



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES PARA COLETA DE DADOS AMBIENTAIS

CONASAT-0

**DOCUMENTO DE DESCRIÇÃO DO
TRANSPONDER DIGITAL**

Versão 1.1

CNS-DDD-PY-07-001-V1.1

Abril, 2014

Registro de Propriedade do Documento

Autores	Organização	Data	Assinatura
João Carlos Pecala Rae	INPE/CRN	22/11/2013	
Hélio de Sousa Peres	INPE/CNPq	23/04/2014	
Ana Carolina Salvador Ourique	INPE/CNPq	25/04/2014	

Revisão/Aprovação	Organização	Data	Assinatura
João Carlos Pecala Rae	INPE/CRN	22/11/2013	

Histórico de Revisão

Edição	Revisão	Data	Modificações	
1ª	00	21/11/2013		
1ª	01	23/04/2014	Atualização, Correção e Formatação	
1ª	01	25/04/2014	Atualização, Correção e Formatação	

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	4
2 - DOCUMENTOS APLICÁVEIS E REFERENCIADOS	4
2.1 - DOCUMENTOS APLICÁVEIS	4
2.2 - DOCUMENTOS REFERENCIADOS	4
3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO	5
3.1 - RECURSOS	5
3.2 - OBJETIVOS	5
3.3 - FUNÇÃO	5
3.4 - DESCRIÇÃO DO PROJETO	6
3.4.1 - <i>ESTÁGIO DE ENTRADA</i>	7
3.4.2 - <i>PROCESSADOR DIGITAL</i>	9
3.4.1 - <i>ESTÁGIO DE SAÍDA</i>	11
3.4.1 - <i>GERADOR DE FREQUÊNCIAS</i>	13

1 - INTRODUÇÃO

Este documento descreve o projeto do Transponder Digital DCS desenvolvido no INPE / CRN em Natal / RN.

2 - DOCUMENTOS APLICÁVEIS E REFERENCIADOS

2.1 - DOCUMENTOS APLICÁVEIS

Os seguintes documentos, aqui citados, fazem parte desta especificação. No caso de um conflito entre esta especificação e os documentos desta seção, esses documentos devem prevalecer.

Código/Número	Tipo do Documento	Publicação
[DA1]	Transponder de Coleta de Dados para um Nano-Satélite do SBCDA – Processo nº 560150/2010-5- Edital AEB/MCT/CNPq Nº 033/2010.	
[DA2]	Documento de Requisitos do Usuário e da Missão – DRUM	CONASAT
[DA3]	ECSS-E-ST-10-06C: Space engineering - Technical requirements specification	ECSS

2.2 - DOCUMENTOS REFERENCIADOS

Código/Número	Tipo do Documento	Publicação
[DR1]	CNS-DCI-PY-07-001-V2 – Controle de Interface	CONASAT

3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO

3.1 - RECURSOS

O projeto está sendo desenvolvido com recursos do INPE, AEB e do CNPq. O projeto "Desenvolvimento de um Transponder de Coleta de Dados para um Nano-Satélite do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, Transponder de Coleta de Dados para um Nano-Satélite do SBCDA" - Processo nº 560150/2010-5 foi aprovado no Edital AEB/MCT/CNPq Nº 033/2010.

3.2 - OBJETIVOS

- Desenvolver um Transponder de Coleta de Dados, que possa ser embarcado a bordo de futuros Nano-Satélites desenvolvidos para a Coleta dos Dados das PCDs – Plataformas de Coletas de Dados que integram o atual Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais – SBCDA, em especial os Nano-satélites CONASAT, aplicando novas tecnologias digitais de telecomunicações e processamento de sinais, contribuindo para a continuidade do SBCDA.
- Contribuir para a Formação, Qualificação e Capacitação de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas do Setor Espacial Brasileiro, através da Capacitação de Recursos Humanos e a Agregação de Especialistas no CRN para realizar o estudo detalhado e o desenvolvimento de um Subsistema para Coleta de Dados Ambientais embarcado em Satélites Artificiais, dentro do âmbito do Projeto.

3.3 - FUNÇÃO

O Transponder de Coleta de Dados em desenvolvimento tem a função de receber os sinais das plataformas de Coleta de Dados - PCDs do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais - SBCDA na faixa de frequências de UHF e enviar estes sinais na faixa de frequências de Banda-S para as Estações Terrenas Receptoras do SBCDA, para posterior processamento e distribuição.

