

3 – ÓPTICA ACTIVA

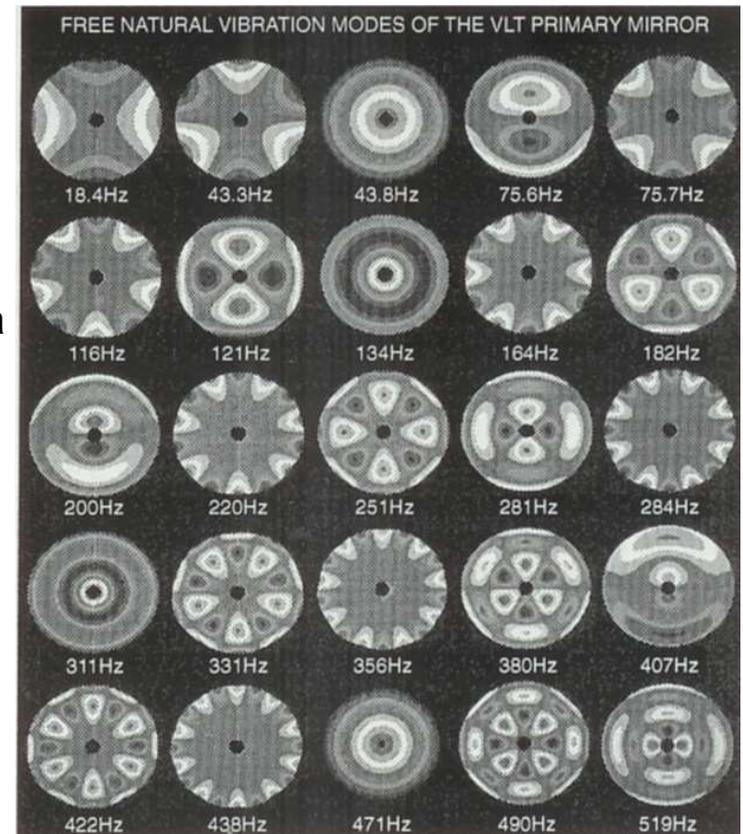
3.1 Princípios

Óptica activa – sistema de controlo com o objectivo de melhorar a qualidade da imagem obtida por um telescópio. Funciona reposicionando espelhos secundários ou modificando a forma do primário, actuando nos seus pontos de apoio (suportes).

A óptica activa é um processo de controlo de **baixa frequência** (a óptica adaptativa – Cap. 4 – é de alta frequência, > 10 Hz), tipicamente $< 10^{-2}$ Hz (períodos da ordem dos minutos). A **óptica activa estendida** cobre $10^{-2} - 10$ Hz (segundos).

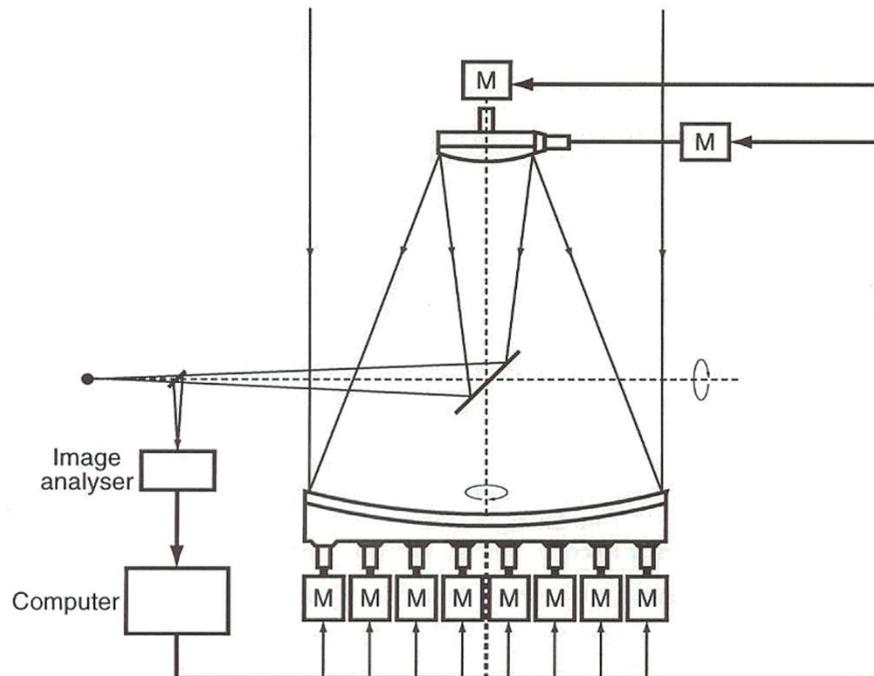
A óptica activa utiliza os **modos de vibração natural** (de energia mínima) do espelho, colocando tantos actuadores quantos necessários, com posição determinada por experimentação (“tentativa e erro”) para cada espelho específico.

