

André Milone: astrofísica estelar

◎ **Mestres recém titulados**

- Rafael Botelho: Carbono e nitrogênio em anãs de tipo solar com e sem planetas (2017/março)
- Luidhy Santana: Síntese de populações estelares nas galáxias NGC128, NGC5796 e NGC6851: distribuições e gradientes radiais de idade e metalicidade (2016/março)

◎ **Doutorando sob orientação atual**

- Rafael Botelho: CNO e outros em estrelas de tipo solar

◎ **Projetos atuais**

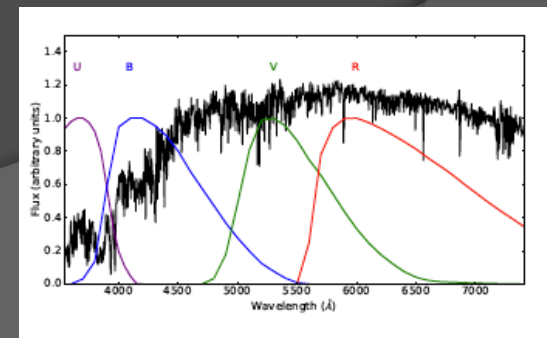
- Calibração $(B-V)_0$ - T_{eff} : biblioteca MILES
- Tório em gêmeas solares (Rafael Botelho)
- Populações estelares em ETGs luminosas de grupos esparsos próximos (pós-doc Deise Rosa, PCI)

andre.milone@inpe.br

Calibração $(B-V)_0-T_{\text{eff}}$ com MILES

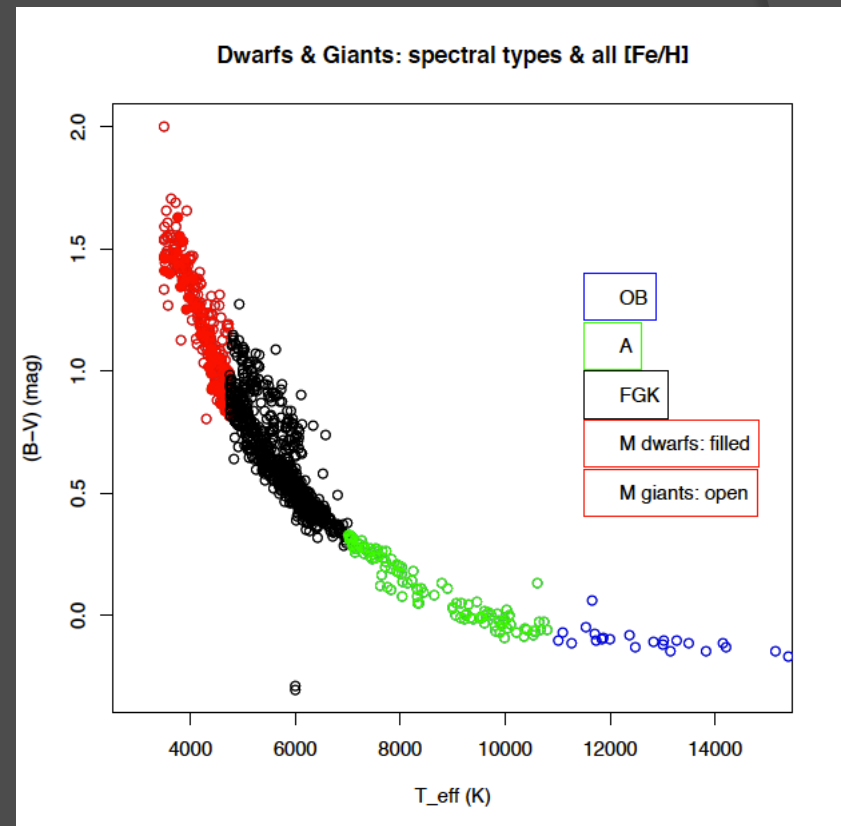
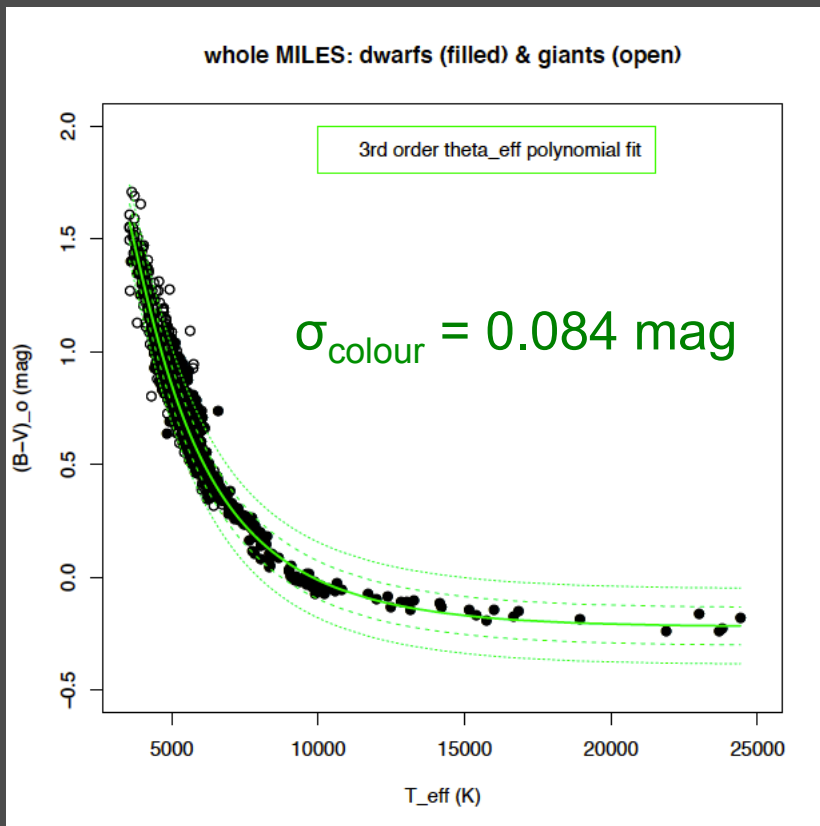
- ⊙ **equipe MILES: A. Vazdekis (IAC, Espanha) et al.**
- ⊙ **espectros calibrados em fluxo: 1151 estrelas**
 - $B_{\text{Vega}}=V_{\text{Vega}}=0.03$ mag (sistema Yerkes-MK), $e_{(B-V)}=0.025$ mag
 - parâmetros fotosféricos determinados homogeneamente
- ⊙ **dois objetivos -- duas calibrações**
 - $(B-V)_0$ para modelos semiempíricos de populações estelares simples
 - T_{eff} como função de $(B-V)_0$, $[Fe/H]$, $\log g$ e $[\alpha/Fe]$

