

Introdução

Este documento tem por objetivo servir como base para o entendimento da operação das cargas úteis do NanosatC-Br2, para a realização de um trabalho da disciplina CSE-329 de Operação de Satélites. Este trabalho será um simulador de operação do NanosatC-Br2, no contexto dos comandos solo-bordo.

Sonda de Langmuir (SLP)

O objetivo principal da sonda de Langmuir é observar a distribuição global da densidade e temperatura de elétrons na ionosfera. Numa sonda de Langmuir (SLP) a corrente entre o plasma e um sensor metálico é medida em função do potencial aplicado ao sensor. O sensor da SLP proposto possui a forma de duas fitas finas metálicas retangulares com comprimento de aproximadamente 150mm a 180mm e largura de aproximadamente 20mm. Um potencial elétrico aplicado no sensor faz com que o sensor colete corrente (da ordem de nanoampere) cuja intensidade depende da densidade numérica e a temperatura dos elétrons.

A sonda é dividida em dois módulos, sendo o primeiro a placa onde se encontra o sensor propriamente dito e a eletrônica para o sensoriamento como amplificadores e geradores de polarização; e o segundo a placa onde é localizado o microcontrolador responsável pelo controle da sonda e agindo como interface para o computador de bordo, através do protocolo I2C.

A sonda coletará dados, e a cada segundo empacotará os dados através de uma Fast Fourier Transform (FFT) em pacotes de 100B representativos deste segundo decorrido. A sonda possui a princípio um buffer de 30KB, portanto consegue armazenar 300 pacotes de dados, que são 300 segundos de leitura. Ao preencher o buffer, a sonda aguardará o comando do computador de bordo para transmitir os pacotes, esvaziar o buffer e poder assim reiniciar o armazenamento de dados no buffer. Cada início de leitura o computador de bordo proverá um timestamp para a sonda, e cada pacote de dado armazenado a partir deste timestamp tem um contador que indica quantos segundos se passaram após o início da leitura, e as leituras devem ser feitas de modo contínuo.

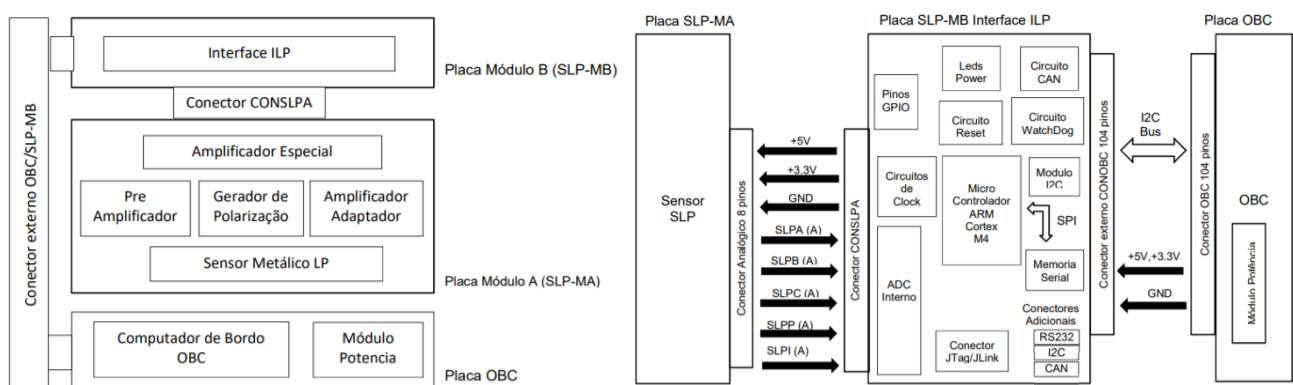


Figura 1: Modelos Estruturais da Carga Útil Sonda de Langmuir

A sonda possui um buffer de 30KB em uma RAM (volátil) interna, e 1 segundo de leitura de dados preenche um pacote e 100B, portanto o buffer se enche em 300 segundos de leitura (300 pacotes de 100B = 30KB). A leitura de dados deve ser contínua para que o experimento seja corretamente feito. Assim, a sonda coletará 5 minutos contínuos de dados, toda vez que for acionada para coletar.

Para que a sonda inicie a leitura, o computador de bordo enviará o comando SetDateTime contendo um timestamp (data e hora local), após confirmar se a sonda está disponível (através do comando SlaveReady). A partir deste momento, a sonda entrará no modo dedicado à coleta de dados onde qualquer comando que receber durante os 5 minutos de coleta, responderá com SlaveBusy. Desta forma, o computador de bordo saberá se a sonda está disponível para troca de informações.

Passado o período de coleta de dados, o computador poderá enviar comandos como:

- SetBloTx, onde determinará o número N de blocos de 100B de dados a ser transmitido a cada transação. N deve ser um inteiro entre 1 e 10.
- SetBloIndex, onde determinará o índice i (0 a 299) dos blocos da memória onde a transmissão de dados começará.
- StartTx, onde comanda a sonda transmitir N blocos a partir do índice i e aguarda o número de bytes esperado.