Os primeiros 25 modos de vibração natural do primário do VLT.

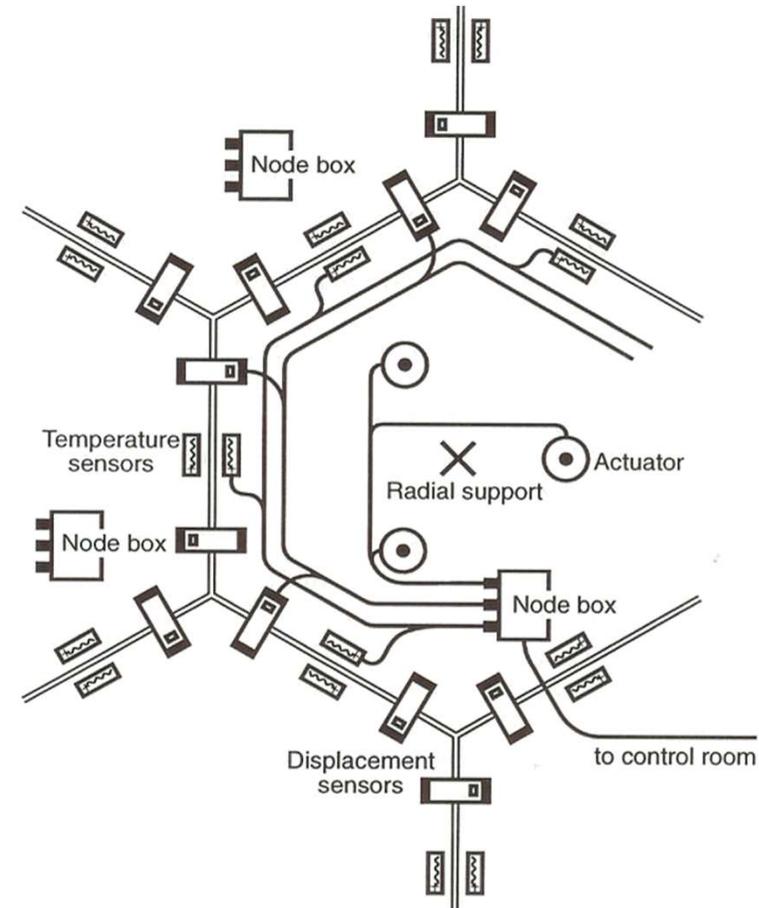


Em alguns casos, na prática, usa-se uma **estrela** (ex: a que serve de guia-offset – ver Secção 7.1; senão usa-se um “separador de feixe” ou “beamsplitter”) para detectar e corrigir erros de imagem.

Noutros casos tal estrela só é usada para corrigir a colocação de segmentos em espelhos compostos como o do Keck 10m. Como cada segmento tem três actuadores e existem 36 painéis, o total de actuadores é de 108. Estes devem corrigir a **orientação dos painéis** em relação uns aos outros, medida por sensores de deslocamento (em número de 168) – óptica activa estendida (≤ 2 Hz).



O princípio da óptica activa, incluindo actuadores para o espelho secundário (laterais e axiais). Neste caso usa-se para referência a estrela das observações, recorrendo a um beamsplitter.



O **objectivo prático** da óptica activa é conseguir produzir imagens com uma qualidade que seja apenas perturbada pelos efeitos do “seeing” (portanto, com erros menores que os efeitos deste).

