

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR WAGNER DE CAMARGO
ORLOF E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 28.07.2011.


.....
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Wagner de Camargo Orlof

**Condicionador Universal de Sinais para
Sensores Automotivos**

149/2011

Campinas, 2011.

Wagner de Camargo Orlof

Condicionador Universal de Sinais para Sensores Automotivos

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Automobilística.

Área de Concentração: Eletrônica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto dos Reis Filho

Campinas
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Or18c Orlof, Wagner de Camargo
Condicionador universal de sinais para sensores
automotivos / Wagner de Camargo Orlof. --Campinas,
SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Carlos Alberto dos Reis Filho.
Dissertação de Mestrado (Profissional) -
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Mecânica.

1. Sensores automotivos. 2. Processamento de sinais.
3. Microcontroladores. 4. Circuitos eletrônicos. I. Reis
Filho, Carlos Alberto dos. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III.
Título.

Título em Inglês: Universal signal conditioner for automotive sensors

Palavras-chave em Inglês: Automotive sensors, Signal processing,
Microcontrollers, Electronic circuits

Área de concentração: Eletrônica

Titulação: Mestre em Engenharia Automobilística

Banca examinadora: Marcello Bellodi, Rodrigo Reina Muñoz

Data da defesa: 28-07-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

**Condicionador universal de sinais para
sensores automotivos**

Autor: Wagner de Camargo Orlof

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto dos Reis Filho

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Carlos Alberto dos Reis Filho, Presidente
Instituição: CECS / UFABC / Santo André



Prof. Dr. Marcello Bellodi
Instituição: Centro Universitário da FEI / São Bernardo do Campo



Prof. Dr. Rodrigo Reina Muñoz
Instituição: CECS / UFABC / Santo André

Campinas, 28 de julho de 2011.

Dedico este trabalho aos meus pais José e Lourdes, e aos meus filhos Carlos, Eduardo, Guilherme e Fernando.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais pelo incentivo dado durante toda a minha vida.

À MWM International, pela iniciativa de promover o curso de Mestrado Profissional em Engenharia Automobilística.

Ao meu orientador, professor Dr. Carlos Alberto dos Reis Filho, por toda a ajuda, paciência e disponibilização do laboratório LPM para realização do trabalho de pesquisa e prototipagem.

A todos os professores do curso, pela incalculável contribuição em nossa formação.

Aos colegas de turma do curso de Mestrado, pela amizade e troca de experiências.

*A imaginação é mais importante que a ciência,
porque a ciência é limitada,
ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.*

(Albert Einstein)

Resumo

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um circuito de condicionamento de sinais para sensores automotivos. O desenvolvimento proposto visa resolver um problema de falta de flexibilidade dos circuitos de condicionamento dos módulos eletrônicos de controle usados na indústria automobilística. Foram analisadas também soluções encontradas na literatura científica em comparação com o cenário do problema apresentado. Para comprovação da hipótese da solução proposta, foi desenvolvido um protótipo do condicionador universal de sinais baseado em um microcontrolador SOC (*system on chip*). Dentro do universo de sensores automotivos e circuitos de condicionamento estudados, foram escolhidos três com características elétricas totalmente distintas, para os quais foram desenvolvidos os respectivos circuitos de condicionamento. Os circuitos foram caracterizados nos blocos analógicos e digitais de um microcontrolador PSoC (*Programmable system on chip*), que é um componente da empresa Cypress que possui um sistema completo no circuito integrado. Foi utilizada uma quantidade mínima de componentes externos ao microcontrolador para permitir a conexão dos sensores ao circuito. Também foi desenvolvido um “*firmware*” para controlar o carregamento das configurações de “*hardware*” para cada circuito de condicionamento. O resultado final foi um dispositivo condicionador universal capaz de se configurar conforme o sensor a ser conectado, selecionado através de entradas digitais. Foram realizados testes experimentais de funcionamento dos circuitos e da influência da temperatura no condicionador. O protótipo desenvolvido mostrou ser uma boa solução uma vez que foi capaz de condicionar adequadamente os sinais dos três tipos de sensores selecionados, um de cada vez.

Palavras-chave: 1. Sensores automotivos. 2. Processamento de sinais. 3. Microcontroladores. 4. Circuitos eletrônicos.

Abstract

This paper proposes the development of a signal conditioning circuit for automotive sensors. The proposed development aims to solve a problem of lack of flexibility in the conditioning circuits for electronic control modules used in the automotive industry. Solutions were also analyzed in the literature compared with the scenario of the problem. To prove the hypothesis of the proposed solution, it was developed a prototype of the universal signal conditioner based on a microcontroller SOC (system on chip). Within the universe of automotive sensors and conditioning circuits studied were chosen three sensors with totally different electrical characteristics, which were developed their conditioning circuits. The circuits were characterized in analog and digital blocks of a microcontroller PSoC (Programmable System on Chip), which is a component of the Cypress company that has a complete system on chip. A minimal amount of external components were used just to allow the microcontroller connection with the sensors. Also it was developed a "firmware" to control the loading of the settings of "hardware" for each conditioning circuit. The final result was a universal conditioner device capable to self reconfigure as the sensor to be connected, selected via digital inputs. Tests were conducted experimental operation of the circuits and the influence of temperature in the conditioner. The prototype proved to be a good solution since it was able to properly condition the signals from three types of sensors selected, one at a time.

Keywords: 1. Automotive sensors. 2. Signal processing. 3. Microcontrollers. 4. Electronic circuits.

Lista de Ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1: Diagrama de blocos do USCA (LARSON, HALLBERG, & MEDELIUS, 1994)..... | 6 |
| Figura 2: Diagrama de blocos do circuito configurável de condicionamento de sinal para múltiplos sensores | 8 |
| Figura 3: Diagrama de blocos do PSoC em alto nível (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008) | 11 |
| Figura 4: Blocos configuráveis do microcontrolador PSoC. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008) | 15 |
| Figura 5: Diagrama interno dos blocos analógicos CT e SC..... | 15 |
| Figura 6: Diagrama de blocos da solução proposta..... | 17 |
| Figura 7: Vista superior da placa “ <i>Invention Board</i> ” | 26 |
| Figura 8: Vista inferior da placa “ <i>Invention Board</i> ” | 26 |
| Figura 9: Diagrama de blocos do microcontrolador CY8C27443. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)..... | 28 |
| Figura 10: Imagem da área de trabalho do ambiente de desenvolvimento “ <i>PSoC Designer v5.0</i> ” | 29 |
| Figura 11: Tela de trabalho do aplicativo de programação | 31 |
| Figura 12: Vista detalhada dos blocos disponíveis no microcontrolador CY8C27443..... | 33 |
| Figura 13: Gráfico da variação da resistência do sensor em função da temperatura em escala linear. | 38 |
| Figura 14: Gráfico da variação de resistência pela temperatura do sensor | 39 |
| Figura 15: Modelo do circuito de condicionamento externo do sensor NTC | 40 |
| Figura 16: Valores de tensão de saída do divisor de tensão externo para o sensor NTC | 42 |
| Figura 17: Diagrama de blocos do condicionador NTC..... | 44 |
| Figura 18: Configuração dos blocos para o sensor NTC..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 19: Arranjo experimental para testes do circuito de condicionamento de sinal para o sensor de temperatura NTC. | 51 |
| Figura 20: Forma de onda do sinal PWM do condicionador de sinal para sensor NTC a 0°C. | 53 |
| Figura 21: Forma de onda do sinal PWM do condicionador de sinal para sensor NTC a 30°C. ... | 54 |
| Figura 22: Forma de onda do sinal PWM do condicionador de sinal para sensor NTC a 80°C. ... | 54 |
| Figura 23: Princípio construtivo do sensor de relutância variável. (TOYOTA) | 56 |
| Figura 24: Exemplo de sinal elétrico do sensor de relutância variável. | 58 |
| Figura 25: Circuito limitador de tensão externa. | 59 |
| Figura 26: Formas de onda do circuito de limitação do sinal entrada para o sensor RV. | 60 |
| Figura 27: Diagrama de blocos do condicionador de sinal para o sensor RV | 61 |
| Figura 28: Configuração dos blocos para o condicionador do sensor RV | 62 |
| Figura 29: Diagrama de blocos do arranjo experimental | 64 |
| Figura 30: Sinais de entrada e saída do condicionamento de sinal para o sensor RV à 1kHz. | 66 |
| Figura 31: Sinais de entrada e saída do condicionamento de sinal para o sensor RV à 10kHz. ... | 66 |
| Figura 32: Valores de capacitância do sensor em função da frequência e do ângulo de atuação. (CAMARGO, 2011) | 69 |
| Figura 33: Circuito em ponte para adequação do sinal do sensor capacitivo para o microcontrolador. | 70 |
| Figura 34: Formas de onda da ponte híbrida | 71 |
| Figura 35: Diagrama de blocos do condicionador para sensor capacitivo | 72 |
| Figura 36: Configuração dos blocos do microcontrolador SOC para o condicionador do sensor capacitivo..... | 73 |
| Figura 37: Formas de onda do condicionador para sensor capacitivo na posição máxima..... | 76 |
| Figura 38: Formas de onda do condicionador de sinal para sensor capacitivo na posição de repouso. | 76 |
| Figura 39: Esquema elétrico condicionador universal | 78 |

| | |
|---|----|
| Figura 40: Foto da placa de circuito impresso do protótipo do condicionador universal de sinais. | 79 |
| Figura 41: Foto da câmara climática do laboratório LPM - Unicamp | 83 |
| Figura 42: Foto da bancada com os instrumentos utilizados nos testes. | 84 |
| Figura 43: Variação percentual da tensão sobre o sensor em função da temperatura..... | 86 |
| Figura 44: Variação percentual do sinal PWM em função da temperatura..... | 86 |
| Figura 45: variação percentual da saída do circuito. | 88 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Lista das categorias de módulo de usuário disponíveis na família PSoC 1 (CYPRESS SEMICONDUCTOR, 2009) | 14 |
| Tabela 2: Características do sensor de temperatura. (BOSCH, 1997)..... | 37 |
| Tabela 3: Tensão no sensor NTC | 43 |
| Tabela 4: Valores calculados para o dado _{ADC} e % PWM em função da temperatura do sensor NTC. | 49 |
| Tabela 5: Parâmetros medidos do condicionador universal configurado para sensor de temperatura NTC. | 52 |
| Tabela 6: Tabela de comparação dos valores de ciclo de carregamento calculados com os medidos..... | 55 |
| Tabela 7: Dados das medições no circuito de condicionamento para sensor RV | 65 |
| Tabela 8: Parâmetros do circuito de condicionamento do sensor NTC | 85 |
| Tabela 9: Parâmetros do circuito condicionamento do sensor capacitivo x temperatura..... | 87 |

Lista de Abreviaturas e Siglas

A/D – Analógico para Digital

ABS – Sistema de freio anti bloqueante

ABS – Sistema de freio anti-bloqueio.

ACB – Bloco analógico contínuo no tempo

ADCINC – Nomenclatura utilizada no ambiente de desenvolvimento para identificar o conversor A/D.

ASC – Bloco analógico a capacitor chaveado modelo C

ASD – Bloco analógico a capacitor chaveado modelo D

BB – Bloco digital básico

Cap – Capacitor

CB – Bloco digital de comunicação

CI – Circuito integrado

CPU – Unidade central de processamento

CT – Contínuo no tempo

D/A – Digital para analógico

DB – Bloco digital

DC – Contador digital

DIL – Encapsulamento em linha dupla

DSP – Processador digital de sinais

E/S – Entradas e saídas

E/S – Mesmo que I/O

EEPROM – Memória PROM apagável eletricamente

ENCODER – Codificador

FEM – Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp.

FLASH – Memória EEPROM com rápida escrita e leitura

FPA – Matriz analógica programável

FPGA – Matriz digital programável

GMS – Sistema de medição em terra

I/O – Entradas e saídas
I²C – barramento de comunicação serial mestre-escravo
IDE – Ambiente de desenvolvimento integrado
LED – Diodo emissor de luz
LVDT – Transformador diferencial variável linearmente
MEMS – Sistemas micro eletro mecânicos
NTC – Coeficiente de temperatura negativo
PGA – Amplificador de ganho programável
PROM – Memória ROM programável
PSoC – Programmable system on chip (Sistema no circuito integrado programável)
PWM – Modulação por largura de pulso
RAM – Memória de acesso aleatório
ROM – Memória somente de leitura
RV – Relutância variável
RV – relutância variável
S&H – Amostra e retenção
SOC – System on chip (Sistema no circuito integrado)
SOP – Encapsulamento pequeno (passo dos terminais 0,635 mm)
SRAM – Memória RAM estática
SSOP – SOP comprimido (passo dos terminais 0,635 mm)
UART – Receptor/transmissor universal assíncrono
Unicamp – Universidade Estadual de Campinas
USB – Barramento serial universal
USCA – Amplificador universal de condicionamento de sinal
VNTC – Tensão no o sensor NTC
VREF – Tensão de referência
XC – Reatância capacitiva

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| Lista de Ilustrações..... | ix |
| Lista de Abreviaturas e Siglas | xiii |
| SUMÁRIO..... | xv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Metodologia..... | 1 |
| 1.2 Definição do problema e hipótese de solução..... | 2 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA..... | 5 |
| 2.1 Soluções encontradas na literatura..... | 5 |
| 2.1.1 O USCA..... | 5 |
| 2.1.2 O circuito configurável de condicionamento de sinal para múltiplos sensores..... | 8 |
| 2.2 Solução proposta..... | 10 |
| 2.2.1 Tecnologia utilizada | 10 |
| 2.2.2 Descrição da Solução proposta..... | 17 |
| 2.3 Sensores automotivos | 19 |
| 2.3.1 Sensores de “ <i>Powertrain</i> ” (FLEMING, 2001) | 20 |
| 2.3.2 Sensores de Chassi (FLEMING, 2001) | 22 |
| 2.3.3 Sensores de habitáculo (FLEMING, 2001) | 23 |
| 3 MODELAGEM E ANÁLISE EXPERIMENTAL | 25 |
| 3.1 Tecnologia utilizada..... | 25 |
| 3.1.1 Visão geral do ambiente de desenvolvimento | 29 |
| 3.1.2 Visão geral dos blocos configuráveis do microcontrolador | 32 |
| 3.1.3 Fluxo de projeto das configurações de circuito no ambiente de desenvolvimento . | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2 | Desenvolvimento e testes do protótipo do condicionador universal | 36 |
| 3.2.1 | Desenvolvimento do circuito de condicionamento para o sensor de temperatura NTC | 37 |
| 3.2.2 | Desenvolvimento do circuito de condicionamento para o sensor de relutância variável (RV)..... | 56 |
| 3.2.3 | Desenvolvimento do circuito de condicionamento para o sensor capacitivo..... | 68 |
| 3.2.4 | Projeto do protótipo do condicionador universal de sinais para sensores automotivos | 78 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 89 |
| 4.1 | Resultados do condicionador de sinal para sensor NTC..... | 89 |
| 4.2 | Resultados do condicionador de sinal para sensor de relutância variável | 89 |
| 4.3 | Resultados do condicionador de sinal para sensor capacitivo | 90 |
| 4.4 | Resultados gerais do condicionador universal..... | 90 |
| 5 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS | 91 |
| | Glossário..... | 94 |
| | APÊNDICE A – Código Fonte do Programa do Microcontrolador..... | 96 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Metodologia

Para realização deste trabalho foi adotada a seguinte metodologia de desenvolvimento:

- 1) Definição do problema – Dentro da indústria automobilística foi escolhido um problema real, que está relacionado a custo e qualidade na produção de módulos eletrônicos e sensores automotivos.
- 2) Hipótese da solução para o problema – Foi proposta uma possível solução, utilizando um microcontrolador com uma tecnologia relativamente nova denominada SOC (sistema no circuito integrado).
- 3) Pesquisa bibliográfica – Foram pesquisados trabalhos existentes na literatura científica que de alguma forma também poderiam ser soluções para o problema apresentado.
- 4) Concepção da solução – Foi selecionado um microcontrolador específico para implementar a solução proposta.
- 5) Aprendizado de ferramentas – Foi necessário estudar as características do microcontrolador selecionado, o seu ambiente de desenvolvimento e o funcionamento dos blocos configuráveis para poder realizar os primeiros experimentos práticos.
- 6) Implementação da solução – Primeiramente, foram configurados três circuitos de condicionamento para diferentes sensores automotivos individualmente. Na segunda etapa, os circuitos de condicionamento foram implementados mesmo projeto.
- 7) Experimentos e medições – Foram realizados testes funcionais e também medidas de parâmetros elétricos dos circuitos de condicionamento configurados na memória do microcontrolador.
- 8) Redação do texto – Foram redigidos os elementos pré-textuais e textuais da dissertação de mestrado, conforme o modelo definido pela FEM (faculdade de engenharia mecânica).