$$(B-V)(I, \tau, [Fe/H], [\alpha/Fe], \Phi) = -2.5 \log \left[\int_{m_l}^{m_u} n f(m, \tau)_{\Phi} \cdot 10^{-0.4(B-V)(m, \tau, [Fe/H])} \cdot dm \right]$$



Calibração $(B-V)_0 - T_{\text{eff}}$

- $(B-V)_0$ como função de θ_{eff} , $[\text{Fe}/\text{H}]$, $\log g$ e $[\alpha/\text{Fe}]$
- resultados preliminares
- ajuste mais simples pra todas as estrelas (abaixo à esq.)



Calibração $(B-V)_0-T_{\text{eff}}$

- tipos espectrais F-G-K (4750-7000 K): 6 bins de $[Fe/H]$
- $(B-V)_0$: polinômio de Θ_{eff} , $[Fe/H]$ e $\log g$ ($[Fe/H]$ solar abaixo)

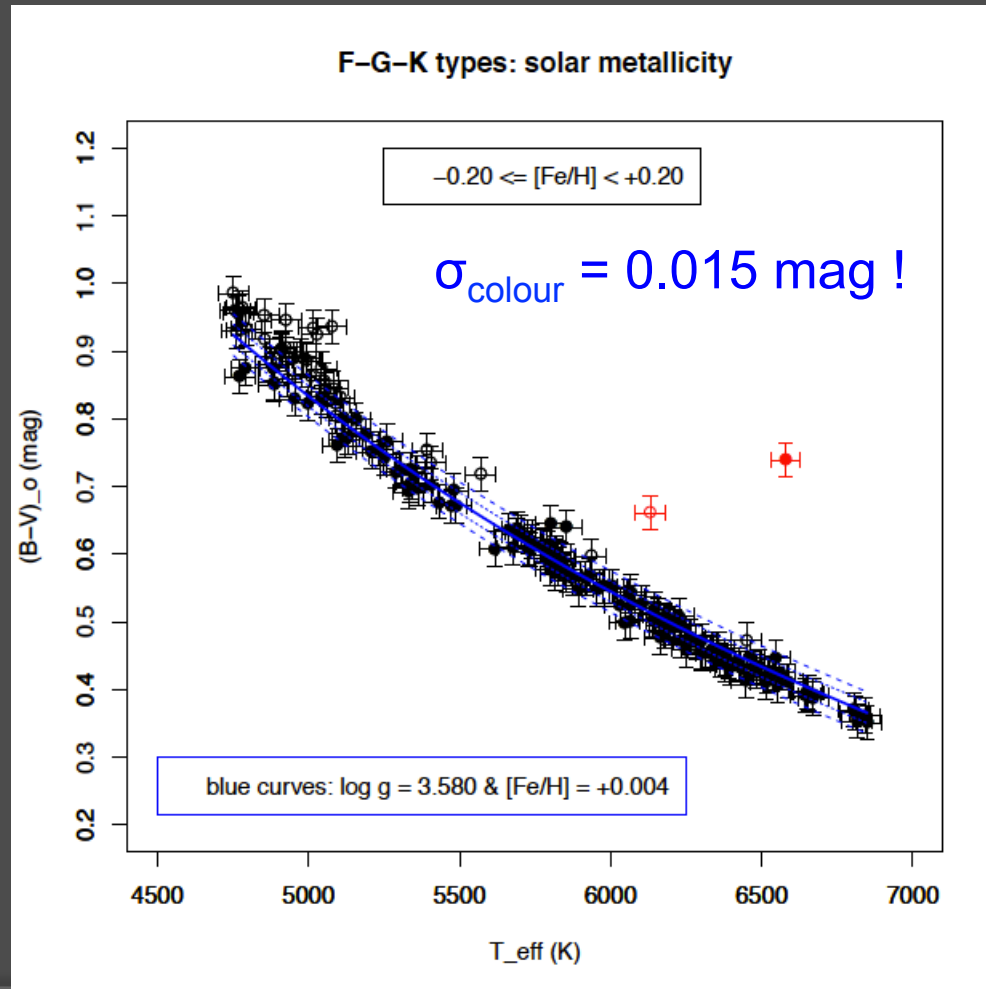
Table 4. Coefficients of multi-parametric fits of $(B - V)_0$ for the F-G-K types ($4750 \leq T_{\text{eff}} < 7000$ K) based on Eq. 1. The fits are individually derived in six $[Fe/H]$ ranges as tabulated. Only for the most metal poor range, the stars are split into two $\log g$ intervals as shown. The errors of fitting coefficients, rms and R_{adj}^2 are presented for each fit. ★ means that the fit coefficient has a confidence level smaller than 90 per cent.