Todas as principais perturbações que provocam degradação da qualidade da imagem em telescópios ópticos. Notas: dc – operações que só se realizam uma vez, equivalentes a um contínuo aperiódico; óptica activa corrige 2/3 dos erros (1–7), a estendida um (8) e a adaptativa dois (9–10); no espaço, 7–9 não existem.

Existem **três leis físicas** principais em que se baseia a óptica activa:

	Source of error	Bandpass (Hz)	
(1)	Optical design	dc	(fixed)
(2)	Optical manufacture	dc	(fixed)
(3)	Theoretical errors of: – Mirror supports – Structure (focus, centering)	dc → 10 ⁻³ 10 ⁻³	(fixed → minutes) (minutes)
(4)	Maintenance errors of the structure and mirror supports	10 ⁻⁶ → 10 ⁻⁵	(weeks → days)
(5)	Thermal distortions: – Mirrors – Structure	10 ⁻⁵ → 10 ⁻⁴ 10 ⁻³	(days → hours) (minutes)
(6)	Mechanical distortion of mirrors (warping)	10 ⁻⁷	(years)
(7)	Thermal effects of ambient air (telescope, dome and site “seeing”)	10 ⁻⁴ → 10 ²	(hours → 0.01 s)
(8)	Mirror deformation from wind gusts	10 ⁻² → 10 ¹	(minutes → 0.1 s)
(9)	Atmospheric turbulence (external “seeing”)	2.10 ⁻² → 10 ³ +	(50 s → < 10 ⁻³ s)
(10)	Tracking errors	5 → 10 ²	

1) **Linearidade (Lei de Hooke):** $F_x = \kappa x$

“Uma alteração na distribuição de forças actuantes produzirá sempre a mesma alteração na forma do espelho”

A Lei de Hooke é obedecida por materiais vítreos e metálicos (*estes últimos até ao limite de elasticidade, não sendo tal um problema na óptica activa*). Permite a sobreposição (adição) das forças actuantes.

2) Convergência (Princípio de Saint-Venant)

“Para uma região limitada de um corpo elástico, um sistema de forças aí actuante em equilíbrio produz uma tensão que diminui com a dimensão da região e com a distância à mesma”

Segue o **axioma**: *“Se um espelho é flexível o suficiente para desenvolver, graviticamente, um modo de erro elástico, esse erro pode ser corrigido aplicando forças activas que têm a mesma ordem de grandeza das forças passivas de suporte do espelho”*

Segue a **regra**: $A \propto v_{nat}^{-2}$

onde A é a amplitude das vibrações geradas por uma força e v_{nat} uma das (muitas) frequências naturais do espelho.

