

ISTSat-1: desenvolvimento e operação do primeiro CubeSat universitário português

Rui M. Rodrigues Rocha, CT2KJR

AMRAD, IST NanosatLab

14 de Fevereiro de 2026

No dia 9 de Julho de 2024, às 16:00, em Kourou, a festa foi grande. Vivia-se intensamente o início do voo inaugural do novo foguetão Ariane 6, que representou o virar de uma nova página na história espacial europeia. O momento foi igualmente intenso para quem assistiu à transmissão do evento no campus do Instituto Superior Técnico no Taguspark e, em especial, para todos os que participaram no projecto. Efectivamente, este lançamento constituiu um importante marco para a Academia Portuguesa, uma vez que a bordo seguia o primeiro satélite universitário português - o ISTSat-1.

O ISTSat-1 (ver fig.1) foi totalmente desenvolvido e construído em Portugal, no polo de Oeiras do IST, integrado no programa Fly Your Satellite! da Agência Espacial Europeia (ESA). Trata-se de um projecto de engenharia multidisciplinar cujo objectivo essencial foi aprender, formando, ao longo do seu desenvolvimento, bons profissionais segundo as melhores práticas dos projectos espaciais.

O CubeSat, um cubo com 10 cm de aresta (formato 1U), foi integralmente feito por estudantes de engenharia, orientados por uma equipa de professores coordenadores do IST NanosatLab, laboratório criado no IST para acolher projectos espaciais, e apoiados pela AMRAD através de um conjunto de radioamadores experientes nesta área. A equipa de projecto envolveu estudantes de Informática, Mecânica, Redes de Comunicações, Electrotecnia e Aeroespacial. A maior contribuição veio da Engenharia Electrónica do IST-Taguspark, uma vez que mais de 90% do satélite é constituído por sistemas electrónicos, incluindo nesta parcela a componente de software embebido que dá “alma” ao satélite.

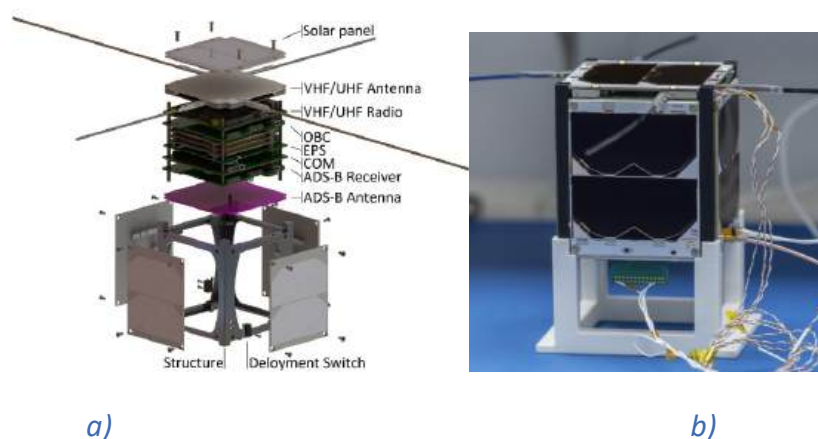


Figura 1 – ISTsat-1: a) vista explodida; b) modelo de voo.

A missão principal do ISTSat-1 é aprender! Contudo, esperava-se demonstrar, em órbita,

um receptor ADS-B compacto e de baixo consumo. Dado o foco na aprendizagem, todos os subsistemas foram desenvolvidos pela equipa, exceptuando os painéis solares e o mecanismo de abertura das antenas, fazendo do ISTSat-1 o primeiro satélite inteiramente concebido e construído em Portugal.

Um primeiro ano em órbita: desafios inesperados

Nas horas que se seguiram ao lançamento, a busca pelos sinais do ISTSat-1 foi bastante complexa: foram lançados 8 satélites em simultâneo e, não existindo informação precisa sobre onde encontrar o ISTSat-1, o rastreio foi, sobretudo, um trabalho de paciência. Não obstante, passadas umas horas do lançamento, chegou a notícia que a equipa aguardava: um radioamador belga, Alexandre Rouma ON5RYZ, ouviu e gravou o primeiro sinal do ISTSat-1 - o *beacon* do satélite - um sinal codificado em Morse que transmite pouca informação, mas que facilita a sua localização (ver fig.2). No dia seguinte, a estação de rastreio de satélites do IST-Taguspark - CS5CEP - licenciada pela AMRAD junto da ANACOM, conseguiu ouvir o mesmo sinal. Apesar de mais fraco do que o esperado, este sinal trouxe a confirmação de que o ISTSat-1 estava “vivo” e em órbita.



