

# VÍNCULOS OBSERVACIONAIS AOS MODELOS DE EVOLUÇÃO QUÍMICA DA GALÁXIA †

Walter J. Maciel (IAG/USP)

*maciel@iagusp.usp.br*

*<http://www.iagusp.usp.br/~maciel/index.html>*

**Resumo:** Neste trabalho, são considerados os principais vínculos observacionais impostos aos modelos de evolução química da Galáxia, obtidos essencialmente a partir do estudo de estrelas e nebulosas fotoionizadas galácticas. São enfatizados os resultados obtidos pelo grupo do IAG/USP aplicados ao disco galáctico e, em menor escala, ao bojo e halo da Galáxia.

## 1. Introdução

O estudo da evolução galáctica inclui basicamente sua evolução *química* e *dinâmica*, no caso da Galáxia, ou Via Láctea, e também a evolução das *propriedades fotométricas*, no caso de outras galáxias (ver por exemplo Tinsley 1980). Os modelos desenvolvidos para a compreensão da estrutura e evolução das galáxias podem ser colocados em quatro grandes classes:

- Modelos analíticos
- Modelos clássicos
- Modelos multifásicos
- Modelos quimiodinâmicos

(ver por exemplo Maciel 1998). Naturalmente, os modelos podem ser classificados de outras maneiras equivalentes, como pode ser visto em Pagel (1997), Matteucci (1996) e Tosi (1996).

Uma característica básica dos modelos de evolução química é a necessidade de satisfazerem uma série de *vínculos observacionais*. Isto é especialmente importante no caso da Galáxia, que dispõe de uma grande quantidade de dados relativos ao disco, halo e bojo, embora estas observações nem sempre levem a um quadro consistente sobre a sua evolução química. A caracterização de um conjunto de dados observacionais e/ou de suas implicações diretas como um vínculo observacional depende, na realidade, do ponto de vista adotado, levando a abordagens diversas (ver por exemplo Maciel 1998,

---

† Trabalho apresentado na XXV Reunião Anual da SAB, Agosto 1999

Chiappini 1997, Pagel 1997). Entretanto, pode-se afirmar que os principais vínculos observacionais aplicáveis à nossa Galáxia incluem basicamente: (i) as abundâncias obtidas para o Sistema Solar e para o disco, (ii) as variações radiais das abundâncias, (iii) a distribuição de metalicidades no disco, (iv) a relação idade-metalicidade, (v) a taxa de formação estelar, suas variações e a função de massa inicial, (vi) as abundâncias relativas entre o halo e o disco e (vii) as abundâncias do bojo galáctico.

Nos últimos 10 anos, diversos projetos têm sido realizados no IAG/USP com o objetivo de caracterizar os principais vínculos dos modelos de evolução química, em particular a partir do estudo de nebulosas fotoionizadas, estrelas do ramo assintótico das gigantes e estrelas anãs do disco. Neste trabalho, vamos revisar brevemente os principais resultados destes projetos e apresentar algumas conclusões com relação à determinação dos vínculos observacionais ao estudo da evolução química da Galáxia.

## **2. Discussão de alguns vínculos observacionais**

### **2.1 Abundâncias no disco: vizinhança solar e anticentro**

A determinação de abundâncias dos principais elementos químicos na vizinhança solar e no disco galáctico faz parte de um projeto de longo termo desenvolvido no IAG/USP, em particular pela análise da composição química de nebulosas planetárias do disco. Os principais resultados são discutidos em Freitas-Pacheco et al. (1989, 1991, 1992, 1993) e Costa et al. (1996, 1997). A maior parte das observações tem sido realizada no LNA usando o telescópio de 1,60 m com um espectrógrafo cassegrain, com algumas observações adicionais feitas no ESO, com um telescópio de 1,5 m. O projeto inclui quase uma centena de objetos com diagnóstico de plasma e determinação de abundâncias de He, O, N, S, Ne e Ar, formando uma das principais bases de dados de composição química de nebulosas galácticas.