Mais especificamente, o Transponder deve desempenhar as seguintes funções:

- a) Receber os sinais das PCDs na faixa de frequências de 401,635 MHz $\pm$ 30 KHz e na faixa de potências de **-123 a -98 dBm**;
- b) Rebater os sinais das PCDs para a frequência de 95 KHz e com largura de banda de 60 KHz;
- c) Com esta faixa de frequências, modular em fase, com índice de modulação constante, uma portadora em 2,26752 GHz;
- d) Amplificar este sinal para os níveis de potência requeridos para transmissão às Estações de Recepção Terrenas;

e) Receber Telecomandos e enviar telemetrias ao subsistema computador de bordo do Nano-Satélite para controlar e monitorar a sua operação.

3.4 - DESCRIÇÃO DO PROJETO

O Diagrama de Blocos Geral do Transponder é apresentado na Figura 1 e descrito a seguir:

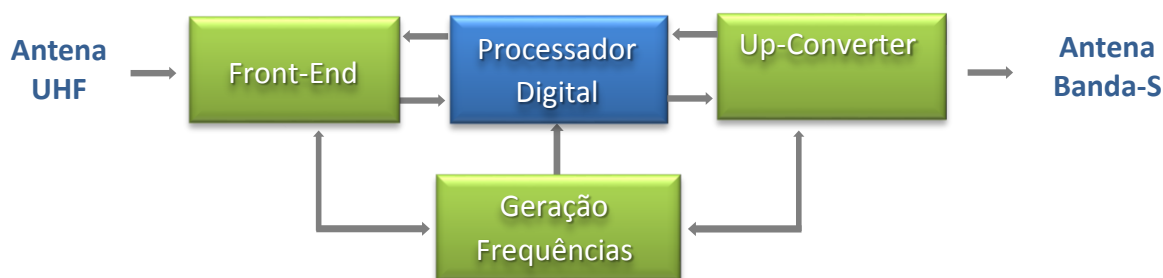


Figura 1 - Diagrama em Blocos Geral do Transponder.

Os Sinais das PCDs, que chegam ao Nano-Satélite através de uma antena UHF, entram no Bloco Estágio de Entrada do Transponder, onde são filtrados, amplificados e convertidos para frequências inferiores e entregues ao Bloco Processador Digital. Neste Bloco, inicialmente o Conjunto dos Sinais das PCD's é convertido para Banda-Base e digitalizado; em seguida, o Conjunto Modula em fase, digitalmente, com Índice de Modulação constante, em uma portadora. Este Sinal Modulado é então entregue ao Bloco Estágio de Saída, onde é convertido para analógico, filtrado, rebatido para a Frequência de 2,26752 GHz, e amplificado para envio à antena de Banda-S e transmissão às Estações de Recepção Terrenas. O Bloco Inferior da figura realiza a Geração das Frequências necessárias à Correta Operação do Transponder.

Os Blocos Descritos no Diagrama foram construídos utilizando-se sempre que possível "Componentes Comerciais de Prateleira" - "COTs", e privilegiando-se na escolha a sua Procedência (Fabricante com Boa Reputação), Baixo Consumo e Alto Nível de Integração, visando minimizar as dimensões dos Circuitos. Desta forma, todos os CIs do projeto são produzidos por fabricantes conceituados no mercado, com Ampla Faixa de Temperatura de Operação e Alta Confiabilidade. Para os CIs do fabricante Analog Devices, inclusive, estão disponíveis os seus Dados Estatísticos de Qualidade e Confiabilidade.

Os Blocos do Projeto Transponder e o seu Funcionamento são detalhados a seguir:

3.4.1 - ESTÁGIO DE ENTRADA

A seguir é apresentado o Diagrama de Blocos detalhado do Transponder, destacando o Bloco Estágio de Entrada composto por Condicionador de Entrada e Conversor de Frequência e Parte do Bloco Gerador de Frequências. Figura 2.