1.2 Definição do problema e hipótese de solução

Os circuitos de condicionamento de sinais fazem o tratamento dos sinais elétricos provenientes dos sensores, executando algumas ou todas as seguintes funções: atenuação, amplificação, mudança de nível, filtragem, linearização, filtragem, conversão e processamento. (BECKWITH, MARANGONI, & LIENHARD V, 1995, p. 259)

Na indústria automotiva são utilizados sensores como parte integrante dos diversos sistemas veiculares. Nesses sistemas os circuitos de condicionamento para os sinais dos sensores podem estar integrados em um mesmo encapsulamento junto com o elemento sensor ou podem estar dentro de um módulo eletrônico que irá ler o sinal.

Por outro lado, o ambiente veicular é extremamente agressivo e ruidoso aos circuitos eletrônicos. Cada veículo tem as suas características específicas e algumas outras são comuns à maioria deles. Isso faz com que o projeto de circuitos eletrônicos, seja realizado para uma aplicação específica ou, para certa família de veículos com características semelhantes. O desenvolvimento da eletrônica veicular está ligado ao atendimento de rígidas normas do setor e as necessidades do mercado. (SCHÄUFFELE & ZURAWKA, 2005, p. 1)

Quando é necessário desenvolver um novo módulo eletrônico ou um novo sensor para uma aplicação, estão envolvidos custos, que podem ser elevados dependendo do grau de desenvolvimento necessário. Para o mercado brasileiro essa é uma questão que muitas vezes impede ou retarda o emprego de novas tecnologias eletrônicas nos veículos nacionais.

Um problema que ocorre com frequência é a falta de flexibilidade dos sistemas eletrônicos. Por exemplo, quando é necessário, por questões de custo, substituir um sensor por outro mais barato de outro fabricante, porém com uma faixa de medição um pouco diferente, na maioria dos casos não é possível realizar a troca do sensor sem que seja necessário alterar algum componente do circuito de condicionamento. Em outra situação, se for necessário adicionar um sensor magnético ao módulo eletrônico e este possuir apenas entradas para sensores resistivos, a situação fica ainda

mais complexa porque os módulos eletrônicos são desenvolvidos com circuitos de condicionamento específicos para os sensores do sistema. O que novamente impede a utilização de um sensor diferente do especificado inicialmente sem que seja necessário implementar um novo circuito de condicionamento.

A mesma dificuldade ocorre na indústria de sensores, onde é desenvolvido um circuito de condicionamento para cada elemento sensor. Os circuitos podem ser construídos com componentes eletrônicos discretos ou integrados desenvolvidos especificamente para uma aplicação. Se for necessário mudar um elemento sensor, é necessário mudar também, no mínimo, o valor de algum componente do circuito de condicionamento.

O problema apresentado causa custos adicionais de desenvolvimento ou limitação de funcionalidade dos módulos eletrônicos.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um condicionador universal de sinais, de forma que o mesmo dispositivo possa ser utilizado para condicionar sinais de diferentes tipos de sensores automotivos. Utilizando como base do projeto um dispositivo analógico-digital programável que possui blocos funcionais analógicos e digitais integrados e configuráveis. Tais blocos podem ser configurados para formar um circuito eletrônico de condicionamento de sinal específico para cada tipo e modelo de sensor automotivo. Essas configurações de circuitos e todos os seus parâmetros podem ser armazenados na memória “*flash*” do microcontrolador contido neste dispositivo para serem reutilizados.

Quando for necessário conectar o condicionador universal a um sensor específico, será necessário apenas selecionar qual o tipo de sensor através de uma entrada digital do microcontrolador. Feita essa seleção o condicionador irá executar um processo de reconfiguração dinâmica, onde será carregada a configuração de circuito de condicionamento para aquele sensor selecionado. Caso seja necessário realizar ajustes de parâmetros como, ganho, fundo de escala ou valor zero, esses ajustes poderão ser realizados de forma simples, através de um ambiente de desenvolvimento rodando em um computador pessoal. Se não existir ainda um circuito de condicionamento

configurado na memória para o sensor, o mesmo ambiente de desenvolvimento poderá ser utilizado para construir essa configuração de circuito de condicionamento para o sensor.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Soluções encontradas na literatura

Dentro do cenário da literatura científica, foram pesquisados trabalhos que refletem de alguma forma uma solução similar a proposta desse trabalho para o problema apresentado.

2.1.1 O USCA

O primeiro trabalho pesquisado foi o desenvolvimento do USCA (Amplificador universal de condicionamento de sinal), dispositivo desenvolvido pelos engenheiros do Centro Espacial Kennedy em 1994 para realização de condicionamento de sinais de sensores. Esse dispositivo faz a aquisição dos dados dos sensores da plataforma de lançamento de foguetes. Ele trabalha integrado ao sistema de medição em terra. O amplificador foi projetado para se configurar automaticamente aos diversos tipos de sensores utilizados na plataforma. (LARSON, HALLBERG, & MEDELIUS, 1994)

O USCA foi desenvolvido para atender os requisitos do programa do ônibus espacial, como diminuição do tempo de preparação para medição, menor custo, confiabilidade nas medições, vida útil desejada de pelo menos 15 anos. O amplificador pode ser programado remotamente e também se configura automaticamente para se adequar ao sensor que foi conectado. Esta característica reduz o tempo de ajuste do sistema de medição para alguns segundos. Antes da utilização do USCA, eram gastas de 2 a 4 horas para preparar o equipamento para uma medição. Em um lançamento existe a possibilidade de se fazer a medição e aquisição de até 200 sinais diferentes. O USCA utiliza múltiplos dispositivos programáveis que realizam a configuração

automática. O projeto consiste de um bloco com conversores D/A (Digital para Analógico) para excitação do transdutor, um amplificador de ganho programável, um conversor A/D (Analógico para Digital) de 16 bits, um DSP (processador digital de sinal) para filtragem, linearização dos dados e compensação de temperatura e ao final o bloco de saída com uma saída analógica e uma digital. (LARSON, HALLBERG, & MEDELIUS, 1994)

O princípio de funcionamento do sistema de medição gira em torno das informações do dispositivo chamado “*Tag Ram*”. Esse dispositivo é montado no próprio cabo do sensor e armazena as informações do sensor como fundo de escala, faixa de calibração e coeficientes de linearização. Na figura 1 pode-se observar o diagrama de blocos do USCA:

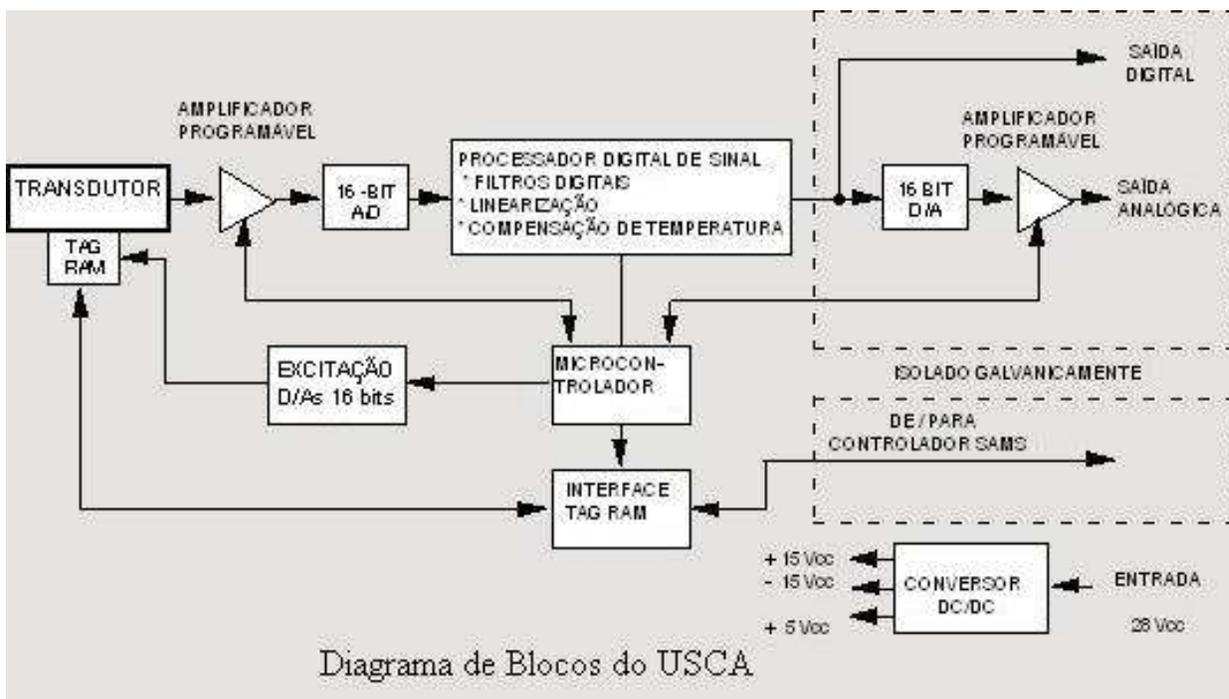


Figura 1: Diagrama de blocos do USCA (LARSON, HALLBERG, & MEDELIUS, 1994)

Pode-se observar na figura 1 que a arquitetura do USCA é extremamente elaborada. O sistema conta com um conversor DC/DC (corrente contínua para corrente contínua) que fornece as tensões de alimentação para os dispositivos analógicos e digitais. Para garantir o desempenho e a

precisão o USCA utiliza um micro controlador, um DSP (Processador Digital de Sinal), um conversor A/D 16 bits e dois conversores D/A também com 16 bits. Vê-se também o módulo “*Tag Ram*” que contém as informações do transdutor.

O sistema desenvolvido pelos engenheiros da NASA representa sem dúvida o estado da arte em sistemas de medição. O USCA em particular, é realmente uma referência para o desenvolvimento do condicionador universal para sensores automotivos, guardando as devidas proporções.

O USCA foi desenvolvido para substituir o sistema de medição antigo por um sistema mais moderno, confiável e flexível, visando atender o programa do ônibus espacial. Os investimentos no desenvolvimento do USCA foram divididos igualmente entre a NASA, o governo do Estado da Florida e uma empresa do setor privado. (LARSON, HALLBERG, & MEDELIUS, 1994)

2.1.2 O circuito configurável de condicionamento de sinal para múltiplos sensores

Outra solução encontrada na literatura foi o projeto de dois pesquisadores da universidade Estadual de Michigan, EUA, chamado circuito configurável de condicionamento de sinal para múltiplos sensores. A idéia foi desenvolver um circuito integrado que fosse capaz de realizar a leitura de sinais de até oito sensores simultaneamente e fosse capaz de ser configurado via programação. Foram desenvolvidos quatro circuitos básicos de condicionamento, chamados de interface, para sensores resistivos, sensores capacitivos, sensores com saída em tensão e corrente. (ZHANG & MASON, 2004)

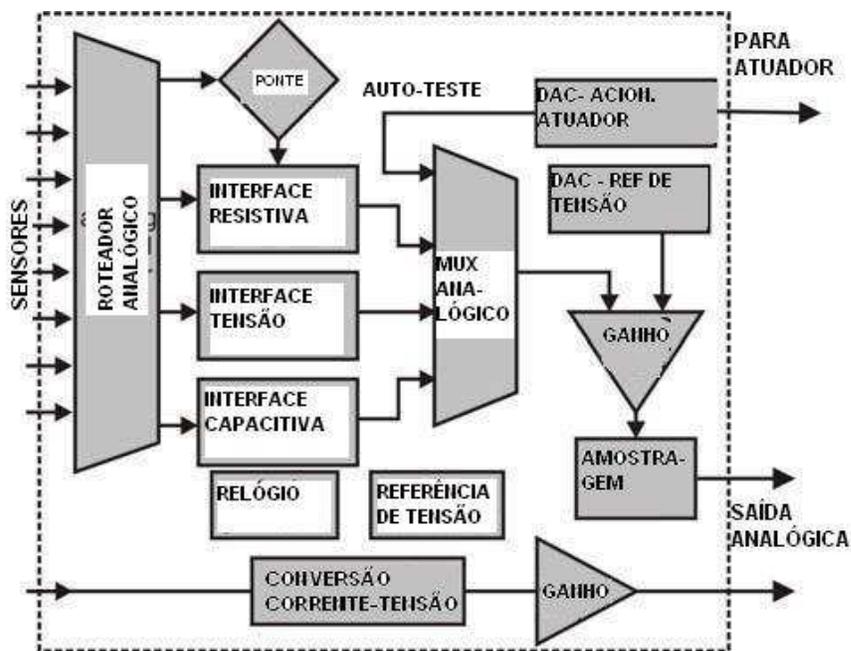


Figura 2: Diagrama de blocos do circuito configurável de condicionamento de sinal para múltiplos sensores

Na figura 2 é possível observar os blocos internos do circuito integrado. Os sinais que vão para os circuitos de condicionamento são selecionados através de um roteador analógico, formado por transistores que direciona os sinais dos sensores para os circuitos de condicionamento, chamados

de interface. Os sinais que saem dos circuitos de condicionamento entram no multiplexador analógico, que direciona um sinal por vez para seu terminal de saída. O sinal selecionado passa pelo amplificador de ganho programável. O sinal amplificado passa pelo bloco de amostragem e retenção que reproduz o sinal amostrado do sensor selecionado.

Para minimizar o consumo de potência circuito integrado conta com diferentes linhas de alimentação internas que permitem energizar somente os blocos necessários para uma determinada aplicação. Com todos os blocos energizados o circuito integrado consome cerca de 10 mW. O circuito de condicionamento para os sensores resistivos é bastante flexível, podendo ser configurado como entrada simples, meia ponte ou ponte completa. Para medição de corrente elétrica foi integrado um bloco com uma entrada dedicada para converter corrente elétrica em tensão. (ZHANG & MASON, 2004)

O circuito integrado foi desenvolvido para ser utilizado na fabricação de sensores inteligentes, fornecendo uma plataforma flexível para condicionamento de sinais. Porém esse circuito integrado não possui um microcontrolador integrado, algo que aumentaria consideravelmente as possibilidades desse circuito.

2.2 Solução proposta

As soluções encontradas na literatura, se aplicadas, poderiam resolver o problema apresentado, a primeira, o USCA, representa o estado da arte em desenvolvimento de circuitos configuráveis para condicionamento de sinal, porém o seu maior problema é o elevado custo de desenvolvimento que impede a sua aplicação em um automóvel. A segunda, o circuito de condicionamento configurável para múltiplos sensores, seria uma boa alternativa, se possuísse um microcontrolador integrado para processar os sinais.

A solução proposta neste trabalho, o condicionador universal de sinais para sensores automotivos, procura oferecer uma flexibilidade de configuração similar a do USCA, utilizando para isso um único microcontrolador e o mínimo de componentes externos. A solução proposta deve ter um custo baixo o suficiente para permitir a sua aplicação em veículo.

2.2.1 Tecnologia utilizada

O condicionador universal de sinais para sensores automotivos é baseado na tecnologia de microcontroladores SOC (Sistema no circuito Integrado) que pode ser definido como um componente que além do microcontrolador, possui outros periféricos agregados. Que, em geral são blocos analógicos e digitais, mas também têm blocos de memória, periféricos de comunicação entre outros. (NEKOOGAR & NEKOOGAR, 2003)

Dentre diversos microcontroladores com tecnologia SOC existentes no mercado, foi escolhido o PSoC da empresa Cypress Semiconductor devido a sua elevada flexibilidade, baixo custo e disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento gratuitas.

O PSoC é um microcontrolador que utiliza o conceito SOC. Um sistema completo programável e integrado com um microcontrolador com arquitetura Harvard, tudo em um mesmo dispositivo, com blocos analógicos e digitais configuráveis. (NICOLOSI & SANTOS, 2006)

Uma visão geral da arquitetura do PSoC pode ser vista na figura 3, a qual ilustra a arquitetura de alto nível utilizada nessa família de microcontroladores.