Figura 2 – Cartão de QSL enviado ao primeiro radioamador que “ouviu” o ISTSat-1 (cujo indicativo atribuído pela ANACOM é CT6IST).

Nos dias seguintes, a estação de solo CS5CEP conseguiu receber os primeiros sinais de telemetria digital do ISTSat-1. Vários radioamadores nacionais que, incansavelmente, nos ajudaram no acompanhamento do ISTSat-1, também conseguiram ouvir os seus sinais. Em particular, é de referir o empenho do colega Paulo Delgado, CT2GUR, que reconstruiu a sua torre, derrubada num temporal passado, e construiu uma nova Yagi de grande directividade o que lhe permitiu passar a receber os fracos sinais de telemetria do satélite.

Mas qual é o problema da ligação descendente (downlink) do ISTSat-1 que muito condiciona a boa recepção dos respectivos sinais, devido ao nível extremamente baixo de potência do sinal recebido? Uma análise da “causa primária” (*root cause analysis*) do problema, nomeadamente recorrendo a dados recolhidos durante a integração do satélite, sugere que a causa mais provável terá sido um erro de montagem na ligação das antenas ao rádio transmissor-receptor do satélite (subsistema de *Telemetry, Tracking and Command - TT&C*). Qual a razão de não ter sido detectado antes do lançamento, considerando a gama de testes efectuados, quer em ambiente funcional, quer em ambiente orbital (simulado)? O

satélite foi integrado na sala limpa do IST-Taguspark e já não pôde sair para testes de campo, ou numa câmara anecóica; mesmo um sistema de rádio degradado consegue operar a muito curta distância o que fez com que os testes funcionais em terra tenham sido ultrapassados com sucesso. Foram efectuados testes de campo, com atenuadores colocados no modelo de engenharia, operando a uma distância de várias dezenas de quilómetros, tentando condições similares de atenuação às que ia encontrar em voo ... mas estes testes não foram efectuados com o modelo de voo.

A equipa focou-se então em resolver o problema no segmento de solo para conseguir continuar a operar o satélite. Foi instalado um agregado de antenas Yagi (duas yagi cruzadas de 2×11 elementos), ilustrado na fig. 3-a. Em paralelo, foram instaladas várias estações de solo adicionais, uma no QTH do colega Paulo Delgado, CT2GUR, como já foi referido e se ilustra na fig. 3-b, e outra no do colega Victor Silvestre, CT1WO. A ideia era permitir diversidade espacial na recepção. Revelou-se de grande utilidade esta solução, em particular a da estação de solo de CT2GUR dada a melhor relação sinal-ruído que apresenta.

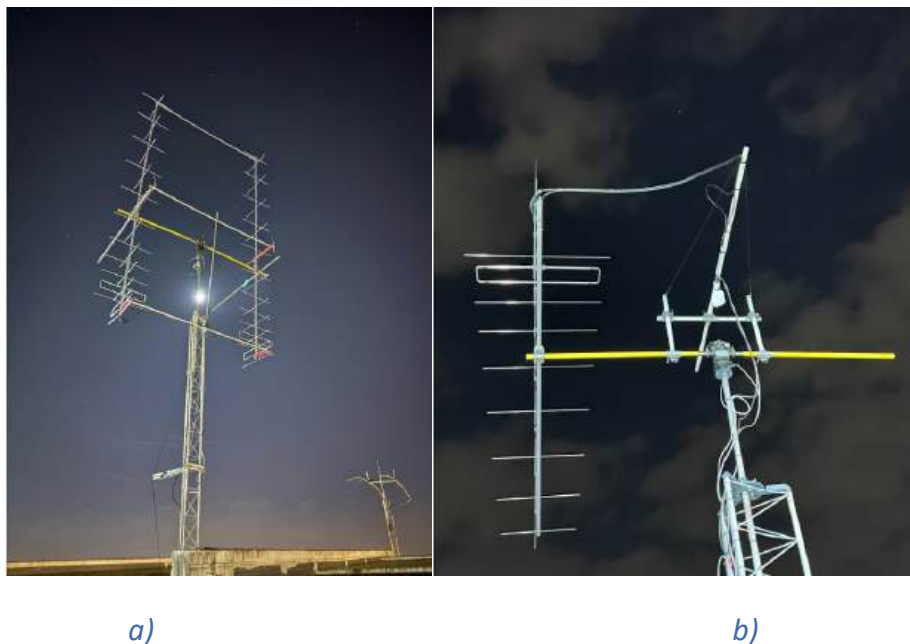


Figura 3 – Antenas instaladas propositadamente para receber os sinais do ISTSat-1: a) no CS5CEP; b) no CT2GUR.