Os valores obtidos para as abundâncias, assim como as correlações entre as abundâncias relativas, têm um papel importante no estabelecimento da composição química do disco, em particular pelo fato de que as nebulosas planetárias compreendem classes diferentes com idades médias diferentes, variando de forma consistente com sua composição química. Além disto, o uso de informações adicionais como as distâncias e propriedades cinemáticas permite o estudo de variações espaciais de abundâncias e da distribuição espacial e cinemática destes objetos.

A maior parte dos objetos estudados está relativamente próxima do Sol, podendo ser considerada como parte da vizinhança solar. Mais recentemente, tem sido enfatizada a determinação da composição química de objetos loca-

lizados no bojo e no antcentro galácticos. Estas últimas são especialmente importantes por sua raridade e pelo seu papel no estudo das variações radiais de abundâncias e suas implicações sobre os modelos de evolução química da Galáxia (cf. Maciel e Quireza 1999).

Como um desdobramento deste projeto, têm sido realizados alguns trabalhos com o objetivo de determinar a abundância pregaláctica de He ( $Y_p$ ) e a razão de enriquecimento entre o He e os elementos pesados ( $\Delta Y/\Delta Z$ ), parâmetros importantes na verificação de modelos cosmológicos e de evolução química, respectivamente (Maciel 1988, Chiappini e Maciel 1994).

## 2.2 Variações radiais de abundâncias

A presença de gradientes radiais de abundâncias em galáxias com discos é, provavelmente, um dos principais vínculos aos modelos de evolução química. O estudo dos gradientes inclui pelo menos três tipos de informações importantes: (i) a magnitude média dos gradientes, geralmente medida em dex/kpc, (ii) a possível variação da inclinação ao longo do disco da galáxia, e (iii) a possível variação temporal da magnitude dos gradientes ao longo da vida da galáxia. Além disto, o estudo de gradientes em diferentes elementos químicos pode dar informações importantes com relação aos processos de nucleossíntese e ejeção de matéria nas diferentes regiões galácticas.

Os gradientes galácticos podem ser medidos por intermédio de diversos objetos, especialmente as nebulosas fotoionizadas (regiões HII e nebulosas planetárias) e estrelas jovens. Desde o trabalho de Maciel e Faúndez-Abans (1985) e Faúndez-Abans e Maciel (1986), diversos trabalhos foram realizados no IAG/USP com o objetivo de obter os três tipos de informações mencionados acima (ver Maciel 1996, 1997, para uma revisão detalhada dos gradientes na Galáxia e em outras galáxias espirais).

Os principais resultados obtidos estão descritos em Faúndez-Abans e Maciel (1986, 1987), Maciel e Köppen (1994), Maciel e Chiappini (1994), Maciel (1997) e Maciel e Quireza (1999). Análises das razões O/H, S/H, Ne/H e Ar/H levam a gradientes tipicamente da ordem de  $-0,06$  a  $-0,07$  dex/kpc para as nebulosas planetárias, semelhantes mas um pouco menos inclinados que os correspondentes às regiões HII e estrelas jovens, sugerindo uma acentuação dos gradientes com o tempo. Além disto, a região externa (antcentro) mostra evidências de um achatamento, embora as incertezas observacionais sejam consideráveis, ainda que inferiores à dispersão média das abundâncias. Um resultado importante é que os gradientes observados na Galáxia são semelhantes aos de outras galáxias espirais, como pode ser visto na figura 1 para a razão O/H (cf. Maciel 1997). Nesta figura, a ordenada mostra a abundância de O/H por número de átomos e a abscissa mostra a distância ao centro da

galáxia em termos do raio efetivo, em que metade da emissão óptica está concentrada. Os pontos são galáxias espirais de Henry et al. (1994) e a linha reta mostra o gradiente linear médio para as nebulosas do disco de Maciel e Quireza (1999), adotando  $\rho_{eff} \simeq 5,98$  kpc para a Galáxia (cf. Henry et al. 1992).