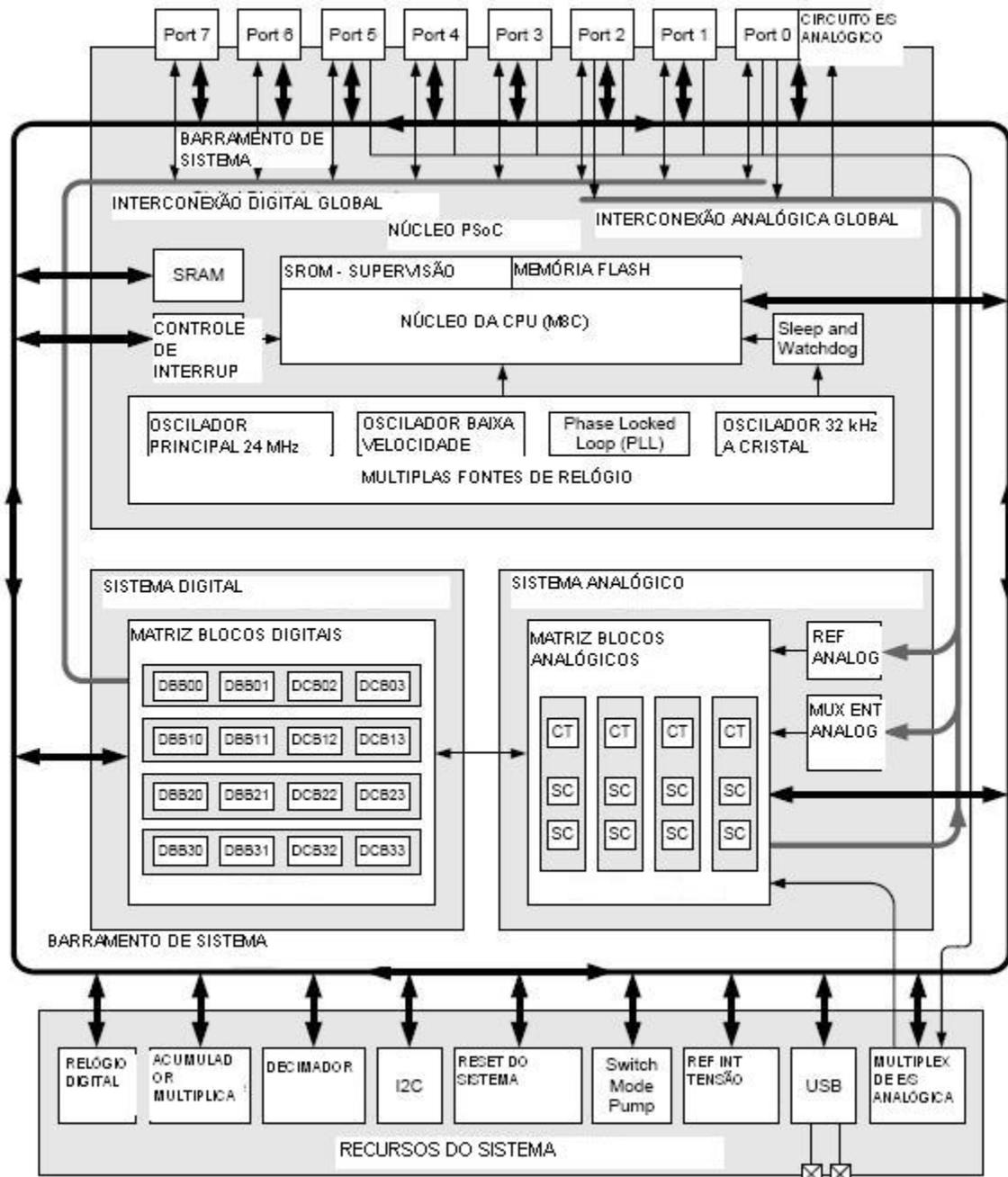


Figura 3: Diagrama de blocos do PSoC em alto nível (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

Observa-se na figura 3 que o microcontrolador PSoC é um sistema completo em um único circuito integrado devido a presença de blocos internos específicos e configuráveis que formam o sistema do microcontrolador. Dentre os diversos blocos do sistema, observa-se a existência de dois grandes blocos, um digital e um analógico além de outros periféricos complexos, como relógio digital, acumulador de multiplicação, interfaces seriais (I2C e USB), multiplexador de E/S e memórias.

O sistema de blocos analógicos e o sistema de blocos digitais são formados por blocos com funções configuráveis e interconexões programáveis. Essa arquitetura permite que o desenvolvedor crie os circuitos dedicados para atender aos requisitos do projeto. Os blocos são configurados por software através de uma ferramenta de desenvolvimento específica do fabricante. As funções dos blocos podem variar desde as mais simples até as mais complexas. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

O Bloco NÚCLEO PSoC é o centro de controle que é formado pela CPU (unidade central de processamento) M8C (sigla do nome do processador), as memórias, o controlador de interrupções e o sistema de seleção das fontes de relógio. O bloco de RECURSOS DO SISTEMA reúne os periféricos de funções complexas, incluído funções de comunicação e controle de dispositivos internos.

Os “*Ports*” (terminais de entrada e saída) do PSoc estão interligados aos barramentos de sistema, barramento de interconexão digital e analógica. Essa arquitetura permite que a configuração dos pinos seja altamente flexível em termos de diferentes funções que podem ser associadas a cada um. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

2.2.1.1 Os blocos configuráveis do PSoC

A flexibilidade do microcontrolador PSoC vem dos seus blocos configuráveis analógicos e digitais. Essa flexibilidade permite que o mesmo componente possa ser configurado para executar diferentes funções.

Dependendo da programação, os blocos analógicos e digitais podem assumir diversas funções diferentes. O número de blocos depende da família do componente. Inicialmente os blocos não têm nenhuma função, estão em branco. No ambiente de desenvolvimento, existe uma biblioteca com funções prontas chamadas módulos de usuário. Os módulos de usuário podem ser entendidos como pequenos circuitos com funções básicas que são associados aos blocos do sistema analógico ou digital. Somente quando um módulo de usuário é selecionado na biblioteca e arrastado para um bloco no ambiente de desenvolvimento, o bloco passa a ter a função do módulo de usuário selecionado. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

A associação de diversos blocos forma uma aplicação específica. Cada módulo de usuário tem uma especificação de forma similar a um componente eletrônico. No ambiente de desenvolvimento, essa especificação é chamada “*data sheet*”. Os arquivos com as especificações dos blocos contêm informações das especificações elétricas, princípio de funcionamento do módulo, parâmetros programáveis e exemplos de código. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

A família PSoC utilizada neste trabalho, possui no total 146 módulos de usuário que podem ser configurados nos blocos para construir a aplicação desejada. Eles estão divididos em categorias de acordo com a função dos módulos. Na tabela 1 é possível observar as diferentes categorias de módulos de usuário disponíveis para utilização na família de microcontroladores PSoC 1, bem como a quantidade total de blocos. As informações foram retiradas do ambiente de desenvolvimento PSoC Designer 5.0. (CYPRESS SEMICONDUCTOR, 2009)

Tabela 1: Lista das categorias de módulo de usuário disponíveis na família PSoC 1 (CYPRESS SEMICONDUCTOR, 2009)

| Lista categorias e quantidade de módulos do usuário da família PSoC 1 | | | |
|---|------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Categorias | | Observações | Quantidade e de blocos |
| Inglês | Português | | |
| ADCs | Conversores A/D | | 15 |
| Amplifiers | Amplificadores | | 8 |
| Analog Comm | Comunicação Analógica | | 1 |
| Cap Sensors | Sensores Capacitivos | Sensores de toque | 8 |
| Counters | Contadores | | 4 |
| DACs | Conversores D/A | | 5 |
| Digital Comm | Comunicação Digital | | 25 |
| EnCoRe II User Modules | | | 6 |
| Filters | Filtros | | 6 |
| LED Dimming | Regulação de luminosidade para LED | | 1 |
| Legacy | Herança | Blocos antigos ainda suportados | 10 |
| Memory Controller | Controlador de Memória | | 1 |
| Misc Digital | Digitais Diversos | | 14 |
| MUXs | Multiplexadores analógicos | | 4 |
| Navigation | Navegação | Dispositivos de apontamento | 1 |
| Power | Potência | Conversores de energia | 9 |
| Powerline Comm | Comunicação pela Linha de Força | | 1 |
| Protocols | Protocolos | | 5 |
| PSOC_GENERIC | PSOC GENÉRICO | Bloco genérico Cap Chaveado | 1 |
| PWM | Moduladores por Largura de Pulso | | 6 |
| Random Seq | Seqüências Randomicas | | 4 |
| RF | Rádio Freqüência | | 1 |
| Temperature | Temperatura | Temperatura interna do CI | 1 |
| Timers | Temporizadores | | 8 |
| Wireless USBS | USB sem Fio | | 1 |
| Total | | | 146 |

Devido à grande quantidade de informação envolvida, não foi possível incluir neste trabalho os “*data sheets*” dos módulos de usuário. Para ter acesso aos “*data sheets*” com as especificações dos módulos, consultar o menu de ajuda do ambiente de desenvolvimento PSoC Designer 5.0. (CYPRESS SEMICONDUCTOR, 2009)

A última versão do aplicativo com o ambiente de desenvolvimento PSoC Designer, pode ser obtida gratuitamente no endereço <http://www.cypress.com/?rID=41083>.

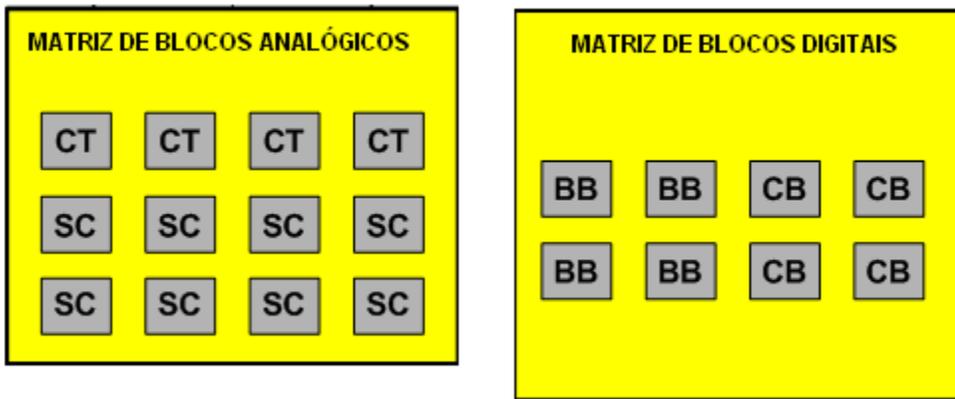


Figura 4: Blocos configuráveis do microcontrolador PSoC. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

É possível observar na figura 4 os sistemas configuráveis do microcontrolador, a matriz de blocos analógicos e a matriz de blocos digitais.

Na matriz analógica existem os blocos CT (contínuo no tempo) e SC (capacitor chaveado). O bloco CT é composto por um amplificador operacional, seletores de sinal e um sistema de resistência de realimentação programável, que permite o ajuste do ganho do amplificador. Esse bloco pode assumir diferentes funções como, amplificador inversor, amplificador não inversor (PGA), amplificador de instrumentação ou comparador de tensão. O Bloco SC utiliza uma técnica de chaveamento de capacitores para determinar o seu ganho. Esse bloco pode ser configurado com as mesmas funções do bloco CT e também com outras mais complexas, como filtros ativos, retenção e amostragem para conversão A/D e D/A, modulação, comunicação serial, entre outras. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

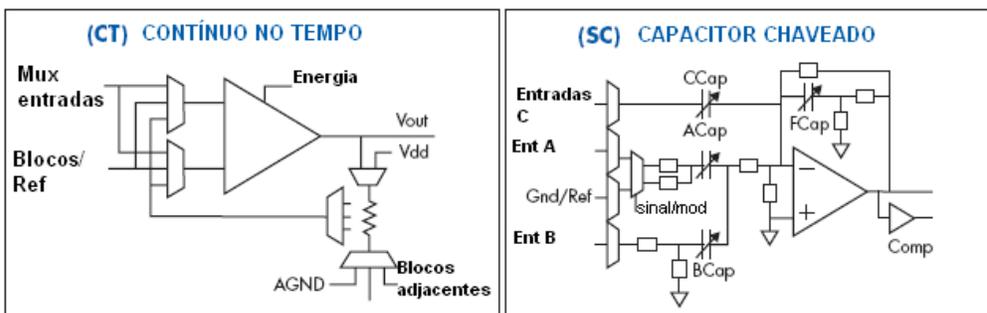


Figura 5: Diagrama interno dos blocos analógicos CT e SC

É possível observar na figura 5 a arquitetura interna dos blocos analógicos CT e SC. O bloco CT possui um sistema de seleção do valor da resistência de realimentação e os seletores de sinais. No bloco SC é possível observar que existe uma malha de capacitores e chaves. As chaves estão representadas por pequenos retângulos. De acordo com a frequência de chaveamento a impedância do capacitor assume um valor correspondente inversamente proporcional. O valor das capacitâncias também é controlado de forma a obter o ganho de tensão desejado.

Na matriz digital existem os blocos BB (bloco digital básico) e CB (bloco digital de comunicação). Os blocos BB são utilizados para funções digitais mais simples como contagem, modulação PWM (modulação por largura de pulso) e portas lógicas. Os blocos CB são utilizados para funções de comunicação digital, como I²C, UART (receptor/transmissor universal assíncrono), outros protocolos.

Existem três famílias de microcontroladores PSoC, as quais diferem entre si principalmente devido ao núcleo da CPU, neste trabalho foi utilizado um representante da família PSoC 1 que tem como núcleo da CPU um microprocessador M8C. Para desenvolver o programa do microcontrolador e também as configurações de circuitos dos blocos programáveis é necessário utilizar uma ferramenta de software integrada do mesmo fabricante, no caso da família PSoC 1, utiliza-se o PSoC Designer. Essa ferramenta é um ambiente de desenvolvimento integrado completo, com compiladores “C” e “Assembler”, aplicativo de gravação do dispositivo, janelas de recursos do sistema, tela principal da configuração dos blocos e informação sobre os pinos e módulos de usuário.

2.2.2 Descrição da Solução proposta

O condicionador universal de sinais para sensores automotivos é baseado em um microcontrolador PSoC da Cypress. Esse microcontrolador utiliza tecnologia SOC, possui blocos analógicos e digitais programáveis e re-configuráveis. O conceito fundamental dessa solução está na capacidade programação de configuração dos blocos analógicos e digitais para executar diferentes funções usando o mesmo dispositivo. Isso permite que sejam configurados inúmeros circuitos de condicionamento de sinais diferentes, que ficam armazenados na memória do microcontrolador. Quando for necessário condicionar o sinal de um determinado sensor, basta selecionar a configuração correspondente ao circuito de condicionamento e carregá-la nos blocos analógicos e digitais do sistema através de um programa escrito para essa finalidade.

