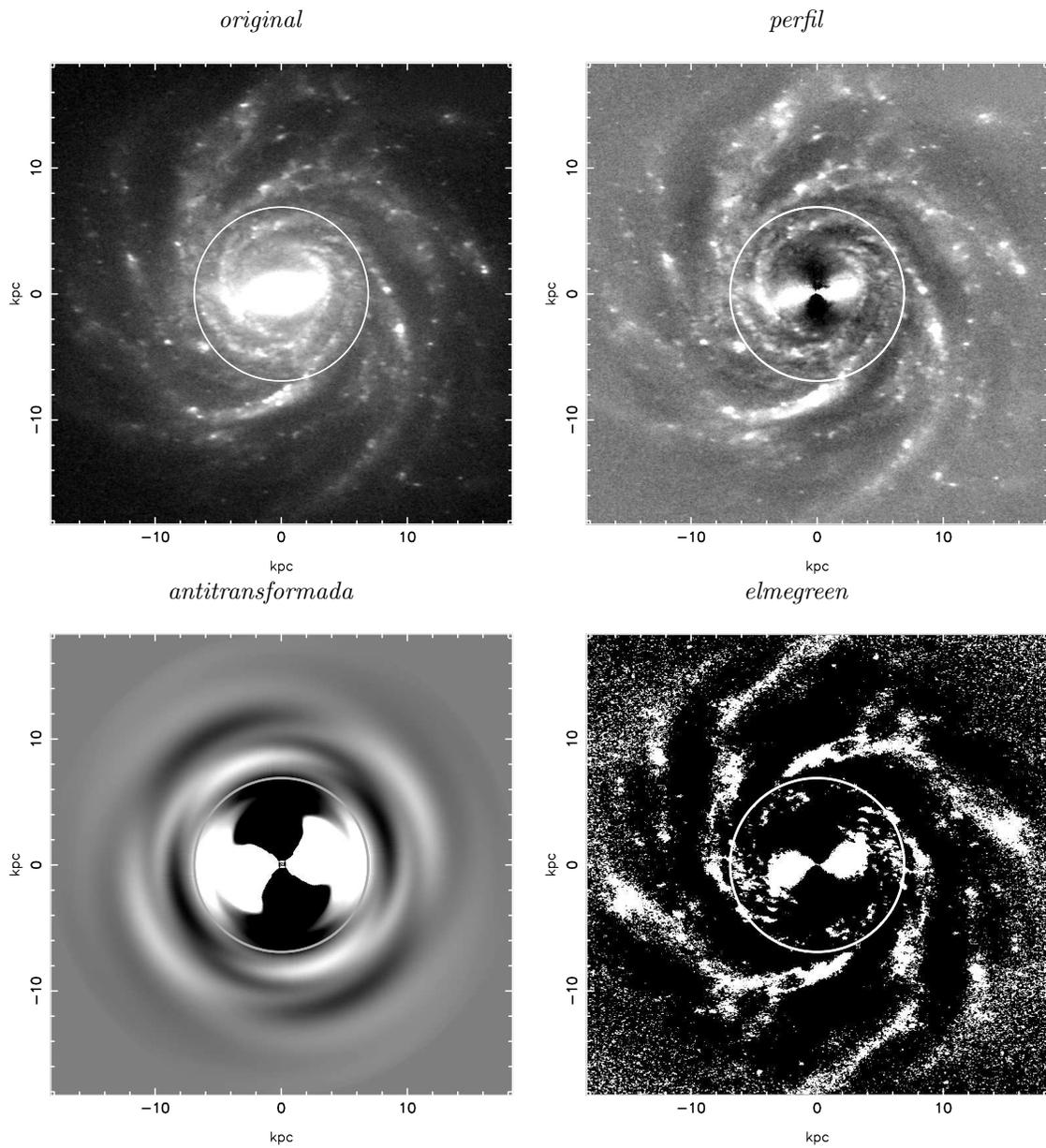


Figura M.10: O círculo indica a posição da ressonância de corrotação da componente  $m = 2$ . As imagens são na cor  $g$ .

## Apêndice N

# Análise de NGC6951

A NGC6951 é uma galáxia que tem uma barra central, onde partem dois braços espirais circulares, o braço oeste no sentido O-N e o leste no sentido L-S, de acordo com a *fig. N.2*. Logo acima da barra, há um braço circular que vai de um extremo a outro. Há ainda outra estrutura bem luminosa,  $\sim 5 \text{ kpc}$  a NE, e no sentido anti-horário. Observa-se que o braço S tem uma tênue bifurcação, e o braço norte tem uma quebra a  $\sim 9 \text{ kpc}$  do centro da galáxia (a NO).

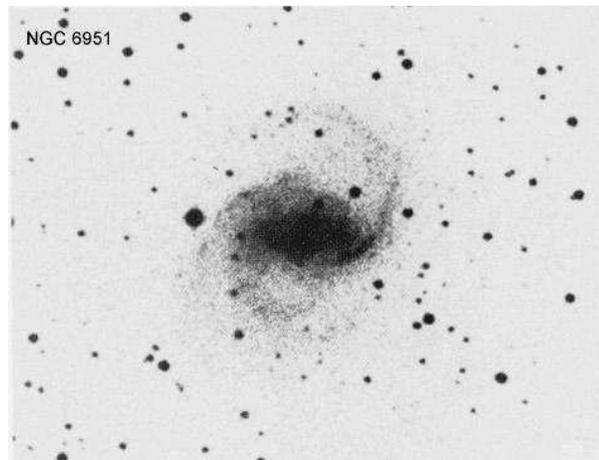


Figura N.1: Imagem NGC6951 extraída do NED, na banda I e  $\lambda = 8250\text{\AA}$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.304 \text{ kpc}$  e  $10.0 \text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. N.3*) informam que a componente 1 é mais relevante que a componente 2, com razão nas amplitudes de  $(A_1/A_2) = 0.630$ , e praticamente sem relevância para a componente 3. As funções de densidade de probabilidade (*fig. N.4*) mostram a importância de  $m = 1$  entre  $\sim 0.5 \text{ kpc}$  e  $2 \text{ kpc}$ , e com importância relativa menor entre  $\sim 2.7 \text{ kpc}$  e  $3.7 \text{ kpc}$ , enquanto a componente 2 predomina em toda a extensão da galáxia, com destaque entre  $\sim 1.5 \text{ kpc}$  e  $6 \text{ kpc}$ .

As imagens antitransformada de Fourier (*fig. N.5*) e simetrizadas (*fig. N.7*) verificam a presença forte da componente  $m = 1$ , confirmando os espectros dos diagramas da *fig. N.3*, embora os diagramas da *fig. N.4*, como visto, identificam o predomínio da  $m = 2$ . Com respeito a esta componente, ambos os métodos apresentam simetria com respeito à barra.

Pelo diagrama de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. N.7*), se observam que os braços que têm origem no interior da barra se apresentam logarítmicos, além de indicar suaves condensações em algumas estruturas e, a partir de sua extremidade, apresentam mudança contínua no *pitch angle*.

A diferença de fase em função do raio (*fig. N.9*) mostra que há uma corrotação da componente  $m = 1$ , em torno do valor médio de  $4.3 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . As imagens da *fig. N.10* mostram o círculo de corrotação para essa componente. Como se vê, o círculo está próximo à extremidade da barra, mas interno a mesma, e contempla uma região de baixa densidade do centro da galáxia à extremidade L da barra, identificado na imagem do método EEM92. Por outro lado, neste método, não se detectou nenhuma ressonância de corrotação, o que implica em uma aparente contradição. A imagem obtida, *fig. N.10 (elmegreen)*, não realça uma estrutura apenas de um braço, mas de três braços, provavelmente devido a elementos espúrios, como poeira sobre a barra ou a forte contaminação na extremidade leste da galáxia. A componente  $m = 2$  apresenta uma corrotação em  $\sim 5.2 \pm 0.5 \text{ kpc}$ , sendo o ruído significativo na banda  $i$  no gráfico do método elmegreen. O ruído na banda  $g$  é pequeno em todos os diagramas. As imagens da *fig. N.11* mostram o círculo de corrotação para a componente  $m = 2$ . O círculo atravessa a extremidade da barra onde ocorre uma mudança no *pitch angle*. Como já colocado, nota-se à leste das imagens, uma estrela de brilho considerável. É provável que essa contaminação possa influenciar nas posições das CR's calculadas; no entanto, não há como estimar o erro relativo que se insere nessas medidas.

É importante ter em conta o caráter distinto das duas ressonâncias detectadas. No gráfico das PD's elas cruzam o eixo em  $y = 0$  em sentidos contrários. Se supomos, como deveria ser, que a componente  $m = 2$  é a mais estável sempre, então esta é *trailing*, e a outra componente deve ser *leading*.

Através das funções de densidade radial (*fig. N.4*), e tendo em conta nesta galáxia a existência de *uma* ressonância de corrotação para a componente  $m = 2$ , os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 2 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 8 \text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com o raio de corrotação.

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral está condizente com o parâmetro  $R_2'$  de Canzian (segunda coluna da *tabela N.1*). Ambos os raios de corrotação estão de acordo com os parâmetros das terceira e quarta colunas da tabela.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	11.6	6.8	4.8	5.2

Tabela N.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com o CR dos diagramas de fase (fig. N.9) para a componente  $m = 2$ .

A tabela N.2 mostra os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1$  e 2 nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	0.75	1	-53.1
	2	-0.25	0.630	82.9
$i$	1	0.50	1	-63.4
	2	-0.25	0.664	82.9

Tabela N.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC6951.