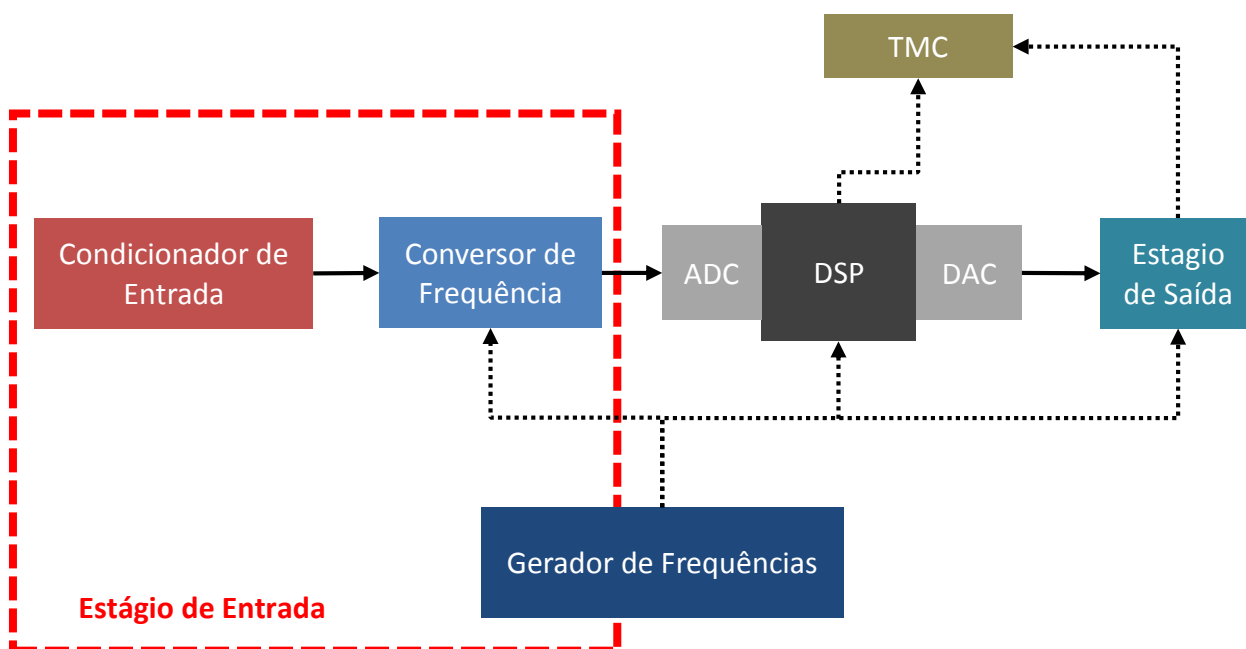


Figura 2 - Diagrama em Blocos Detalhado do Transponder- Estágio de Entrada em Destaque.

Observação:

- AGC: Controle Automático de Ganho; TMC: Telemetria e Comando;
- ADC: Conversor Analógico Digital; DSP: Processador Digital de Sinais;
- DAC: Conversor Digital Analógico.

