

Subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica

Relatório

23 de Setembro de 2025

1. Sumário Executivo

A Astronomia Brasileira tem apresentado um crescimento contínuo em escala e qualidade desde a década de 1960. Esse avanço decorre de esforços coordenados de diversos grupos de pesquisa, que culminaram em conquistas importantes, tais como:

- acesso a telescópios internacionais por meio de mérito científico individual;
- implantação administrativa e tecnológica do Observatório do Pico dos Dias (OPD) e a criação do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), atualmente operando telescópios de pequeno e médio porte no OPD; e gerenciando a participação brasileira em consórcios internacionais;
- participação em consórcios estratégicos, como Telescópio SOAR (4 m, 31%) e Observatório Gemini (dois telescópios de 8 m, 6.5%).

O panorama global da astronomia contemporânea é predominantemente observacional, complementado por modelagem teórica e simulações numéricas em larga escala. Nesse contexto, o foco nacional deslocou-se progressivamente da criação dos observatórios para o desenvolvimento de instrumentação científica avançada, tanto para plataformas próprias (pequeno e médio porte, como o SOAR) quanto para instalações internacionais de grande porte (≥ 8 m), nas quais o país participa.

Com o intuito de mapear essas atividades, a subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica realizou uma pesquisa (através de formulário disponibilizado pela SAB) de projetos em desenvolvimento no país. As respostas submetidas apresentam grande diversidade, o que motiva a sua classificação segundo os seguintes eixos:

- escopo do projeto: nacional ou internacional;
- porte da instalação: pequeno, médio ou grande;
- estágio de desenvolvimento: em operação, em fase de projeto e construção, ou previsto para médio e longo prazos;
- faixa espectral: domínios óptico, infravermelho próximo e ultravioleta (geralmente agrupados), radioastronomia e altas energias — áreas em que atuam subgrupos com relativa independência.

Os projetos em desenvolvimento por nossa comunidade evidenciam uma comunidade nacional ampla, distribuída em mais de dez estados, com forte articulação entre

SAB - CEA 2025 - Subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica universidades, institutos públicos e hubs tecnológicos como LNA, INPE, ON e CBPF. Os projetos demonstram crescente inserção internacional — com colaboração de instituições líderes como NASA, ESO, Fermilab, Max Planck, CNRS, Harvard e GMT — e mostram que o Brasil passou de participante a co-líder em várias frentes de instrumentação, com crescente capacidade de transferência de tecnologia e formação de recursos humanos. Entre os principais desafios, destacam-se a coordenação e continuidade de projetos complexos envolvendo múltiplas instituições, a dependência de financiamentos não governamentais e a necessidade de retenção de quadros técnicos altamente qualificados.

A consolidação do Brasil como polo de instrumentação astronômica requer políticas públicas que deem estabilidade, integração e protagonismo às instituições nacionais. Sugere-se a criação de um Sistema Nacional de Instrumentação Astronômica, com financiamento plurianual estável (via FNDCT/FINEP), garantindo continuidade dos projetos e compartilhamento estruturado de laboratórios estratégicos (seja nas UPs do MCTI seja nas universidades).

Também é fundamental instituir carreira técnica para engenheiros e instrumentistas, fomentar mecanismos de compra pública de inovação e apoio à criação de spin-offs, além de fortalecer a presença do país em consórcios internacionais como instrumento de diplomacia científica e de soft-power.

1.1. Autores/Comissão

Os autores desta análise foram escolhidos entre membros da comunidade astronômica brasileira por seu conhecimento na área de instrumentação, seja como construtores ou usuários, tentando-se manter uma distribuição entre instituições, geográfica e de gênero. Os nomes foram acordados entre a SAB e o MCTI e indicados por portaria do MCTI.

Bruno Castilho	LNA
Beatriz Barbuy	IAG
Cláudia V. Rodrigues	INPE
Henri Plana	UESC
José D. Nascimento	UFRN
Rafael Ribeiro	IAG
Ulisses Barres	CBPF
Simone Daflon	ON
Zulema Abraham	IAG

2. Introdução

Importância da Infraestrutura observacional e instrumentação astronômica para o desenvolvimento da astronomia e da ciência brasileiras

O avanço da astronomia está intimamente ligado à capacidade de observar o universo por meio de instrumentos cada vez mais precisos, sensíveis e especializados. Por isso, a infraestrutura observacional e o desenvolvimento de instrumentação astronômica constituem pilares essenciais não apenas para a produção de conhecimento científico de ponta, mas também para o fortalecimento estratégico da ciência, da tecnologia e da inovação no Brasil.

O acesso a dados observacionais inéditos — obtidos por telescópios, espectrógrafos, câmeras avançadas, interferômetros e detectores inovadores — permite que pesquisadores brasileiros atuem na fronteira do conhecimento em áreas como cosmologia, física estelar, ondas gravitacionais, ciências planetárias, astropartículas e exoplanetas. Contudo, o impacto do desenvolvimento instrumental vai muito além da geração de novos dados científicos: trata-se de um vetor de inovação tecnológica. Engenharia de precisão, óptica, detectores avançados, microeletrônica, criogenia, ciência de dados e inteligência artificial são áreas mobilizadas nos projetos de instrumentação, exigindo soluções customizadas e promovendo o domínio de tecnologias críticas no país.

Esse processo tem efeitos diretos na formação de recursos humanos altamente qualificados — engenheiros, técnicos e pesquisadores — e na capacitação de laboratórios nacionais, que passam a atuar como centros de excelência com capacidade de inovação e exportação de conhecimento. Além disso, o envolvimento da indústria nacional na fabricação de componentes, sistemas ópticos, eletrônicos e mecânicos cria oportunidades de transferência de tecnologia e estimula o surgimento de spin-offs e startups de base tecnológica, com impacto em setores tão diversos quanto saúde, agro, defesa e energia. Assim, a instrumentação astronômica serve como alavanca para o desenvolvimento econômico e a soberania tecnológica do país.

Nesse contexto, a contínua expansão e modernização da infraestrutura observacional — como telescópios no solo nacional, participação em grandes observatórios internacionais, missões espaciais e laboratórios de instrumentação — são essenciais para manter o protagonismo científico brasileiro no cenário global. Investir em instrumentação astronômica significa investir em inovação, educação, formação de pessoal, diplomacia científica e no fortalecimento da indústria nacional — consolidando a astronomia como uma força motriz no desenvolvimento científico e tecnológico do Brasil.

3. Levantamento da situação atual

3.1. Projetos atuais

O levantamento da situação atual é baseado em formulários respondidos pela comunidade, e abrange projetos classificados por escopo (nacional/internacional), porte (pequeno, médio, grande), estágio de desenvolvimento e faixa espectral.