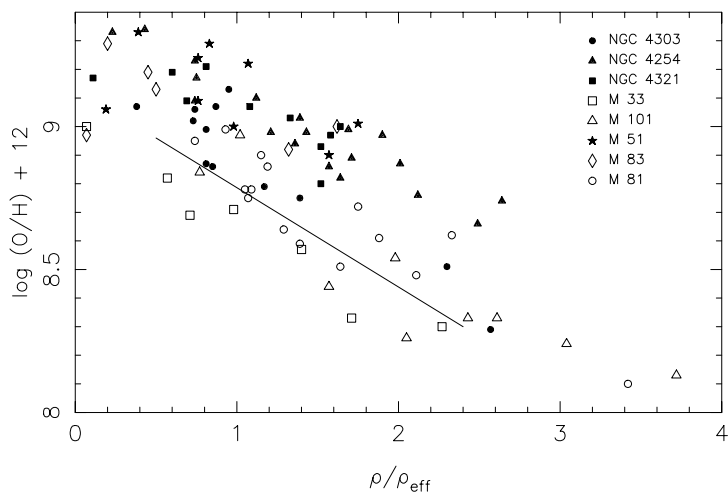


Figura 1. Comparação dos gradientes de O/H para nebulosas planetárias galácticas (reta) e regiões HII em galáxias espirais.

### 2.3 Distribuição de metalicidades no disco

A distribuição de metalicidades de estrelas anãs do disco é considerada tradicionalmente como um dos principais vínculos dos modelos de evolução química, em particular pelo “problema das anãs G”, em que são aparentes as diferenças entre a distribuição observada e o chamado modelo simples de evolução galáctica. Os principais trabalhos realizados recentemente no IAG/USP (Rocha-Pinto e Maciel 1996, 1997a, 1998a) mostram distribuições significativamente diferentes das distribuições clássicas geralmente adotadas na literatura (cf. Pagel 1989) e são confirmados por alguns trabalhos recentes (Wyse e Gilmore 1995).

A amostra considerada inclui estrelas anãs dos tipos F, G e K, e os resultados apresentam uma boa consistência entre os diferentes tipos espectrais, também contradizendo alguns trabalhos recentes na literatura (Favata et al.

1997). As metalicidades são obtidas a partir de dados fotométricos devidamente calibrados, e a distribuição obtida apresenta um pico proeminente próximo à metalicidade  $[\text{Fe}/\text{H}] \simeq -0,20$  dex. Os dados são submetidos a correções por erros observacionais, espalhamento cósmico e diferentes escalas de alturas das estrelas.

O problema das anãs G é confirmado, havendo uma escassez de estrelas de baixa metalicidade com relação às prescrições do modelo simples. Além disto, estrelas muito ricas em metais também são relativamente escassas e, de fato, há necessidade de introdução de queda de matéria (*infall*) nos modelos para que a nova distribuição de metalicidades seja ajustada.

Uma importante característica deste trabalho é a inclusão de correções pela contaminação dos índices fotométricos devido à atividade cromosférica das estrelas, uma vez que cerca de 30% das anãs da vizinhança solar tem cromosferas ativas.

#### 2.4 Relação idade-metalicidade

Embora seja um vínculo fundamental dos modelos de evolução química, a relação idade-metalicidade passou a ser considerada como um vínculo pouco restritivo destes modelos a partir do trabalho de Edvardsson et al. (1993). De fato, segundo este trabalho, existe certamente uma tendência de acréscimo da metalicidade para as estrelas mais jovens, mas as dispersões de metalicidade observadas, interpretadas como reais, são extremamente altas, de modo que a relação idade-metalicidade pode ser satisfeita por muitos modelos diferentes com uma certa facilidade.

As metalicidades utilizadas são espectroscópicas ou eventualmente fotométricas, estas calibradas com as primeiras. As idades são geralmente obtidas com a aplicação de isócronas em diagramas cor-magnitude. Rocha-Pinto e Maciel (1998b) e Rocha-Pinto et al. (1999a) analisaram um método alternativo baseado na emissão cromosférica observada destas estrelas. A emissão cromosférica tende a decrescer com o aumento da idade das estrelas, de modo que o índice cromosférico “ $\log R'_{HK}$ ” pode fornecer uma medida direta da idade. Rocha-Pinto e Maciel (1998b) investigaram a dependência com a metalicidade das idades cromosféricas e encontraram efeitos sistemáticos que tendem a aumentar a dispersão de idades e, conseqüentemente, a dispersão da relação idade-metalicidade. Foi proposta uma correção devida a este efeito, e a relação obtida tem uma dispersão significativamente menor, vinculando de forma mais restritiva os modelos de evolução química, como pode ser visto pela comparação da relação obtida com determinações clássicas da literatura (cf. Twarog 1980, Carlberg et al. 1985, Meusinger et al. 1991, Edvardsson et al. 1993).