Para o valor normalizado máximo da amplitude ( $A = 2$ ), verifica-se resultado nulo para a diferença entre os *pitch angles* nas bandas  $g$  e  $i$  para a componente  $m = 2$ , e passo  $p = -0.25$ . Contudo, isto não significa que não haja  $\Delta\alpha \neq 0$  para passos menores que  $\Delta p = -0.25$ . Outro fato intrigante é que, especialmente nesta galáxia, não se verifica a partir dos dados derivados dos espectros de Fourier, um segundo ou terceiro máximos de amplitude que fornecem  $\Delta\alpha \neq 0$ , pois a curva desses espectros é decrescente, ou seja, não há outros picos relevantes na região de domínio da galáxia; isto acontece inclusive para a componente  $m = 1$ . Sendo o passo menor, deve-se admitir uma diferença nos *pitch angles* menor que  $7.1^\circ$  para  $m = 2$ , embora no processo atual não há como estimular o resultado mais próximo para  $\Delta\alpha$ . A variação no *pitch angle* para a componente  $m = 1$  fornece  $\sim 10.3^\circ$ .

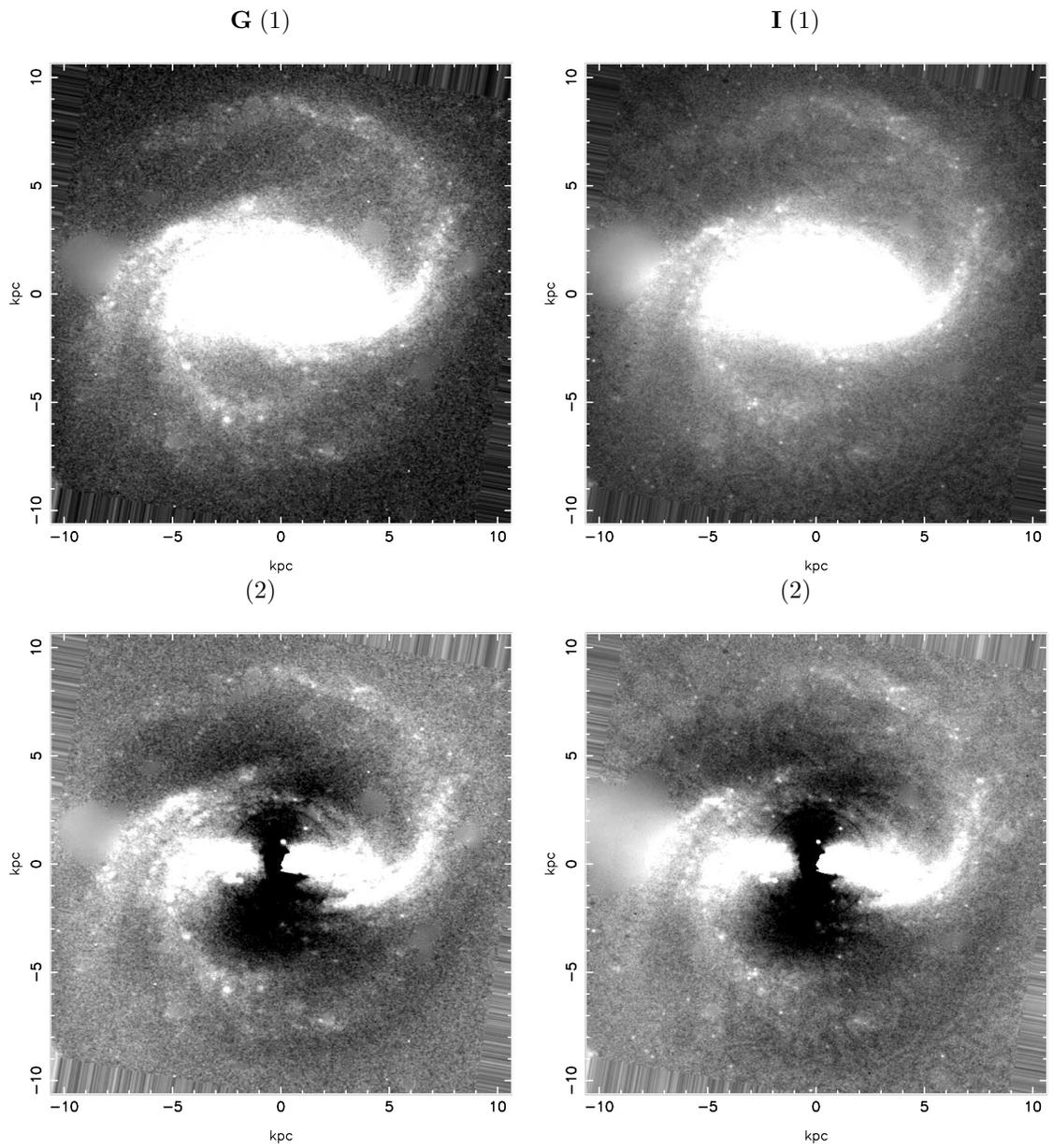


Figura N.2: NGC6951 nas bandas *g* e *i*. (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

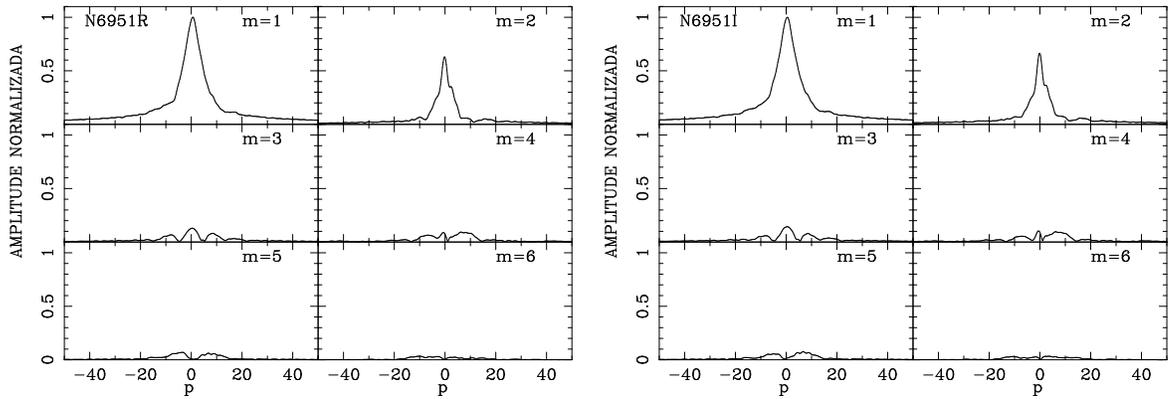


Figura N.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  e  $i$  de NGC6951, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