additive coefficient	θ_{eff}	θ_{eff}^2	$\log g$	$(\log g)^2$	$[Fe/H]$	$[Fe/H]^2$	$[\alpha/Fe]$	$[\alpha/Fe]^2$		
a	b_1	b_2	c_1	c_2	d_1	d_2	e_1	e_2	rms	R_{adj}^2
mag	mag	mag	mag dex ⁻¹	mag dex ⁻²	mag dex ⁻¹	mag dex ⁻²	mag dex ⁻¹	mag dex ⁻²	mag	
-0.20 ≤ [Fe/H] < +0.20 dex										
-1.010	+1.849	—	—	—	—	—	—	—	0.0250	0.9809
±0.018	±0.020	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-0.778	+1.757	—	-0.074	+0.0084	—	—	—	—	0.0190	0.9890
±0.020	±0.019	—	±0.012	±0.0019	—	—	—	—	—	—
-0.996	+1.833	—	—	—	+0.082	—	—	—	0.0234	0.9833
±0.017	±0.019	—	—	—	±0.017	—	—	—	—	—
-0.742	+1.719	—	-0.0707	+0.0075	+0.104	—	—	—	0.0153	0.9928
±0.020	±0.016	—	±0.0096	±0.0016	±0.011	—	—	—	—	—

$$\Theta_{\text{eff}} = 5040/T_{\text{eff}}$$

Calibração $(B-V)_0 - T_{\text{eff}}$

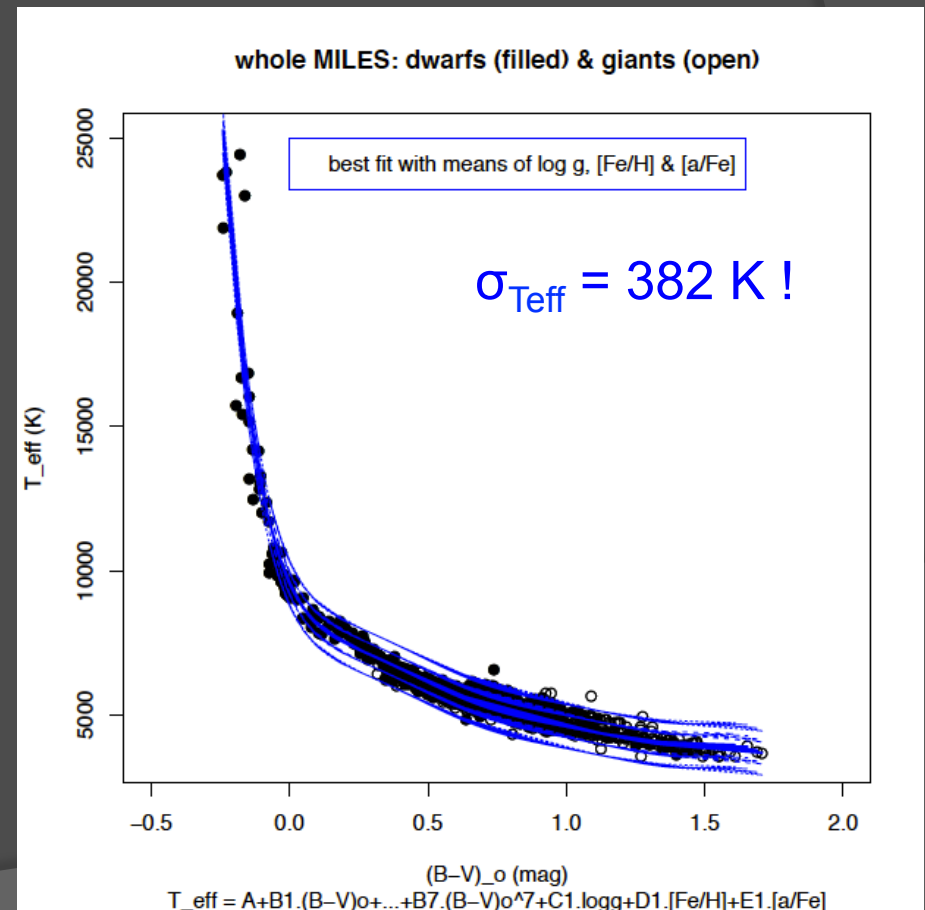
- F-G-K solar, melhor ajuste
- $(B-V)_0$ como polinômio de Θ_{eff} (1st order), $[\text{Fe}/\text{H}]$ (1st) e $\log g$ (2nd)