Em um trabalho mais recente (Rocha-Pinto et al. 1999a), baseado em uma amostra contendo cerca de 700 estrelas anãs do disco, foi obtida uma relação em que a metalicidade aumenta continuamente com o tempo com uma dispersão de metalicidades da ordem de 0,1 dex, cerca de duas vezes menor que o resultado de Edvardsson et al. (1993).

### 2.5 Taxa de formação estelar e função de massa inicial

Uma vez determinada a distribuição de metalicidades das estrelas anãs do disco, pode-se obter a história da taxa de formação estelar ao longo da vida da Galáxia e, em particular, investigar a presença de *bursts*, ou épocas de formação estelar acentuada. Foi desenvolvido um método para recuperar a história da taxa de formação estelar usando simultaneamente a distribuição de metalicidades e a relação idade-metalicidade, aplicando as correções para erros observacionais, espalhamento cósmico e escala de altura. Os resultados iniciais indicam para a vizinhança solar a presença de um *burst* de formação estelar há cerca de 8 Ganos (Rocha-Pinto e Maciel 1997b).

Mais recentemente, este trabalho está sendo revisado, com a consideração de uma amostra de mais de 500 estrelas com idades cromosféricas, levando em conta objetos em um intervalo relativamente extenso de distâncias. São consideradas correções pela dependência com a metalicidade da emissão cromosférica, incompletude da amostra, escala de altura e evolução estelar. Os resultados indicam flutuações na taxa de formação estelar com amplitudes da ordem de um fator 2 a 3, em escalas de tempo abaixo de 1 Gano. Os resultados mais recentes, ainda preliminares, excluem uma variação suave da história da taxa de formação estelar, confirmando a presença de épocas com formação estelar acentuada (Rocha-Pinto et al. 1999b).

Adotando a distribuição de metalicidades e a história da taxa de formação estelar com *bursts*, pode-se determinar a função de massa inicial, conhecendo-se a função de massa atual observada. Resultados obtidos pela comparação de taxas de formação estelar constante e variável (Maciel e Rocha-Pinto 1998) produzem uma função de massa inicial significativamente diferente da função clássica de Salpeter (1955), ou de resultados mais recentes (Kroupa et al. 1993). Nesse caso, as diferenças são maiores para as estrelas de massas mais altas, como pode ser visto na figura 2, onde a inclinação da função de massa inicial é mostrada em função da massa das estrelas. Neste caso, é adotada a função de massa atual de Kroupa et al. (1993), e as curvas indicam os limites previstos para a função de massa inicial. Para comparação, as retas em degraus mostram (i) a inclinação constante de Salpeter (1955), igual a  $-1,35$ , as aproximações de (ii) Miller e Scalo (1979, cf. Tinsley 1980) e (iii) Scalo (1986), e (iv) a reta inclinada dá a inclinação de Padoan et al. (1997).

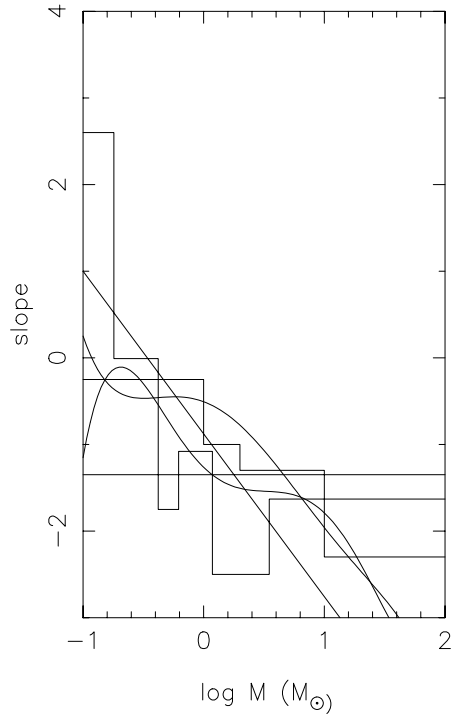


Figura 2. Comparação das inclinações da função de massa inicial de Maciel e Rocha-Pinto (1998) [curvas], com aproximações dadas na literatura [linhas retas].