Nacional, pequeno porte, já em funcionamento, necessitando atualizações:

Zulema Abraham - Radiotelescópio de Itapetinga
Ulisses Barres de Almeida - Rede de telescópios ópticos do BRICS
Fernando Roig/Daniela Lazzaro - IMPACTON
José Cecatto - Interferômetro radio Cachoeira Paulista
Luciano Fraga - Modernização instrumentos LNA
Luciano Fraga - novo detector CCD Skipper no espectrógrafo SIFS

Nacional, médio porte:

Carlos Alexandre Wuensche - BINGO

Nacional, infraestrutura tecnológica

Wagner Corradi - Infraestrutura do LNA
Rafael Alves de Souza - Laboratório de óptica do IAG-USP
Felipe Braga Ribas - construção do Observatório Astronômico da UTFPR-Curitiba
Rafael Alves de Souza Ribeiro - desenvolver obturadores mecânicos (shutters) customizados

Internacional, com participação em instrumentação substantiva envolvendo engenheiros

Beatriz Leonor Silveira Barbuy - MOSAIC para o ELT
Bruno Vaz Castilho - CUBES para o VLT
Jane Gregório-Hetem/Jacques Lépine - LLAMA
Rafael Alves de Souza Ribeiro - GMACS para o GMT
Rafael Alves de Souza Ribeiro - Camara ComCam para o GMT
Rafael Alves de Souza Ribeiro - AOTC (Câmera de Testes de Óptica Adaptativa) para o GMT
Renato Dupke - JPCAM (J-PAS)

Internacional, com participação em instrumentação e verbas moderadas:

Mario Celso Padovan - Laerte Sodré Jr - SAMPLUS -  tica adaptativa
Martin Makler - JS/CASLEO (Argentina) - CCD Skipper
Claudia Mendes de Oliveira - manutenção SPLUS
Marcelo Emilio/Simone Daflon - PLANETS

Internacional, grande aporte financeiro necessário

Elisabete Maria de Gouveia Dal Pino - CTA
Ulisses Barres de Almeida - Observatório de raios-gama SWGO

Infraestrutura computacional, base de dados

Luis Raul Weber Abramo - grande porte
Ana Chies - infraestrutura para projeto científico
Jailson Alcaniz - Infraestrutura computacional de grande porte (CD-JPAS, financiado com recursos FINEP no projeto ON-Multi)
Fernando Roig - Laboratório Multiusuários LAMAG (aprovado no edital FINEP infra 2025)

Grande porte incluindo espacial - acima de 500mi

Luis Eduardo Antunes Vieira - Galileo Soar Space Telescope
Odylio Denis de Aguiar - South American Gravitational wave Observatory - SAGO

3.2. Análise dos projetos

3.2.1. Tipos de projeto nas respostas recebidas

Infraestrutura observacional (Telescópios, Satélites, Prédios, etc.): 14 projetos

Instrumentação científica (Espectrógrafos, fotômetros, etc.): 13 projetos

Infraestrutura de desenvolvimento (laboratórios, bancadas, etc.): 4 projetos

Isso mostra um equilíbrio entre o desenvolvimento direto de instrumentos e a construção de estruturas físicas para suportá-los, refletindo maturidade na cadeia tecnológica da astronomia nacional.

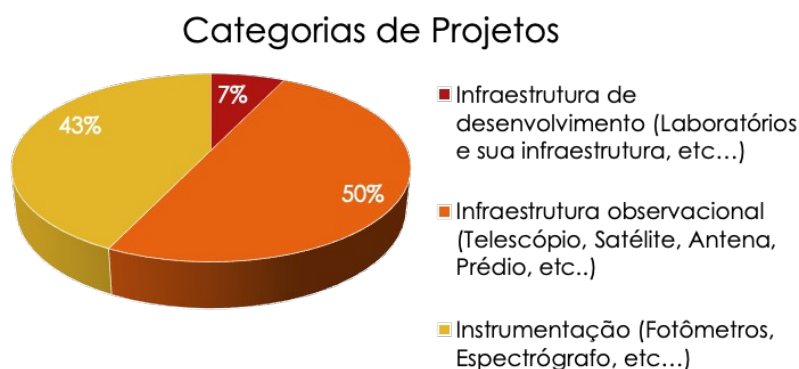


Figura 1 - Categorias de Projetos.

3.2.2. Áreas da Astronomia Atendidas

As respostas recebidas indicam que a maior parte dos projetos concentra-se no domínio óptico e infravermelho próximo, com 26 menções, consolidando-o como a principal área de atuação da comunidade. Em seguida aparecem iniciativas em radiofrequência (5) e ultravioleta (4), enquanto a área de astropartículas soma 3 projetos. Áreas emergentes de fronteira também estão representadas, como raios gama, ondas gravitacionais e infravermelho médio/distante (2 menções cada), além de raios X (1). Esse panorama confirma a predominância histórica da instrumentação óptica/infravermelha, mas revela

SAB - CEA 2025 - Subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica também uma diversificação crescente, com inserção em campos estratégicos de ponta, como a detecção de ondas gravitacionais e a física de astropartículas.

Áreas de Astronomia Englobadas

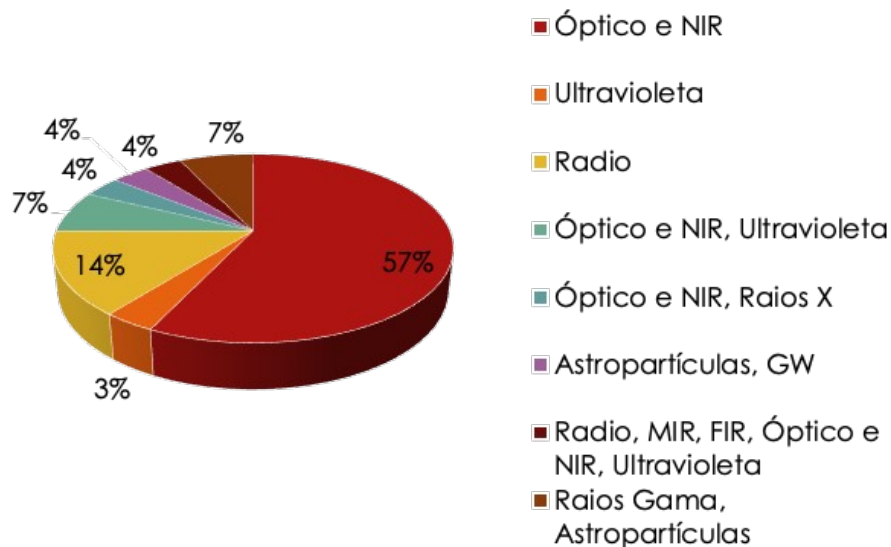


Figura 2 - Diferentes Áreas da Astronomia.