Assim, o computador de bordo entra no procedimento de atualizar o índice i e solicitar N blocos até completar a transmissão total do buffer da sonda. Após isso, deve armazenar o buffer de maneira apropriada para a telemetria e enviar novamente o comando SetDateTime reiniciando assim o ciclo de operação da sonda.

Os comandos citados são listados na Tabela 1:

Comando	Byte	Descrição
SlaveReady	0xF0	Perguntar se Slave está pronto para receber comandos
SetDateTime	0xF1	Envia data e hora para o timestamp do header de cada bloco e indica à interface que deve começar a preencher o buffer de 30K
SetBlockTx	0xF2	No. de blocos de 100 bytes a enviar
SetBloIndex	0xF3	Seta índice do bloco do buffer a ser enviado
StartTx	0xF4	Começar a transmissão

Tabela 1: Lista de Comandos para a Sonda de Langmuir

O diagrama de sequência da Figura 2 é um exemplo de como operar a carga útil:

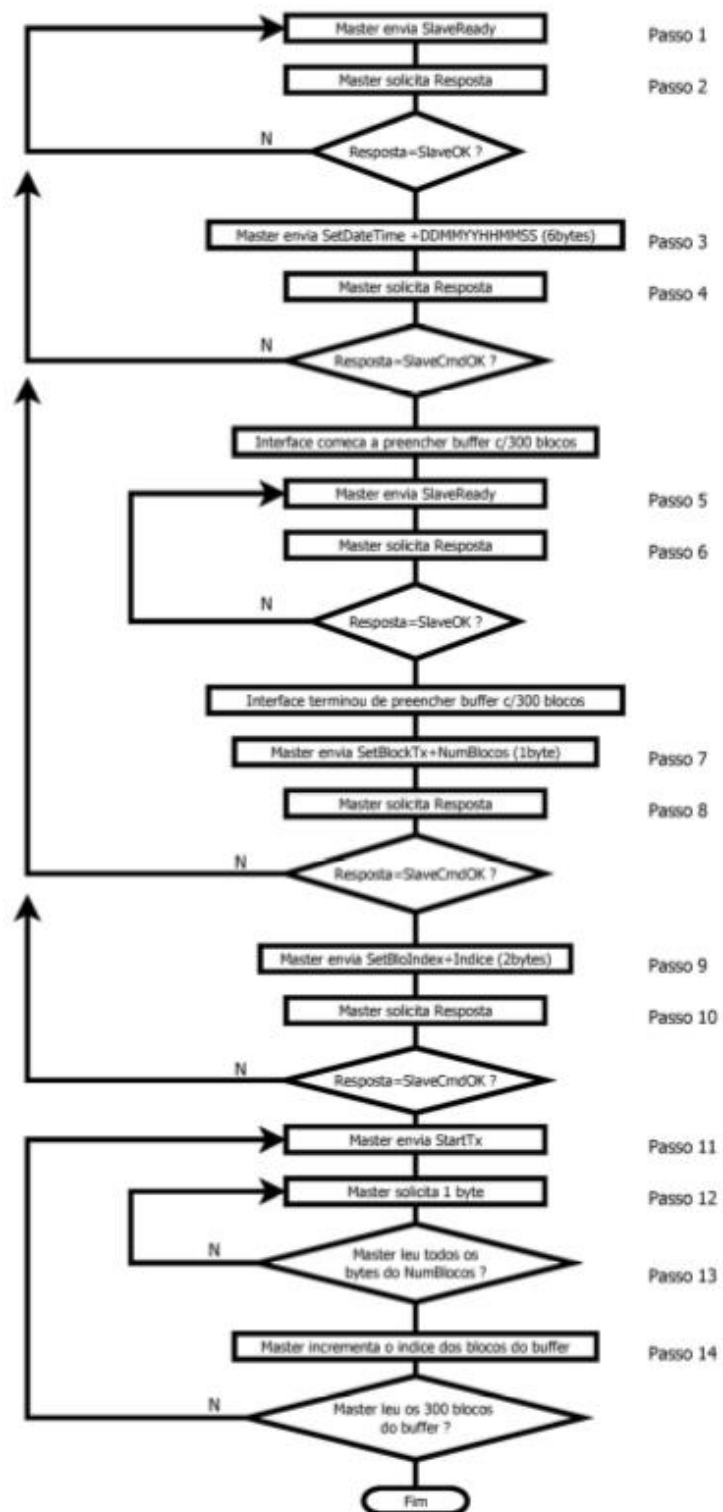


Figura 2: Diagrama de Sequência da Sonda de Langmuir

O modelo *Timed Automata* exemplo da SLP é mostrado nas figuras a seguir:

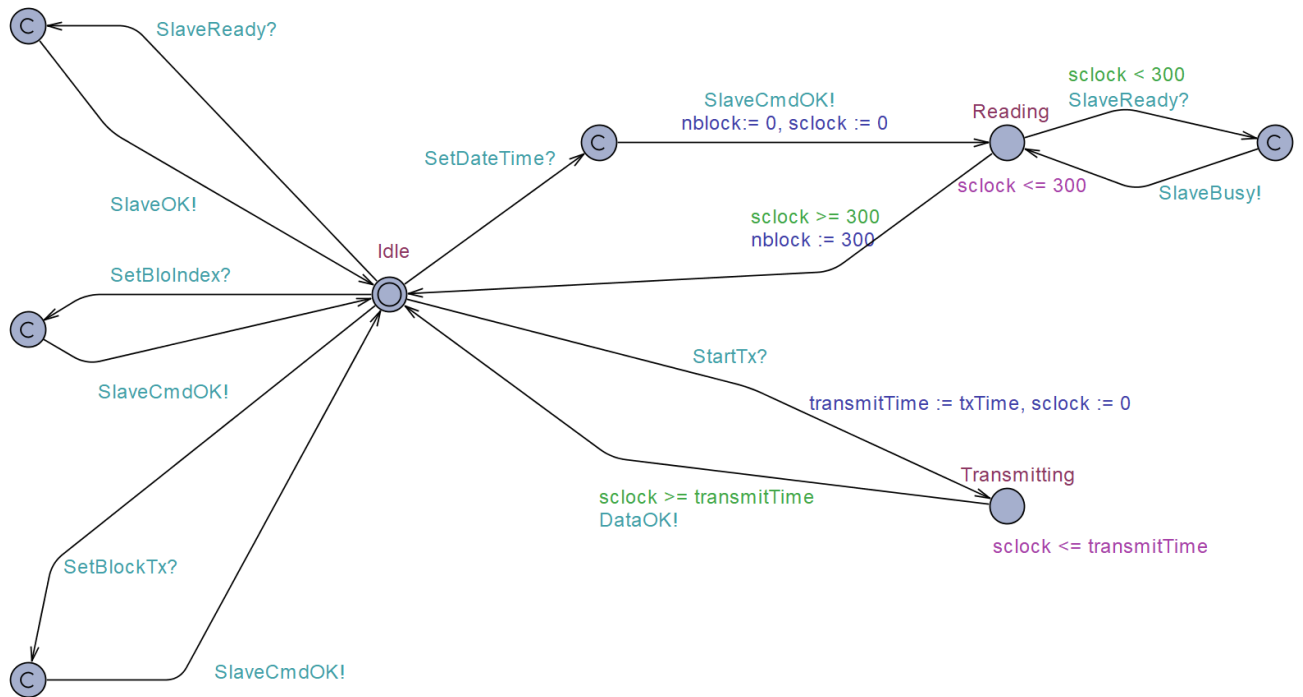


Figura 3: Modelo Timed Automata da SLP

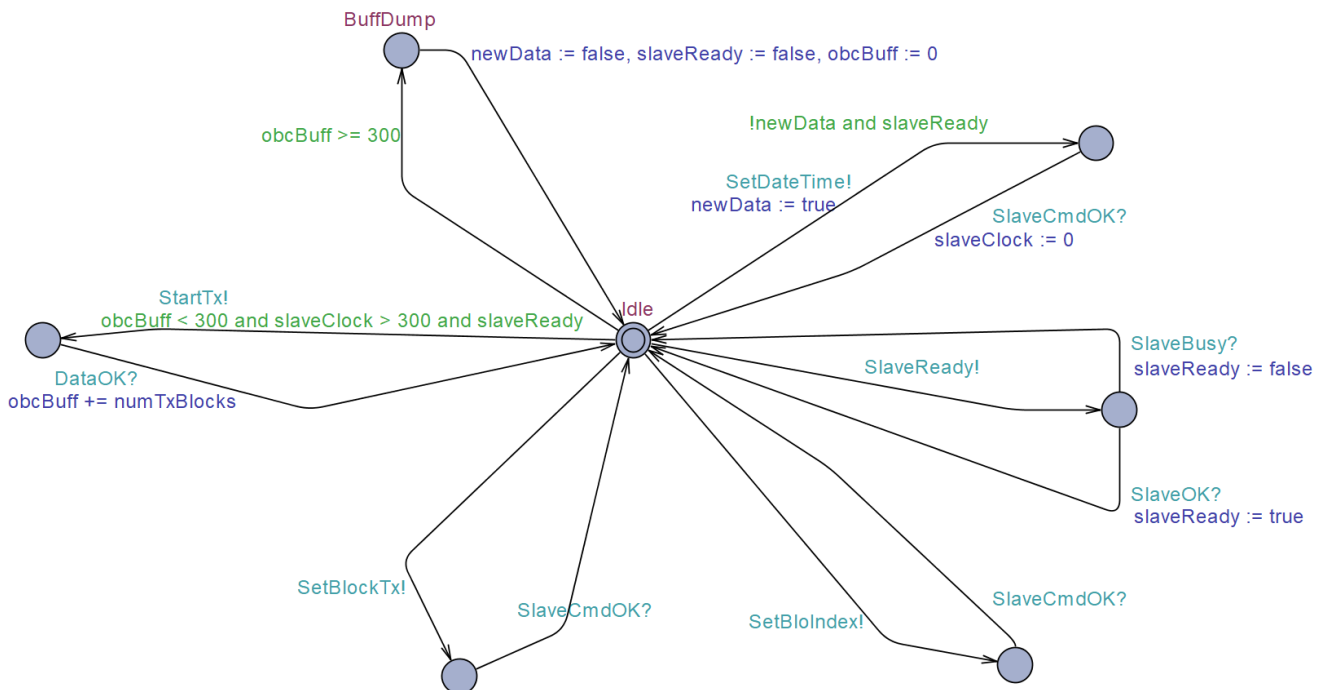


Figura 4: Modelo Timed Automata do OBC operando a SLP

Sistema de Determinação de Atitude Tolerante a Falhas - SDATF

O SDATF é uma carga útil científica, identificada como uma única placa de circuito impresso composta por 3 microcontroladores, um magnetômetro de 3 eixos modelo XEN-1210, cristais de oscilação, resistores, capacitores e conectores. O SDATF tem por propósito calcular a atitude em três

eixos do NanosatC-BR2 a partir de medições obtidas do magnetômetro de três eixos embarcado em sua própria placa, medições dos sensores solares do satélite, o TLE (Two-Line Element Set) e o time-stamp da realização das medições.

É um experimento desenvolvido por uma parceria da UFMG e UFABC, que comparará seus cálculos da atitude com a atitude calculada para o controle de atitude do computador de bordo, para assim verificar e validar o sistema tolerante a falhas que podem ser causadas pelo ambiente espacial.

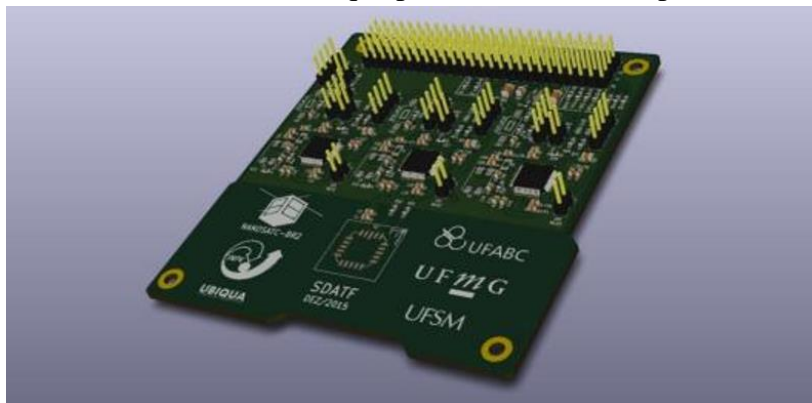


Figura 5: Modelo CAD 3D do SDATF

Na operação da carga útil, o computador de bordo possui dois comandos para interfacear:

- PCK_TASK, onde envia os dados das n últimas leituras dos sensores solares e timestamps das leituras, através de um pacote estruturado.
- PCK_RESULT, onde o computador de bordo solicita a telemetria dos dados referentes ao último comando de PCK_TASK enviado. Caso o computador de bordo solicite os resultados antes de ter esperado o tempo de processamento do task, ou sem ter realizado o comando de task, a carga útil retornará uma resposta vazia.

O computador de bordo deve tomar a precaução de realizar as leituras dos sensores solares apenas quando estiver exposto ao Sol, além de garantir que as bobinas magnetorquers estão desligadas no momento da leitura, pois o campo gerado pelas bobinas interfere nas leituras do magnetômetro embarcado na carga útil, que servirão como input para os cálculos do experimento.

A carga útil apresenta apenas um modo de operação, onde aguarda o recebimento do comando PCK_TASK com as leituras dos sensores solares enquanto realiza leituras do magnetômetro. A partir do momento que recebe as leituras do computador de bordo, ele seleciona as leituras do magnetômetro dos momentos mais próximos dos timestamps das leituras dos sensores solares e realiza os cálculos de determinação de atitude referentes ao experimento.

Descrição da operação:

No diagrama de sequência a seguir (Figura 6) é apresentada a interação entre o OBC, o SDATF, os sensores solares e as bobinas do Magnetorquer, em uma situação normal de funcionamento.