## 2.6 Abundâncias relativas entre halo e disco

Como foi mencionado, a maior parte dos objetos considerados nos tópicos anteriores pertence ao disco galáctico, em particular as nebulosas planetárias para as quais foram determinadas abundâncias. Entretanto, uma das principais conclusões sobre o sub-sistema galáctico das nebulosas planetárias é justamente o fato de pertencerem a diferentes populações segundo os tipos de Peimbert associados a elas: as nebulosas de tipo I são essencialmente objetos do disco fino, nitidamente de população I, enquanto que as de tipo IV são nebulosas do halo, de população II (cf. Maciel 1989).

Uma questão particularmente interessante para o estudo da evolução química da Galáxia é a existência de variações de composição química entre o halo e o disco, conhecidas por exemplo a partir de estrelas de aglo-

merados e do disco. Faúndez-Abans e Maciel (1988) estudaram a presença de gradientes a partir de nebulosas planetárias, concluindo que as variações no disco não podem ser determinadas com as atuais incertezas observacionais das abundâncias e das distâncias. Por outro lado, variações de composição química entre o halo e o disco podem ser obtidas a partir de nebulosas de tipos I, II, III e IV, sendo da ordem de 0,1 dex/kpc para as razões O/H, S/H, Ne/H e Ar/H. Trabalhos mais recentes, utilizando uma amostra mais completa e abundâncias obtidas por métodos mais homogêneos, chegam essencialmente aos mesmos resultados (Cuisinier 1993).

Um problema adicional da análise das variações de composição química entre objetos de diferentes populações é que as nebulosas pobres em metais, geralmente associadas ao disco espesso (tipo III) ou halo (tipo IV) podem ter tido progenitores pouco massivos e com ventos estelares intensos (Maciel et al. 1990, Maciel 1993a, Costa et al. 1993). Destes trabalhos conclui-se que algumas dessas nebulosas têm estrelas centrais com massas abaixo de 0,55 massas solares, o que coloca problemas adicionais para a evolução de estrelas de massa intermediária. Mesmo considerando que as distâncias destes objetos possam estar subestimadas, é pouco provável que todas as nebulosas subabundantes tenham progenitores mais massivos, de modo que duas características diferentes (progenitores de baixa massa e localização acima do plano galáctico) podem levar essencialmente à mesma composição química. Em consequência, a caracterização de um dado objeto como pertencente ao disco espesso e ao halo pode ser controversa, reforçando a necessidade de medidas precisas de velocidades radiais e distâncias.

### 2.7 Abundâncias no bojo

As nebulosas planetárias do bojo (tipo V, Maciel 1989) são geralmente consideradas como objetos subabundantes com relação ao disco, embora somente recentemente análises detalhadas de sua composição química tenham sido feitas. Em um projeto em andamento, Costa e Maciel (1999) e Cuisinier et al. (1999) estudaram uma amostra contendo cerca de 35 nebulosas do bojo, determinando suas abundâncias de He, O, N, Ne, Ar e S. As observações foram realizadas no LNA e em La Silla. Um estudo cuidadoso das incertezas observacionais leva a uma incerteza típica de 0,02 dex para o He e 0,2 dex para os demais elementos. As abundâncias são comparáveis à das nebulosas do disco, mostrando que o bojo é na realidade uma população complexa, contendo objetos com diferentes metalicidades. Objetos com abundâncias elevadas de He/H e N/O estão pouco presentes no bojo, sugerindo que esta população tem estrelas progenitoras mais velhas, uma vez que estrelas mais massivas e jovens têm, em princípio, maiores abundâncias destes elementos.



### 3. Alguns aspectos da estrutura e cinemática da Galáxia

Finalmente, vamos considerar alguns aspectos da estrutura e cinemática da Galáxia que, embora não sejam propriamente vínculos aos modelos de evolução química, envolvem parâmetros diretamente relacionados à obtenção daqueles vínculos.