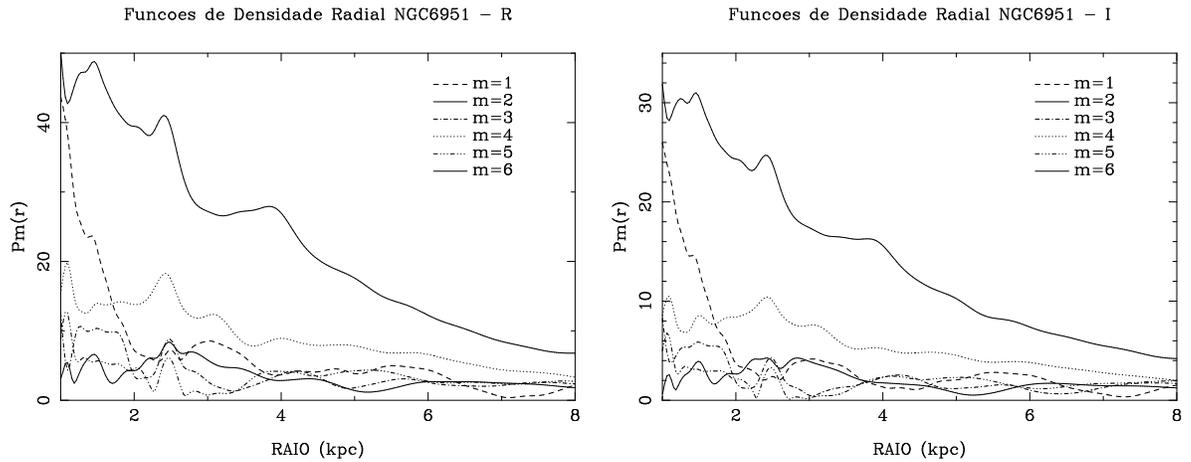


Figura N.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

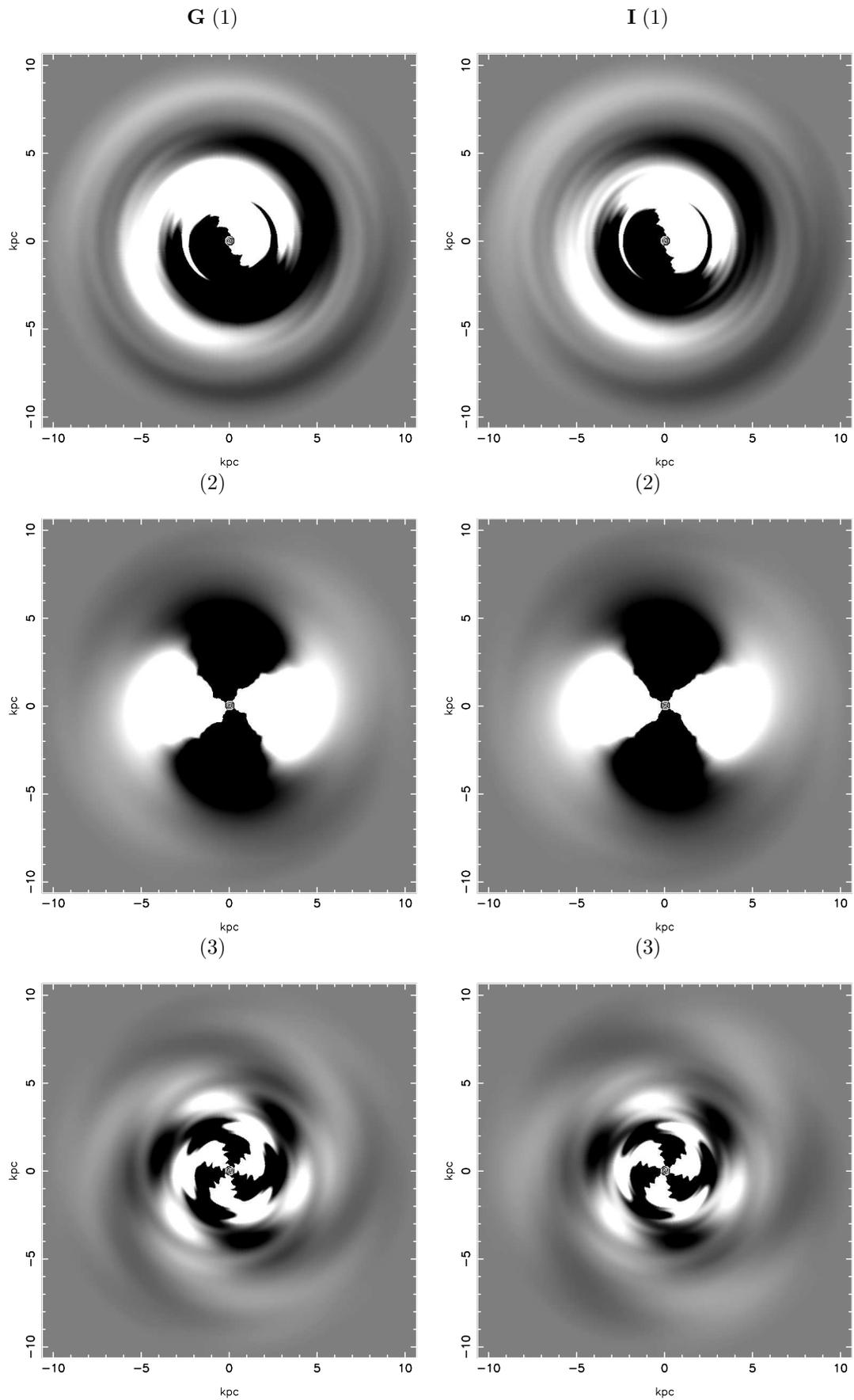


Figura N.5: Espirais sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes (1), (2) e (3).

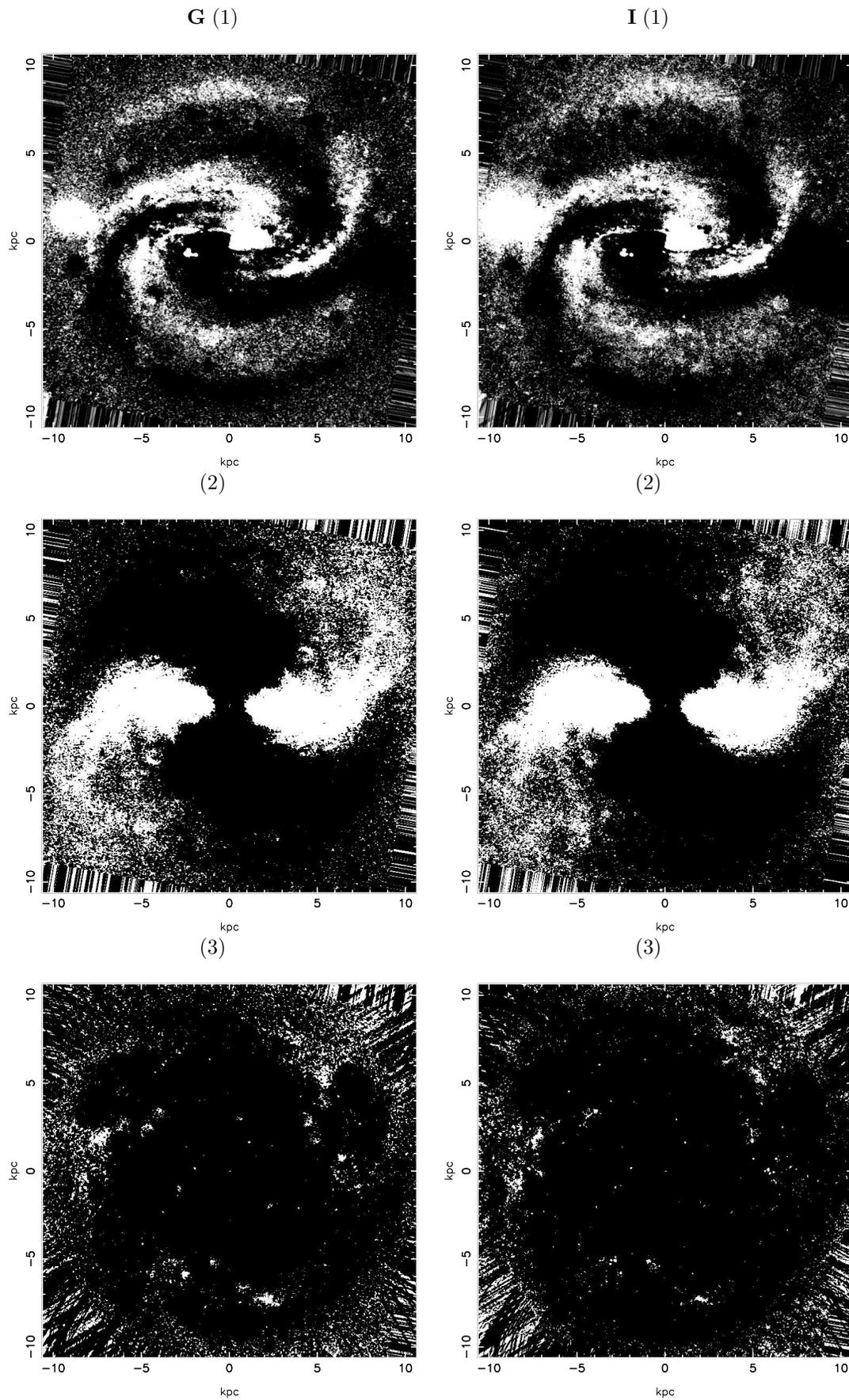


Figura N.6: Imagens simetrizadas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

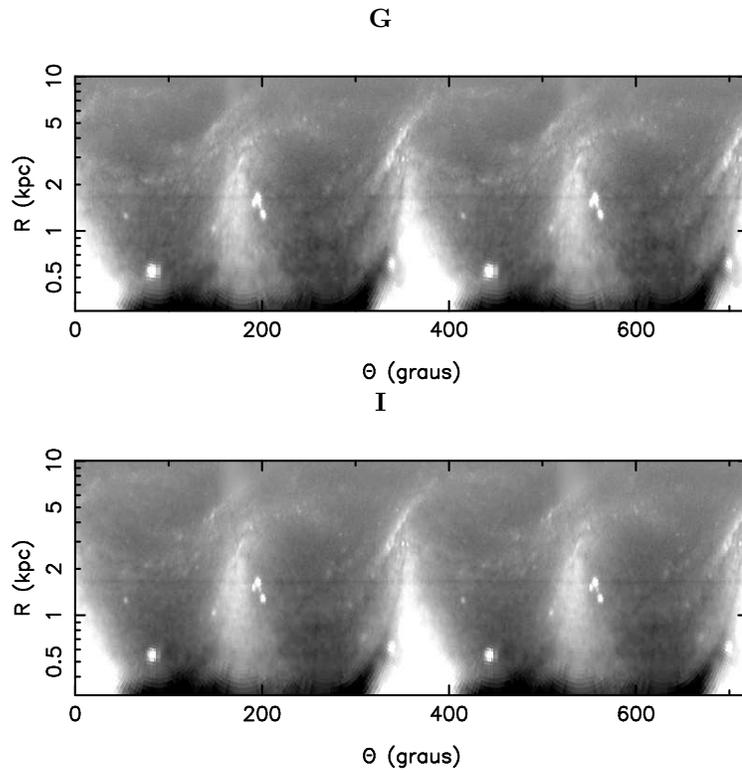


Figura N.7: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  das componentes originais, subtraído o disco médio.

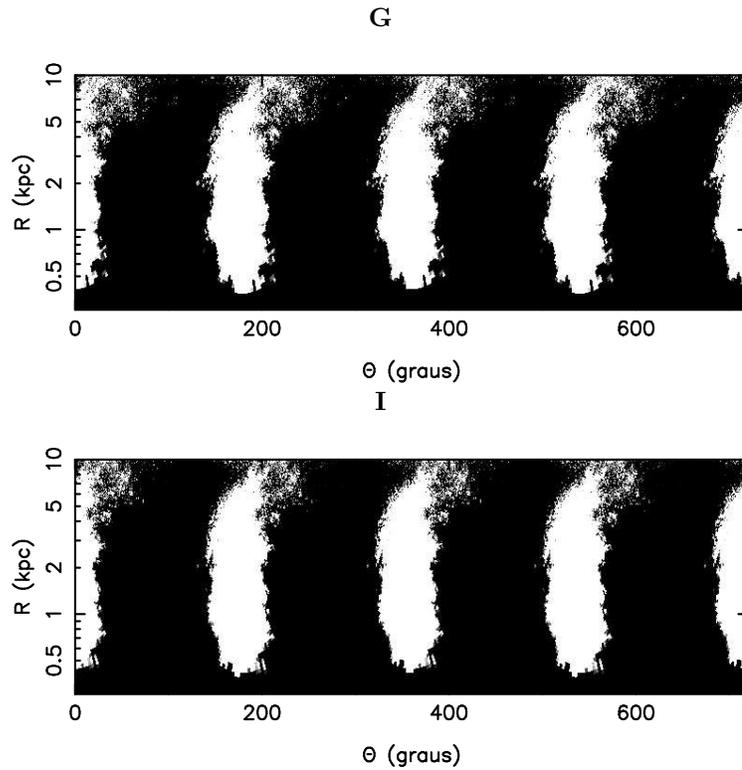


Figura N.8: Imagens retificadas  $g$  e  $i$  para a componente 2 do método EEM92.

