

Implementação da Plataforma SKARAB

Backend Digital para o Radiotelescópio BINGO

Rafael A. Batista

LABMET & Unidade Acadêmica de Física
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

January 20, 2026



- 1 Introdução
- 2 Plataforma SKARAB
- 3 Software e Configuração
- 4 Processamento Digital
- 5 Resultados Experimentais
- 6 Status e Perspectivas



Objetivo

Documentar a implementação, configuração e validação experimental da plataforma SKARAB como backend digital para o radiotelescópio BINGO.

Plataforma SKARAB

- FPGA Virtex-7 (XC7VX690T)
- ADC 14-bit @ 3 GSps
- Interfaces 40 GbE
- Desenvolvida pela Peralex

Aplicação BINGO

- Observações de HI
- Faixa: 980-1260 MHz
- Espectrometria digital
- Processamento em tempo real



Virtex-7 XC7VX690T

- **Células Lógicas:** 693.120
- **Blocos DSP:** 3.600
- **Memória BRAM:** 52,9 Mbit
- **Transceptores:** 80 @ 28 Gb/s
- **Tecnologia:** 28 nm HPL
- **Frequência máx:** 640 MHz

Aplicações:

- Processamento de sinais
- Redes de alta velocidade
- Radioastronomia



Figure: FPGA de alto desempenho para processamento reconfigurável

Especificações Principais

- **Resolução:** 14 bits
- **Taxa:** 3,0 GSps/canal
- **Dual-channel**
- **Freq. entrada:** DC - 4,0 GHz
- **SNR:** 60,9 dBFS @ 900 MHz
- **SFDR:** 67 dBc

DDC Integrado

- 4 DDCs por canal
- Modo dual-band
- 3 NCOs de 16 bits
- Interface JESD204B

Decimação disponível:

4, 8, 16, 32...



Componente	Versão
Sistema Operacional	Ubuntu 16.04 LTS
MATLAB	R2018a
Xilinx Vivado	2019.1
Python (Controle)	2.7 (<i>casperfpga</i>)
Python (Toolflow)	3.x (<i>mlib_devel</i>)

Ecossistema CASPER

- Bibliotecas de blocos para Simulink
- Ferramentas de compilação automática
- Framework de controle em Python
- Comunidade internacional de radioastronomia

Conceito de Decimação

- Redução da taxa de amostragem
- Implementada no DDC (FPGA)
- Fatores: 4, 8, 16, 32

Configuração BINGO

- Taxa ADC: 3 GHz
- Decimação: 8
- Taxa saída: 375 MHz
- Tipo: Complexo

TA ADC	Dec.	BW
3000	4	750
3000	8	375
3000	16	187.5
2560	8	320

Table: Taxas de amostragem (MHz)

Benefícios:

- Redução de dados
- Foco na banda de interesse
- Otimização de recursos



Fluxo de Processamento:

ADC → FFT → Power → VACC → BRAM

Blocos Principais:

- ① **ADC:** Digitalização @ 3 GSps
- ② **FFT:** $2^{15} = 32.768$ pontos
- ③ **Power:** $P = re^2 + im^2$
- ④ **VACC:** Acumulador vetorial
- ⑤ **BRAM:** Memória de leitura

Especificações Atuais:

- Largura de banda: 187,5 MHz
- Bins de frequência: 32.768
- Resolução: 5,7 kHz/bin
- Interface: 40 GbE
- Formato: Pacotes UDP

Desenvolvimento

Implementado em Simulink usando bibliotecas CASPER e Xilinx System Generator

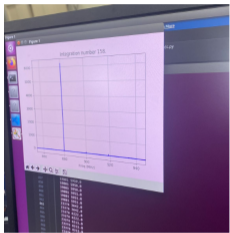


Figure: Primeiro espectro obtido pela SKARAB



Configuração:

- Local: LABMET, Campina Grande-PB
- Decimação: 32
- Largura de banda: 93,75 MHz
- Frequência central: 900 MHz

Equipamento:

- 1 Gerador de sinal
- 2 SKARAB ADC
- 3 Fonte de ruído
- 4 Relógio atômico Rb+GPS
- 5 Analisador de espectro

Receptor Analógico Uirapuru

Componentes Caracterizados:

- **LNA:** WanTcom WBA0913AS
 - Ganho: 38 dB
- **Filtro:** Cavidade 980-1260 MHz
- **Isolador:** UIY 3434A960T1260SF
- **Híbrido:** Fabricado UFCG

Medições Realizadas:

- Parâmetros S (S_{21} , S_{11})
- Resposta em frequência
- Isolamento entre canais