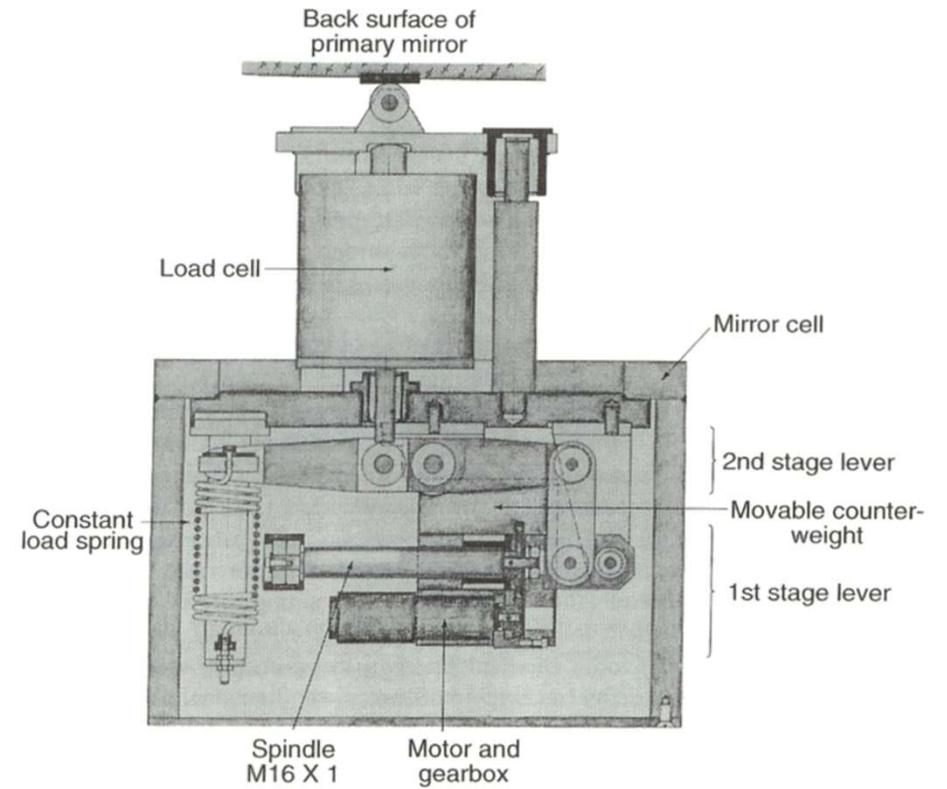
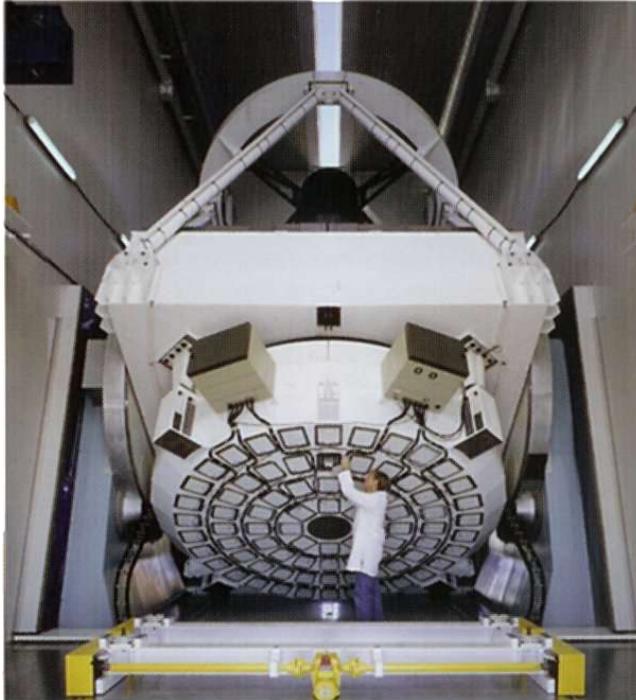
3) Ortogonalidade (Lei de Zernicke)

“Os diferentes modos m de propagação de vibrações (erros) são matematicamente e fisicamente ortogonais (logo, independentes) e podem ser controlados sem qualquer interferência entre eles”