Do lado do software, recorreram-se a TNCs (de software) capazes de efectuar correcção cega de erros, explorando a possibilidade de “consertar” mensagens com CRC inválido através de inversões automáticas de bits. Embora este método não seja adequado para comando e controlo, permitiu recuperar parte da telemetria que, de outra forma, seria totalmente perdida.

Para melhorar ainda mais a taxa de erro de bits (BER), os sinais recebidos em diferentes estações passaram a ser combinados. Uma primeira abordagem baseada em votação por maioria revelou-se insuficiente perante taxas de erro elevadas (ver fig. 4).

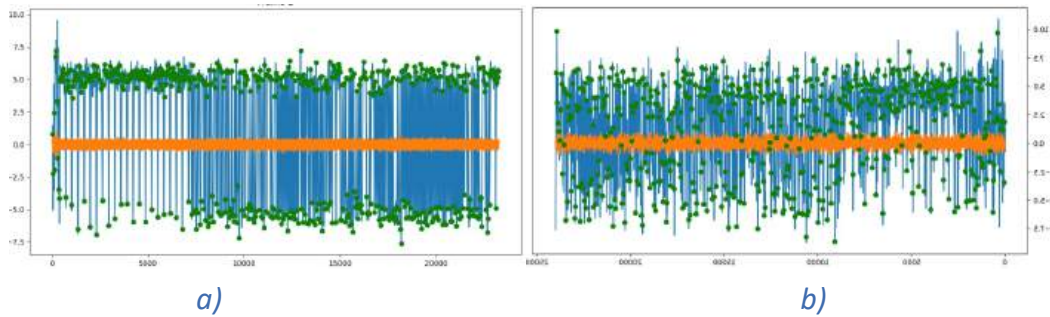


Figura 4 – Combinação de amostras de várias estações com votação por maioria: a) BER reduzido; b) BER elevado.

A solução mais robusta consistiu em descodificar cada mensagem, individualmente em cada estação, identificar o cabeçalho dos pacotes como marcador de sincronização e, posteriormente, fazer a média dos “soft bits” de todas as fontes.

A partir deste ponto foi possível começar a receber, regularmente, a telemetria do satélite que permitia verificar que:

- o modo SAFE estava em execução;
- as antenas tinham desenrolado sem problema;
- o sistema de *detumbling* está operacional, permitindo manter o satélite com uma baixa velocidade de rotação ($0,5^\circ/s$);
- os painéis solares carregam eficazmente a bateria, que está quase permanentemente nos 100% de carga (no modo SAFE o consumo é mínimo);
- a temperatura interior varia entre os 4°C e os 6°C , com a utilização de aquecedores (funcionaram) para manter a temperatura da bateria;
- o algoritmo de *pointing* não foi activado pois depende do desbloqueio da *firewall* de *uplink* (ver abaixo).

Na fig. 5 estão representados alguns valores registados da telemetria, recebidos em Outubro de 2024. Vê-se claramente que o satélite opera no modo SAFE, que a bateria está carregada e que já foram transmitidas centenas de pacotes de telemetria desde o último reset (o satélite re-inicia a cada 2 dias, se não for comandado a partir da estação de solo).



Figura 5 – Extracto (snapshot) da página de monitorização do estado do satélite, obtido a partir da aplicação web Grafana®, após a estabilização das condições de recepção...

Infelizmente, com esta configuração, em que as mensagens no canal descendente têm de ser processadas à posteriori, não é possível receber relatórios longos (nem dados de missão) por impossibilidade de abrir o mecanismo de autenticação, dada que o protocolo exige a capacidade de diálogo bidireccional com o satélite. Era necessário engendrar uma forma de contornar este problema ...

Comandar sem ouvir: uma funcionalidade crucial

Para se conseguir concretizar a missão era imprescindível comandar o satélite, passando-o do modo SAFE para o modo NORMAL. Para isso ter-se-ia de enviar comandos que não passem pela *firewall* usada no canal ascendente. Felizmente, durante a concepção dos vários subsistemas (daqui se vê a vantagem de desenvolver em vez de simplesmente comprar), antecipou-se a possibilidade de existirem problemas na execução do protocolo de controlo do satélite e criou-se uma forma de fazer passar os comandos necessários de forma alternativa. Para isso, explorou-se um canal secundário de comandos de alta prioridade, que contorna o mecanismo normal de autenticação (dependente da correcta descodificação do *downlink*).