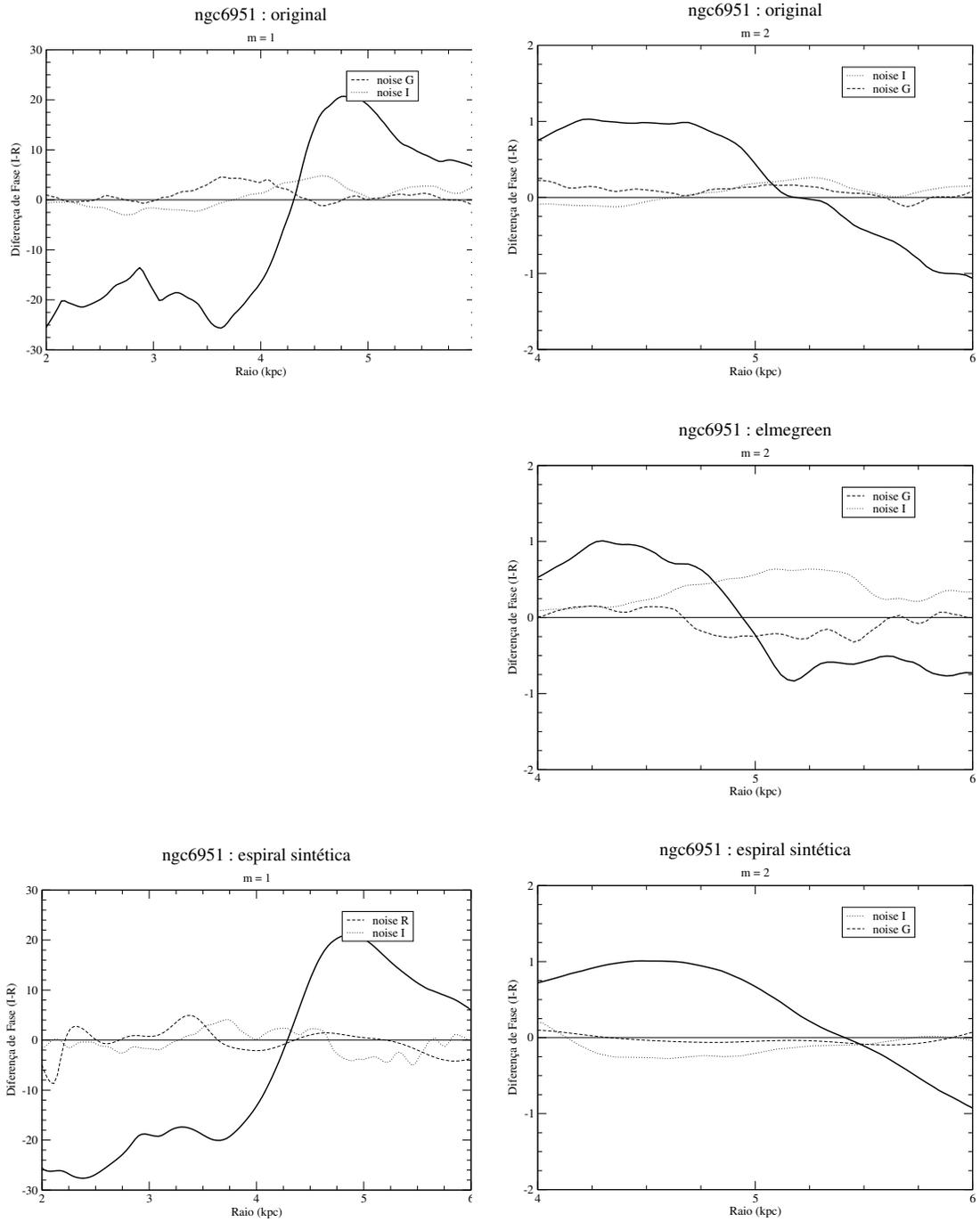


Figura N.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem às componentes  $m = 1$  e  $2$  relativos às imagens originais, método EEM92 e antitransformada. No método *elmegreen*, não se obteve diferença de fase no intervalo visual da imagem.

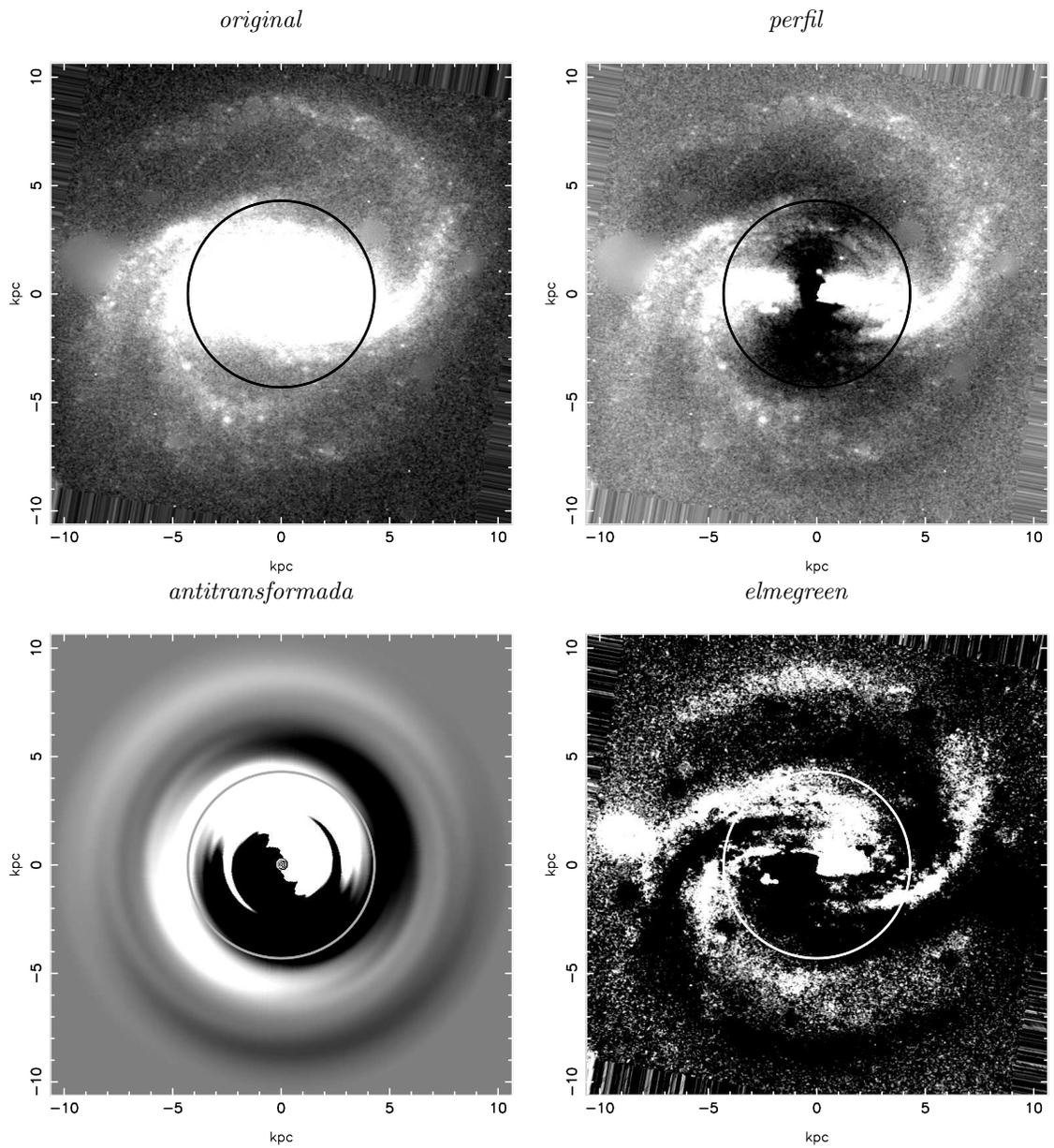


Figura N.10: O círculo indica a posição da ressonância de corotação da componente  $m = 1$ . As imagens são na cor  $g$ .

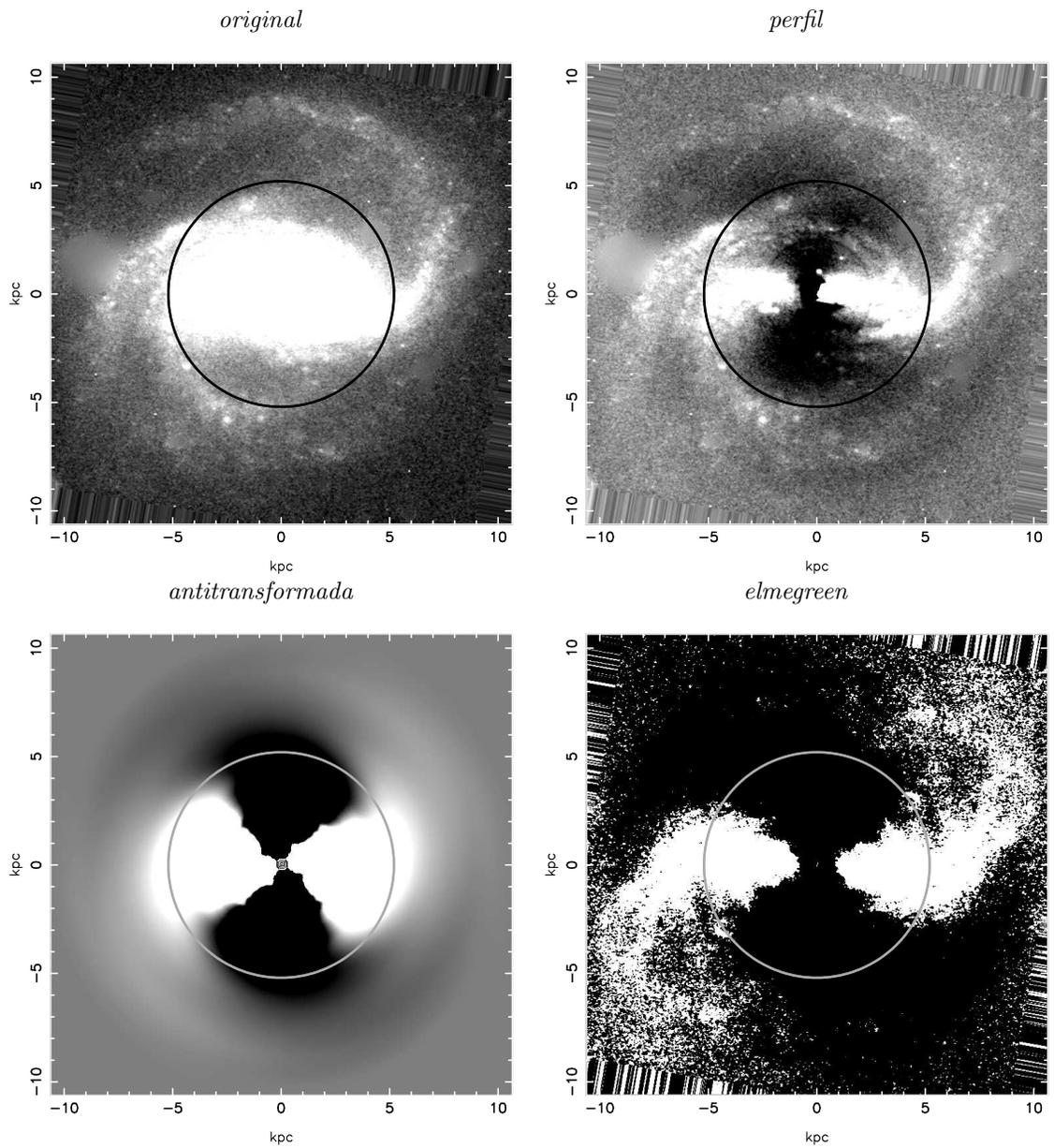


Figura N.11: O círculo indica a posição da ressonância de corotação da componente  $m = 2$ . As imagens são na cor  $g$ .