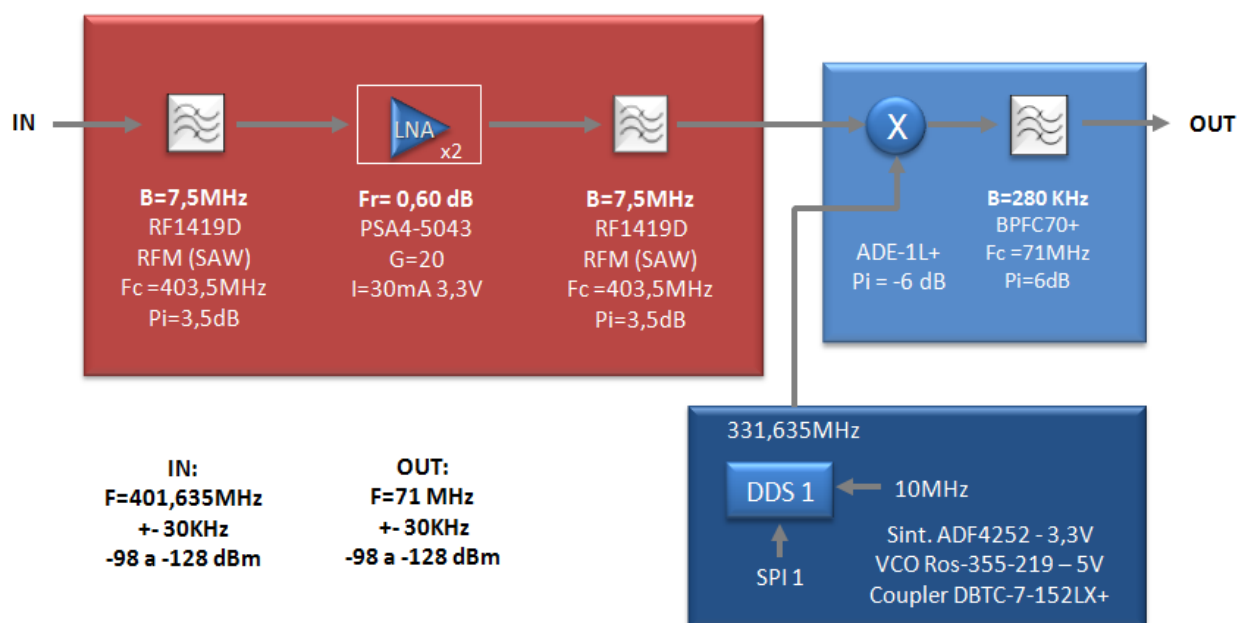


Figura 3 - Bloco Estágio de Entrada (em Vermelho - Condicionador de Entrada e Azul Claro- Conversor de Frequência) e Parcial Bloco Gerador de Frequências (Azul Escuro).

O conjunto dos sinais das PCDs, centrado na frequência de 401,635 MHz, após entrar no Bloco Estágio de Entrada segue o seguinte caminho:

- 1º. É filtrado pelo SAW RF1419D, componente de alta confiabilidade da Murata e indicado para aplicações médicas. Este filtro possui banda estreita, dimensões reduzidas e baixa perda de inserção;
- 2º. É amplificado na cadeia composta por 2 LNAs (Amplificador de Baixo Ruído) modelo PSA 5043 da Mini-Circuits, fabricante conceituado na área aeroespacial. Este amplificador apresenta baixa figura de ruído e baixo consumo de potência;
- 3º. É novamente filtrado pelo SAW RF1419D RFM;
- 4º. É convertido para a frequência intermediária de 70 MHz pelo misturador passivo ADE-1L+ da Mini-Circuit, e usando um sinal de oscilador local (*Local Oscillator* - LO) de 331,635 MHz;
- 5º. É filtrado pelo Filtro BPFC70+ da Mini-Circuit, com banda de 1MHz;
- 6º. É entregue ao Bloco Processador Digital.

O sinal de 331,635 MHz utilizado pelo misturador provém do Bloco Gerador de Frequências (representado parcialmente) em Azul Escuro, e é gerado pelo VCO Ros-355-219 da Mini-Circuit e o Sintetizador ADF4252 da Analog Devices, empresa líder mundial em circuitos integrados para processamento de sinais.

3.4.2 - PROCESSADOR DIGITAL

É apresentado o Diagrama de Blocos detalhado do Transponder destacando o Bloco Processador Digital (Conversores AD e DA, Processador Digital de Sinais - DSP e Telemetria e Comando - TMC) e + Parcial Bloco Gerador de Frequências:

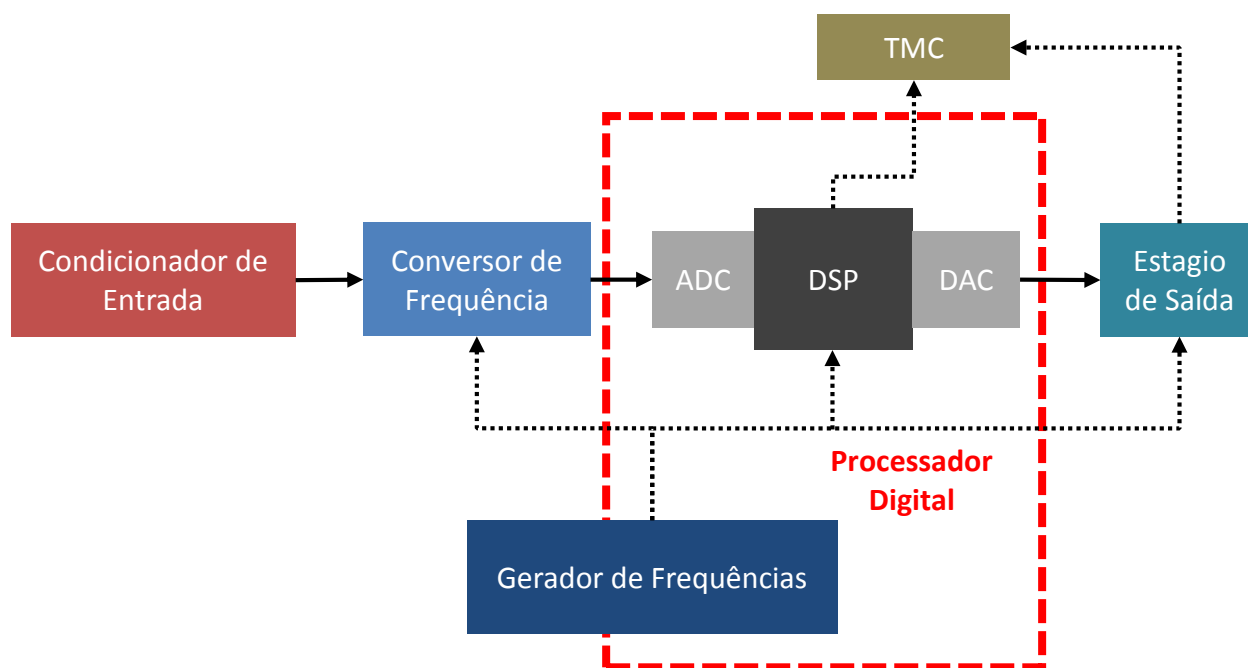


Figura 4 - Diagrama em Blocos Detalhado do Transponder - Processador Digital em Destaque.

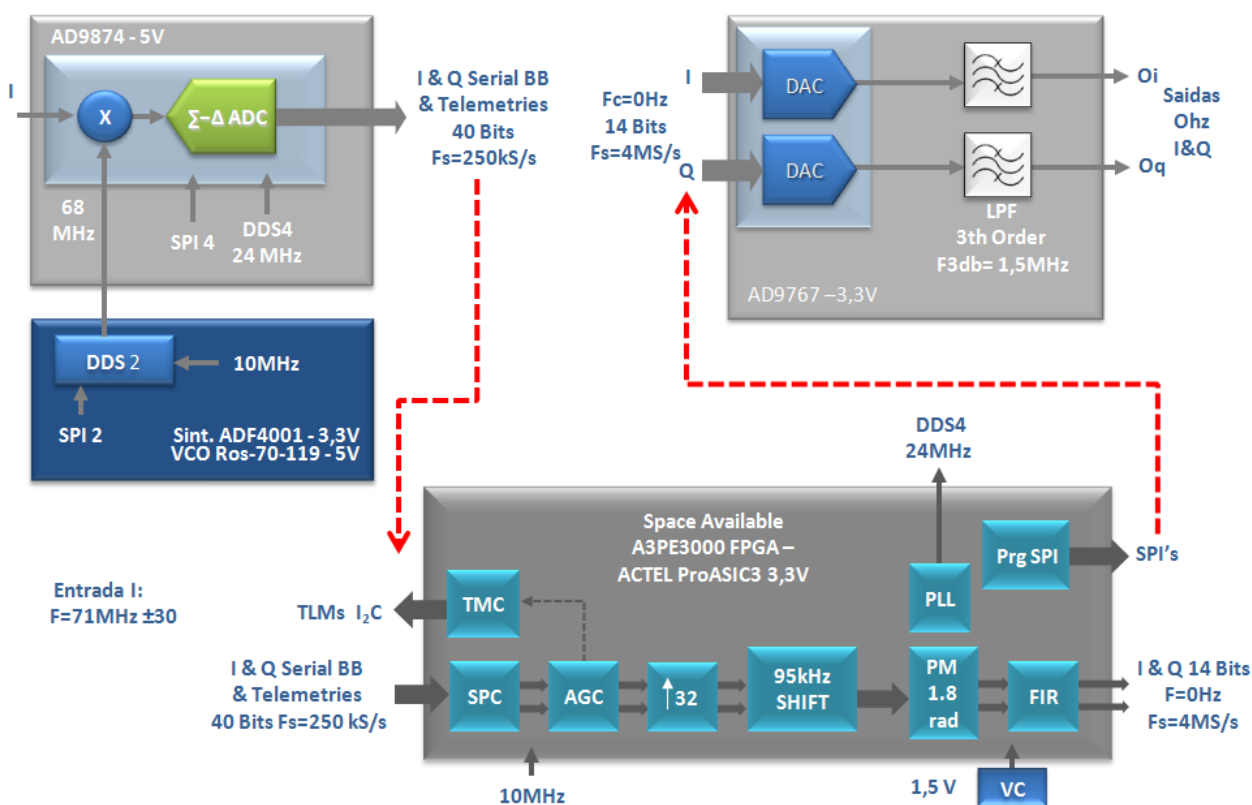


Figura 5 - Bloco Processador Digital e Parcial Bloco Gerador de Frequências.