3.2.3. Colaborações

Internacionais: 18, Nacionais: 13

Praticamente todos os projetos envolvem algum tipo de colaboração, sendo que os que tem colaboração internacional geralmente tem colaboração nacional também, demonstrando integração da comunidade brasileira tanto internamente quanto com grandes colaborações globais.



Figuras 3 - Colaborações.

3.2.4. Pessoas Envolvidas

Total no Brasil: 1.008 pessoas

Média por projeto: cerca de 32,5 pessoas

Os números indicam uma cadeia robusta de capacitação, com projetos de médio e grande porte envolvendo muitas instituições e profissionais, o que também favorece a formação de recursos humanos.

3.3. Pontos Qualitativos Relevantes Observados

3.3.1. Amplitude e capilaridade nacional

A análise das respostas revela uma comunidade astronômica nacional ampla e capilarizada, que reúne as principais instituições brasileiras com tradição em astronomia e instrumentação (IAG-USP, IFUSP, CBPF, LNA, INPE, ON, UFRGS, UFSC, UFRN, etc.). Essa diversidade se revela também na dispersão geográfica que cobre ao menos 10 estados, indicando que a instrumentação astronômica não está mais restrita ao eixo Rio de Janeiro - São Paulo - Minas Gerais. Projetos de grande porte chegam a mobilizar redes com até 20 instituições nacionais, mostrando alta capacidade de articulação.

3.3.2. Integração internacional robusta

No plano internacional, observa-se o estabelecimento de parcerias frequentes com instituições líderes mundiais, como Fermilab, NASA/GSFC, Max-Planck, ESO, CNRS, NOIRLab, GMTO, NRAO, Queen's Belfast, ANU, Harvard, Universidade de Chicago, etc. Essas cooperações ocorrem em três formatos predominantes:

- *Participação brasileira em grandes consórcios internacionais, como GMT, LSST, SWGO, CTA e GSST*
- *Projetos liderados por brasileiros com colaboração internacional de nicho, envolvendo transferência de know-how, estágios ou hardware específico.*
- *Projetos liderados ou co-liderados por instituição brasileira, como J-PAS, J-PLUS, S-PLUS, em que o país assume papel de igual para igual com parceiros internacionais.*

3.3.3. Geração de capacidades estratégicas

Outro ponto estratégico é a formação de recursos humanos, incluindo treinamento de pessoal em engenharia, intercâmbios, e forte transferência de conhecimento para o ambiente nacional. Nesse contexto, o ON e IAG se destacam como centros de excelência na formação de recursos humanos altamente qualificados na área de astronomia. Vários projetos estão associados com a criação de spin-offs industriais, transferência de tecnologia e uso dual em setores como ciência de dados, óptica, sensores, IoT, saúde e agro. Paralelamente, o LNA e o CBPF emergem como hubs tecnológicos, combinando laboratórios multiusuários com presença internacional.

3.3.4. Principais desafios citados

Apesar desse dinamismo, permanecem desafios estruturais significativos: a coordenação de múltiplas instituições com culturas e estruturas distintas (acadêmicas, governamentais e industriais); a sustentabilidade do financiamento nacional diante de custos elevados e da dependência de recursos externos; a necessidade de padronização de processos e infraestrutura entre os parceiros; e o risco de perda de talentos em projetos de longa duração, agravado pela instabilidade de pessoal e de bolsas de pesquisa.

3.3.5. Tendências observadas

Por fim, destacam-se algumas tendências relevantes. Há uma crescente aposta em big data e ciência computacional, com destaque para redes como BRICS Data, J-PAS e LSST. A instrumentação solar e a polarimetria vêm se consolidando como vocações nacionais, especialmente nos trabalhos do INPE e do LNA. Além disso, a participação brasileira em colaborações internacionais tornou-se mais estratégica, passando de um papel secundário para a liderança de projetos específicos.

Em síntese, a comunidade brasileira mostra-se altamente articulada, com forte inserção internacional e cada vez mais capaz de assumir liderança global. As redes formadas promovem não apenas ciência de fronteira, mas treinamento avançado, inovação tecnológica e impacto industrial. Todavia, desafios de coordenação interinstitucional, financiamento contínuo e manutenção de recursos humanos especializados ainda configuram gargalos críticos para garantir perenidade e protagonismo do país no cenário global.

3.4. Linhas de pesquisa em voga

As principais linhas de pesquisa da atualidade são Cosmologia observacional, Exoplanetas, seguidos de Altas energias, Populações estelares da Via Láctea.

3.4.1. Alinhamento com as Grandes Questões da Astronomia

As grandes questões da astronomia, em linhas gerais, tratam de entender a energia escura que pervade o Universo, a procura de sinais de vida em outros planetas fora do sistema solar, a origem de partículas de altas energias, e a formação das galáxias.

3.4.2. Perspectivas para a próxima década

Na próxima década a astronomia brasileira estará dispondo de novos instrumentos, em particular:

- Espectrógrafo STELES de alta resolução espectral no telescópio SOAR (a partir de 2026)

SAB - CEA 2025 - Subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica

- Espectrógrafos ANDES e MOSAIC no Extremely Large Telescope (ELT a partir de 2029, e espectrógrafos a partir de 2032
- Espectrógrafos GCLEF e GMACS no Giant Magellan Telescope (datas ainda incertas)
- Cherenkov Telescope Array (data a verificar)
- e continuando com acesso, por mérito de pesquisadores individuais, e dados do James Webb Space Telescope, e outros instrumentos

3.4.2.1. Alinhamento com as Grandes Questões da Astronomia

O alinhamento com as Grandes Questões da Astronomia é total. Há que se dizer que a dinâmica da astronomia é altamente intensa, com inúmeras frentes de descobertas (diferentemente por ex. de Partículas e Campos, em que uma experiência procura uma única resposta, embora em geral muito importante).

4. Orçamento

O volume de financiamento internacional é impressionante e mostra que projetos brasileiros estão inseridos em consórcios de grande porte. Na tabela abaixo mostramos as respostas dos pesquisadores responsáveis sobre os orçamentos totais e necessários para a execução dos projetos.