## Apêndice O

# Análise de NGC7741

A NGC7741 é uma galáxia de disco com uma extensa barra central de aproximadamente  $3.5 \text{ kpc}$ . Dois braços partem dos extremos da barra, com outros braços fragmentados ao longo do disco. Nas imagens originais e deprojetadas da *fig. O.2(1)* se observam regiões *HII* no disco, do mesmo modo que se observam intensas condensações vistas mais facilmente nas imagens *fig. O.2(2)*. Essa combinação sugere formação estelar em todo o disco galáctico. Há forte contaminação no extremo NO da galáxia sugerindo braço de maré relativo ao braço N. As imagens da galáxia são de  $300 \times 300 \text{ pixels}$  com  $1 \text{ pix} = 0.01782 \text{ kpc}$ .

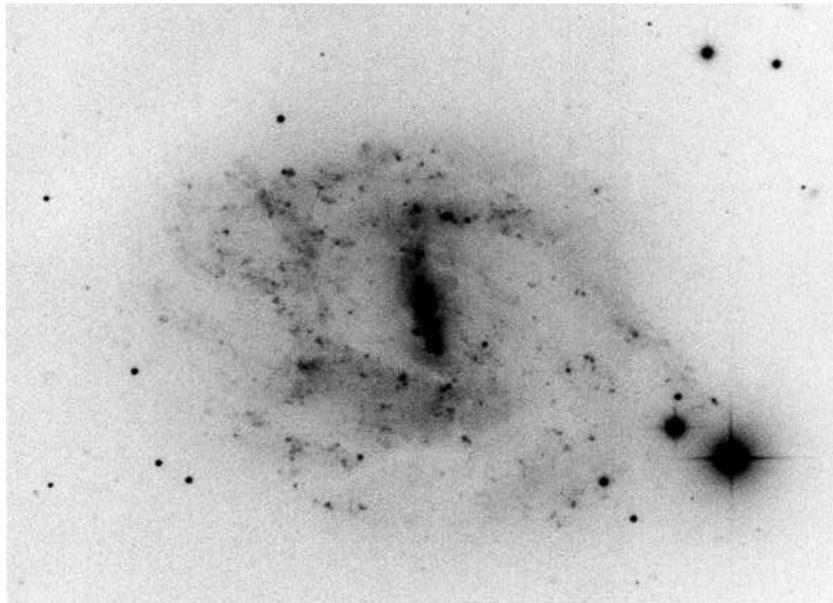


Figura O.1: Imagem NGC7741 extraída do NED, na banda 103aO,  $\lambda = 4050\text{Å}$ .

A análise de Fourier foi realizada entre  $0.178 \text{ kpc}$  e  $5.34 \text{ kpc}$ . Os espectros de Fourier (*fig. O.3*) informam que a componente 2 é mais significativa que as componentes 1 e 3, embora estas sejam também relevantes. As funções de densidade de probabilidade (*fig.*

O.4) mostram a importância de  $m = 1$  entre  $\sim 2$  e  $4 \text{ kpc}$  e na região próxima a  $5 \text{ kpc}$ , esta no limite externo da galáxia, provavelmente devido à contaminação. Já a componente 3 se destaca entre  $\sim 3$  e  $4.2 \text{ kpc}$ .

Nas imagens antitransformada de Fourier (*fig. O.5*) verificam-se a presença das três componentes, porém no gráfico do método EEM92 (*fig. O.6*), a componente 2 seja mais expressiva, tanto relativo à barra, aos braços que emergem dos limites da barra e aos braços mais externos. O método elmegreen reproduz tudo que é simétrico na imagem, e com respeito à componente 2, embora esta galáxia não seja bissimétrica, as imagens obtidas na *fig. O.6(2)* não introduzem nenhuma incerteza com respeito a essa simetrização. A componente 3 também é reproduzida nas imagens da *fig. O.6(3)*.

Pelo diagrama de fase  $\log(R)$  vs.  $\theta$  (*fig. O.7*), se observam pequenas estruturas que representam os braços espirais e as curvas exibidas não representam espirais logarítmicas. Também se confirmam as condensações observadas nas imagens originais. Os diagramas correspondentes ao método EEM92 (*fig. O.8*) destaca fracamente os braços que saem dos extremos da barra e com quebras nos mesmos.

As diferenças de fase em função do raio (*fig. O.9*) mostram que há corrotação das componentes  $m = 2$  e  $3$ , em torno dos valores médios de  $2.8 \pm 0.5 \text{ kpc}$  e  $2.9 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . As imagens das *figs. O.10* e *O.11* mostram os círculos de corrotação para as duas componentes. O ruído na cor  $i$  para o diagrama da imagem original, não é desprezível para a componente 3, acarretando em menor probabilidade da existência dessa CR. Convém considerar que estas CR's estão no disco da galáxia, e acredita-se que a contaminação forte não influencia sua existência.

Através das funções de densidade radial (*fig. O.4*), e tendo em conta nesta galáxia a existência de *uma* ressonância de corrotação para a componente de interesse,  $m = 2$ , os raios das extensões interna e externa da estrutura espiral observados são  $R_1 \simeq 1 \text{ kpc}$  e  $R_2 \simeq 3.5 \text{ kpc}$ . A tabela seguinte mostra o resultado dos parâmetros de Canzian em comparação com o raio de corrotação.

m	$R'_2 \leq 5.8 \times R_1$	$R_{CR(i)} \leq 3.4 \times R_1$	$R_{CR(o)} \geq 0.6 \times R_2$	RC
2	5.8	3.4	2.1	2.8

Tabela O.1: Comparação dos parâmetros de Canzian com o CR dos diagramas de fase (*fig. O.9*) para a componente  $m = 2$ .

O parâmetro  $R_2$  da extensão externa da estrutura espiral está de acordo com o parâmetro  $R'_2$  de Canzian (segunda coluna da *tabela O.1*). O raio de corrotação também confere com os parâmetros das terceira e quarta colunas da tabela.

A *tabela O.2* mostram os valores dos *pitch angles* para as componentes  $m = 1, 2$  e  $3$  nas cores  $g$  e  $i$ .

Banda	$m$	$p$	Amplitude	$\alpha$
$g$	1	3	0.285	$-18.4 \pm 1.6$
	2	0	1	$90 \pm 7.1$
	3	2.25	0.150	$-53.1 \pm 3.2$
$i$	1	0.75	0.274	$-53.1 \pm 10.3$
	2	0.25	1	$-82.9 \pm 7.1$
	3	-0.5	0.173	$-80.5 \pm 4.7$

Tabela O.2: Valores derivados dos espectros de Fourier para NGC7741.

Portanto, as diferenças nos *pitch angles* conforme a tabela são:

$$m = 1 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 34.7^\circ,$$

$$m = 2 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 7.1^\circ,$$

$$m = 3 \Rightarrow \Delta\alpha \simeq 27.4^\circ.$$

As diferenças angulares nas componentes  $m = 1$  e  $3$  são justificadas devido às mudanças nas direções dos *pitch angles* perceptíveis nas imagens simetrizadas (*figs. O.6*). Na componente  $m = 2$ , a mudança no *pitch angle* pode ser confirmada pelos diagramas das diferenças de fase (*fig. O.9*).