Em um trabalho básico da cinemática das nebulosas planetárias da Galáxia, Maciel e Dutra (1992) mostraram que a distribuição espacial e cinemática dos diferentes tipos de nebulosas tem uma variação aproximadamente contínua em suas propriedades fundamentais. Assim, a altura média relativa ao plano galáctico e a velocidade peculiar, definida como a diferença entre a velocidade radial observada e a velocidade esperada a partir de uma curva de rotação típica, aumentam sistematicamente para as nebulosas de tipos I, IIa, IIb, III e IV. Como consequência, pode-se determinar uma curva de rotação média para estes objetos e um conjunto das constantes de Oort.

A conexão entre as nebulosas planetárias e as estrelas do ramo assintótico das gigantes foi estabelecida a partir de sua distribuição espacial e cinemática (Ortiz e Maciel 1994, 1996), mostrando que um esquema de classificação semelhante ao das nebulosas planetárias pode também ser aplicado às estrelas OH/IR, com base na separação dos picos de OH e no índice de cor IRAS [12-25]. Usando em conjunto ambas as classes de objetos, uma curva de rotação característica de estrelas de massa intermediária em seus estágios finais de evolução pode ser obtida (Amaral et al. 1996).

Finalmente, um estudo da distribuição espacial dos aglomerados globulares da Galáxia com relação ao centro galáctico levou a uma determinação da distância do LSR ao centro como sendo  $R_0 = 7,6 \pm 0,4$  kpc (Maciel 1993b). Este parâmetro é importante na determinação dos gradientes de abundância, em particular de suas variações radiais, e os valores encontrados na literatura variam desde cerca de 6 kpc até o valor adotado pela IAU, de 8,5 kpc. O valor obtido a partir dos aglomerados globulares leva em conta suas diferentes metalicidades e distribuição espacial, e está em bom acordo com algumas das determinações mais recentes e confiáveis deste parâmetro.

### Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado por: CNPq, FAPESP e SAB.

## Referências

- Amaral, L.H., Ortiz, R.P., Lepine, J., Maciel, W. J. 1996, *MNRAS* **281**, 339
- Carlberg, R.G., Dawson, P.C., Hsu, T., Vandenberg, D.A., 1985, *ApJ* **294**, 674
- Chiappini, C. 1997, Tese, IAG/USP
- Chiappini, C., Maciel, W. J. 1994, *A&A* **288**, 921
- Costa, R.D.D., Chiappini, C., Maciel, W. J., Freitas-Pacheco, J.A. 1996, *A&AS* **116**, 249
- Costa, R.D.D., Chiappini, C., Maciel, W. J., Freitas-Pacheco, J.A. 1997, *Advances in stellar evolution*, ed. R.T. Rood, A. Renzini, Cambridge, 159
- Costa, R.D.D., Freitas-Pacheco, J.A., Maciel, W.J. 1993, *A&A* **276**, 184
- Costa, R.D.D., Maciel, W.J. 1999, *Galaxy evolution*, ed. M. Spite, F. Spite (em impressão)
- Cousinier, F. 1993, *Acta Astron.* **43**, 455
- Cousinier, F., Maciel, W.J., Köppen, J., Acker, A., Stenholm, B. 1999, *A&A* (submetido)
- Edvardsson, B., Anderson, J., Gustafsson, B., Lambert, D.L., Nissen, P.E., Tomkin, J., 1993, *A&A* **275**, 101
- Faúndez-Abans, M., Maciel, W.J. 1986, *A&A* **158**, 228
- Faúndez-Abans, M., Maciel, W.J. 1987, *A&SS* **129**, 353
- Faúndez-Abans, M., Maciel, W.J. 1988, *Rev. Mex. A & A* **16**, 105
- Favata, F., Micela, G., Sciortino, S. 1997, *A&A* **323**, 809
- Freitas-Pacheco, J.A., Costa, R.D.D., Codina, S.J., Maciel, W. J. 1989, *An. Acad. Bras. Ci.* **61**, 389
- Freitas-Pacheco, J.A., Costa, R.D.D., Maciel, W. J. 1993, *A&A* **279**, 567
- Freitas-Pacheco, J.A., Maciel, W.J., Costa, R.D.D. 1992, *A&A* **261**, 579
- Freitas-Pacheco, J.A., Maciel, W.J., Costa, R.D.D., Barbuy, B. 1991, *A&A* **250**, 159
- Henry, R.B.C., Pagel, B.E.J., Chincarini, G.L. 1994, *MNRAS* **266**, 421
- Henry, R.B.C., Pagel, B.E.J., Lasseter, D.F., Chincarini, G.L. 1992, *MNRAS* **258**, 321
- Kroupa, P., Tout, C.A., Gilmore, G. 1993, *MNRAS* **262**, 545
- Maciel, W.J. 1988, *A&A* **200**, 178
- Maciel, W.J. 1989, *IAU Symp. 131*, ed. S. Torres-Peimbert, Kluwer, 73
- Maciel, W.J. 1993a, *A&SS* **209**, 65
- Maciel, W.J. 1993b, *A&SS* **206**, 285
- Maciel, W.J. 1996, *Stellar abundances*, ed. B. Barbuy, W.J. Maciel, J.C.G. Hetem, IAG/USP, 79