Nome do projeto	Valor total do projeto (R\$)	Valor aprovado até o momento (R\$)	Valor necessário para a conclusão do projeto (R\$)	Financiamento Nacional (R\$)
ASTRI-Mini Array & CTA-SSTs	975000000,00	673500000,00	301500000,00	16437000,00
Southern Wide-Field Gamma-ray Observatory (SWG0)	400000000,00	300000000,00	370000000,00	30000000,00
Observatório da UTFPR-Curitiba	700000,00	200000,00	500000,00	200000,00
Renovação e Operação do Rádio Observatório Pierre Kaufmann	600000,00	100000,00	500000,00	
MOSAIC	6000000,00	1500000,00	4500000,00	6000000,00
IMPACTON	1000000,00	1000000,00	0,00	
Brazilian Decimetric Array (BDA)	20000000,00	11000000,00	9000000,00	11000000,00
South American Gravitational wave Observatory - SAGO	100000000,00	0,00	100000000,00	100000000,00
BINGO - BAO from Integrated Neutral Gas Observations	55000000,00	30000000,00	25000000,00	55000000,00
LLAMA	142500000,00	125000000,00	17500000,00	80000000,00
Ampliação e modernização do Observatório do Pico dos Dias	42000000,00	26377427,00	15000000,00	26377427,00
SIFS/Skipper	600000,00	0,00	600000,00	0,00
MOSAIC for the Extremely Large Telescope	10000000,00	1500000,00	7500000,00	10000000,00
Telescópio Gigante Magellan.	295000000,00	295000000,00	275000000,00	295000000,00
Cassegrain U-Band Efficient Spectrograph	25000000,00	22000000,00	3000000,00	400000,00
Galileo Solar Space Telescope (GSST/SOLAR50)	500000000,00	5000000,00	500000000,00	
Atualização de Instrumentação astronômica avançada.	27623412,08	13576133,89	14047278,19	13576133,89
Participação brasileira no desenvolvimento do GMACS	11120000,00	6140000,00	4980000,00	1980000,00
Participação brasileira na Etapa Preliminar da ComCam	840000,00	840000,00	0,00	190000,00
Participação brasileira no desenvolvimento do AOTC	983000,00	675000,00	308000,00	405000,00
Desenvolvimento de Shuttters Mecânicos Customizados	1622000,00	668000,00	100200,00	1622000,00
SAMplus (SOAR Adaptive Module Upgrade)	5000000,00	5000000,00	0,00	5000000,00
BLASST - Brazilian Lab of Astronomical Survey STudies	27092000,00	576000,00	26516000,00	27092000,00
Participação brasileira no desenvolvimento do MANIFEST	5642000,00	732000,00	4910000,00	144000,00
T80-Sul - S-PLUS	33000000,00	30000000,00	3000000,00	30000000,00
CCDs skipper para a astronomia	26000000,00	2000000,00	24000000,00	2000000,00
T150	23100000,00	4000000,00	19900000,00	5500000,00
LNA no Parque Científico e Tecnológico de Itajubá	39027902,26	27629072,86	9928008,93	39027902,96
ECHARPE	2000000,00	1900000,00	10000,00	1900000,00
BRICS Intelligent Telescope and Data Network	20000000,00	300000,00	20000000,00	300000,00
NIRPS	60000000,00	60000000,00	0,00	60000000,00
ANDES	60000000,00	60000000,00	0,00	60000000,00
Planets	3500000,00	0	3500000,00	1120000,00
JPAS	27000000,00	21000000	6000000,00	7000000,00
	2946950314,34	1457213633,75	1766799487,12	779271463,85

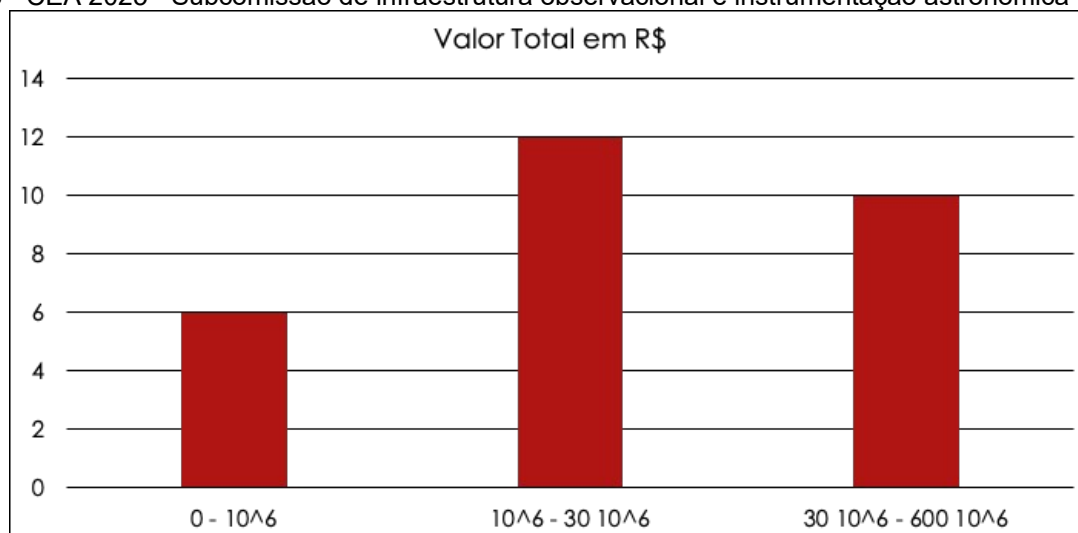


Figura 4 - Valor Total dos Projetos dividido em três intervalos.

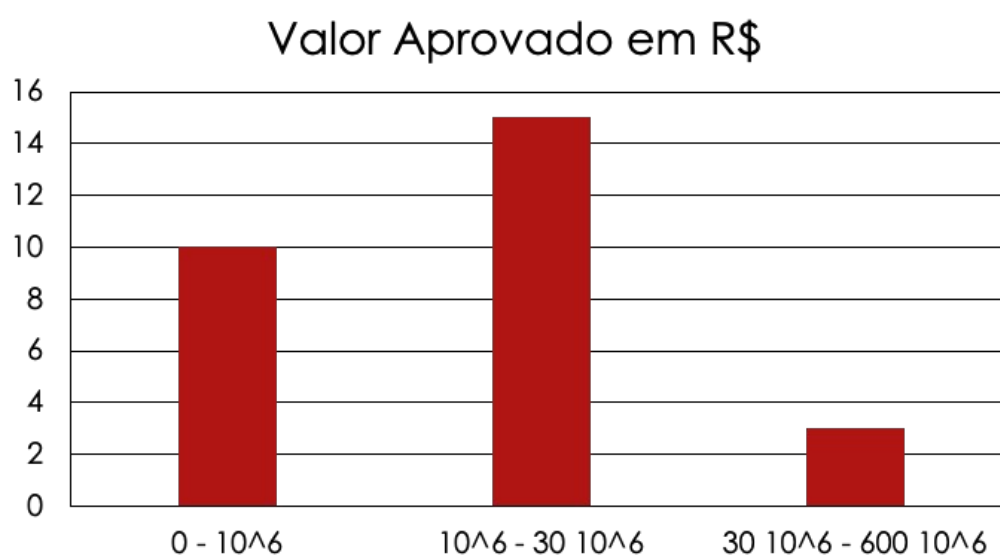


Figura 5 - Valor Aprovado dos Projetos dividido em três intervalos.