Calibração $T_{\text{eff}}-(B-V)_0$

- T_{eff} : polinômio de $(B-V)_0$ (7th order), $[\text{Fe}/\text{H}]$, $\log g$ e $[\alpha/\text{Fe}]$
- resultados preliminares
- todas as estrelas da base (ajuste mais completo abaixo)

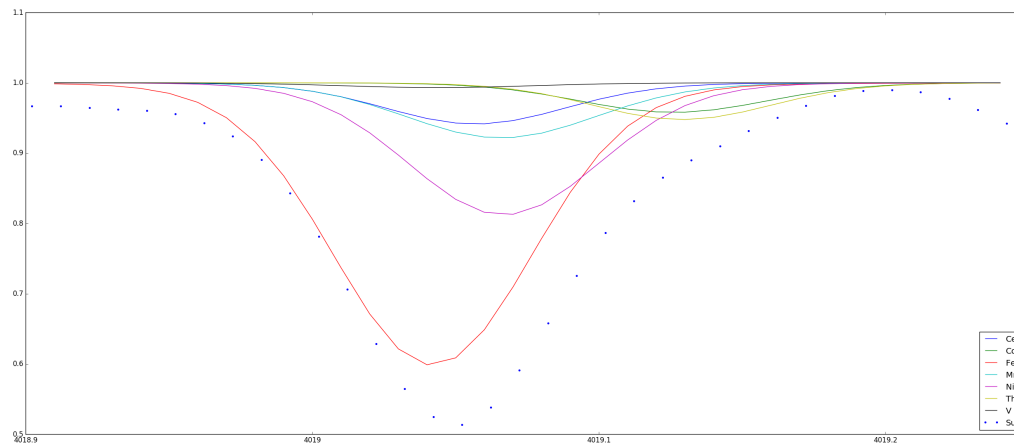
$$\begin{aligned} T_{\text{eff}} = & A + B_1.(B - V)_0 + B_2.(B - V)_0^2 \\ & + C_1.\log g + D_2.(\log g)^2 \\ & + D_1.[\text{Fe}/\text{H}] + D_2.[\text{Fe}/\text{H}]^2 \\ & + E_1.[\alpha/\text{Fe}] + E_2.[\alpha/\text{Fe}]^2 \end{aligned}$$



Thorium em gêmeas solares

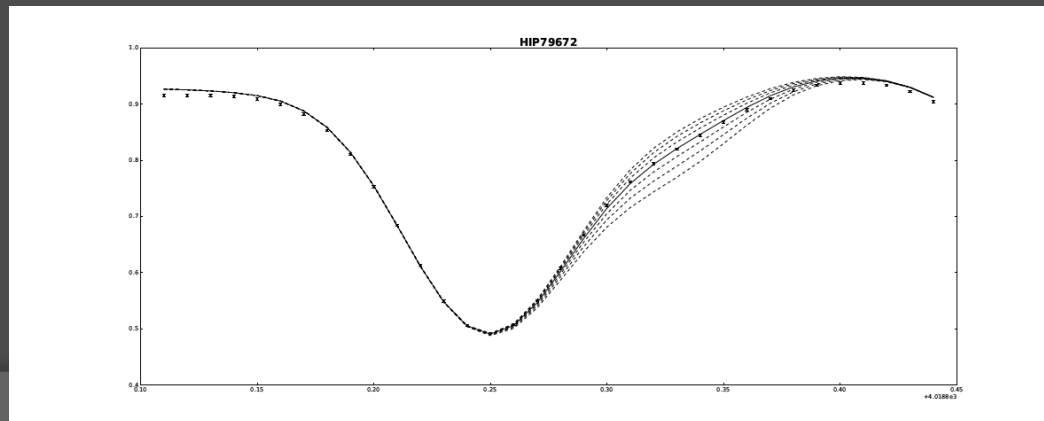
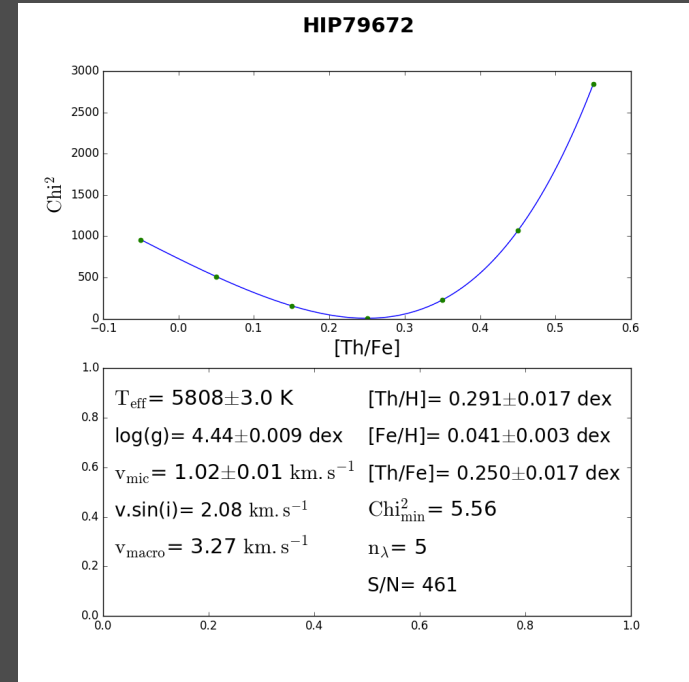
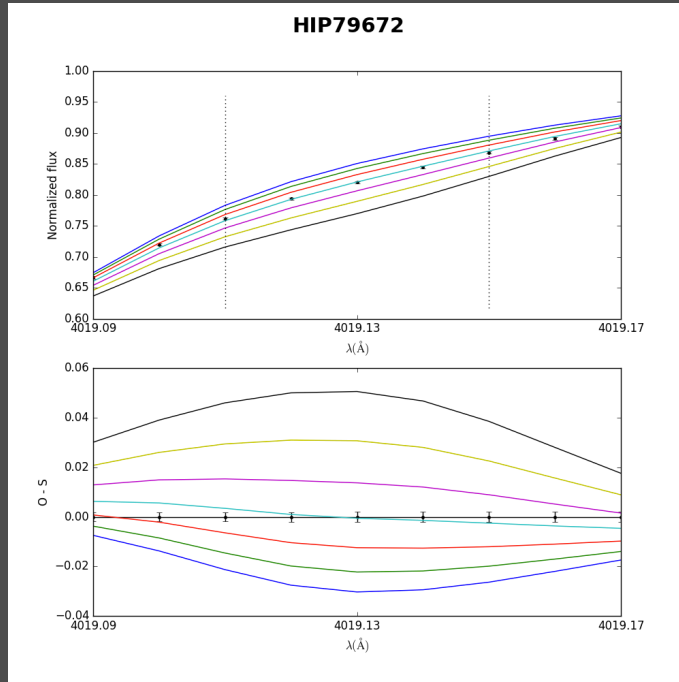
colaboração com J. Meléndez (USP) e outros