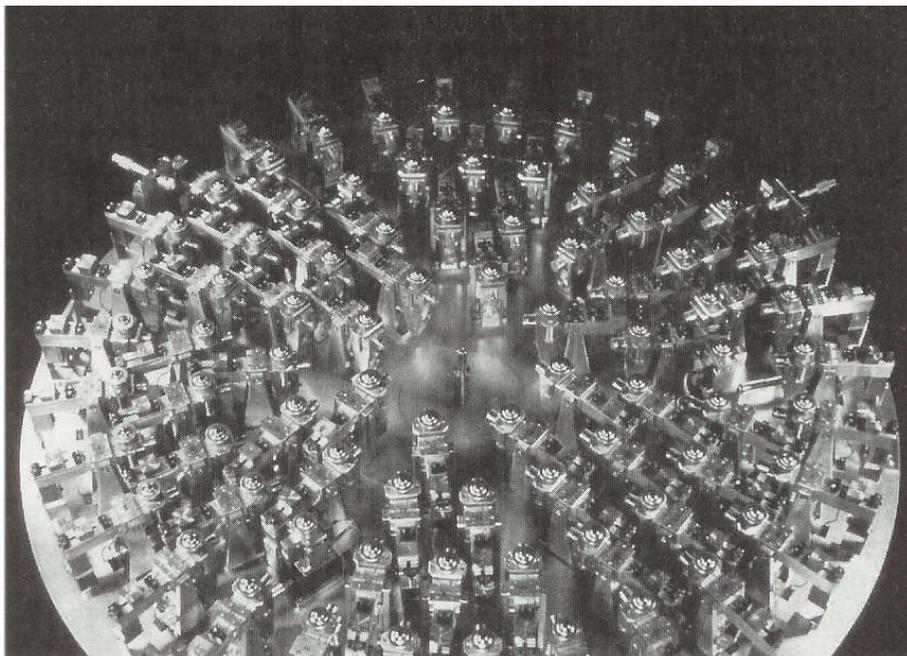
3.2 NTT/VLT

Na pág.36 mencionou-se a utilização de alavancas como um processo natural automático de implementar mecanicamente a óptica activa. No caso do NTT tal foi implementado, apenas substituindo o contrapeso (A) por uma mola, sendo assim a força independente do ângulo zenital. Esta força compensa as três perturbações dc (1–3_{metade}). Com um sistema de contrapesos compensam-se resto3–7. Os ciclos da óptica activa do NTT são de 10min.

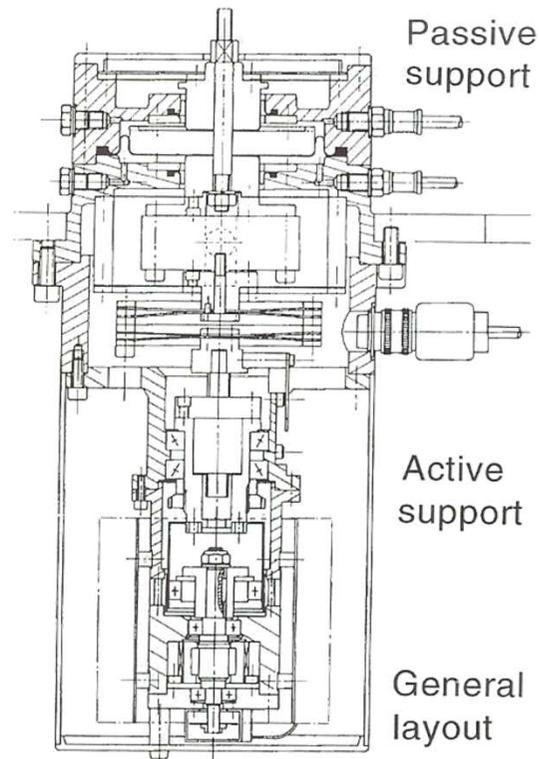
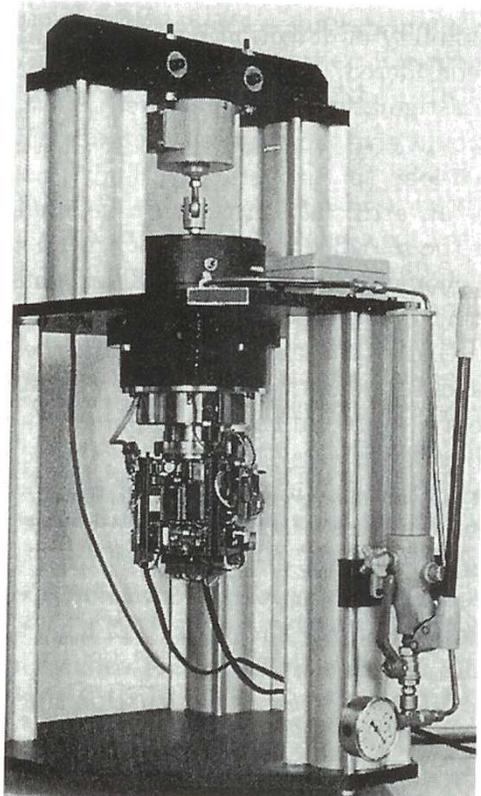
O NTT contém 78 actuadores (para além dos 24 laterais).



Um actuador do NTT com mola e contrapesos.



O VLT é outro exemplo de um telescópio construído de raiz para funcionar sempre com óptica activa (ciclo de 40s). Assim, o espelho foi construído muito flexível ($ar = 47 \Rightarrow w \propto D^4/e^2$ é elevado).



Um dos 150 actuadores do VLT. A parte passiva está montada numa “árvore Whiffle” hidráulica, ligando três suportes. A parte activa está em baixo e contém uma mola (como os actuadores do NTT).