Através deste canal foi possível, por exemplo, ligar todos os subsistemas e alterar parâmetros de transmissão. O sucesso destas operações foi avaliado observando directamente as características dos sinais transmitidos, sem necessidade de descodificar explicitamente os pacotes.

Esta capacidade revelou-se fundamental, permitindo validar funcionalidades básicas do satélite e otimizar a sua configuração mesmo em condições de recepção muito adversas.

A fig. 6 ilustra o conjunto de mensagens de telemetria enviadas entre fim de Junho e final de Agosto de 2025 usando a mesma página de monitorização obtida a partir da aplicação web Grafana®.

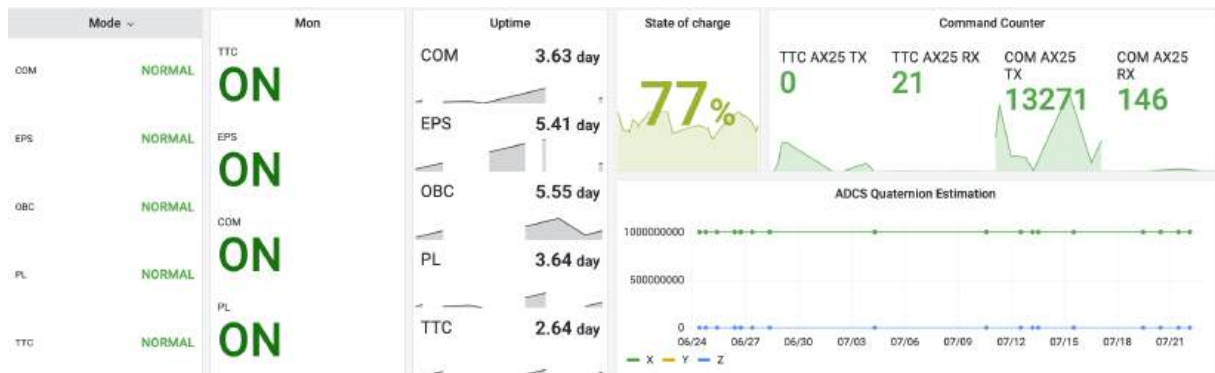


Figura 6 – Extracto (snapshot) da página de monitorização do estado do satélite, obtido a partir da aplicação web Grafana®, após a introdução de comandos privilegiados.

Nesta figura verifica-se que todos os sistemas se encontram ligados e a funcionar em modo NORMAL e em que os pacotes transmitidos e recebidos são agora processados pelo subsistema COM (processador de comunicações), em vez de provirem do TT&C, exclusivamente, como anteriormente. Com a entrada em funcionamento dos subsistemas com maior consumo (COM e Payload) observa-se que a bateria deixa de estar sempre carregada totalmente, desempenhando o seu papel de “buffer de energia” sempre que o consumo do satélite aumenta para valores não suportáveis directamente pelos painéis solares. Claro que, ao longo das órbitas seguintes, e quando não é solicitado trabalho aos restantes subsistemas, a bateria tem oportunidade de ser recarregada através dos painéis solares.

Estado actual da missão

Mais recentemente, melhorias no segmento de solo permitiram passar a decodificar pacotes de forma consistente e sem erros. Este avanço possibilitou a activação do *Payload* pela primeira vez, em órbita, e o início da sua caracterização.

Tem-se verificado a existência da recepção de mensagens de sistemas de ADS-B, conforme se constata na fig. 7. Essas mensagens têm chegado incompletas não se tendo ainda conseguido detectar mensagens inteiras. Este comportamento é, por agora, espectável já que este *Payload* foi inicialmente concebido para a órbita inicialmente prevista pelo programa *Fly Your Satellite!* a 400 km de altitude e não a de 580 km, onde se encontra o ISTSat-1. Espera-se conseguir detectar mensagens completas mais facilmente com a passagem do tempo devido ao decaimento da órbita.