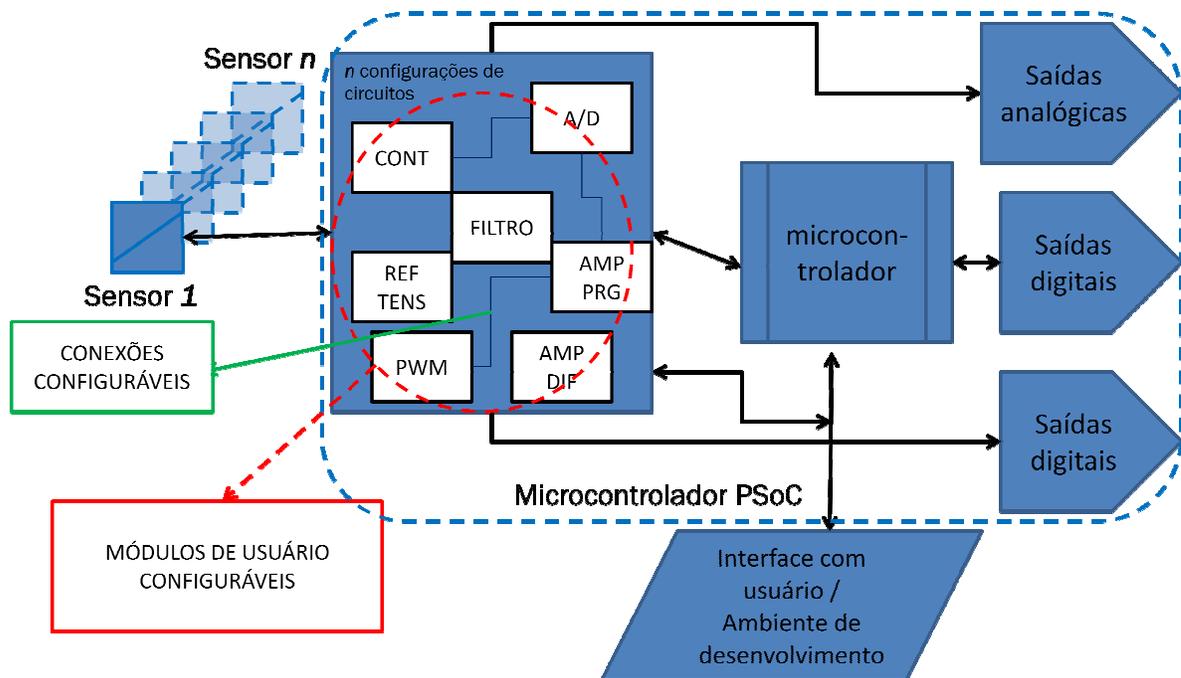


Figura 6: Diagrama de blocos da solução proposta

Através da figura 6 é possível ter uma visão mais clara da solução proposta para o desenvolvimento do condicionador universal de sinais. Os blocos ilustram os componentes do conversor. Vê-se que o microcontrolador é o componente principal do sistema, dentro dele estão os blocos configuráveis, os blocos de entrada e saída e o núcleo do microcontrolador. Do lado de

fora estão representados os sensores que podem ser conectados ao sistema e a interface com o usuário. O conceito principal que se deseja mostrar é que o sistema é capaz armazenar os circuitos de condicionamento na memória do microcontrolador. Circuitos esses que são selecionados através da interface com o usuário e então carregados nos blocos conforme o sensor a ser conectado ao condicionador.

2.3 Sensores automotivos

Sensores são dispositivos essenciais dos sistemas de controle eletrônico automotivos. Sensores podem ser definidos como elementos que transformam uma forma de energia física em um sinal elétrico de saída. **(FLEMING, 2001)**

Os sensores automotivos foram no passado elementos sensores elementares, mas com o desenvolvimento da eletrônica, os sensores estão muito mais complexos. **(FLEMING, 2001)**

Os sensores automotivos precisam atender a rígidos requisitos da indústria automotiva, levando em conta a aplicação do veículo, a sua vida útil e o custo. **(DELL'ACQUA, 1989)**

Um resumo dos requisitos que o sensor automotivo necessita atender é listado abaixo. **(DELL'ACQUA, 1989)**

- Elemento transdutor
 - Precisão compatível com o sistema onde será aplicado
 - Estabilidade de operação
 - Tolerante a variações de temperatura dentro das especificações
 - Estabilidade ao longo da vida útil
 - Confiabilidade ao longo da vida útil

- Eletrônica de condicionamento
 - Tratamento do sinal
 - Possibilidade de calibração
 - Compensação para variações de condição ambiente
 - Conversão A/D
 - Interface de comunicação
 - Compatibilidade eletromagnética
 - Imunidade a curto circuito e inversão de polaridade

- Proteção contra sobretensão
- Encapsulamento
 - Robusto o suficiente para aplicação
 - Resistência a variações térmicas
 - Resistência a choque e vibração
 - Resistência a corrosão
 - Fácil manuseio
 - Tamanho pequeno
 - Custo baixo

Nos automóveis a classificação de sensores pode ser feita com relação à sua função. Para classificar os sensores automotivos quanto a sua aplicação, o veículo pode ser dividido em três grandes grupos de acordo com as funções primárias; *“Powertrain”* (Trem de força), que reúne os sistemas de controle relacionados ao motor, transmissão e diagnóstico de bordo (OBD); Chassi, que reúne os sistemas eletrônicos de controle de direção, suspensão, freios e estabilidade; Habitáculo, que reúne principalmente os sistemas de controle de funções de conforto, segurança e informação dos ocupantes. (FLEMING, 2001)

A seguir são apresentados alguns exemplos de sensores automotivos

2.3.1 Sensores de *“Powertrain”* (FLEMING, 2001)

- **Sensor de pressão de combustão** – Sensor com elemento tipo piezelétrico. O elemento sensor gera uma quantidade de cargas elétricas de acordo com a pressão exercida.
- **Sensor do coletor de admissão** – Sensor com dupla função; mede a temperatura através de um elemento NTC e pressão através de um elemento resistivo ou capacitivo.
- **Sensor de massa de ar** – Mede a vazão de ar em massa – Baseado em um elemento de filme fino ou fio aquecido. Em ambos os casos a passagem do ar resfria o elemento que

varia a sua resistência em função da temperatura. Existe uma compensação de temperatura e a medição; só é válida para uma tubulação conhecida.

- **Sensor de oxigênio** – Mede a concentração de oxigênio no duto de escapamento. O princípio de funcionamento é baseado em uma célula eletroquímica que gera um sinal elétrico.
- **Sensor de NOx** – Mede a concentração de NOx no duto de escapamento. O princípio de funcionamento também é baseado em célula eletroquímica que gera uma tensão proporcional a concentração do gás. Nesse caso é um sensor altamente complexo que utiliza várias células químicas e compensações para realizar uma medição precisa. É um bom exemplo de uma tecnologia de sensoriamento que ainda está em desenvolvimento.
- **Sensor de rotação** – Mede a velocidade angular do virabrequim ou do eixo de comando. Pode ser de relutância variável ou de efeito Hall.
- **Pedal de acelerador** – Mede a posição do pedal de acelerador. O mais utilizado é baseado em dois sensores resistivos tipo potenciômetro, onde a resistência varia de acordo com a posição do pedal. Existem outras tecnologias sendo aplicadas como efeito Hall, LVDT (Transformador Diferencial Variável Linearmente) e capacitivos.
- **Sensor de pressão de combustível** – Mede a pressão do combustível no sistema de injeção. O princípio de funcionamento é o mesmo do sensor do coletor de admissão.
- **Sensor de qualidade do óleo** – Sensor indica a necessidade de troca do óleo lubrificante. O princípio de funcionamento é baseado na variação da condutividade do óleo em função da concentração de partículas de carbono.
- **Sensor de temperatura da água** – Sensor que mede a temperatura do líquido de arrefecimento. O elemento sensor é o NTC.
- **Sensor de nível da água** – Indica a presença de água em um determinado nível do reservatório. Em geral o elemento sensor é um eletrodo simples ou duplo. O princípio de funcionamento é a detecção de água através da sua condutividade elétrica. Existem também muitos modelos baseados em bóias e interruptores.

2.3.2 Sensores de Chassi (FLEMING, 2001)

- **Sensor de pressão do freio** – Indica a presença de pressão na linha de freio. O princípio básico é um interruptor acionado por um diafragma.
- **Sensor de velocidade da roda** – Mede a velocidade da roda. O princípio de funcionamento é o efeito Hall ou relutância variável. Em veículos com ABS (Sistema de freio anti-bloqueio) é instalado um sensor em cada roda.
- **Sensor de aceleração** – Mede a aceleração frontal e lateral do veículo. O princípio de funcionamento é baseado na tecnologia MEMS (Sistemas micro eletro mecânicos), onde uma massa inercial se movimenta dentro de um circuito integrado que em geral já possui um circuito de condicionamento; a informação pode ser enviada de forma analógica ou digital dependendo do modelo do sensor.
- **Sensor de força do pedal de freio** – mede a posição angular do pedal e calcula a força exercida devido à constante elástica de uma mola conhecida. O princípio de funcionamento é baseado em um sensor resistivo, porém para o cálculo da força é necessário um pequeno processamento.
- **Sensor de posição angular da direção** – Mede a posição angular do volante de direção. O princípio de funcionamento pode ser baseado em um dispositivo sensor chamado “*ENCODER*” (codificador) óptico. A informação vem na forma de pulsos codificados. É necessário um circuito digital para processar a informação.
- **Sensor de pressão do pneu** – Mede a pressão no interior do pneu. O princípio de funcionamento é o mesmo do sensor do coletor de admissão, porém esse sensor funciona de maneira totalmente autônoma; possui um sistema microcontrolado para processar a informação e transmiti-la através de ondas de rádio para um receptor no chassi.

2.3.3 Sensores de habitáculo (FLEMING, 2001)

- **Sensor de colisão** – Detecta se houve uma colisão. O princípio de funcionamento se baseia na detecção de movimento de uma massa inercial metálica, interna ao sensor. Quando ocorre uma colisão com o veículo, a massa inercial (uma esfera ou rolete) metálica se desloca e fecha um curto circuito entre os terminais do sensor. Esse curto circuito é detectado pelo módulo de controle do “*Air Bag*” (bolsa de ar), que aciona as bolsas infláveis para proteção dos ocupantes do veículo.
- **Sensor de trava do cinto** – Detecta se o cinto de segurança está sendo utilizado ou não. Princípio de funcionamento: micro-chave interruptora.
- **Sensor de estacionamento** – Detecta a proximidade de obstáculos à frente e atrás do veículo durante a manobra de estacionamento. Sensor baseado no princípio de ultra-som. O sensor em si é um elemento piezelétrico, mas existe toda uma eletrônica associada para processar a informação e passar para um mostrador com indicação áudio-visual.
- **Sensor laser** – Associado a um sistema de navegação identifica obstáculos e reconhece padrões. O princípio é a reflexão de feixes laser. É utilizado em sistemas de segurança e conforto.
- **Sensor de qualidade do ar** – Identifica a qualidade do ar através da monitoração da concentração de CO e CO₂. É baseado em célula eletroquímica.
- **Sensor de temperatura da cabine** – Mede a temperatura do ar em um ou mais pontos da cabine dependendo do grau de sofisticação do sistema de ar condicionado. O elemento sensor é o NTC.
- **Sensor de quebra de vidro** – identifica a quebra de vidro para acionamento do alarme. O princípio é o rompimento de uma trilha condutora do vidro quando ocorre a sua quebra.
- **Sensor anti-intrusão** – Detecta a invasão do interior do veículo quando o alarme está ligado. O princípio de funcionamento é o ultra-som.

Além da classificação de sensores pela sua aplicação em um determinado subsistema, os sensores também podem ser classificados pelo tipo de grandeza física que são capazes de detectar ou medir e também pelo princípio de funcionamento do elemento sensor. (FLEMING, 2001)

3 MODELAGEM E ANÁLISE EXPERIMENTAL

3.1 Tecnologia utilizada

Para fazer a análise experimental da solução proposta, foi construído um circuito protótipo do condicionador universal de sinais. Nesse protótipo, foi utilizado um kit didático da Cypress para o PSoC1 denominado “*Invention Board*” (placa de invenção). O referido kit não é um kit comercializado, não é mais fabricado e foi doado por uma empresa representante da Cypress no Brasil. Para futuros desenvolvimentos ou estudos, deve ser utilizado outro kit. Como sugestão pode ser utilizado o kit CY3210-PSoCEval1, esse kit utiliza o mesmo microcontrolador do kit utilizado neste trabalho e também já vem com um gravador. Quando este trabalho foi escrito, o kit PSoCEval1 custava US\$ 138,97 diretamente na página da Cypress <http://www.cypress.com/?rID=2541>.

O kit utilizado no desenvolvimento do circuito de condicionamento de sinais é composto por uma placa de circuito impresso com um microcontrolador PSoC CY8C27443-24PVI e um gravador “*in circuit*” (no circuito). Duas características intrínsecas do condicionador universal de sinais são encontradas nesse microcontrolador: os blocos analógicos e digitais programáveis e a capacidade de reconfiguração dinâmica.

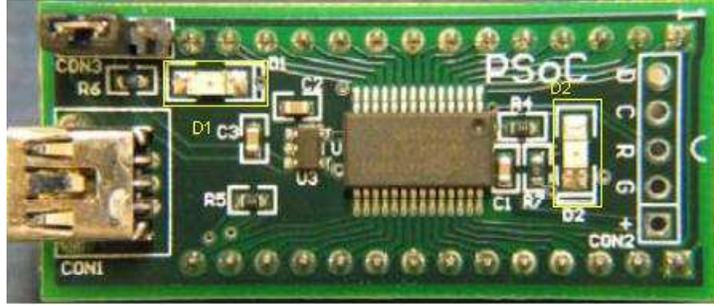


Figura 7: Vista superior da placa “*Invention Board*”.

Na figura 7, observa-se, à esquerda da placa, o conector mini USB “CON1”, interface para programação do microcontrolador. Ao centro, o componente com encapsulamento SSOP de 28 pinos é o microcontrolador PSoC CY827443-24PVI, utilizado para caracterização dos circuitos de condicionamento. O LED D1 indica a presença de tensão de alimentação e o LED D2 é ativado durante o processo de programação do microcontrolador.

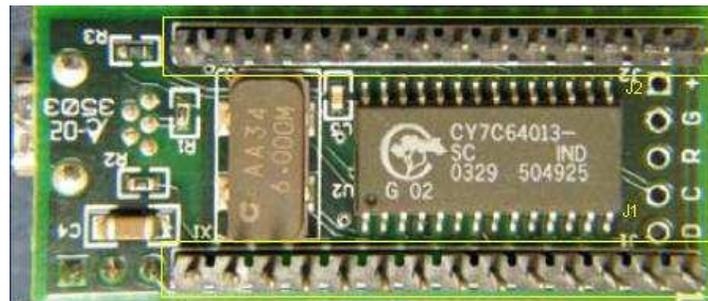


Figura 8: Vista inferior da placa “*Invention Board*”.

Na figura 8, vê-se o lado inferior da placa, sendo possível observar ao centro e à direita o circuito integrado CY7C64013-SC, que é responsável pela comunicação entre o microcontrolador e o PC via interface USB. Na parte inferior e superior da figura 8 é possível observar a existência de duas barras de terminais J1 e J2, que são ligadas aos pinos do microcontrolador. As barras de terminais possuem espaçamento padrão DIL 28.

As principais características do microcontrolador PSoC CY8C27443 são:

- Processador de 8 bits, M8C com arquitetura Harvard
- Oscilador interno programável até 24/48 MHz
- Possibilidade de “*clock*” (relógio) externo até 24 MHz
- Máquina de multiplicação 8 x 8 com acumulador de 32 bits
- Tensão de operação de 3,0 V até 5,25 V
- Tensão de operação reduzida, abaixo de 1,0 V usando conversor chaveado interno
- Faixa de temperatura de operação de -40,0 °C até +85,0 °C
- Periféricos programáveis avançados
- 12 blocos analógicos “*rail to rail*” (de barramento a barramento) programáveis
- 8 blocos digitais programáveis
- 16 kB de memória de programa FLASH
- 256 bytes de memória de dados SRAM
- Programação serial no componente
- Modos de proteção flexíveis
- Pinos configuráveis

O diagrama de blocos da figura 9, mostra de forma estruturada a organização dos blocos internos do microcontrolador.