O dispositivo digital reprogramável que executa o processamento digital do sinal é o FPGA A3PE3000 da Actel. Este dispositivo foi escolhido por existir um componente equivalente da mesma empresa certificado para aplicação espacial. Além disso, o dispositivo possui memória não volátil do tipo FLASH, o que se traduz em uma maior robustez contra a corrupção dos dados pela radiação espacial.

Nesta etapa, o conjunto dos sinais das PCDs convertido para 70 MHz oriundo do Estágio de Entrada do Transponder segue o seguinte caminho:

- 1º. É convertido (DownConversion) para Banda-Base e digitalizado em fase e quadratura (I & Q) pelo circuito integrado AD9874 (Analog Devices), que digitaliza sinais de baixo nível e possui alta faixa dinâmica;
- 2º. É convertido de serial para paralelo, no sub-bloco SPC ("Serial/Parallel Converter");
- 3º. É amplificado por um AGC de forma a garantir um valor RMS constante;
- 4º. É filtrado por um filtro FIR passa-baixa, com BW = 65 KHz no Bloco FIR;
- 5º. É submetido a um "Up-Sampling" x32;
- 6º. É rebatido para a frequência central de 95 kHz, no sub-bloco DUC ("Digital Up Converter");
- 7º. O sinal resultante modula em fase, digitalmente, com índice de modulação constante de 1,8 rad uma portadora com frequência de 0Hz em I&Q;

- 8º. É convertido para analógico no conversor AD9767 da Analog Devices, de Baixo Consumo de Potência;
- 9º. É Filtrado por Filtros FIR Passa-Baixa de terceira Ordem de 800KHz, e Entregue ao Bloco Estágio de Saída para conversão de Frequências e Envio à Estação Terrena.

O bloco Processador Digital incorpora também as funções de telemetria, telecomando e configuração dos diversos CI's do projeto via interfaces SPI e I²C. Entre as funções de telemetria monitoradas, estão a estimativa do desvio padrão e do fator de crista do sinal de entrada.

O bloco recebe também o sinal de frequência de 68 MHz, gerado pelo sintetizador ADF4001 da Analog Devices e do VCO Ros-70-119 da Mini-Circuits, provindo do bloco gerador de frequências.

O regulador linear chaveado LM2852XMXA-1.5 Texas Instruments, de alto rendimento e baixo consumo de potência, recomendado para utilização com FPGA, é responsável por prover a alimentação do "Core" de 1,5V do FPGA.

3.4.1 - ESTÁGIO DE SAÍDA

Um diagrama de blocos detalhado do transponder é apresentado destacando o bloco Estágio de Saída e + parcial bloco gerador de frequências:

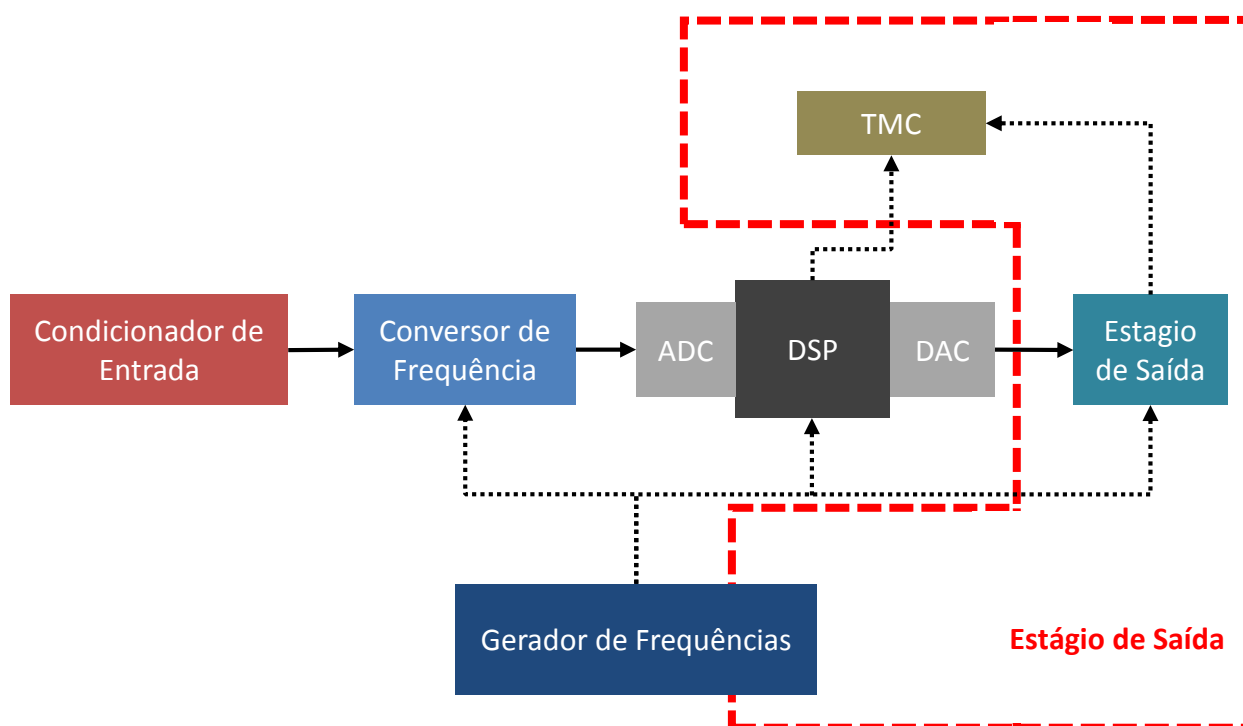


Figura 6 - Diagrama em Blocos Detalhado do Transponder- Estágio de Saída em Destaque.

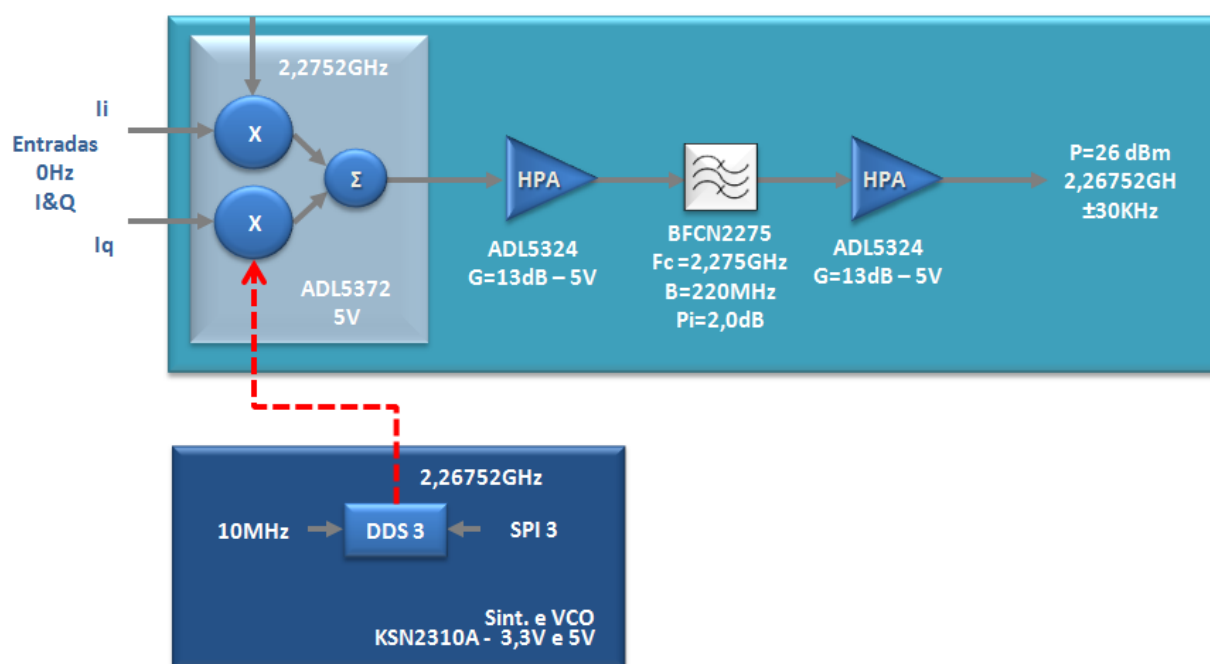


Figura 7 - Bloco Estágio de Saída e Parcial Bloco Gerador de Frequências.