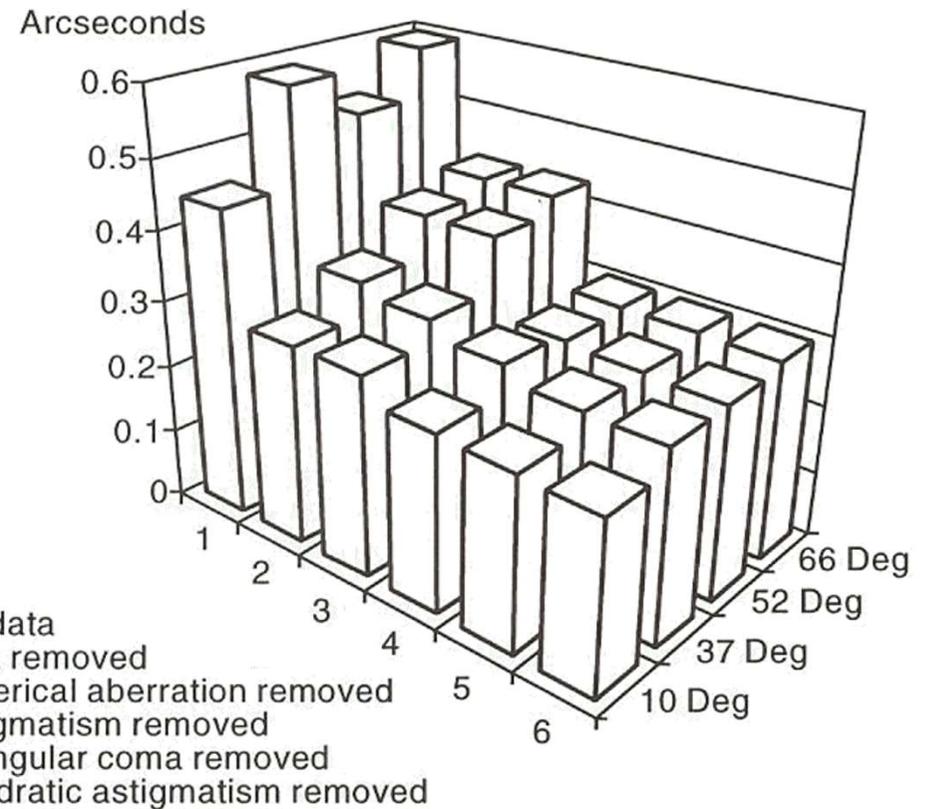
3.3 Outros

3.3.1 Óptico

Antes de apresentar a tabela (em duas partes) com uma lista dos telescópios construídos activos de raiz, a menção de um exemplo de um telescópio “clássico” adaptado: o NOT 2.5m (La Palma). Foi possível fazê-lo devido ao seu flexível espelho ($ar = 17$).

A representação $d_{80} = f(\xi)$ para o NOT. Note-se que o IQ é dado pela dimensão 6. Aqui, 1–6 corresponde à escala 0–5 da figura na pág.7.

Segue, então, a tabela com os telescópios activos de raiz.



Telescope	Diameter	Completion date	Blank material	Blank nature and support	f/no primary	Optical form	Mount	D / e	Comment
MMT (Original) (U.S.)	6 × 1.8 m ≡ 4.4 m equivalent	1979	Fused silica	Egg-crate – passive	6 × f/2.72	Classical Cassegrain with beam combination	MMT alt-az	---	Arizona
NTT (ESO)	3.5 m	1989	Zerodur	Thin meniscus – active	f/2.2	RC	alt-az	15	Chile
TNG (Galileo) (Italy)	3.5 m	1997	Zerodur	Thin meniscus – active	f/2.2	RC	alt-az	15	“tipo” NTT (La Palma)
WIYN Telescope (U.S.)	3.5 m	1994	BSC	Lightweighted (honeycomb) – active	f/1.5	RC	alt-az	7.6	Arizona
LAMOST (China)	4.0 m	2008 ?	Zerodur	Segmented – with additional general active control	f/5.0	Schmidt with reflecting corrector	Fixed with corrector plate as coelostat	53*	China
Keck I (U.S.)	10.0 m	1992	Zerodur	Segmented (hexagonal) with open-loop active control	f/1.75	RC	alt-az	133*	Hawaii
Keck II (U.S.)	10.0 m	1996	Zerodur	Segmented (hexagonal) with open-loop active control	f/1.75	RC	alt-az	133*	Hawaii
HET (Hobby-Eberly Telescope) (U.S., Germany)	9.5 m equivalent (11 m full)	1997	Zerodur	Segmented (hexagonal)	f/1.38	Spherical primary with PF corrector	Fixed zenith distance with az mount and image tracker	183*	Texas
SOAR (Southern Observatory for Astronomy Research) (U.S.)	4.1 m	2004	ULE fused silica	Thin meniscus – active	f/2.0	RC	alt-az	41	Chile