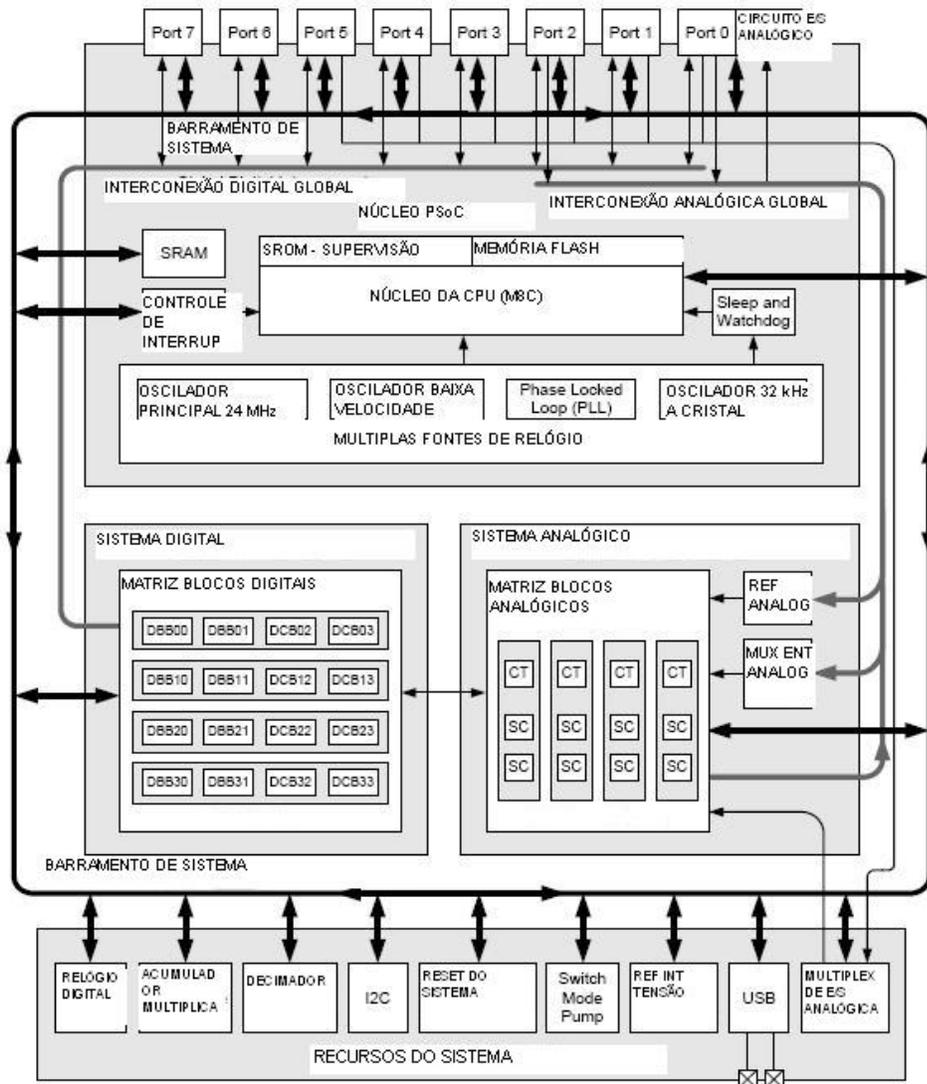


Figura 9: Diagrama de blocos do microcontrolador CY8C27443. (CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION, 2008)

Na figura 9, é possível observar os blocos internos do microcontrolador, seus dispositivos periféricos e sua interligação com os pinos de entrada e saída.

3.1.1 Visão geral do ambiente de desenvolvimento

Para desenvolver a versão experimental do condicionador universal, foi utilizada a ferramenta de desenvolvimento da Cypress, chamada “*PSoC Designer v5.0*”. Um ambiente de desenvolvimento completo, com interface gráfica para configuração dos blocos analógicos, digitais, além de um compilador C e um assembler.

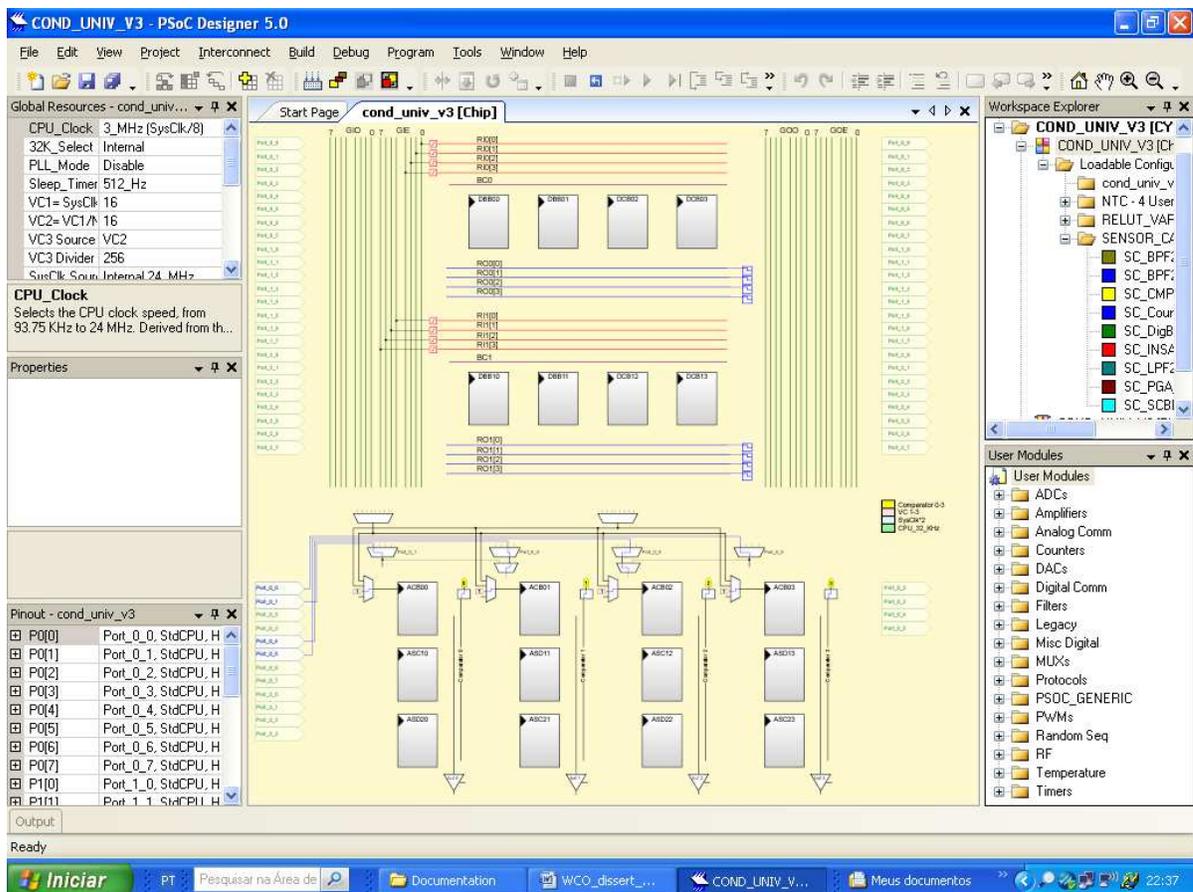


Figura 10: Imagem da área de trabalho do ambiente de desenvolvimento “*PSoC Designer v5.0*”.

Na figura 10 é mostrada uma visão geral da tela principal do ambiente de desenvolvimento. Na parte superior da tela está a barra de ferramentas. As janelas que ocupam o restante da tela

formam o ambiente de trabalho propriamente dito. É possível observar, no centro da figura 10, a janela principal onde se trabalha com a configuração dos blocos ou edição de código fonte, nessa janela é mostrada a configuração básica do “*chip*” (circuito integrado) com nome “*cond_univ_v3 [CHIP]*” com o “*layout*” (disposição) dos blocos configuráveis.

Os blocos analógicos e digitais são configurados através dos módulos de funções disponíveis na biblioteca “*User Modules*” (módulos de usuário), que está localizada no canto inferior direito da figura 10. A janela “*Workspace Explorer*” (gerenciador da área de trabalho) permite visualizar e editar todos os arquivos do projeto. No lado esquerdo da figura 10 estão as janelas: “*Global Resources*” (recursos globais), onde são configurados os principais parâmetros do microcontrolador; a janela “*Properties*” (propriedades), onde a função associada ao bloco é parametrizada; e a janela “*Pinout*” (pinagem), onde cada pino do componente pode ser configurado de acordo com a função desejada.

Depois que todos os blocos estiverem interligados e configurados o código fonte pode ser compilado. Esse processo é necessário para verificação da integridade das conexões elétricas entre os blocos e a verificação de eventuais erros de sintaxe do código fonte. Durante a compilação é gerado um arquivo de registro dos passos do processo. Além do arquivo de registro, é gerado o arquivo de programação (extensão *.hex).

No kit utilizado neste trabalho, é necessário utilizar um aplicativo específico chamado “*Invention Board Programmer*” (programador da placa de invenção) para programar o microcontrolador.

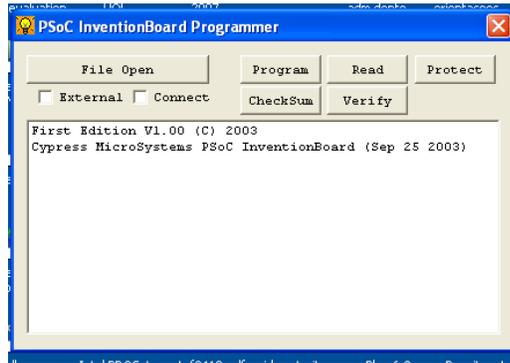


Figura 11: Tela de trabalho do aplicativo de programação

Na figura 11 é possível observar a tela de trabalho do aplicativo de programação. O aplicativo é fácil de operar, basta selecionar o arquivo através do botão “*File Open*” (abrir arquivo), depois que o arquivo de programação estiver selecionado, clicando no botão “*Program*” (programar) o arquivo será gravado na memória do microcontrolador. O processo de gravação leva alguns segundos e ao final é realizada uma verificação de integridade dos dados.

3.1.2 Visão geral dos blocos configuráveis do microcontrolador

Antes de abordar o fluxo de projeto da versão experimental do condicionador universal de sinais, se faz necessário descrever a visão geral dos blocos configuráveis no ambiente de desenvolvimento.

No ambiente de desenvolvimento “*PSoc Designer 5.0*” podem ser criadas inúmeras configurações carregáveis, inúmeras porque o número de configurações possíveis dependerá do microcontrolador escolhido, da quantidade de memória de programa disponível e da quantidade e tipo dos blocos utilizados em cada configuração. Só é possível editar e visualizar uma configuração por vez. No início, existe somente uma configuração base carregada, que é suficiente para projetar um sistema que não necessitará utilizar o recurso da reconfiguração dinâmica, ou seja, quando os recursos da configuração base são suficientes para desenvolver a aplicação. Quando os recursos da configuração base não são suficientes para o desenvolvimento da aplicação se faz necessário criar outras configurações que possam ser carregadas quando for necessário executar uma determinada tarefa.

No início, quando está carregada somente a configuração base, ou quando é criada uma nova configuração carregável, a aparência da tela de configuração lembra um diagrama de blocos sem as interligações entre si. Nesse ambiente estão os blocos configuráveis e outros dispositivos gráficos que interligam os sinais dos blocos com os pinos de entrada e saída do microcontrolador. Tais dispositivos incluem multiplexadores analógicos, portas lógicas e estágios de saída analógica.

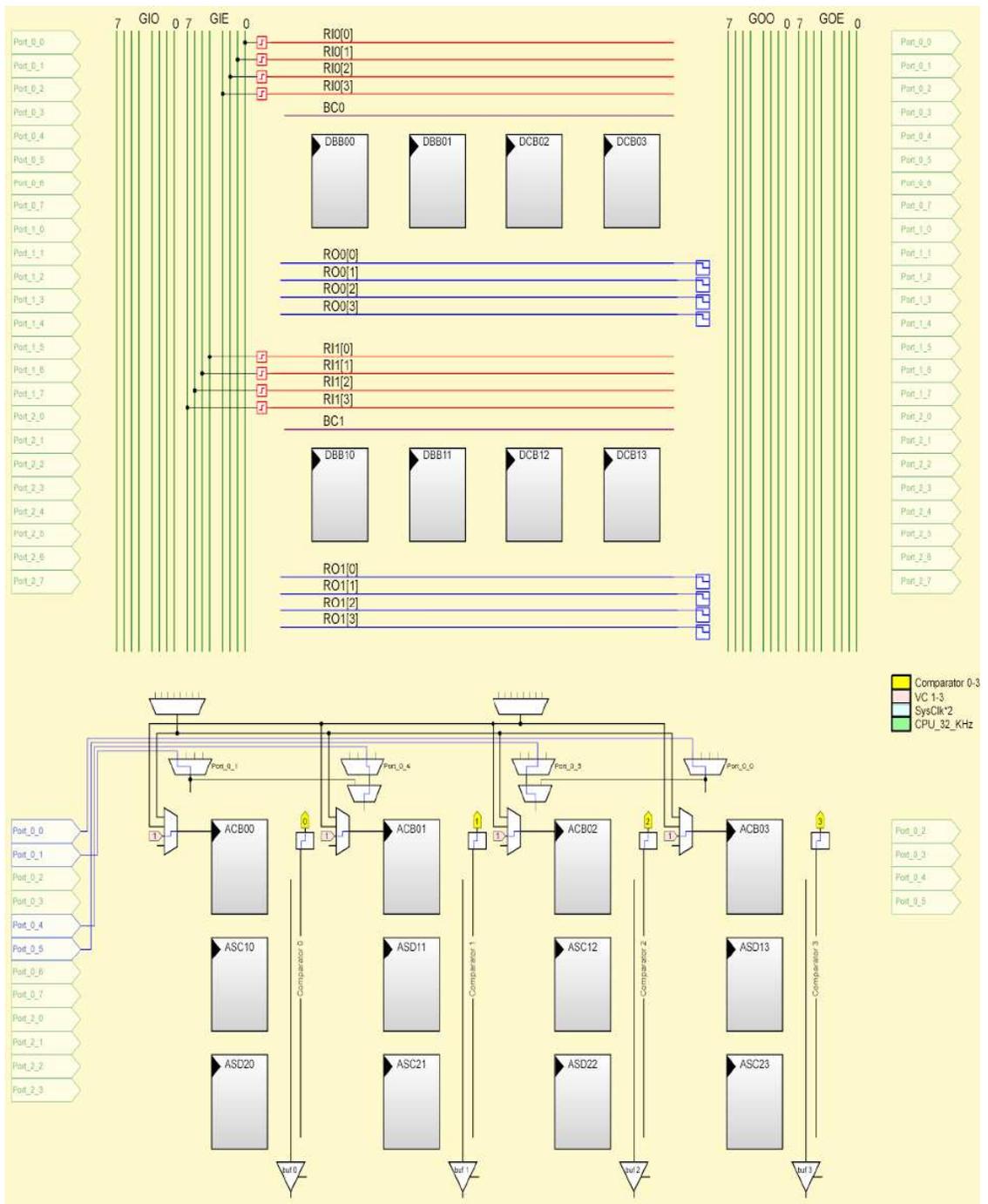


Figura 12: Vista detalhada dos blocos disponíveis no microcontrolador CY8C27443.

Observam-se na figura 12, os blocos disponíveis no microcontrolador CY8C27443, as linhas de interligação, os pinos de entrada e saída e os dispositivos de interligação.

3.1.3 Fluxo de projeto das configurações de circuito no ambiente de desenvolvimento

Para projetar a versão protótipo do condicionador universal de sinais, foram seguidos os passos abaixo no ambiente de desenvolvimento:

- 1) Foi criado um novo projeto no ambiente de desenvolvimento com o nome “cond_univ_vx. O x representa o número da versão do projeto.
- 2) Foi selecionado o microcontrolador CY8C27443 em função do kit de desenvolvimento disponível. Foi selecionada a linguagem de programação em C.
- 3) Selecionar e configurar os blocos de acordo com a função desejada, previamente estabelecida nos modelos de circuitos de condicionamento de cada sensor.
- 4) Interligar os blocos entre si e com os pinos de entrada e saída.
- 5) Escrever o código fonte (“*firmware*”) referente à configuração.
- 6) Compilar o projeto inteiro para verificação de erros de sintaxe e geração dos arquivos de programação.
- 7) Programar o microcontrolador.
- 8) Realizar testes funcionais
- 9) Repetir os passos três ao oito para cada configuração de circuito desejada.

Dentro do universo de sensores automotivos estudados, foram selecionados três tipos de sensores diferentes, com circuitos de condicionamento também diferentes. Os critérios de escolha dos sensores foram o princípio de funcionamento, e o circuito de condicionamento. Visando obter circuitos de condicionamento o mais distintos possíveis, de forma a verificar a flexibilidade da solução proposta. Foi considerado que, se a versão experimental do condicionador universal de sinais fosse capaz de se reconfigurar dinamicamente, de acordo com a seleção do sensor a ser conectado, a hipótese do condicionador universal seria válida para o universo considerado.

Foram então selecionados os seguintes sensores:

- 1) Sensor de temperatura NTC (coeficiente negativo de temperatura) – O princípio de funcionamento é a variação da resistência do sensor em função da variação de temperatura com coeficiente negativo. Conforme a temperatura aumenta a resistência do sensor diminui.
- 2) Sensor de rotação magnético tipo RV (relutância variável) – O princípio de funcionamento é baseado na variação de relutância do circuito magnético formado pelo sensor, o ar e uma roda dentada que ao girar faz a relutância variar, isso provoca uma variação no fluxo magnético, que implica no surgimento de uma tensão nos terminais do sensor.
- 3) Pedal de acelerador capacitivo – O princípio de funcionamento é a variação da capacitância do sensor em função da posição angular do pedal. O pedal possui pacas de material condutor e isolantes que formam um capacitor, sendo que uma das placas é móvel de forma a variar a área do capacitor, variando assim a sua capacitância.