- ^{232}Th → cosmocronologia galáctica
- Th → fonte de energia em mantos convectivos de planetas terrestres → tectônica da crosta → vida na superfície
- [Th/H], [Th/Eu], [Th/Si], [Th/Fe] vs. idades isocronais !!!
- 67 gêmeas solares com espectros HARPS (R=115,000)
- síntese espectral da linha Th II $\lambda 4019.129\text{\AA}$ no “blending” Fe-Ni-Mn-Th-Co-CN- C_2
 - FWHM=0.035 Å, sampling=0.01 Å & $\langle\text{S/N}\rangle=368$



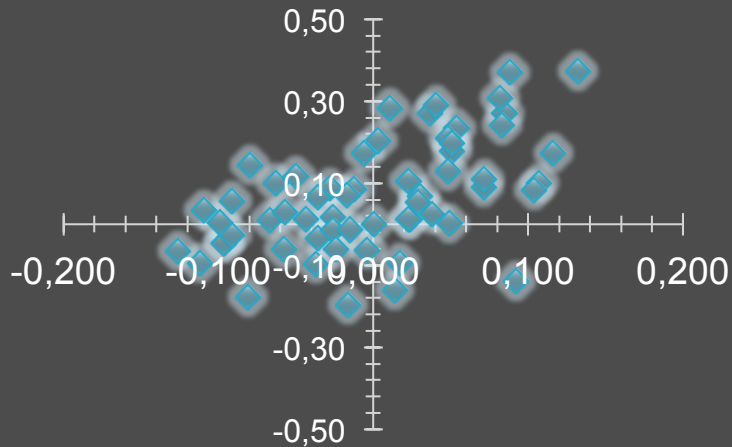
Thorium em gêmeas solares

- síntese da linha Th II $\lambda 4019.129\text{\AA}$: HIP79672 (4.2 Gyr)

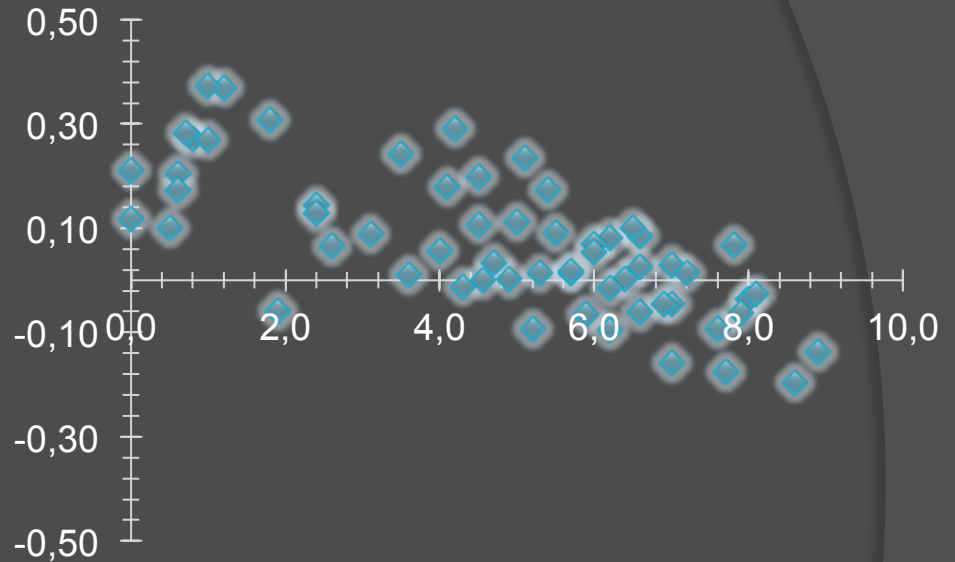


Thorium em gêmeas solares

- resultados preliminares: 59 estrelas!
- $\langle e_{[\text{Th}/\text{H}]} \rangle = 0.024 \text{ mag!}$