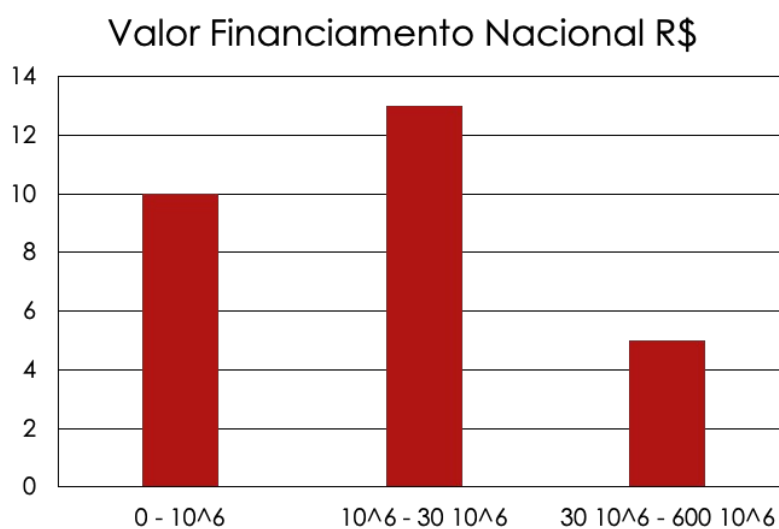


Figura 6 - Valor do Financiamento Nacional dividido em três intervalos.

4.1. Dimensão dos Orçamentos

- Os projetos variam enormemente em ordem de grandeza:
 - Pequenos (até ~R\$ 1 milhão) → atualizações de infraestrutura, aquisição de materiais e serviços pontuais.
 - Médios (R\$ 10–100 milhões) → construção de instrumentos específicos, laboratórios e sistemas de apoio. (ANDES)
 - Grandes (acima de R\$ 500 milhões) → participação em consórcios internacionais (GMT, CTAO, SWGO, Rubin/LSST).

Essa amplitude mostra que o ecossistema combina desde projetos incrementais locais até megaprojetos internacionais.

4.2. Distribuição de Recursos totais

- Total declarado: R\$ 2,9 bilhões.
- Captado até agora: R\$ 1,45bilhão (cerca de 47%).
- Faltante estimado: R\$ 1,8 bilhão (cerca de 63% do total projetado).

Ou seja, mais da metade dos recursos ainda precisa ser viabilizada para a execução plena dos projetos, mostrando grande dependência de novos aportes.

4.3. Principais Fontes de Financiamento

- Agências nacionais: FAPESP, FINEP, MCTI/FNDCT, CNPq.
- Consórcios internacionais: contribuições em dólares ou euros (EUA, Europa, Argentina, Chile).
- Recursos já empenhados concentram-se em infraestrutura crítica (ex.: fibras ópticas para o LSST, prédios laboratoriais do LNA).

4.4. Custos Recorrentes e de Manutenção

- Vários projetos destacam a necessidade de manutenção futura (2027–2037, no caso de telescópios como o SOAR ou SWGO).
- Em alguns casos, os custos de manutenção são comparáveis aos de implantação inicial, o que exige visão de longo prazo.

4.5. Desafios Observados

- Variação cambial → itens importados se tornam imprevisivelmente caros, elevando custos.
- Subdimensionamento inicial → projetos relatam orçamentos insuficientes, sendo revisados para valores muito superiores.

- Dependência de contrapartida internacional → se outros países atrasam pagamentos (ex.: Argentina), o projeto trava.
- Fragmentação de financiamento nacional → aportes vêm de diferentes agências, nem sempre articulados.

4.6. Síntese Estratégica

- O Brasil já assumiu compromissos expressivos em megaprojetos internacionais (GMT, CTAO, SWGO, LSST), mas precisa garantir a continuidade de aportes federais para não limitar o acesso apenas a pesquisadores de alguns estados.
- Projetos médios e pequenos, embora menos visíveis, são cruciais para formação de pessoal e para estimular a indústria nacional — exigem políticas que garantam financiamento ágil e estável.
- A elevada proporção de recursos ainda não captados (63%) revela uma fragilidade que pode comprometer prazos e credibilidade internacional.

5. Participação da indústria nacional

A participação da indústria brasileira em projetos de infraestrutura e instrumentação astronômica é um ponto-chave, tanto para viabilizar os instrumentos quanto para gerar impactos econômicos e tecnológicos.

Infelizmente a participação da indústria nacional nos projetos, embora esteja melhorando, ainda é incipiente concentrando-se em poucos fornecedores e em demandas pontuais, muitas vezes restritas a serviços mecânicos ou de integração. Esta deficiência se dá por vários fatores, mas a maior parte dos componentes críticos continua sendo adquirida no exterior principalmente pela falta de expertise local em áreas como óptica de precisão, detectores e criogenia, e também pela baixa previsibilidade de demanda e baixo volume e grande especificidade das necessidades, que não estimula a criação de um mercado estável.

Essa limitação, entretanto, pode ser vista como oportunidade estratégica: com políticas públicas específicas e mecanismos de aproximação entre universidades, observatórios e empresas, a instrumentação astronômica pode se tornar um vetor de inovação tecnológica e de geração de competências exportáveis, contribuindo para o fortalecimento da indústria nacional em setores de alta tecnologia.

A indústria brasileira deve ser envolvida progressivamente, começando com partes mecânicas de alta precisão, eletrônica e software embarcado — áreas em que já há alguma capacidade instalada. Políticas públicas podem estimular parcerias de co desenvolvimento (empresa + instituto de pesquisa) com foco em projetos de médio porte, que serviriam de "escola" tecnológica. A experiência internacional mostra que a instrumentação científica pode funcionar como motor de industrialização de nicho, criando competências exportáveis.

A experiência da EMBRAPI neste sentido é muito promissora, mas dada a escala dos projetos e empresas envolvidas os critérios eletivos para a participação nos projetos e bastante restritivo. Seria importante que uma iniciativa desta forma fosse pensada para empresas e institutos de pequeno e médio porte mas com alto potencial tecnológico.

Áreas onde a indústria nacional pode atuar:

Fornecimento de componentes e serviços

Estruturas mecânicas de precisão (montagens, suportes, criogenia).

Óptica fina (espelhos, lentes, fibras).

Eletrônica embarcada e sistemas de controle.

Software especializado para automação e análise de dados.

Isso cria demanda qualificada que eleva o padrão técnico da indústria nacional.

Desenvolvimento tecnológico conjunto

Empresas podem atuar em P&D colaborativo com universidades e observatórios.

Resulta em aprendizado tecnológico que pode ser reutilizado em outros setores estratégicos (ex.: satélites, defesa, telecomunicações, medicina diagnóstica).

Esse é um campo fértil para transferência de tecnologia e geração de propriedade intelectual.

Impacto socioeconômico e spin-offs

Projetos grandes de instrumentação frequentemente levam à criação de startups de alta tecnologia.