Os três sensores selecionados possuem princípios de funcionamento completamente diferentes uns dos outros, essa escolha também implica em circuitos de condicionamento diferentes para cada sensor. Seguindo esse critério, foi necessário desenvolver uma configuração diferente para cada sensor. Porém antes do desenvolvimento de cada configuração no ambiente de desenvolvimento foi realizado um breve estudo de modelagem dos sensores e seus circuitos de condicionamento utilizando para isso um aplicativo simulador de circuitos chamado “*LT Spice*” da empresa “*Linear Technologies*”. Nesse estudo foram definidas a arquitetura e os dispositivos básicos para condicionar o sinal de cada sensor.

3.2 Desenvolvimento e testes do protótipo do condicionador universal

O protótipo do condicionador universal de sinais foi desenvolvido baseado nos três sensores escolhidos no capítulo 3.1.3 e no kit desenvolvimento “*Invention Board*”. O processo de desenvolvimento do protótipo seguiu as seguintes etapas para o desenvolvimento de cada circuito de condicionamento:

- 1) Análise das características elétricas do sensor.
- 2) Modelagem do sensor e do circuito de condicionamento na ferramenta de simulação “*LT Spice*”.
- 3) Adequação da placa experimental com componentes externos e a “*Invention Board*”.
- 4) Configuração do circuito de condicionamento e codificação do arquivo de programa principal no ambiente de desenvolvimento “*PSoC Designer 5.0*”.
- 5) Compilação dos arquivos, depuração de código e programação do dispositivo.
- 6) Testes funcionais.
- 7) Avaliação do efeito da temperatura ambiente sobre o circuito do condicionador universal de sinais.

3.2.1 Desenvolvimento do circuito de condicionamento para o sensor de temperatura NTC

Para o desenvolvimento do circuito de condicionamento do sensor NTC foi utilizado o sensor de temperatura modelo 0 281 002 209, fabricado pela Bosch com as seguintes características:

Tabela 2: Características do sensor de temperatura. (BOSCH, 1997)

| TEMPERATURA t (°C) | RESISTÊNCIA | | | Tolerância % | |
|-----------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------|
| | Rntc (kΩ) | Rmin (kΩ) | Rmax (kΩ) | Min | max |
| -40 | 45,313 | 40,490 | 50,136 | -10,64 | 10,64 |
| -30 | 26,114 | 23,580 | 28,647 | -9,70 | 9,70 |
| -20 | 15,462 | 14,096 | 16,827 | -8,83 | 8,83 |
| -10 | 9,397 | 8,642 | 10,152 | -8,03 | 8,03 |
| 0 | 5,896 | 5,466 | 6,326 | -7,29 | 7,29 |
| 10 | 3,792 | 3,542 | 4,043 | -6,59 | 6,62 |
| 20 | 2,500 | 2,351 | 2,649 | -5,96 | 5,96 |
| 25 | 2,057 | 1,941 | 2,173 | -5,64 | 5,64 |
| 30 | 1,707 | 1,615 | 1,798 | -5,39 | 5,33 |
| 40 | 1,175 | 1,118 | 1,231 | -4,85 | 4,77 |
| 50 | 0,834 | 0,798 | 0,870 | -4,32 | 4,32 |
| 60 | 0,596 | 0,573 | 0,618 | -3,86 | 3,69 |
| 70 | 0,435 | 0,421 | 0,451 | -3,22 | 3,68 |
| 80 | 0,323 | 0,313 | 0,332 | -3,10 | 2,79 |
| 90 | 0,243 | 0,237 | 0,250 | -2,47 | 2,88 |
| 100 | 0,186 | 0,182 | 0,191 | -2,15 | 2,69 |
| 110 | 0,144 | 0,140 | 0,148 | -2,78 | 2,78 |
| 120 | 0,113 | 0,109 | 0,116 | -3,54 | 2,65 |
| 130 | 0,089 | 0,086 | 0,093 | -3,37 | 4,49 |
| 140 | 0,071 | 0,068 | 0,074 | -4,23 | 4,23 |

Na tabela 2 vê-se que o valor da resistência do sensor diminui com o aumento da temperatura. É possível observar também que a resistência elétrica do sensor apresenta menor tolerância percentual na faixa de temperatura de +40 °C até +140 °C. Isso significa que o sensor é mais preciso para medir temperaturas dentro dessa faixa.

Construindo-se um gráfico com os dados das colunas “TEMPERATURA” e “Rntc” da tabela 2, é possível visualizar de forma mais clara o comportamento da resistência do sensor em função da temperatura.

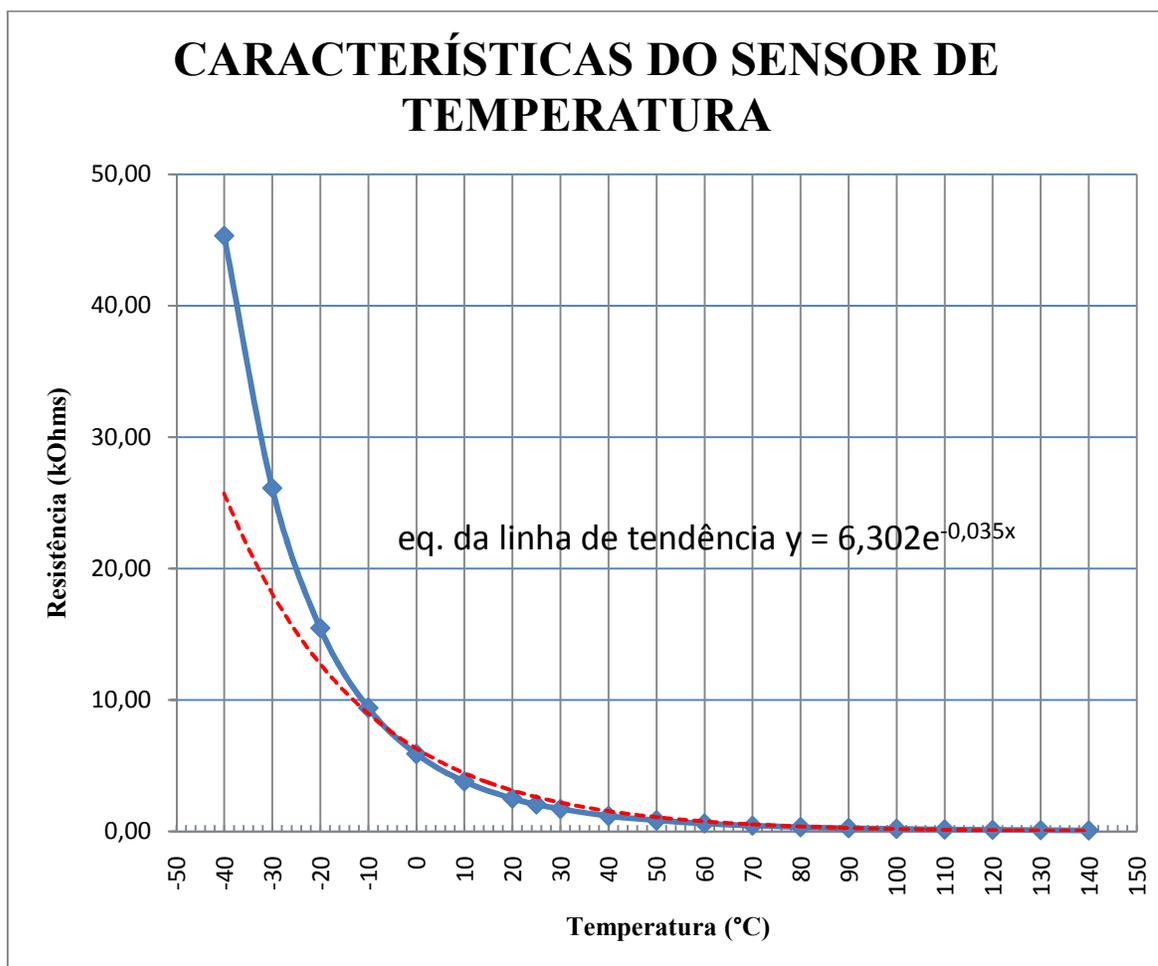


Figura 13: Gráfico da variação da resistência do sensor em função da temperatura em escala linear.

É possível observar na figura 13, que a variação da resistência do sensor em função da temperatura tem um comportamento aproximadamente exponencial. Isso pode ser notado comparando-se visualmente a curva do sensor (linha cheia), com a linha de tendência (tracejada) exponencial, inserida no gráfico através do editor de planilha “Excel”.

Nota-se também na figura 13 que é difícil visualizar o valor da resistência do sensor para temperaturas acima de 20°C, isso devido a característica exponencial da curva do sensor. Sendo assim, é necessário usar uma escala logarítmica no eixo da resistência do sensor para poder visualizar todos os valores de resistência em função da temperatura.

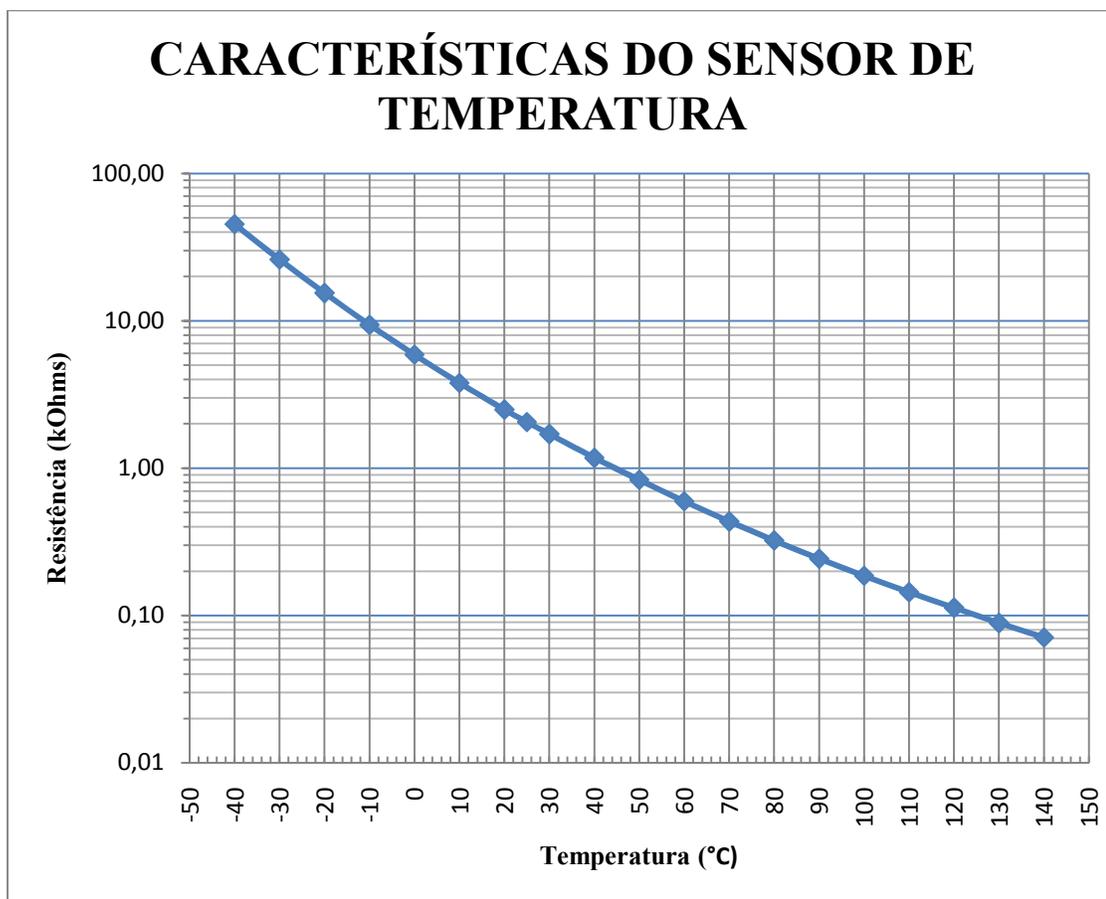


Figura 14: Gráfico da variação de resistência pela temperatura do sensor

Na figura 14, com a escala logarítmica aplicada ao eixo da resistência do sensor, é possível observar de forma mais clara a redução do valor da resistência do sensor com o aumento da temperatura em toda a faixa de operação do sensor.

Sendo o sensor NTC um elemento que varia a sua resistência interna conforme a temperatura a qual está submetido, um possível modelo elétrico para esse sensor é um resistor com resistência variável. O circuito de condicionamento ideal deveria ler diretamente o valor da resistência do sensor. Porém, o microcontrolador do condicionador universal de sinais “lê” apenas sinais analógicos em tensão, dentro de uma faixa de 0 a 5 V. Nesse caso, a medição da resistência do sensor é realizada de forma indireta. Para essa finalidade foi projetado um circuito bastante simples baseado em um divisor de tensão resistivo

Com base nos dados do sensor e na faixa de operação de 0 a 5 V de sinal analógico que o microcontrolador é capaz ler, foi projetado o circuito de condicionamento baseado em um divisor de tensão e uma fonte de tensão. O circuito foi projetado considerando dois resistores, de forma que o sensor NTC fosse um dos resistores do divisor de tensão. O circuito foi projetado e simulado no LTSpice que é uma ferramenta de simulação de circuitos elétricos:

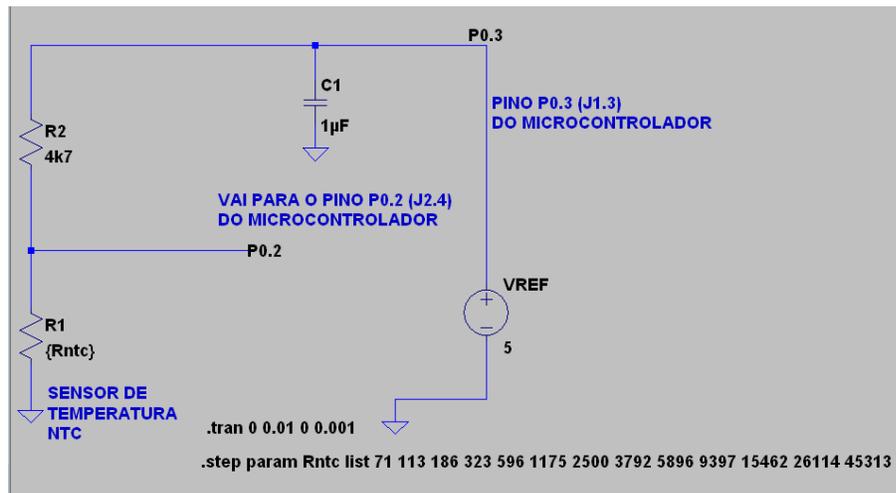


Figura 15: Modelo do circuito de condicionamento externo do sensor NTC

Na figura 15, é possível observar o divisor de tensão formado por R1, R2 e VREF. R1 representa o sensor NTC e R2 é um resistor de valor fixo. A tensão VREF é de 5V e é fornecida pelo microcontrolador, esse valor foi adotado porque é o mais usual na indústria automotiva, para alimentar sensores resistivos. Os valores nominais de resistência do sensor NTC foram inseridos em uma variável do tipo vetor, denominada Rntc. A cada passo de execução da simulação a

variável R_{ntc} assume um valor da tabela, esse valor é então associado ao resistor $R1$ e a tensão de saída do divisor é calculada pelo software.

O resistor $R2$ foi projetado de forma que a tensão de saída do divisor de tensão fosse de 4,5 V para a resistência do sensor igual a 45313 Ω . Esse valor de tensão é usualmente utilizado em sistemas automotivos como valor máximo do sinal analógico do sensor.

A equação do divisor de tensão pode ser dada por:

$$V_{NTC} = V_{REF} \times \frac{R1}{R1+R2} \quad (1)$$

Onde:

V_{NTC} – Tensão no sensor NTC em (V).

V_{REF} – Tensão de referência 5 V.

$R1$ – Resistência equivalente ao sensor NTC em (Ω)

$R2$ – Resistor fixo em (Ω).