No entendimento do diagrama de sequência devem ser considerados os seguintes comportamentos:

- O funcionamento do SDATF é assíncrono, independente e paralelo ao funcionamento do OBC;
- As leituras do sensor solar válidas para envio ao SDATF devem ser feitas fora dos períodos de acionamento das bobinas do magnetorquer (ou qualquer outra fonte de campo magnético existente no sistema), fora da região de sombra e devidamente marcados com um time-stamp com resolução de milissegundos. As leituras também devem ter uma margem mínima de 50ms da atividade das bobinas;

- Leituras do sensor podem ser feitas durante os cálculos do SDATF;
- Bobinas podem ser acionadas durante os cálculos do SDATF ou envio de pacotes ao SDATF (PCK_TASK ou PCK_RESULT);
- O envio de um pacote PCK_TASK inicia o processo de cálculo de atitude no SDATF;
- O envio de pacotes PCK_TASK seguidos provoca o enfileiramento das tarefas a serem calculadas até o limite de memória disponível;
- A solicitação de resultados (PCK_RESULT) pode ser feita a qualquer instante, e provocará a retirada de até 10 resultados de cálculos da fila de saída. Caso a fila de saída esteja vazia, o retorno será uma lista vazia.

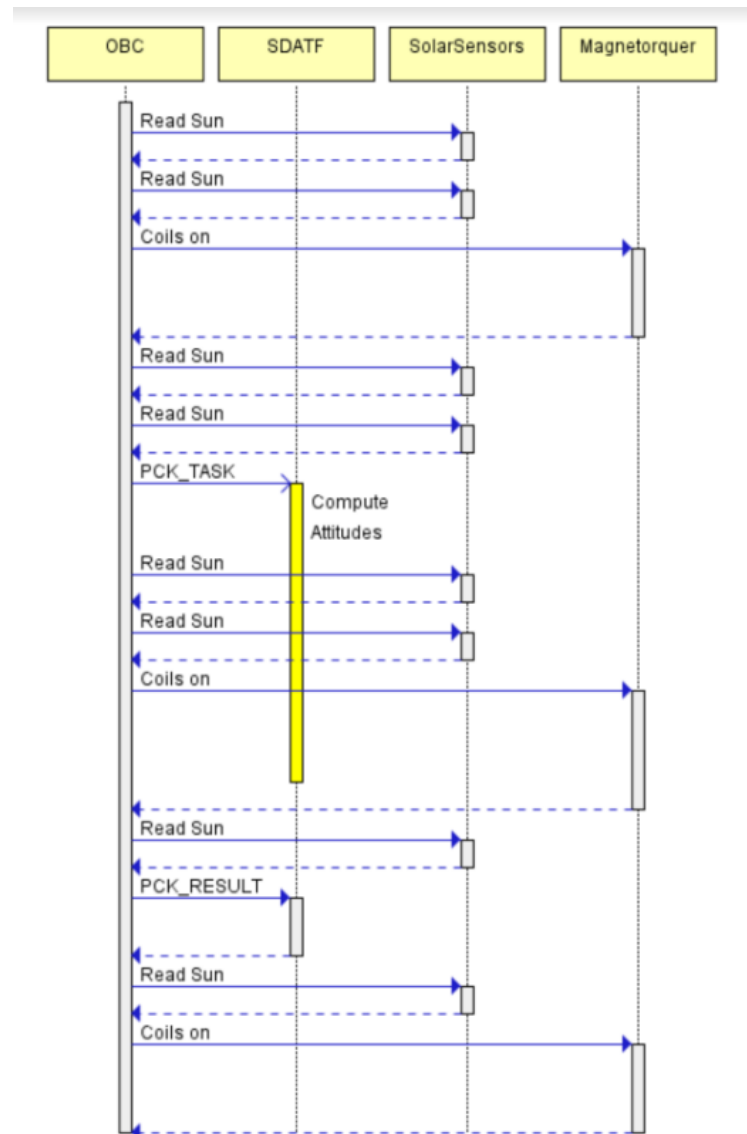


Figura 6: Diagrama de Sequência da Operação do SDATF

O modelo *Timed Automata* exemplo é mostrado nas figuras a seguir:

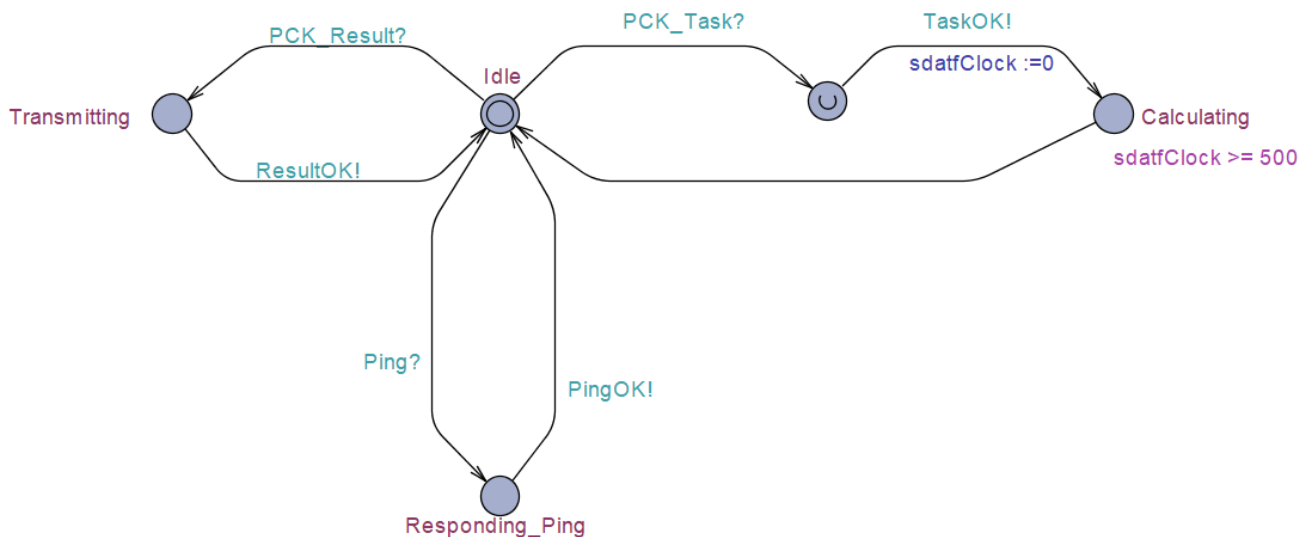


Figura 7: Timed Automata do SDATF

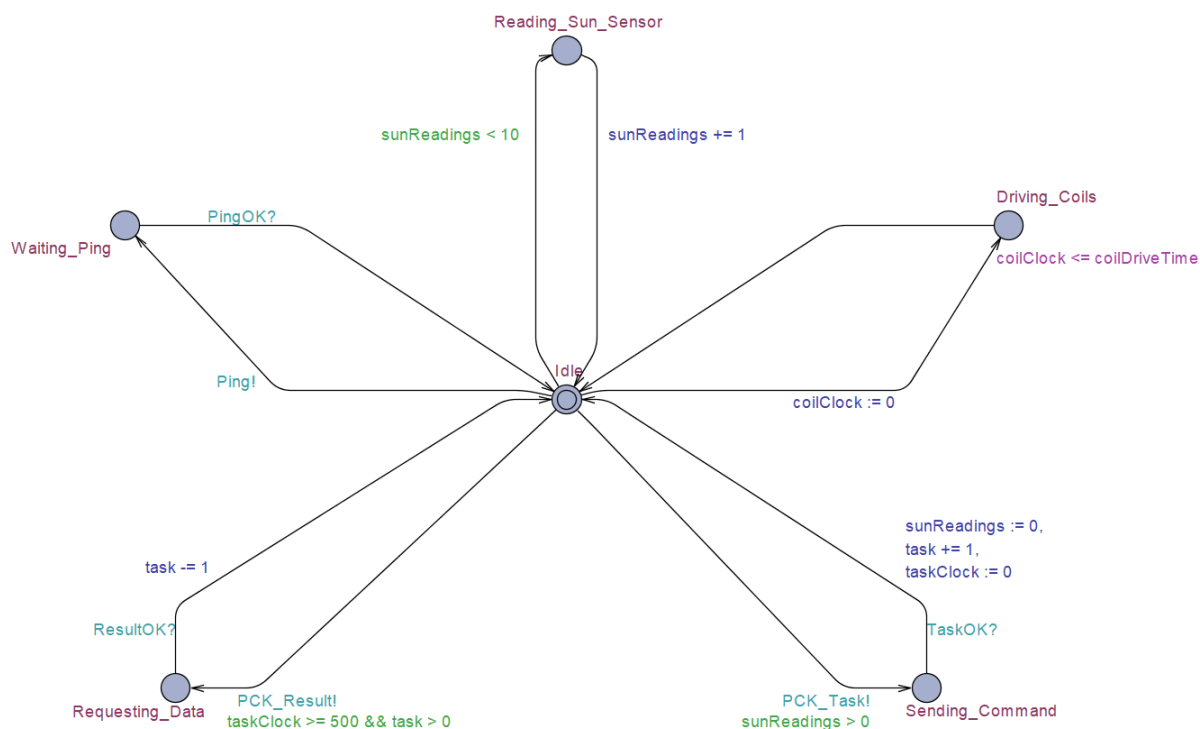


Figura 8: Timed Automata do OBC operando o SDATF

Experimento SMDH-UFSM-UFRGS

Esta carga útil, uma evolução da carga útil do Br1, carrega 3 componentes como experimento: um magnetômetro, um circuito integrado customizado, projetado pela SMDH, e um algoritmo projetado para rodar na FPGA (ARTIX). A interface da placa com o computador de bordo é feita através de um SoC com um microcontrolador e uma FPGA que cuidam das leituras dos experimentos e outras leituras de housekeeping. O diagrama de blocos na Figura 4 representa a estrutura da carga útil.