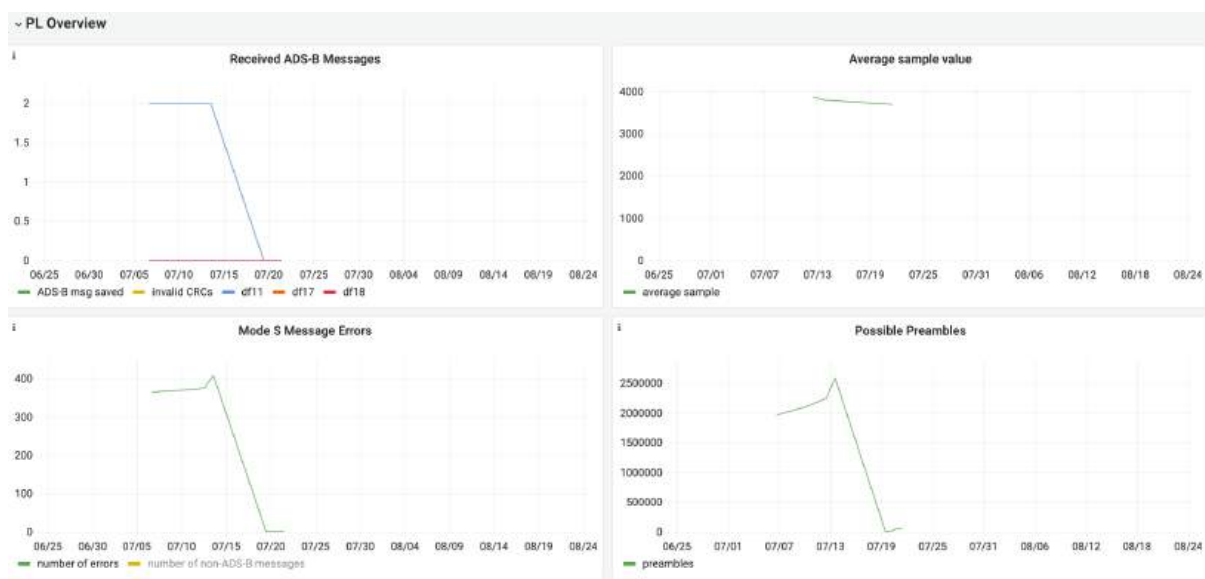


Figura 7 – Extracto (snapshot) da página de monitorização do estado do satélite, obtido a partir da aplicação web Grafana®, relativo ao Payload.

Os esforços actuais centram-se na abertura gradual da *firewall* para permitir procedimentos de comando mais complexos através do canal standard, na descarga de *logs* e telemetria histórica para uma melhor avaliação do desempenho do satélite, e nos testes do controlador de *pointing*, que deverá juntar-se ao já operacional sistema de detumbling.

Lições para o futuro

A operação do ISTSat-1 tem-se revelado difícil, fruto do problema com a potência dos sinais recebidos, mas tem permitido tirar conclusões importantes:

- Necessidade de testes de desempenho do TT&C durante a integração, e não apenas testes funcionais.
- Impacto da escolha da banda de *downlink*. A escolha da banda dos 2m têm-se revelado muito penalizante em função do ruído que é bastante elevado nesta banda. O ganho de 3 dB na ligação descendente face ao que se teria em 70 cm não justifica a sua utilização. Outros aspectos, como o débito binário que se obtém ou até a dimensão das antenas, também são relevantes.
- Valor de um caminho de comando independente no *uplink*. A sua utilização permite tornar problemas e pôr em prática soluções expeditas na comunicação com o satélite.
- Flexibilidade na recuperação de dados de telemetria.
- Planeamento de passes tendo em conta limitações regionais de comando.

Onde está o ISTSat-1 agora?

Use o seguinte QR e procure na lupa por ISTSat-1.



Agradecimentos

Este trabalho conta com a imprescindível contribuição dos colegas do IST NanosatLab envolvidos neste trabalho, os Eng^{os} Manuel Santos e José Mateus, futuros radioamadores, bem como dos colegas da AMRAD, envolvidos na construção e reconstrução (como na recuperação pós-tempestade Martinho) das estações de solo: Moisés Piedade-CT2ZO, Jorge Matias-CT2HBZ e Victor Silvestre-CT1WO. Agradeço também a correcção deste artigo ao colega do IST NanosatLab, Dr. João Paulo Monteiro.

Por fim, mas não por último, uma palavra especial para o nosso colega Paulo Delgado-CT2GUR que foi fundamental para o sucesso deste projecto de recuperação da missão do ISTSat-1 que, de outra forma, se tornaria extremamente difícil; ainda hoje a sua contribuição se faz sentir na preparação da fase que se segue.

NOTA: o autor escreve segundo a ortografia anterior ao Acordo de 1990.