◆ [Th/H] vs. [Fe/H]



◆ [Th/H] (dex) vs. isochrone age (Gyr)

Populações estelares em ETGs luminosas de grupos esparsos próximos

- ⊙ D. Rosa (INPE/Univap), A. Krabbe & I. Rodrigues (Univap)
- ⊙ artigo @ Astrophysics and Space Science
- ⊙ 8 galáxias “early-type”: espectros “long-slit” (OPD 1.6m)
 - 1 em grupo, 3 em pares (g), 3 em pares-interação (g) e 1 isolada
 - 5 E, 1 S0 e 2 cD
 - 4 LINER (1 classificada por nós), 1 c/emissão e 3 sem emissão

Table 1: Main characteristics and parameters of sample galaxies. ENV means environment classification. NED means NASA/IPAC Extragalactic Database. $E(B - V)_G$ is the foreground $(B - V)$ colour excess due to our Galaxy.

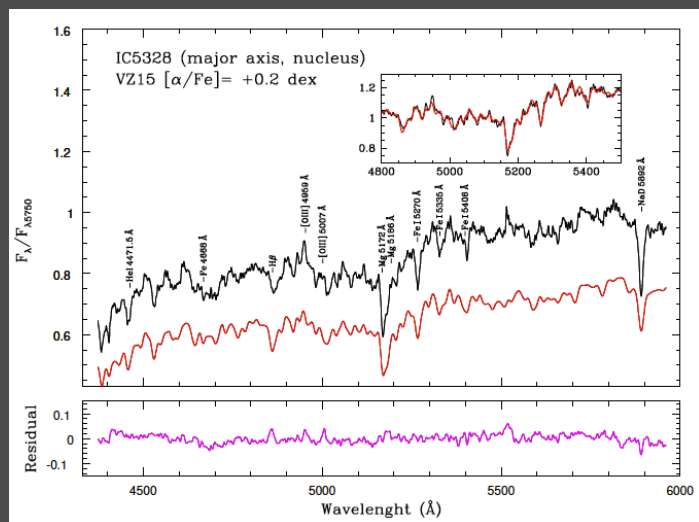
Galaxy ID	Morph ^[1]	ENV ^[NED]	$c_{2\text{helio}}$ ^[NED] (km/s)	m_B ^[3] (mag)	$(B - V)_e$ ^[1] (mag)	M_B ^[2] (mag)	$E(B - V)_G$ ^[4] (arcsec)	r_e ^[1] (arcsec)	r_{25} ^[1]	ϵ ^[1] (mag arcmin ⁻²)	μ_e ^[1] (mag)
IC 5328	E4	P, G(4)	3137	12.27	0.97	-21.00	0.013	22.2	75.4	0.3834	12.18
NGC 1052	E4	wP, G(12)	1510	11.45	1.00	-20.20	0.023	33.7	90.6	0.3082	12.15
NGC 1209	E6?	wP, G(22)	2600	12.35	1.00	-20.65	0.033	18.5	72.0	0.5214	11.83
NGC 5812	E0	P, G(6)	1970	12.19	1.03	-20.51	0.076	25.5	64.1	0.1290	12.33
NGC 6758	E+/cD?	G(7)	3404	12.61	1.05	-21.14	0.058	20.3	67.2	0.2238	12.29
NGC 6861	SA0 ^{-s}	wP, G(17)	2829	12.08	1.03	-21.14	0.048	17.7	84.6	0.3543	11.46
NGC 7507	E0	P, G(7)	1566	11.38	1.00	-20.56	0.044	30.7	82.6	0.0228	11.90
NGC 7796	E+/cD	Field	3364	12.44	1.00	-20.93	0.009	21.2	65.6	0.1290	12.20

References: [1] de Vaucouleurs et al. (1991); [2] Makarov et al. (2014); [3] Paturel et al. (2000); [4] Schlafly & Finkbeiner (2011);

Notes: In ENV column, we used P for pair with possible interaction, wP for weak pair, G for group (with the number of galaxies in parenthesis) and Field for isolated galaxies.