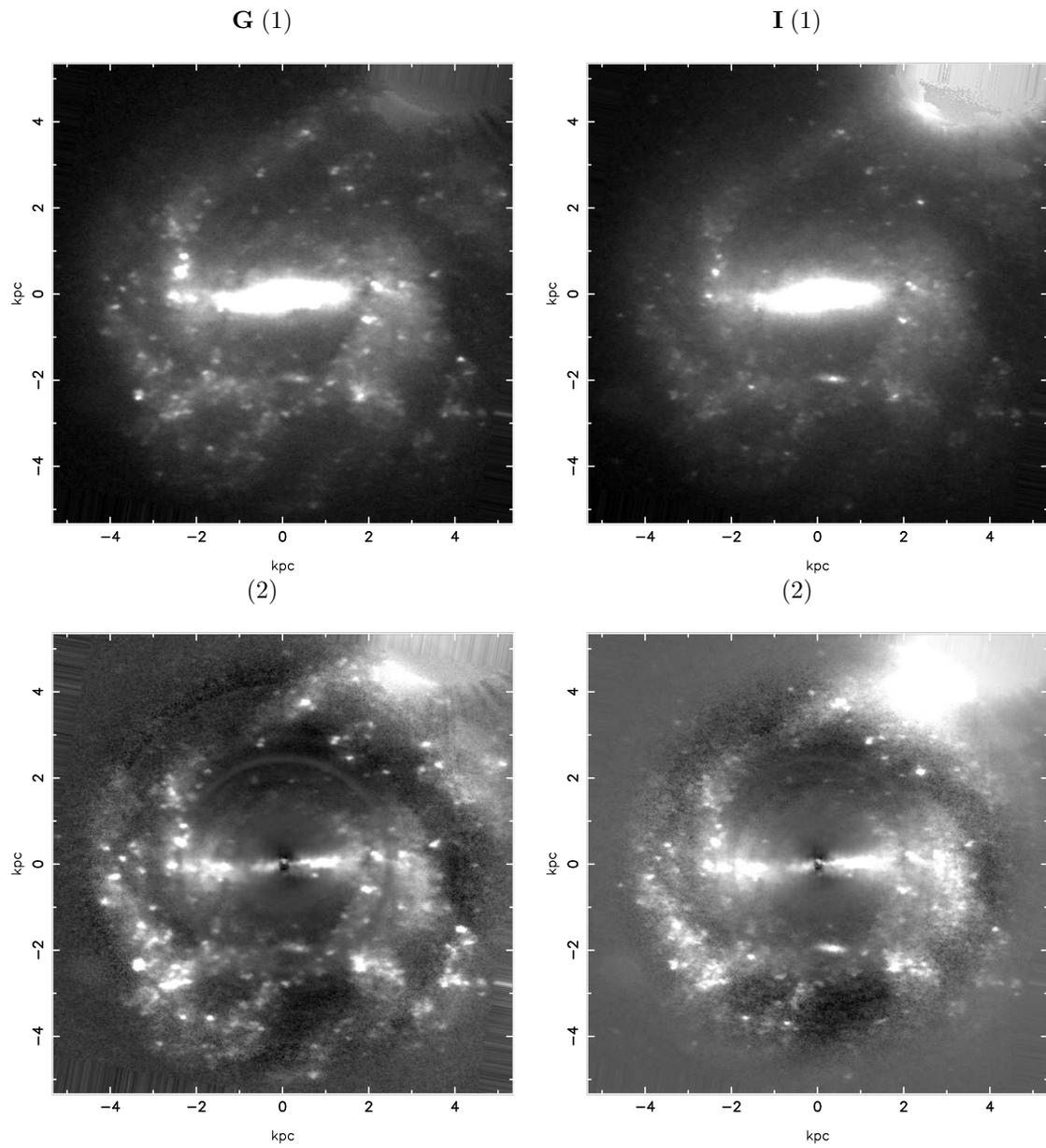


Figura O.2: NGC7741 nas bandas *g* e *i*. (1) Imagens originais deprojetadas e sem as estrelas; (2) Imagens obtidas das anteriores em que foi subtraído o disco médio.

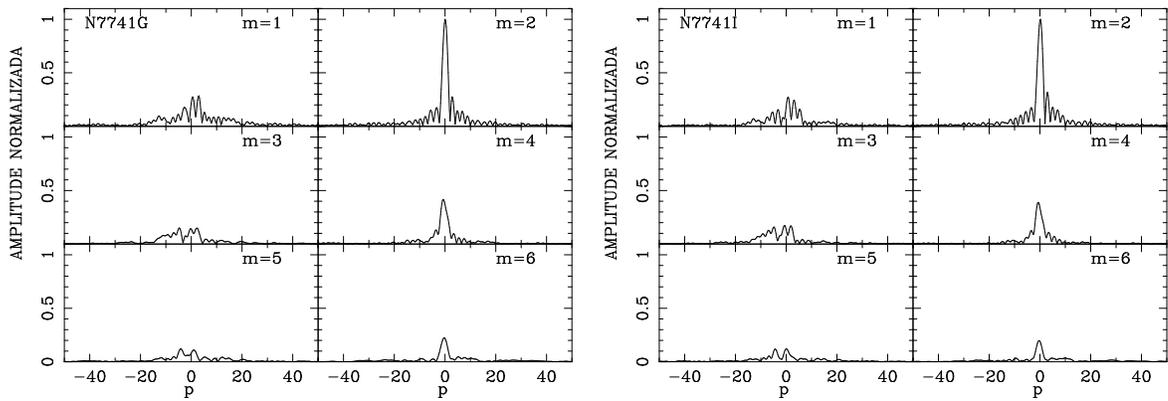


Figura O.3: Coeficientes  $A(p, m)$  da transformada bidimensional de Fourier na imagem  $g$  (a) e  $i$  de NGC7741, obtidos segundo o processo descrito na seção 2.3.1. A variável  $p$  está relacionada com o *pitch angle*  $\alpha$  por  $p = -m/\tan \alpha$ .

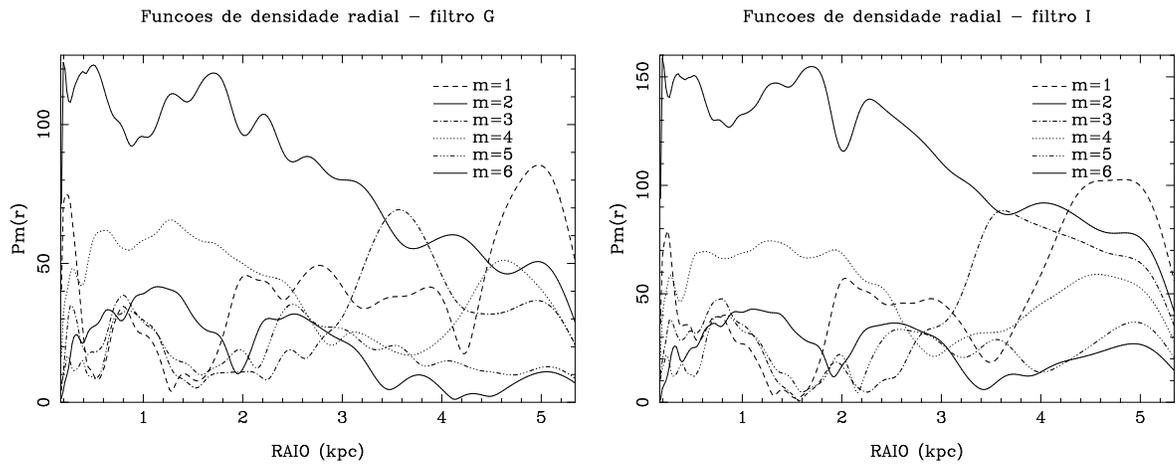


Figura O.4: Funções de densidade radial nas bandas  $g$  e  $i$ .

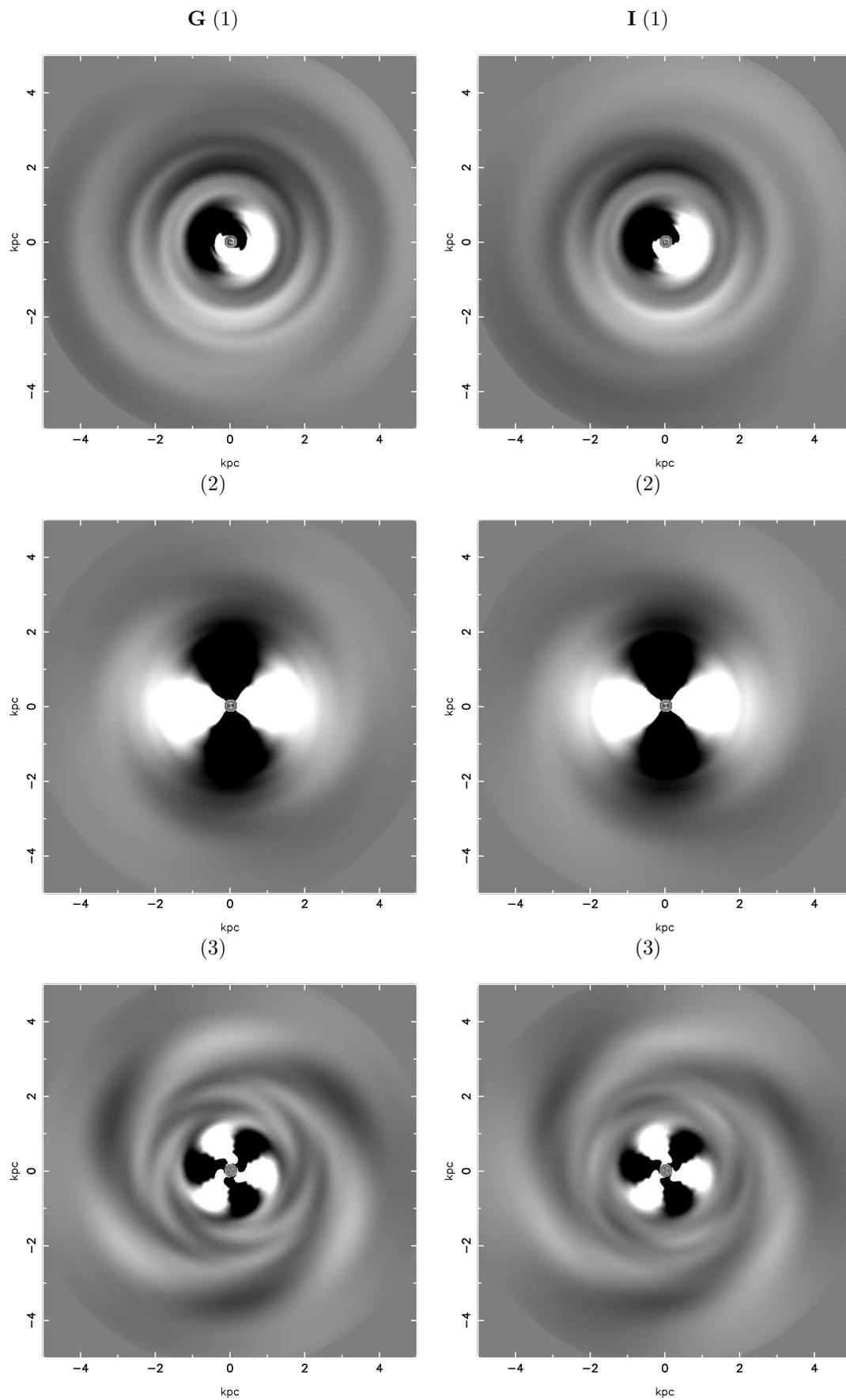


Figura O.5: Espirais Sintéticas nas bandas  $g$  e  $i$ , e componentes  $m = 1, 2, 3$ .