Caracterização do Receptor

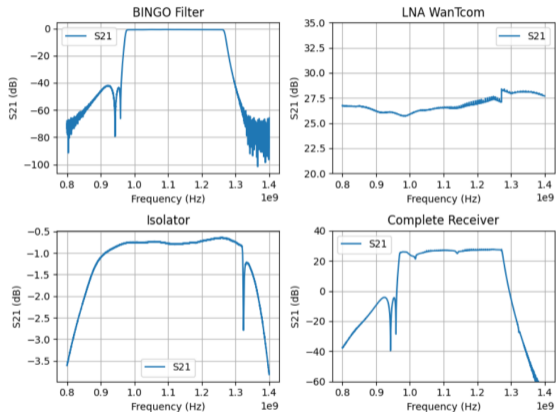


Figure: Parâmetros S_{21} dos componentes

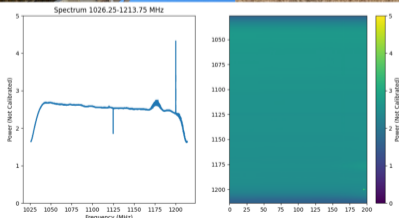
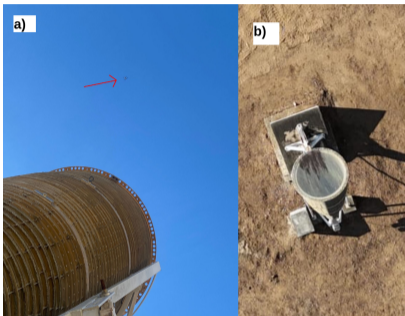
Desempenho Validado:

- Resposta plana na banda BINGO
- Ganho total adequado
- Isolamento satisfatório
- Perdas dentro do esperado

Equipamento

Medições com VNA Rohde & Schwarz ZNB na faixa 0,8-1,4 GHz

Validação Experimental: Teste com Drone



Configuração do Teste:

- Transmissor: Baofeng BF-777s
- Frequência fundamental: 400 MHz
- Detecção: 3º harmônico @ 1200 MHz
- Altitude: 35 metros
- Sistema: Uirapuru + SKARAB

Observações:

- Sinal claramente visível
- GPS L5 detectado @ 1176 MHz
- Validação do sistema completo

Observações: Sinais GPS L5

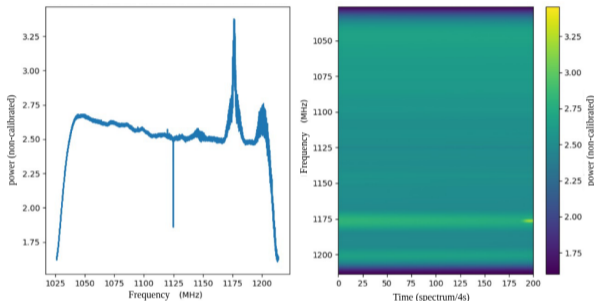


Figure: Espectro e waterfall: GPS L5 @ 1176 MHz

Sinais Detectados:

- GPS L5: 1176 MHz (forte)
- Sinais 1200 MHz
- Desvanecimento gradual

Parâmetros:

- Largura de banda: 187,5 MHz
- Frequência central: 1120 MHz
- Bins FFT: 2^{15}
- Potência: \log_{10} (não calibrada)

Interpretação:

Passagem de satélites GPS visível como faixas suaves no waterfall



Observações de 24 Horas (2025-05-09)

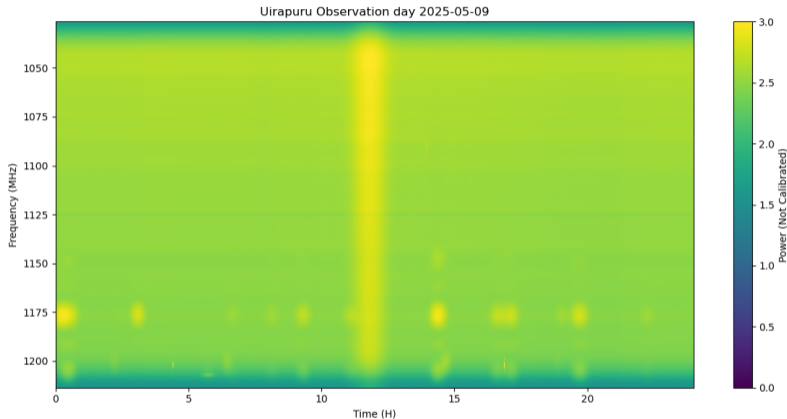


Figure: TOD completo: passagem de satélites GPS e provável trânsito solar

Características Observadas:

Status Atual e Próximos Passos

Conquistas:

- SKARAB operacional
- Espectrômetro 187,5 MHz
- Receptor caracterizado
- Validação experimental
- Observações 24h
- Pipeline FITS inicial

Próximos Passos:

- Upgrade para 375 MHz (dual-ADC)
- Otimização: 8k bins FFT
- Blocos IP para SPEAD
- Sincronização PPS
- Metadados integrados
- Calibração T_{sys}/T_{cal}

Desafios em Aberto

- Sincronização multi-placa
- Throughput UDP otimizado (40 GbE)
- Estabilidade de longo prazo
- Mitigação de RFI

Obrigado!

Rafael A. Batista

rafael.alves.batista@gmail.com



LABMET & Unidade Acadêmica de Física
Universidade Federal de Campina Grande

Colaboração BINGO