Os sinais analógico I&Q resultante da modulação em fase da portadora em 0 Hz:

- 1º. São misturados e convertidos para a frequência de 2,26752 GHz no modulador de quadratura ADL5372 da Analog Devices, escolhido pela sua excelente precisão de balanço de fase e de amplitude;
- 2º. É filtrado pelo filtro passa-baixa BFCN2275 Mini-Circuits;
- 3º. É amplificado por uma cadeia de dois CIs ADL5324 da Analog Devices, escolhido pela alta linearidade, baixo consumo, 13 dB de ganho e P1dB de 28 dBm;
- 4º. É enviado para uma antena transmissora que opera na banda-S.
- 5º. Uma amostra do sinal final das PCDs modulado, amplificado e transmitido às estações terrenas é colhida pelo CI detetor de potência AD8361 ("TruPwr Detector") da Analog Devices, escolhido pela estabilidade em temperatura e baixo consumo, e enviado como telemetria através do Conversor AD MCP3425 Microchip;
- 6º. Da mesma forma, uma amostra de temperatura do amplificador de saída é enviada como telemetria através do CI Sensor LM92 Texas Instruments.

O bloco recebe também o sinal de frequência de 2,26752GHz, gerado pelo sintetizador da Analog Devices, provindo do Bloco Gerador de Frequências.

3.4.1 - GERADOR DE FREQUÊNCIAS

Apresenta-se aqui, o restante do bloco gerador de frequências, constituído do Relógio Atômico em escala de chip CSAC SA.45s Symmetricom, que opera como frequência de referência para o projeto:

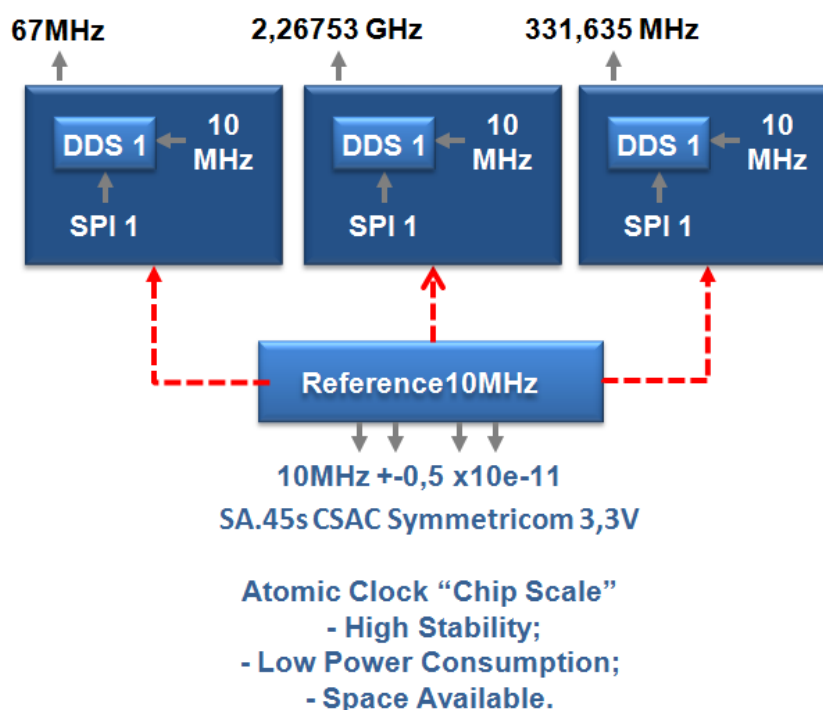


Figura 8 - Bloco Gerador de Frequências - (Parcial Restante).

Este CI's tem alta estabilidade e muito baixo consumo (115 mW), e é responsável por fornecer uma base de tempo estável de 10 MHz $\pm 5 \times 10^{-11}$ necessária à correta operação do Transponder.