*Espessura de um segmento.

BSC – Borossilicato; RC – Ritchey-Chretien (Cassegrain; primário e secundário são hiperbólicos)

Telescope	Diameter	Completion date	Blank material	Blank nature and support	f/no primary	Optical form	Mount	D / e	Comment
Subaru (Japan)	8.2 m	1998	ULE fused silica	Thin meniscus – active	f/2.0	RC	alt-az	41	Hawaii (“cópia” VLT)
VLT (ESO)	<i>Four telescopes:</i> Each 8.0 m equivalent (8.2 m full)	1998–2000	Zerodur	Thin meniscus – active	f/1.8	RC	alt-az	47	Chile
MMT (Upgrade) (U.S.)	6.5 m	1998	BSC	Lightweighted (honeycomb) – active	f/1.25	Classical Cassegrain	alt-az	230	Arizona
Magellan 1 (U.S.)	6.5 m	2000	BSC	Lightweighted (honeycomb) – active	f/1.25	Classical Cassegrain and Gregory	alt-az	230	Chile (cópia MMT)
Magellan 2 (U.S.)	6.5 m	2002	BSC	Lightweighted (honeycomb) – active	f/1.25	Classical Cassegrain and Gregory	alt-az	230	Chile (cópia MMT)
Gemini North (U.S., U.K., Canada, Chile, Argentina, Brazil)	8.0 m equivalent (8.1 m full)	1998	ULE fused silica	Thin meniscus – active	f/1.8	RC	alt-az	40	Hawaii
Gemini South (U.S., U.K., Canada, Chile, Argentina, Brazil)	8.0 m equivalent (8.1 m full)	2000	ULE fused silica	Thin meniscus – active	f/1.8	RC	alt-az	40	Chile
LBT (Large Binocular Telescope) (U.S., Italy)	<i>Two telescopes:</i> Each 8.4 m	2001–2003	BSC	Lightweighted (honeycomb) – active	f/1.142	Classical Cassegrain and Gregory	MMT-type alt-az	9 – 19**	Arizona

**Varia do centro (>) para fora (<).

No caso de **telescópios no espaço** (*para o futuro: James Webb Telescope – 6m*), a óptica adaptativa é totalmente dispensável. No entanto, a óptica activa é importante para:

- i) Garantir $d_{80} \approx \lambda / D$;
- ii) corrigir distorções no primário devidas a flutuações térmicas extremas (conforme exposição ao Sol);
- iii) corrigir efeitos de diferentes gravidades: *1g* na manufactura, *5g* na viagem, *0g* em órbita.

3.3.2 Rádio

Fundamentalmente, a óptica activa no rádio tem interesse para comprimentos de onda da ordem do mm. Aí ($\lambda_{\text{obs}} > 1.5\text{mm}$) exige-se uma precisão na geometria da superfície de $\lambda/20$, cerca de $80\mu\text{m}$.

Um recente exemplo de sucesso na implementação da óptica activa no rádio é o Green Bank Telescope (GBT) de $100 \times 110 \text{ m}^2$. A sua superfície especial (secção de parabolóide) é constituída por 2004 painéis rectangulares. Existem 2209 actuadores nos seus cantos, para manter a forma da sua superfície (ajustando-se a inclinação dos painéis, uns em relação aos outros). Usam-se prismas em muitos painéis de forma a seis raios laser confirmarem a exactidão geométrica da superfície.