Isolando-se a variável $R2$, tem-se:

$$R2 = \frac{R1 \times (V_{REF} - V_{NTC})}{V_{NTC}} \quad (2)$$

Atribuindo valor às variáveis, tem-se:

$$R2 = \frac{45313 \times (5 - 4,5)}{4,5} = 5034 \Omega$$

No laboratório, o resistor mais próximo de 5034 Ω que foi encontrado, foi de 4,7 k Ω +/- 5%.

Uma vez definido o valor de R2 em 4,7 k Ω , os valores de tensão no sensor NTC (VNTC) foram calculados pelo simulador conforme os dados da figura 16, de onde foram obtidos os valores de VNTC para montar a tabela 3:

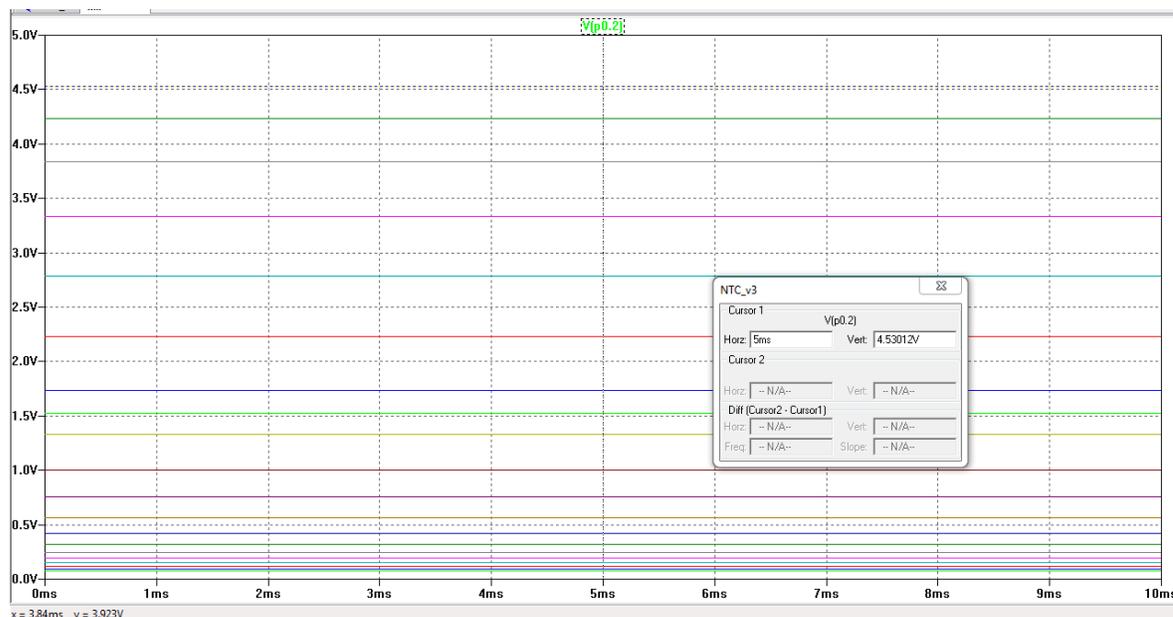


Figura 16: Valores de tensão de saída do divisor de tensão externo para o sensor NTC.

Na figura 16 é possível observar diversas linhas horizontais. Essas linhas correspondem aos valores de tensão de saída do divisor externo. Cada linha corresponde a um valor de resistência do sensor NTC e a uma temperatura conforme pode ser observado na tabela 3.

Tabela 3: Tensão no sensor NTC

| Temperatura | R1 | VNTC |
|-------------|--------|-------|
| °C | kΩ | V |
| -40 | 45,313 | 4,530 |
| -30 | 26,114 | 4,237 |
| -20 | 15,462 | 3,834 |
| -10 | 9,397 | 3,333 |
| 0 | 5,896 | 2,782 |
| 10 | 3,792 | 2,233 |
| 20 | 2,500 | 1,736 |
| 25 | 2,057 | 1,522 |
| 30 | 1,707 | 1,332 |
| 40 | 1,175 | 1,000 |
| 50 | 0,834 | 0,754 |
| 60 | 0,596 | 0,563 |
| 70 | 0,435 | 0,424 |
| 80 | 0,323 | 0,322 |
| 90 | 0,243 | 0,246 |
| 100 | 0,186 | 0,190 |
| 110 | 0,144 | 0,149 |
| 120 | 0,113 | 0,117 |
| 130 | 0,089 | 0,093 |
| 140 | 0,071 | 0,074 |

Onde:

Temperatura – Temperatura do sensor em (°C).

R1 – Valor da resistência do sensor NTC em (kΩ).

VNTC – Tensão no sensor NTC em (V).

É possível observar na tabela 3 os valores de tensão do divisor externo para cada valor de resistência do sensor NTC e sua temperatura correspondente.

A primeira etapa de desenvolvimento do circuito de condicionamento para o sensor NTC, foi projeto do divisor de tensão externo, que fornece o valor de tensão ao microcontrolador da placa “*Invention Board*” correspondente à temperatura do sensor NTC conforme os dados da tabela 3.

A segunda etapa do desenvolvimento foi a configuração do circuito de condicionamento dentro do microcontrolador e o processamento do sinal para gerar um sinal de saída PWM.

3.2.1.1 Configuração do circuito de condicionamento para o sensor NTC no ambiente de desenvolvimento

Para configurar o circuito de condicionamento, o primeiro passo foi definir como seria o tratamento e o processamento do sinal do divisor de tensão. Para isso foi construído um diagrama de blocos para ilustrar o fluxo do processamento do sinal de entrada até a saída PWM.

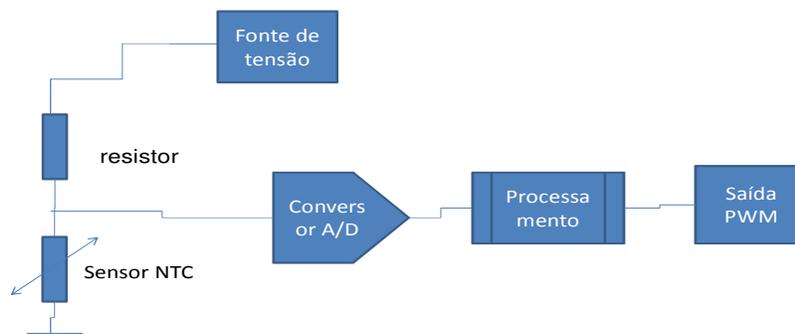


Figura 17: Diagrama de blocos do condicionador NTC

No diagrama da figura 17 é possível observar quais são os blocos responsáveis pelo processamento do sinal do divisor de tensão externo. A fonte de tensão gera o sinal de referência que alimenta o divisor de tensão, o conversor A/D digitaliza o sinal analógico e a saída PWM gera o sinal de saída modulado de forma proporcional à tensão de entrada. Todos os blocos com exceção do divisor resistivo são configurados no ambiente de desenvolvimento.

O segundo passo foi selecionar os módulos de usuário, no ambiente de desenvolvimento, para realizar o tratamento do sinal conforme o diagrama de blocos da figura 17, desde a leitura do sinal do divisor de tensão externo até a saída PWM ao final do circuito. No caso específico do condicionador de sinais para o sensor NTC foram selecionados os seguintes módulos:

- 01 RefMux – Bloco de referência de tensão configurável.
- 01 PGA – Bloco amplificador com ganho programável.
- 01 ADCINC – Bloco conversor A/D (analógico para digital).
- 01 PWM8 – Bloco modulador PWM (modulação por largura de pulso)

O bloco RefMux foi utilizado para gerar o sinal de tensão de referência de 5V para alimentar o divisor de tensão externo formado por R1 e R2 conforme descrito anteriormente na figura 15, esse valor de tensão é normalmente utilizado em sistemas automotivos para alimentação de sensores analógicos. O bloco amplificador PGA serve para ajustar a amplitude do sinal de entrada proveniente do divisor de tensão, nesse caso foi ajustado com ganho igual a um. O conversor A/D ADCINC é responsável por digitalizar o sinal de entrada, a faixa de valores de conversão utilizada foi de 0 a 255 para uma faixa de tensão de entrada de 0 a 5V. Por fim o modulador PWM é responsável por gerar uma saída PWM proporcional à tensão de entrada. O valor da largura do pulso é controlado pelo registrador de período, que varia de 0 a 255, sendo correspondente a uma faixa de controle de 0 a 100% de “*duty cycle*” (ciclo de carga) do sinal PWM de saída.

Uma vez escolhidos os módulos de usuário, foi necessário fazer a sua parametrização, as interligações entre os blocos e os terminais de E/S. Ao final foi escrito o código fonte para controlar a alimentação dos blocos e processar o sinal. Isso foi feito na área de trabalho do ambiente de desenvolvimento. Vale ressaltar que os blocos configurados com os módulos de usuário são coloridos automaticamente para diferenciá-los dos demais que não foram utilizados. O resultado final dessa configuração é um tipo de diagrama de blocos coloridos interligados que desempenham a função desejada para processar o sinal e gerar a saída PWM.

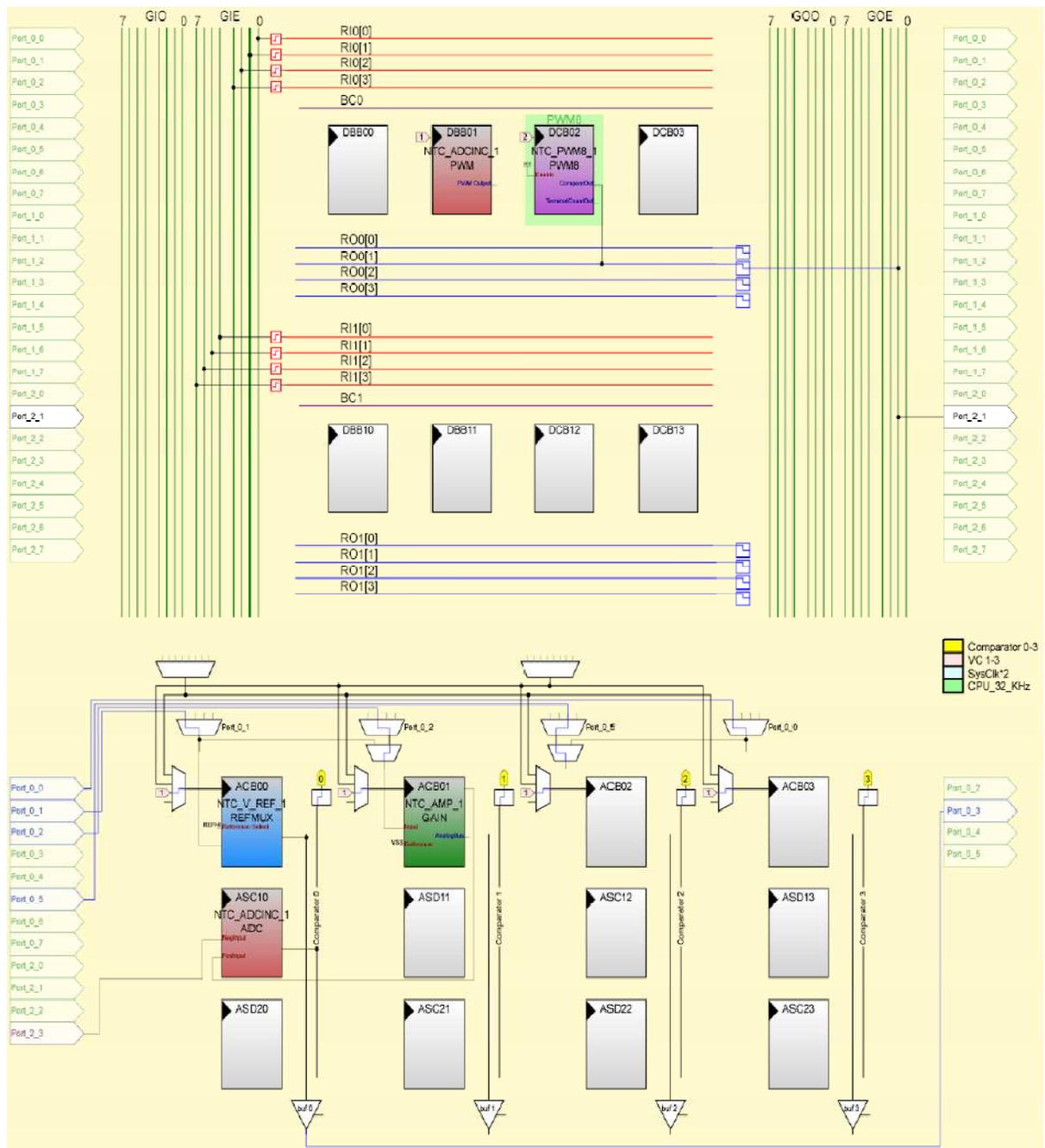


Figura 18: Configuração dos blocos para o sensor NTC

Na figura 18, é possível observar o circuito de condicionamento no ambiente de desenvolvimento que lembra um diagrama de blocos. O pino P0.3 foi interligado ao bloco de referência de tensão para enviar a alimentação de 5 V para o divisor de tensão. O pino P0.2 foi configurado para ser a entrada de sinal do circuito de condicionamento, que está conectada à entrada do bloco

amplificador. O conversor A/D foi configurado para 8 bits e está ligado à saída do bloco amplificador.

Na parte superior da figura 18 é possível observar dois blocos, que são a parte digital do conversor A/D e o modulador PWM que está conectado ao pino de saída P2.4.

O conversor A/D, configurado para $n=8$ bits, gera valores convertidos na faixa de 0 a 255 (2^8). A resolução é dada pela seguinte equação, conforme “*data sheet*” do módulo, encontrado no próprio ambiente de desenvolvimento:

$$\text{Resolução} = \text{VREF} \times 1000 / (2^n) \quad (3)$$

Onde:

Resolução – menor unidade de conversão em (mV).

VREF – Tensão de referência para o conversor em (V).

n – Número de bits do conversor

Com uma tensão de referência de 5 V e o conversor de 8 bits, resulta Resolução = 19,53 mV.

O valor convertido pode ser calculado então:

$$\text{Dado}_{ADC} = \frac{\text{Ventrada}_{ADC}}{\text{Resolução}} \quad (4)$$

Onde:

Dado_{ADC} – Valor convertido correspondente à tensão de entrada do conversor.

Ventrada_{ADC} – Tensão de entrada do conversor em (mV).

Resolução – Menor unidade de conversão em (mV).

O modulador PWM também foi configurado para 8 bits, o que permite escrever diretamente o valor lido do conversor A/D no registrador de período que controla a largura de pulso.

A frequência de modulação depende da frequência de relógio aplicada ao bloco PWM, $f_{PWM} = f_{relógio}/255$. No caso, foi utilizada a frequência de relógio igual a 93750 Hz, isso resulta em uma frequência de PWM de aproximadamente 366 Hz.

Abaixo é mostrado o trecho do código de programa em C, onde são realizadas a leitura do conversor A/D e a escrita no registrador que controla a largura de pulso do modulador PWM:

```
if (config == 1) //comandos específicos para leitura de dados no
circuito NTC
{while(NTC_ADCINC_1_fIsDataAvailable() == 0); // Loop até ler o
valor do adc
    dado_adc=NTC_ADCINC_1_bClearFlagGetData(); // limpa o flag
do ADC e pega o dado
    NTC_PWM8_1_WritePulseWidth(dado_adc);/* escreve dado_adc no
registrador de largura de pulso do PWM*/
}
```

O comando “*while*” é responsável por liberar o fluxo de processamento somente depois que o dado convertido do A/D estiver disponível para leitura. Após isso, o dado é salvo em uma variável local chamada “*dado_adc*” e em seguida, o valor é escrito no registrador de largura de pulso do modulador PWM através do comando “*WritePulseWidth*”.

O “*duty cycle*” do modulador pode ser calculado pela equação 5, obtida do “*data sheet*” do módulo de usuário:

$$\text{Duty Cycle} = \frac{\text{Registrador Larg Pulso}+1}{\text{Período}+1} \quad (5)$$

Onde:

Duty Cycle – Ciclo de carga do modulador PWM em (%).

Registrador de Larg Pulso – Registrador que controla a largura do pulso

Periodo – Registrador onde fica armazenado o valor máximo de largura de pulso, no caso um valor fixo de 255, que corresponde a um “*duty cycle*” de 100%.