A participação empresarial fortalece a cadeia produtiva nacional, criando empregos qualificados e descentralizando a economia para além dos grandes centros industriais.

Exemplo: empresas que fornecem detectores, criogenia ou sistemas de imageamento podem expandir depois para mercados civis (sensores médicos, câmeras de alta precisão,

5.1. Participação da indústria nos projetos em planejamento e desenvolvimento identificados neste estudo.

Amplitude: há projetos com envolvimento de apenas 1–2 empresas (ex.: EfE Tecnologia, Metalcard, Omega 7) até casos com mais de 25 empresas brasileiras associadas (como no GMT Fapesp).

Áreas de atuação: mecânica de precisão, óptica, eletrônica, software, criogenia, engenharia de sistemas e até construção civil.

Exemplos relevantes:

- Metalcard (São José dos Campos), forte em componentes mecânicos e optomecânicos.
- Omega 7 (São José dos Campos), em desenvolvimento de software.
- Oliveira Instrumentos Ópticos (OIO), spin-off do LNA em fibras ópticas.
- Instituto Prof. João Steiner, que embora não seja uma empresa, já funciona como elo com a indústria e parceiros internacionais.

Patentes e spin-offs: aparecem iniciativas relevantes, como patentes do LNA e startups derivadas (OIO, empresa de software do S-PLUS). O Brasil já tem sementes de participação industrial relevante, mas precisa de políticas públicas consistentes e de médio prazo para transformar casos pontuais em um ecossistema sólido de inovação.

Participação da Indústria Internacional

- Frequentemente em maior número ou em áreas críticas como óptica de precisão, criogenia, atuadores piezoelétricos e detectores.
- Envolvem empresas e instituições consolidadas como First-Light (França), ALPAO (França), National Instruments (EUA), Amus (Alemanha), além da LSST Discovery Alliance.
- Nos casos de telescópios de maior porte (GMT, T150, LSST), a dependência internacional é marcante para o fornecimento de tecnologias-chave.

Tendências e Desafios

- Crescimento gradual da participação nacional: de pequenas empresas de serviços para fornecedoras de componentes mais sofisticados.
- Ainda incipiente em áreas críticas: detectores, óptica de alta precisão, criogenia, onde o Brasil recorre quase exclusivamente ao exterior.
- Progresso institucional: o surgimento de spin-offs (como OIO) e institutos (Steiner) mostra um embrião de ecossistema de inovação.
- Risco de fragmentação: muitas empresas participam pontualmente, sem continuidade em outros projetos, o que dificulta a consolidação de expertise.

A indústria brasileira já participa de forma mais significativa do que no passado, mas ainda de modo desigual e dependente de iniciativas isoladas ou de grandes projetos (como o GMT). Há potencial estratégico em fortalecer fornecedores locais de óptica, mecânica de precisão e software embarcado, estimulando a criação de um cluster nacional de instrumentação astronômica, capaz de competir e colaborar mais ativamente em futuros projetos internacionais.

6. Critérios de importância dos projetos

Os resultados do survey mostraram uma grande diversidade em termos de orçamentos dos projetos, projetos de infraestrutura ou de pura instrumentação, projetos c/ integração em consórcios internacionais ou puramente nacionais. Essa grande diversidade, em si, revela a boa saúde da comunidade astronômica nacional e levanta uma problemática, nada nova em si: contemplar um máximo de projetos com um orçamento limitado ou contemplar um número limitado de projetos mas usando um orçamento consequente. Essa pergunta depende de maneira evidente do orçamento disponível, mas também e de maneira essencial do estado final desejado pela comunidade e a União.

Uma sistematização é essencial tanto para avaliar prioridades quanto para defender apoio institucional e financiamento. Neste sentido tentamos apresentar uma série de critérios que podem ajudar nessa tarefa.

Critérios para Classificação de Projetos de Instrumentação Astronômica

6.1. Dimensão Científica

Avanço Científico Potencial: grau em que o instrumento possibilitará dados inéditos ou complementares.

Inserção em Grandes Perguntas da Área: alinhamento com temas centrais da astrofísica e cosmologia atuais.

Integração Internacional: potencial de inserção em colaborações e consórcios globais.

Abranger (atingir/ser aproveitado pela) a maioria da comunidade possível no país.

Peso alto (30–40% do total), pois é a finalidade essencial.

6.2. Formação e Capacitação

Treinamento de Recursos Humanos: número e qualidade de alunos/bolsistas envolvidos.

Capacitação Técnica: engenheiros, técnicos e desenvolvedores formados no processo.

Peso médio (15–20% do total), pois garante sustentabilidade da área.

6.3. Desenvolvimento de Tecnologia e Inovação

Desenvolvimento de Novas Tecnologias: óptica, detectores, eletrônica, software.

Potencial de Transferência Tecnológica: aplicações em outros setores (saúde, energia, defesa, TI).

Propriedade Intelectual e Patentes: possibilidade de gerar spin-offs.

Peso médio-alto (20–25%), pois conecta ciência à inovação nacional.

6.4. Dimensão Socioeconômica

Impacto na Indústria Nacional: envolvimento de empresas em fabricação/testes.

Geração de Startups ou Produtos Derivados.

Integração com Políticas de Desenvolvimento Regional: laboratórios em estados diferentes, descentralização.

Peso médio (10–15%).

6.5. Dimensão Estratégica e de Soberania Científica

SAB - CEA 2025 - Subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica
Autonomia Tecnológica: reduzir a dependência externa em áreas críticas.

Posicionamento Internacional do Brasil: aumentar o protagonismo em colaborações globais.

Sustentabilidade da Infraestrutura Nacional: instrumentos que fortalecem observatórios locais

Peso variável (10–15%), mas estratégico em decisões de longo prazo.

6.6. Dimensão de Divulgação e Extensão Científica

Alcance Social: potencial de impactar milhares de estudantes e público geral, promovendo interesse por STEM.

Valorização da Ciência Nacional: mostrar o protagonismo brasileiro em projetos internacionais.

Produção de Material de Divulgação: vídeos, exposições, documentários, websites interativos.

Integração com Escolas e Museus de Ciência: programas de visitas, kits educacionais, observação pública.

Peso sugerido: 5–10% do total, podendo ser maior em chamadas que valorizem a dimensão social.

7. Conclusões e recomendações

O desenvolvimento de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica posiciona o Brasil como ator relevante no cenário internacional, permitindo que cientistas nacionais atuem na fronteira do conhecimento e contribuam para descobertas em áreas estratégicas da astrofísica moderna. A participação qualificada do país em grandes consórcios globais, aliada à capacidade crescente de concepção, fabricação e operação de instrumentos científicos de alta complexidade, fortalece a soberania nacional em ciência e tecnologia. Esses esforços resultam não apenas em novos dados científicos, mas também na consolidação de uma massa crítica de pesquisadores, engenheiros e técnicos altamente qualificados.