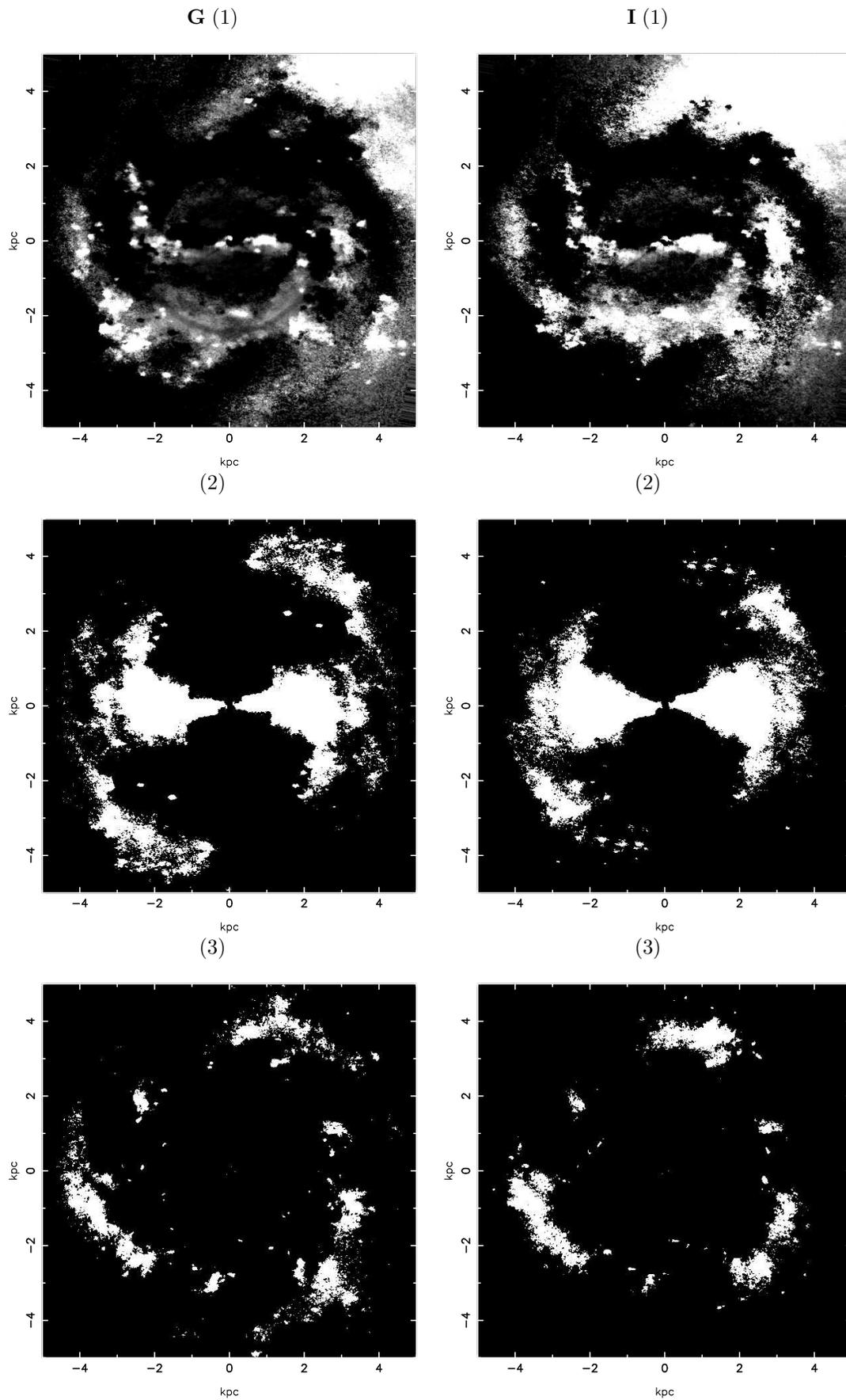


Figura O.6: Imagens simetrizadas nas bandas *g* e *i*, e componentes (1), (2) e (3).

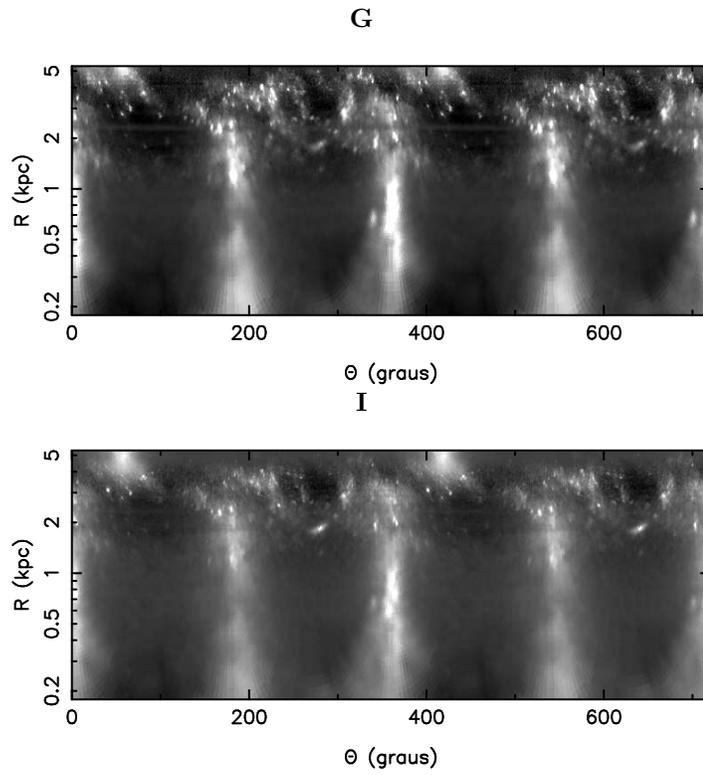


Figura O.7: Imagens retificadas *g* e *i* das componentes originais, subtraído o disco médio.

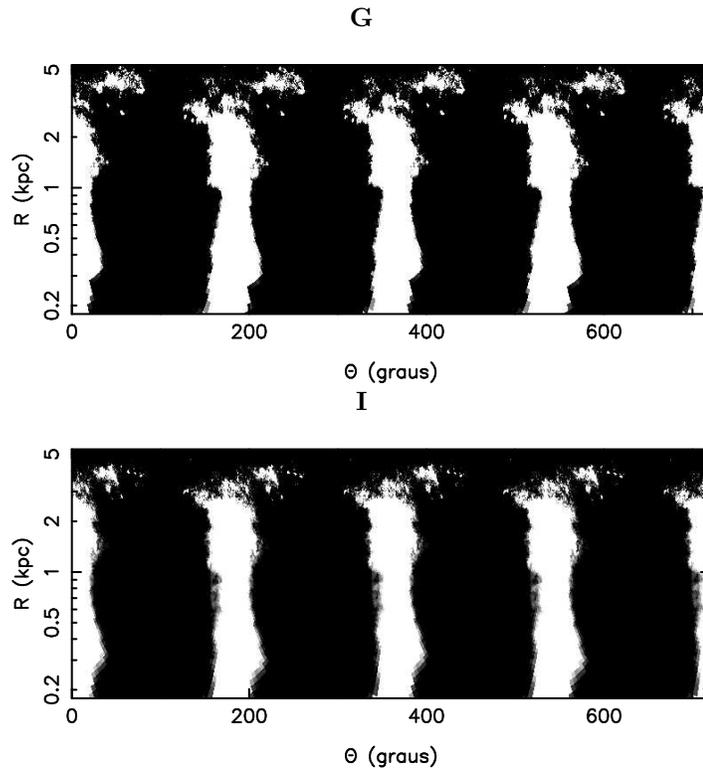


Figura O.8: Imagens retificadas *g* e *i* para a componente 2 do método EEM92.