Populações estelares em ETGs luminosas de grupos esparsos próximos

- síntese de populações estelares: STARLIGHT ($r < 0.5-1 R_e$)
 - distribuições/gradientes radiais de idade, $[M/H]$, $[Fe/H]$ e $[\alpha/Fe]$
 - enriquecimento químico interno
 - contribuições nos bins 100 Myr-1 Gyr, 1-4 Gyr, 4-8 Gyr, 8-13 Gyr
 - subtração do contínuo estelar --> classificação da emissão de gás ionizado



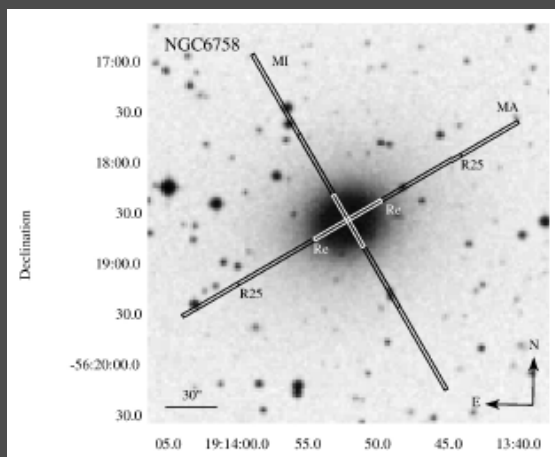
IC 5328

E4, LINER, par com sinais de interação, “slow rotator”, com...

distribuição homogênea de idade (11-12 Gyr),
uniforme $[\alpha/Fe]=+0.14$ dex,
gradiente negativo de metalicidade,
mas possui populações de 1-4 Gyr (33% em fluxo)

Populações estelares em ETGs luminosas de grupos esparsos próximos

- resultados gerais da síntese de populações estelares
 - predomínio de populações velhas (8-13 Gyr), ricas em metais e com sobreabundância em elementos alfa
 - formação estelar e enriquecimento químico eficientes
 - 4 foram classificadas como LINER (1 pela primeira vez, IC 5328)
 - correlações com dispersão de velocidades nuclear



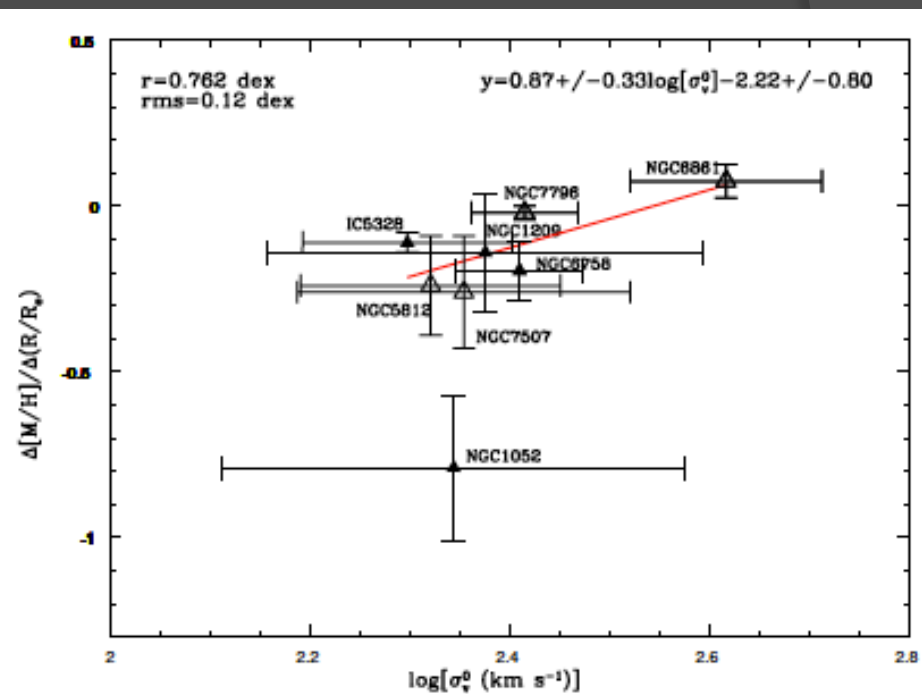
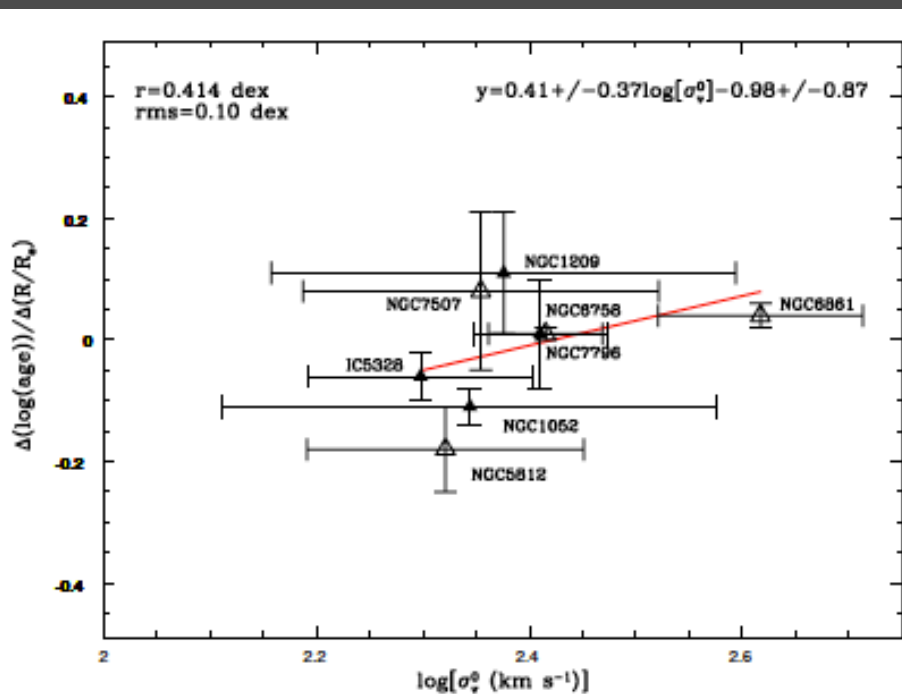
NGC 6758

cD, LINER, em grupo, “fast rotator”, com...
distribuição homogênea de idade (10-11 Gyr),
uniforme $[\alpha/\text{Fe}] = +0.14$ dex,
gradiente negativo em $[M/H]$, e
rápido enriquecimento químico.