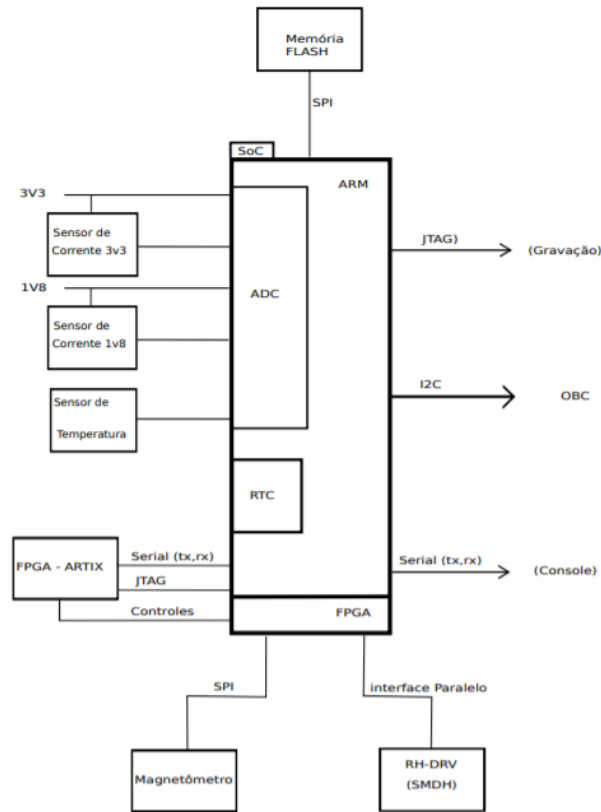


Figura 9: Diagrama de blocos da carga útil SMDH-UFSM-UFRGS

Para simplificar a operação, nos baseamos na lista de comandos dado pela Tabela 2:

Comando	ID	Descrição
GetTemp	0xA0	Solicita a leitura do sensor de temperatura
GetFPGA	0xA1	Solicita os dados do experimento da FPGA
GetSMDH	0xA2	Solicita os dados do experimento do chip SMDH
GetMag	0xA3	Solicita a leitura do Magnetômetro
GetConfig	0xA4	Solicita os parâmetros da configuração da carga-útil
SetConfig	0xA5	Modifica os parâmetros da configuração da carga-útil

Tabela 2: Lista de Comandos SMDH-UFSM-UFRGS

Esta carga útil não apresenta restrição em sua operação, e nem sequência ideal de operação ou de comandos. Apenas devem ser coletados os dados de todos os sensores e experimentos descritos acima.

O modelo *Timed Automata* exemplo da carga útil é mostrado nas figuras a seguir:

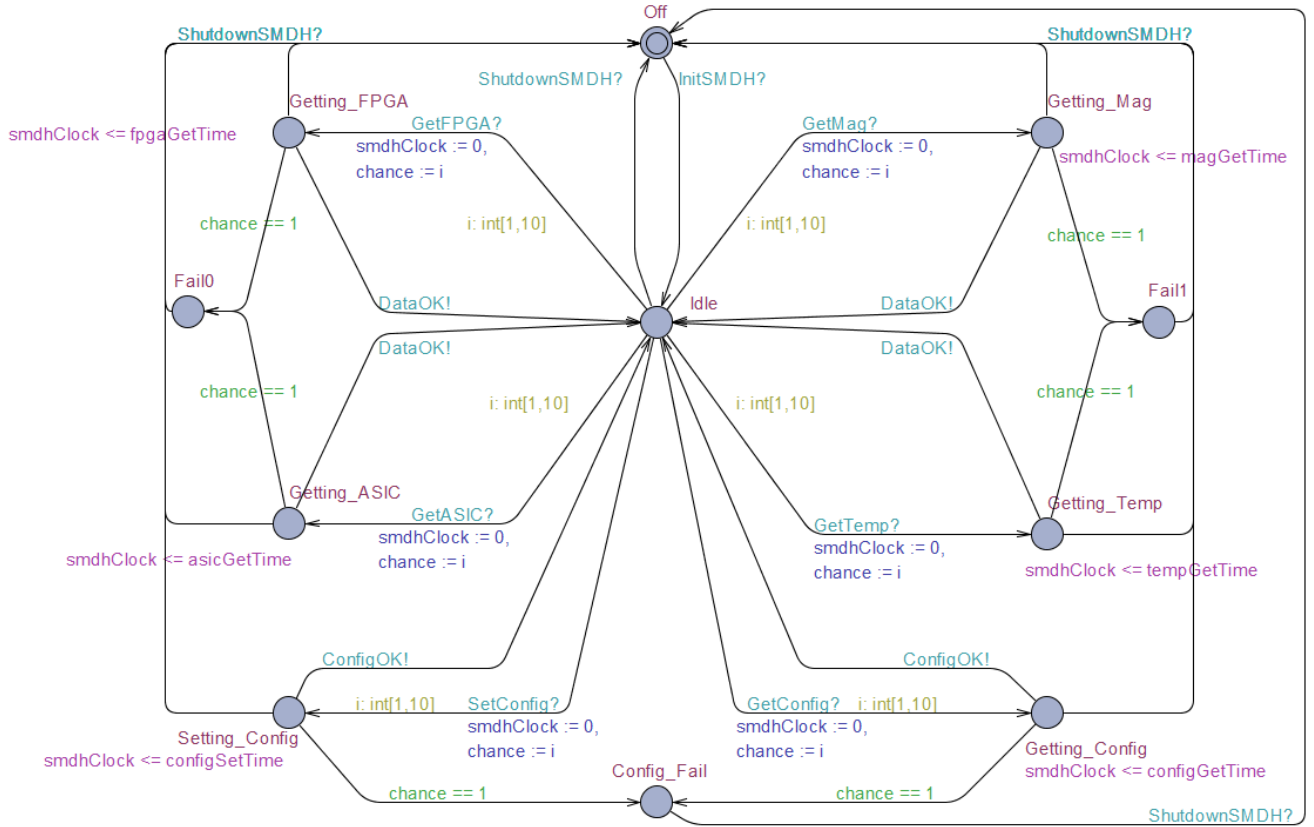


Figura 10: Modelo Timed Automata SMDH-UFSM-UFRGS

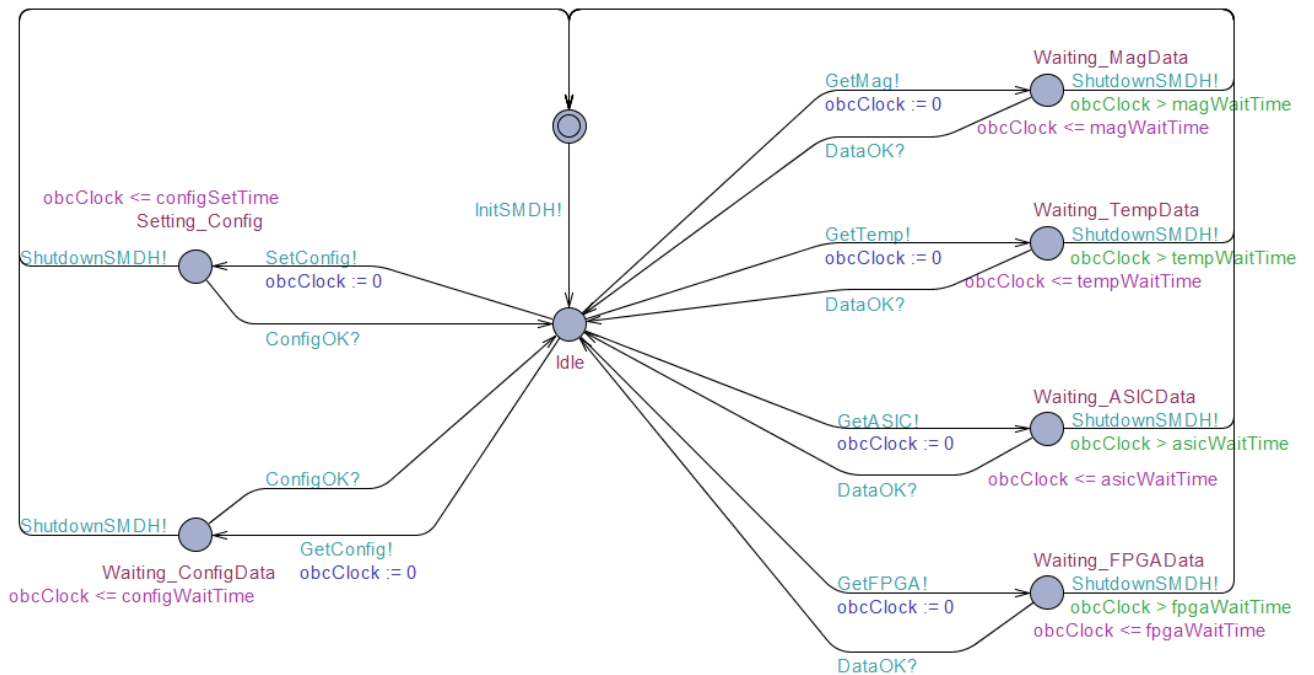


Figura 11: Modelo Timed Automara do OBC operando a carga útil