- Maciel, W.J. 1997, *IAU Symp. 180*, ed. R. Weinberger, A. Acker, Kluwer, 397
- Maciel, W.J. 1998, *Evolução química da Galáxia*, Notas de aulas, IAG/USP
- Maciel, W.J., Chiappini, C. 1994, *A&SS* **219**, 231
- Maciel, W.J., Dutra, C.M., 1992, *A&A* **262**, 271
- Maciel, W.J., Faúndez-Abans, M. 1985, *A&A* **149**, 365
- Maciel, W.J., Freitas-Pacheco, J.A., Codina, S.J. 1990, *A&A* **239**, 301
- Maciel, W.J., Köppen, J. 1994, *A&A* **282**, 436
- Maciel, W.J., Quireza, C. 1999, *A&A* **345**, 629
- Maciel, W.J., Rocha-Pinto, H.J. 1998, *MNRAS* **299**, 889
- Matteucci, F. 1996, *Fund. Cosm. Phys.* **17**, 283
- Meusinger, H., Reimann, H.G., Stecklum, B., 1991, *A&A* **245**, 57
- Miller, G.E., Scalo, J.M. 1979, *ApJS* **41**, 513
- Ortiz, R.P., Maciel, W. J. 1994, *A&A* **287**, 552
- Ortiz, R.P., Maciel, W. J. 1996, *A&A* **313**, 180
- Padoan, P., Nordlund, A.P., Jones, B.J.T. 1997, *MNRAS* **288**, 145
- Pagel, B.E.J. 1989, *Evolutionary phenomena in galaxies*, ed. J.E. Beckman, B.E.J. Pagel, Cambridge, 201
- Pagel, B.E.J., 1997, *Nucleosynthesis and chemical evolution of galaxies*, Cambridge
- Rocha-Pinto, H.J., Maciel, W.J. 1996, *MNRAS* **279**, 447
- Rocha-Pinto, H.J., Maciel, W.J. 1997a, *A&A* **325**, 523
- Rocha-Pinto, H.J., Maciel, W.J. 1997b, *MNRAS* **289**, 882
- Rocha-Pinto, H.J., Maciel, W.J. 1998a, *A&A* **339**, 791
- Rocha-Pinto, H.J., Maciel, W.J. 1998b, *MNRAS* **298**, 332
- Rocha-Pinto, H.J., Maciel, W.J., Scalo, J., Flynn, C. 1999a (*preprint*)
- Rocha-Pinto, H.J., Scalo, J., Maciel, W.J., Flynn, C. 1999b (*peprint*)
- Salpeter, E.E. 1955, *ApJ* **121**, 161
- Scalo, J.M. 1986, *Fund. Cosm. Phys.* **11**, 1
- Tinsley, B.M. 1980, *Fund. Cosm. Phys.* **5**, 287
- Tosi, M. 1996, *From stars to galaxies, ASP Conference Series* **98**, 299
- Twarog, B. 1980, *ApJ* **242**, 242
- Wyse, R.F.G., Gilmore, G., 1995, *AJ* **110**, 2771