Porém, possui no núcleo populações de 1-4 Gyr (~20% em fluxo).

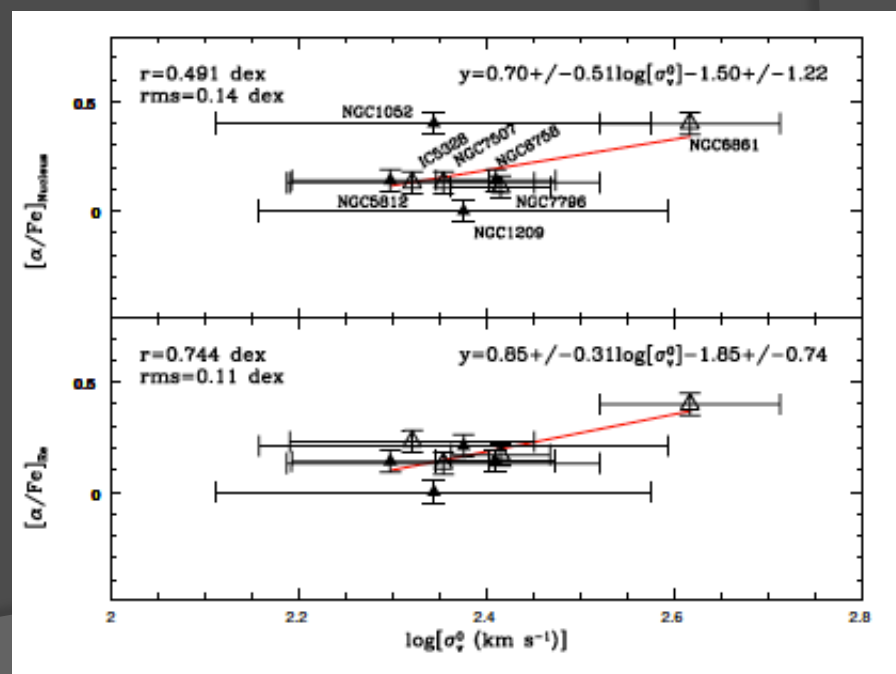
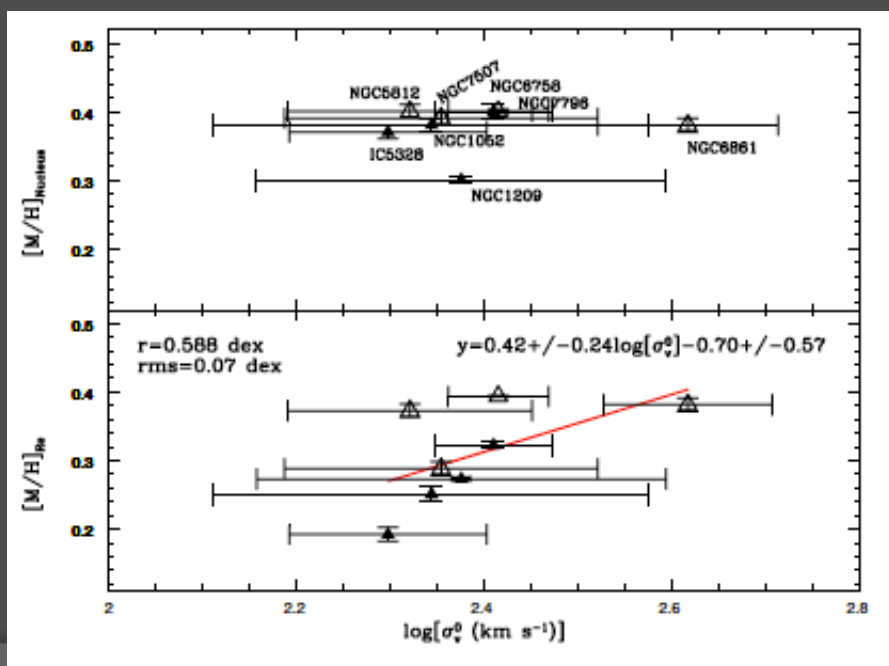
Populações estelares em ETGs luminosas de grupos esparsos próximos

- correlações dos gradientes em idade e $[M/H]$ com σ_v^0
 - em acordo com observações do “survey” CALIFA de ETGs



Populações estelares em ETGs luminosas de grupos esparsos próximos

- correlações das propriedades das populações com σ_v^0 (massa)
 - nenhuma correlação com LINER, interação e ambiente
 - amostra restrita!
 - massa da progenitora atua na formação e evolução de ETGs massivas
 - gradientes nulos em idade e $[\alpha/\text{Fe}]$ & negativos em $[\text{M}/\text{H}]$
 - há casos peculiares



Obrigado

andre.milone@inpe.br