Além dos impactos acadêmicos, a instrumentação astronômica atua como vetor de inovação e de dinamização da economia nacional, promovendo transferência de tecnologias de alto valor, participação da indústria em cadeias produtivas especializadas e o surgimento de spin-offs e startups de base tecnológica. Nesse sentido, investir nesse setor significa fomentar um ecossistema virtuoso de ciência, tecnologia e inovação, essencial para o desenvolvimento sustentável e para o protagonismo do Brasil no século XXI.

Recomendações

Consolidar infraestrutura nacional como ativo crítico

Os projetos mostram que o Brasil já possui *ilhas de excelência tecnológica* (ex.: LNA, CBPF, INPE, IAG/USP), porém ainda fragmentadas. Uma política pública eficaz deve:

- Criar um Sistema Nacional de Instrumentação Astronômica, com certificação, governança, metas e compartilhamento estruturado de laboratórios.
- Transformar essas instituições em Infraestruturas Estratégicas de Estado — com previsão de recursos plurianuais garantidos para instrumentação (evitando descontinuidade).

Estabelecer programas de fomento contínuo e previsível

Os projetos são de maturação longa (5–15 anos). Incentivos que dependem de editais anuais e pontuais *inviabilizam continuidade*. Sugere-se:

- Linhas específicas na FINEP e FNDCT para desenvolvimento tecnológico de médio e longo prazo em astronomia, com tranches programadas.
- Revisão dos mecanismos de compras públicas para permitir contratação ágil de tecnologia sensível e customizada, em cooperação com empresas nacionais.

Planejar carreira e retenção de recursos humanos especializados

Existe risco concreto de *fuga de cérebros*, especialmente de engenheiros com formação em instrumentação. Para enfrentá-lo:

SAB - CEA 2025 - Subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica

- Criar bolsas de engenharia de instrumentação vinculadas a projetos estratégicos.
- Incorporar cargos permanentes (não apenas acadêmicos) de engenheiro/instrumentista nos quadros de ICTs como LNA, INPE, CBPF.

Valorizar a liderança brasileira em consórcios internacionais

Os comentários mostram que o Brasil assumiu protagonismo técnico em vários consórcios globais (ex.: CTA, SWGO, GMT, LSST, J-PAS). Estratégia pública deve:

- Priorizar apoio institucional e diplomático a esses consórcios como parte da política externa de ciência.
- Criar um programa oficial de “soft power científico”, fortalecendo o papel dos pesquisadores que ocupam posições de liderança internacional.

Estimular spin-offs tecnológicos e cadeia produtiva nacional

Para ampliar a participação da indústria nacional em projetos de instrumentação astronômica, é essencial adotar mecanismos que estimulem a aproximação entre empresas, universidades e observatórios. Programas de compras públicas de inovação e editais de co-desenvolvimento podem criar um ambiente de aprendizado tecnológico, permitindo que fornecedores locais assumam progressivamente funções de maior complexidade — desde a produção de estruturas e sistemas eletrônicos até a fabricação de componentes ópticos e criogênicos. Além disso, a criação de linhas de crédito específicas, incentivos fiscais e apoio a clusters regionais de inovação ligados aos principais polos de astronomia do país podem fortalecer a capacidade industrial em setores estratégicos. Dessa forma, a instrumentação astronômica deixaria de ser apenas uma atividade científica de fronteira para se consolidar como um motor de inovação e competitividade para a economia brasileira.

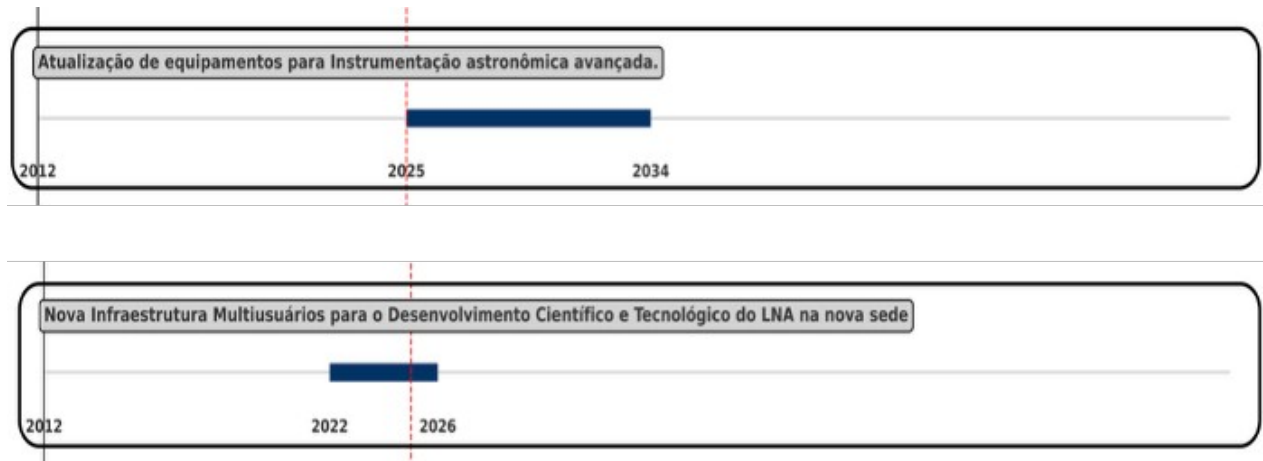
Projetos geram aplicações em áreas como saúde, defesa, IA e agro, mas falta escala e política industrial para dar continuidade. Assim é importante:

- Dedicar fundos específicos de capital semente para startups originadas em instrumentação astronômica, com suporte do BNDES/FINEP.
- Estimular a compra pública de inovação (PPI) para tecnologias desenvolvidas no ecossistema astronômico.
- Diminuir os entraves burocráticos para a criação de *spin offs* nas ICTs e posteriormente viabilizar legalmente a contratação dessas nos projetos.