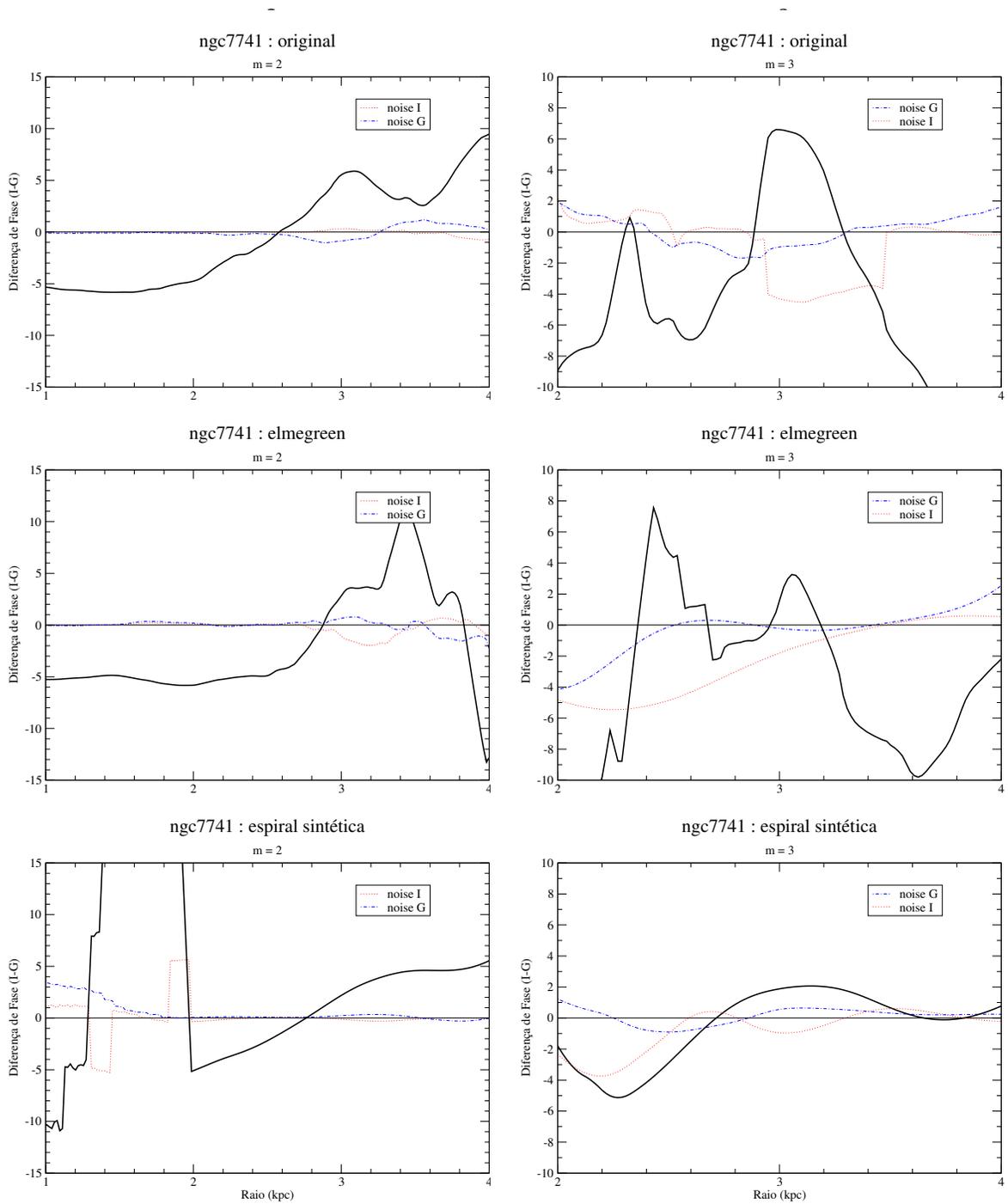


Figura O.9: [Diferenças de Fase (*graus*)  $\times$  Raio (*kpc*)]. Os gráficos correspondem às componentes  $m = 2$  e  $3$  relativos às imagens originais, método EEM92 e anti-transformada.

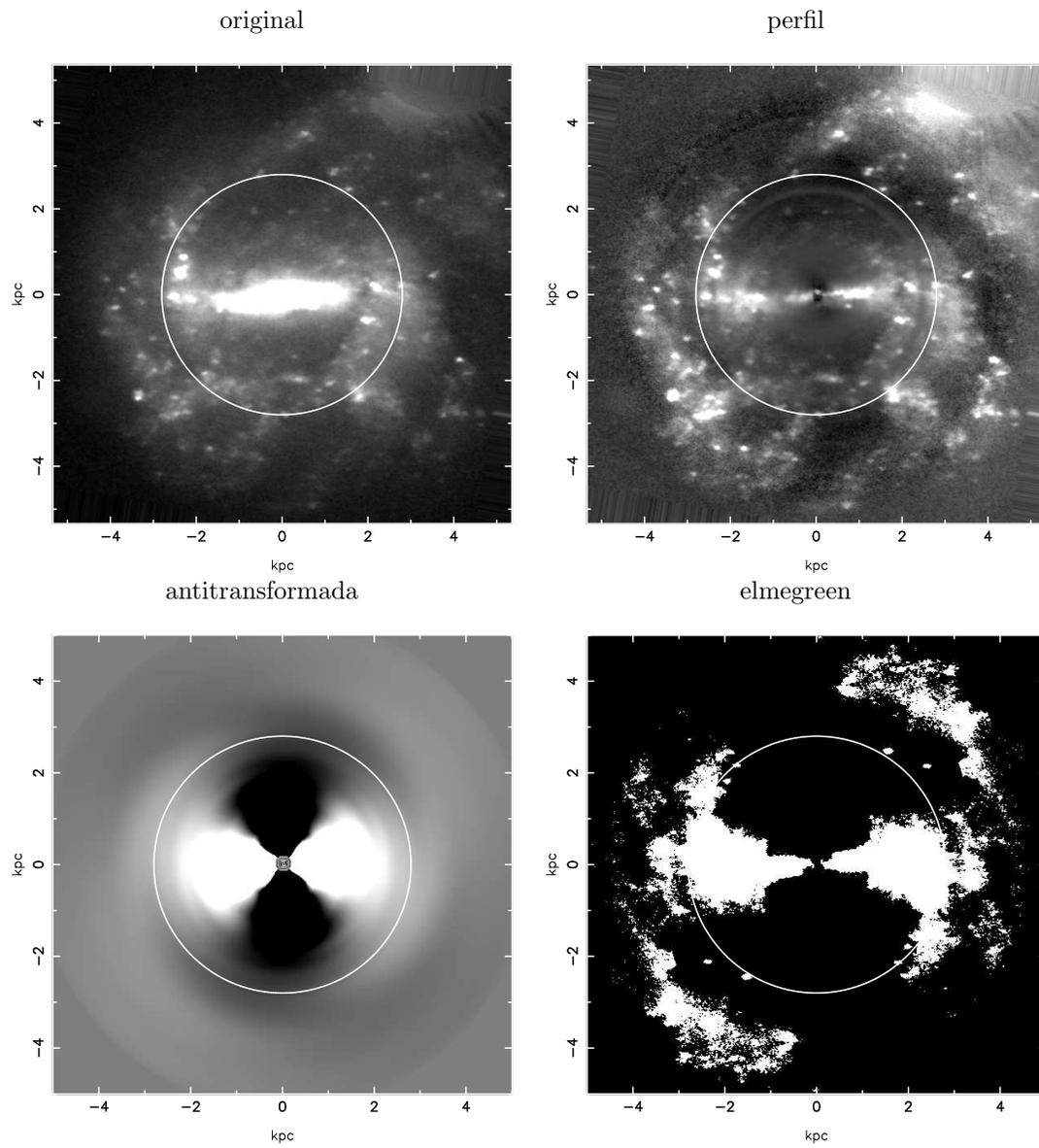


Figura O.10: O círculo indica a posição da CR para a componente 2 em  $\sim 2.8 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . As imagens são na cor  $g$ .

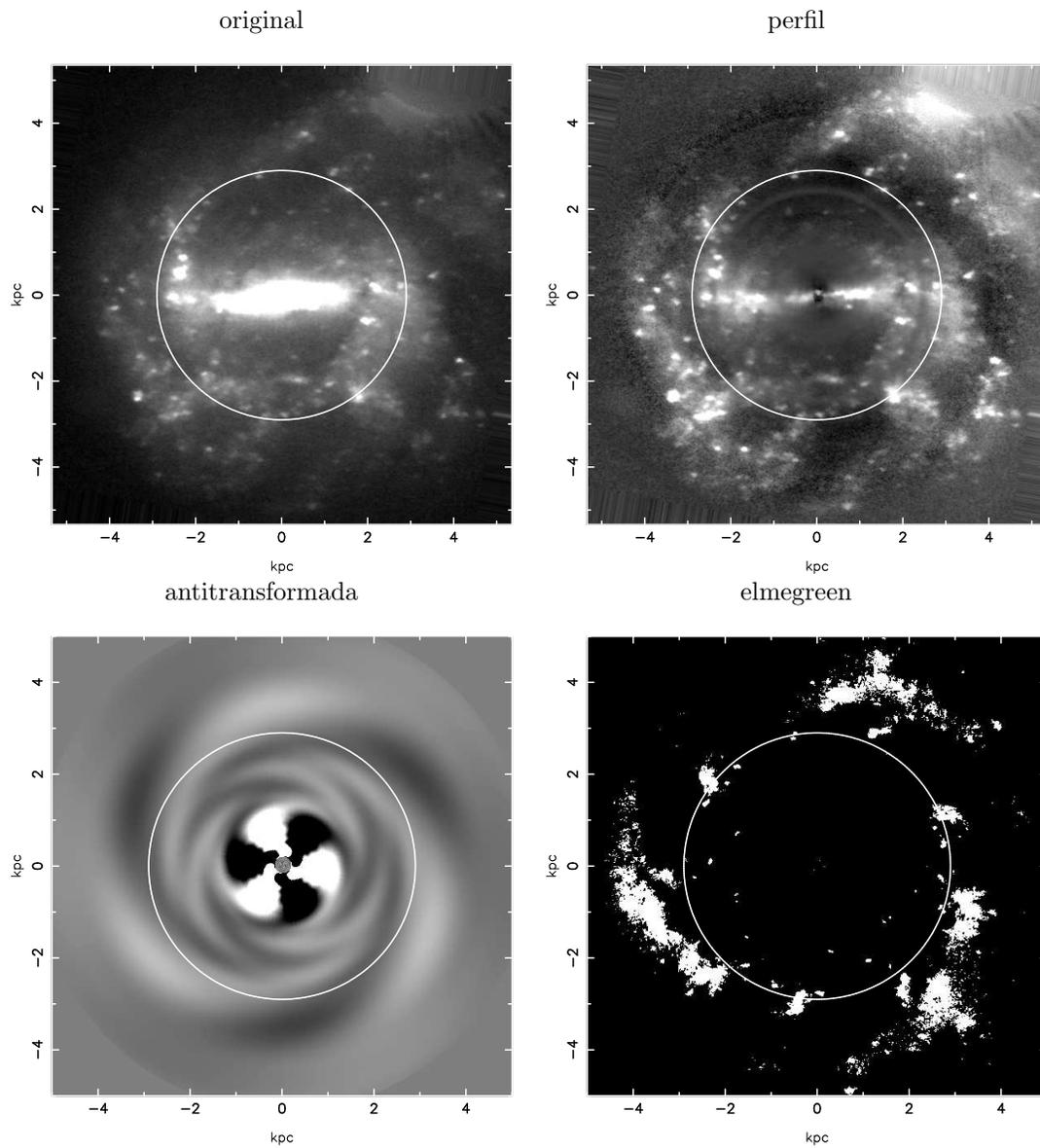


Figura O.11: O círculo indica a posição da CR para a componente 3 em  $\sim 2.9 \pm 0.5 \text{ kpc}$ . As imagens são na cor  $g$ .