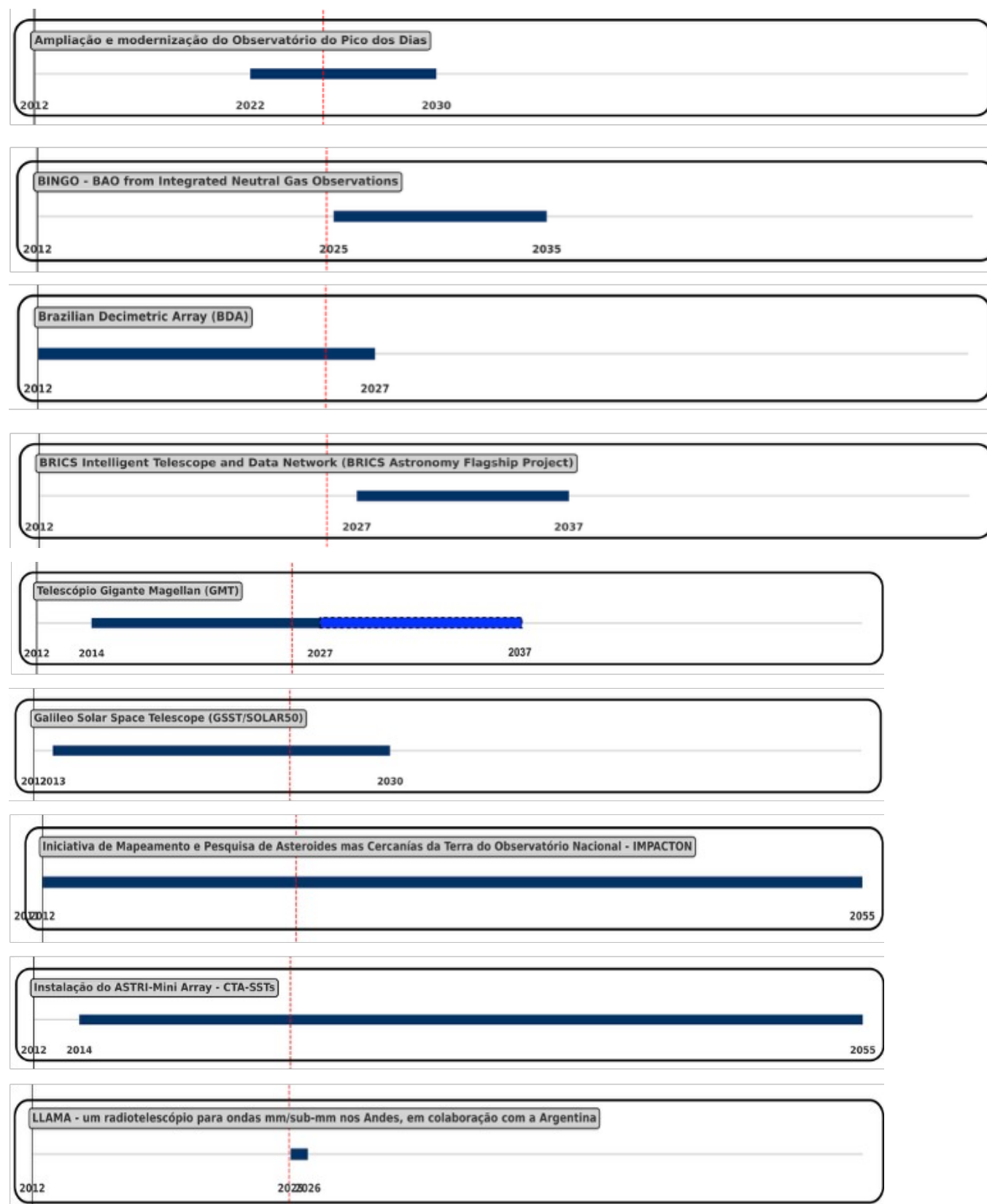
Apêndice A

Linha do tempo dos diferentes projetos, separados em três categorias: Infraestrutura & Desenvolvimento, Infraestrutura Observacional e Instrumentação.

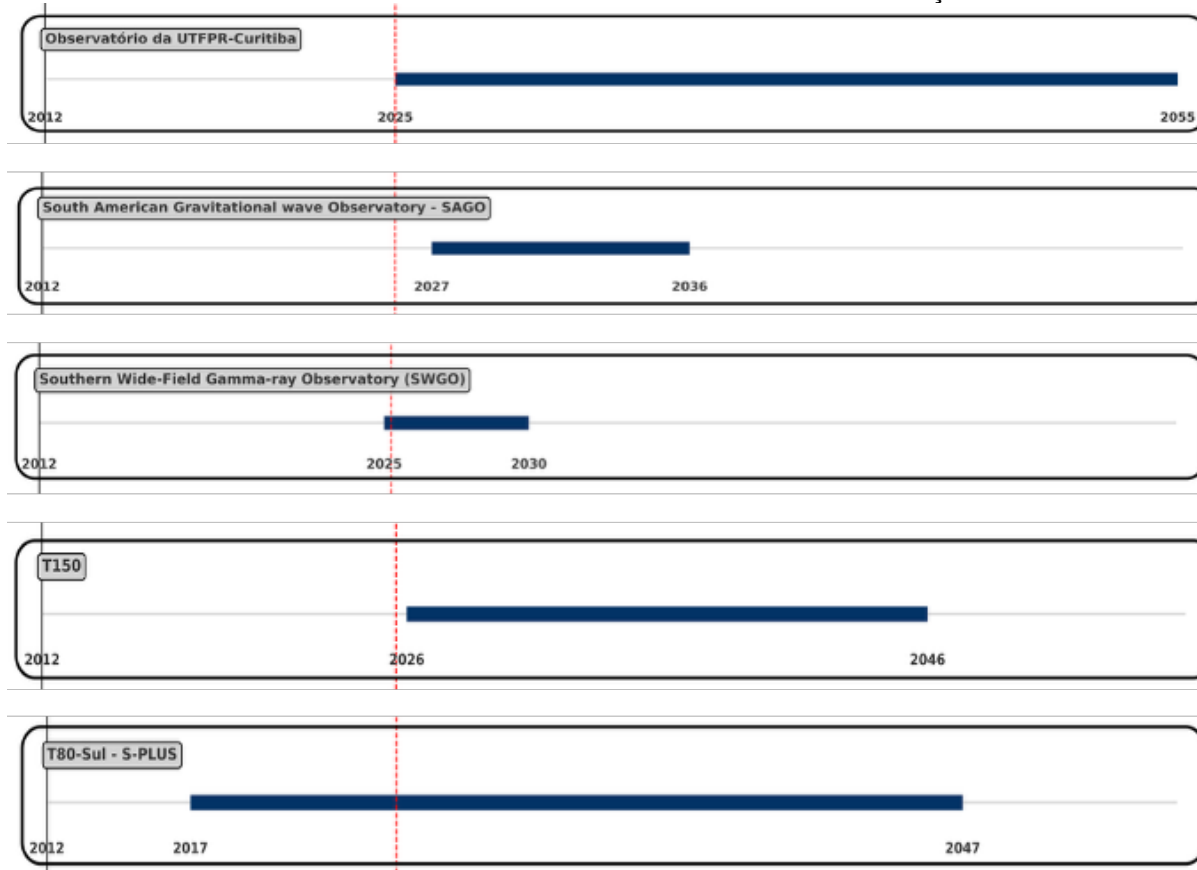
INFRAESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO



INFRAESTRUTURA OBSERVACIONAL



SAB - CEA 2025 - Subcomissão de infraestrutura observacional e instrumentação astronômica



INSTRUMENTAÇÃO