Calculando os valores do “ dado_{ADC} ” e do “*duty cycle*”, conforme definido nas equações 4 e 5 respectivamente, foi possível montar a tabela 4, onde é possível observar os valores esperados do “*duty cycle*” do modulador PWM em função da temperatura do sensor NTC.

Tabela 4: Valores calculados para o dado_{ADC} e % PWM em função da temperatura do sensor NTC.

| temperatura | R1 | VNTC | DADO_ADC | Duty Cycle PWM |
|-------------|------------|-------|----------|----------------|
| °C | k Ω | V | | (%) |
| -40 | 45,313 | 4,530 | 231 | 90,63 |
| -30 | 26,114 | 4,237 | 216 | 84,77 |
| -20 | 15,462 | 3,834 | 195 | 76,56 |
| -10 | 9,397 | 3,333 | 170 | 66,80 |
| 0 | 5,896 | 2,782 | 141 | 55,47 |
| 10 | 3,792 | 2,233 | 113 | 44,53 |
| 20 | 2,500 | 1,736 | 88 | 34,77 |
| 25 | 2,057 | 1,522 | 77 | 30,47 |
| 30 | 1,707 | 1,332 | 67 | 26,56 |
| 40 | 1,175 | 1,000 | 51 | 20,31 |
| 50 | 0,834 | 0,754 | 38 | 15,23 |
| 60 | 0,596 | 0,563 | 28 | 11,33 |
| 70 | 0,435 | 0,424 | 21 | 8,59 |
| 80 | 0,323 | 0,322 | 16 | 6,64 |
| 90 | 0,243 | 0,246 | 12 | 5,08 |
| 100 | 0,186 | 0,190 | 9 | 3,91 |
| 110 | 0,144 | 0,149 | 7 | 3,13 |
| 120 | 0,113 | 0,117 | 5 | 2,34 |
| 130 | 0,089 | 0,093 | 4 | 1,95 |
| 140 | 0,071 | 0,074 | 3 | 1,56 |

Na tabela 4 é possível observar os valores calculados para o “*duty cycle*” do modulador PWM em (%) que são esperados na saída do circuito de condicionamento para o sinal do sensor de temperatura NTC em uma dada temperatura.

3.2.1.2 Análise experimental do circuito de condicionamento para o sensor de temperatura NTC

Para fazer a análise do funcionamento do circuito de condicionamento para o sensor de temperatura NTC, foi realizado um experimento. Nesse experimento foi seguido o seguinte procedimento:

- 1) Foi montado o arranjo experimental da figura 19.

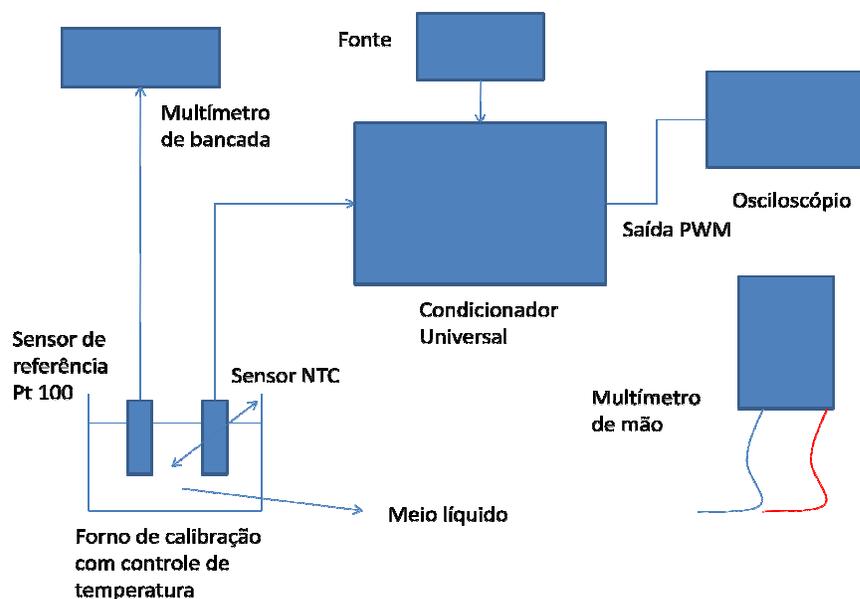


Figura 19: Arranjo experimental para testes do circuito de condicionamento de sinal para o sensor de temperatura NTC.

Na figura 19 é possível observar que o sensor de temperatura NTC foi instalado dentro de um forno de calibração com temperatura controlada. Junto com o sensor NTC foi instalado um sensor de referência do tipo Pt 100, o qual foi conectado a um multímetro de bancada para medir o valor da sua resistência. O sensor NTC foi conectado ao protótipo do condicionador universal de sinais. NA saída PWM do condicionador foi conectado um osciloscópio para registrar a forma de onda do sinal. Para medir a tensão sobre o sensor NTC, a frequência e o "duty cycle" do sinal PWM foi utilizado um multímetro de mão.

- 2) Foram escolhidas três temperaturas de referência para realização do experimento, 0°C, 30°C e 80°C.
- 3) Antes da leitura dos parâmetros, houve um tempo de estabilização de uma hora para cada temperatura de referência.
- 4) No experimento, foram registrados os seguintes parâmetros:
 - Resistência do sensor Pt100 (R_{Pt100}) em (Ω).
 - Tensão no sensor NTC (V_{NTC}) em (V).
 - Frequência do sinal PWM de saída (f_{PWM}) em (Hz).
 - Ciclo de carga do sinal PWM (DUTY_CYCLE) em (%).
 - Forma de onda do sinal PWM.
- 5) No experimento foram utilizados os seguintes equipamentos:
 - Multímetro de bancada Agilent modelo 34401A.
 - Multímetro de mão Fluke modelo 189.
 - Osciloscópio Agilent modelo DSO 634A.
 - Fonte de alimentação Agilent modelo E3631A.
 - Termorresistência padrão Pt100 ECIL rastreabilidade CQ-13842 .
 - Forno de calibração ISOTECH modelo Venus 2140B.
 - Placa protótipo do condicionador universal de sinais.
- 6) Análise dos resultados.

Realizando as medições nas temperaturas de referência foram obtidos os resultados da tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros medidos do condicionador universal configurado para sensor de temperatura NTC.

| Temperatura (°C) | R _{Pt100} (Ω) | V _{NTC} (V) | f _{PWM} (Hz) | DUTY_CYCLE (%) | Forma de onda |
|---------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 100,011 | 2,7586 | 369,49 | 56,32 | Figura 20 |
| 30 | 111,656 | 1,3243 | 369,48 | 27,47 | Figura 21 |
| 80 | 130,868 | 0,3242 | 369,49 | 7,30 | Figura 22 |

Na tabela 5, é possível observar os parâmetros do experimento que foram medidos para as temperaturas, 0°C, 30°C e 80°C. Os valores de resistência do sensor Pt100 correspondem às temperaturas, conforme a tabela do fabricante. (ECIL, 2001)

As formas de onda do sinal PWM podem ser observadas nas figuras 20, 21 e 22.

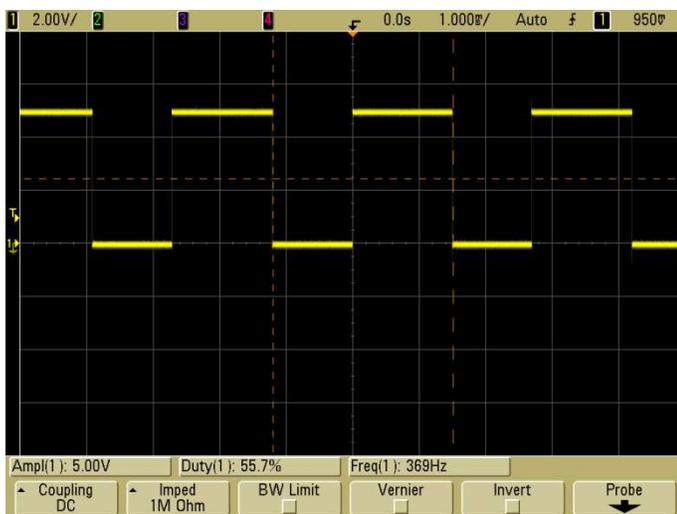


Figura 20: Forma de onda do sinal PWM do condicionador de sinal para sensor NTC a 0°C.

Na figura 20, é possível observar que o sinal PWM correspondente a temperatura de 0°C, possui a amplitude de 5Vpp.

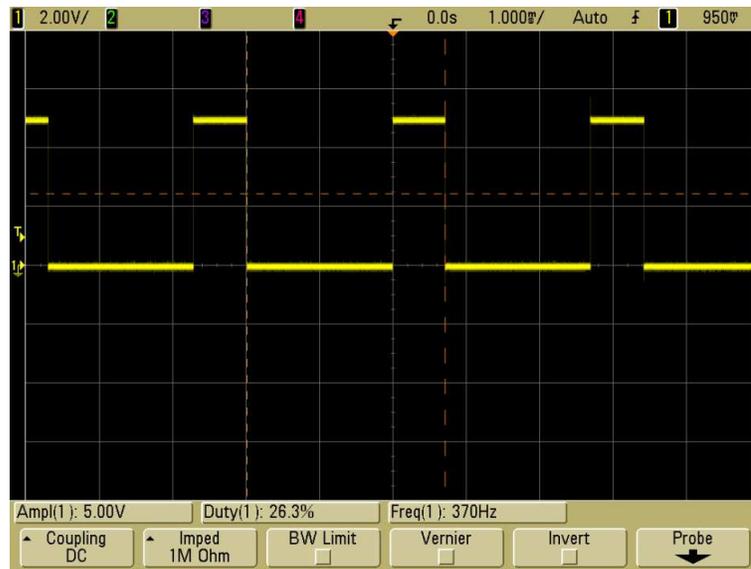


Figura 21: Forma de onda do sinal PWM do condicionador de sinal para sensor NTC a 30°C.

Na figura 21, é possível observar que o “*duty cycle*” do sinal PWM para temperatura de 30 °C reduziu em relação à figura 20.

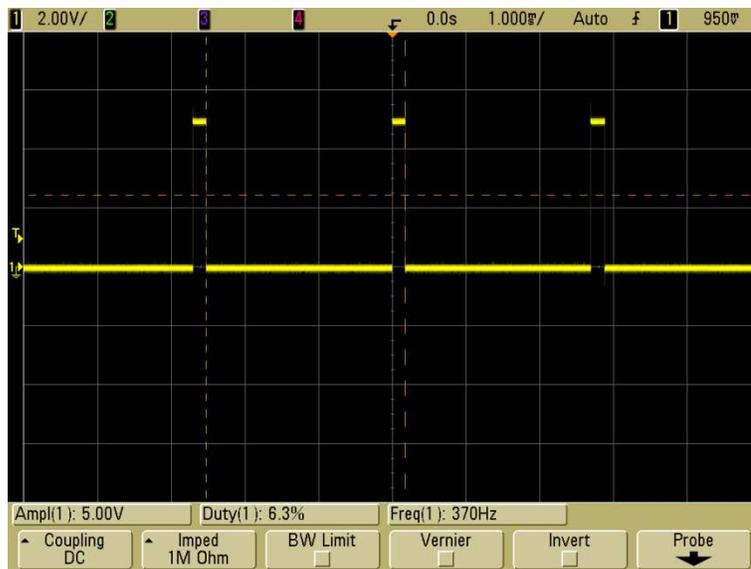


Figura 22: Forma de onda do sinal PWM do condicionador de sinal para sensor NTC a 80°C.

Na figura 22, observa-se mais uma redução no “*duty cycle*” do sinal PWM para temperatura de 80 °C em relação à figura 21. O “*duty cycle*” e a frequência medidos pelo osciloscópio devem ser

desconsiderados. Tais parâmetros foram medidos com o multímetro de mão por ser mais preciso que o osciloscópio e estão informados na tabela 5.

Comparando os dados calculados na tabela 4 com os dados medidos na tabela 5, é possível montar a tabela 6.

Tabela 6: Tabela de comparação dos valores de ciclo de carregamento calculados com os medidos.

| | Calculado | Medido | |
|-------------|------------|------------|---------------|
| Temperatura | DUTY_CYCLE | DUTY_CYCLE | Erro absoluto |
| (°C) | (%) | (%) | (%) |
| 0 | 55,47 | 56,32 | 0,85 |
| 30 | 26,56 | 27,47 | 0,91 |
| 80 | 6,64 | 7,30 | 0,66 |

Na tabela 6, é possível comparar os valores de ciclo de carregamento do sinal PWM calculados com os medidos. O erro absoluto foi calculado da seguinte forma $\text{Erro} = \text{Medido} - \text{Calculado}$. O desvio obtido é aceitável em aplicações automotivas, tendo em vista que os desvios relativos neste ambiente são da ordem de 5%.

3.2.2 Desenvolvimento do circuito de condicionamento para o sensor de relutância variável (RV)

Para desenvolver o circuito de condicionamento do sinal do sensor de relutância variável, foi utilizado o sensor de fabricação da Bosch modelo 0 281 002 214 com as seguintes características: (BOSCH, 1996)

Resistência da bobina a 20°C = $R_w = 860 \Omega \pm 10\%$.

Indutância da bobina à 1kHz = $L_w = 370 \pm 60$ mH.

Faixa de temperatura de operação de -40 °C à +120 °C.

Faixa da tensão de saída U_A de 0 a 200Vpp.

Faixa de rotação de 20 a 7000 rpm.

Número de voltas da bobina $n = 4300 \pm 10$.

O sensor de relutância variável utilizado consiste de uma bobina de fio condutor isolado enrolado sobre um núcleo que é montado junto a um dos pólos de um ímã permanente. No ambiente automotivo esse tipo de sensor é utilizado para medir a rotação de eixos. Sua aplicação mais comum é na medição do sinal de rotação do motor do veículo.

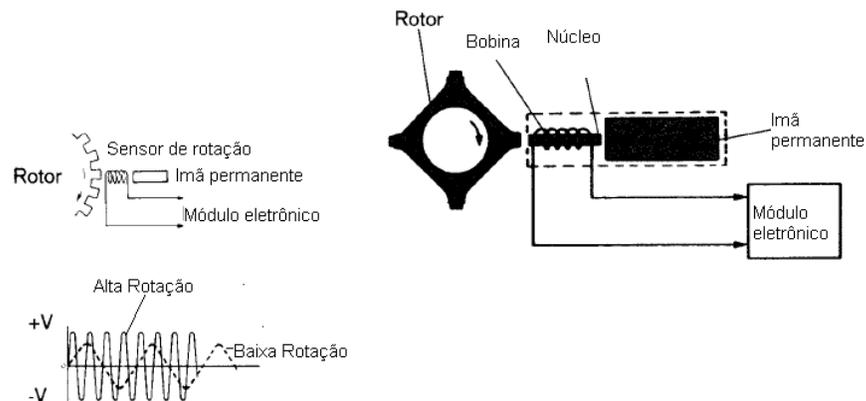


Figura 23: Princípio construtivo do sensor de relutância variável. (TOYOTA)

Na figura 23 é possível observar os elementos construtivos do sensor, bobina, núcleo e ímã. É possível observar também o tipo do sinal elétrico que o sensor gera e também que sua amplitude é aumenta em rotações maiores.

Esse tipo de sensor não necessita de alimentação externa porque gera um sinal elétrico em seus terminais quando a relutância do circuito magnético varia no tempo. Tal variação é provocada pela variação da distância de ar entre o sensor e uma superfície de material ferromagnético. A variação da relutância provoca uma variação no fluxo magnético. Pelo princípio da lei de “*Faraday*” (equação 6) quando isso ocorre surge uma tensão induzida nos terminais da bobina do sensor.

$$V = -n \times \frac{d\phi}{dt} \quad (6)$$

Onde:

V – Força eletromotriz induzida em (V).

N – Número de espiras da bobina.

$d\phi/dt$ - Derivada do fluxo magnético através da bobina no tempo em (Wb/s)

A tensão induzida que é verificada nos terminais do sensor é diretamente proporcional ao número de espiras e a variação do fluxo magnético no tempo, que está diretamente relacionada com a rotação do eixo do motor.

Devido às altas amplitudes que o sinal elétrico do sensor pode atingir, foi necessário projetar um circuito externo para atenuar o sinal, a fim de não danificar a entrada do microcontrolador do condicionador universal de sinais, que trabalha com sinais de amplitude de até 5V. Um exemplo do sinal elétrico do sensor de relutância variável é apresentado na figura 24.

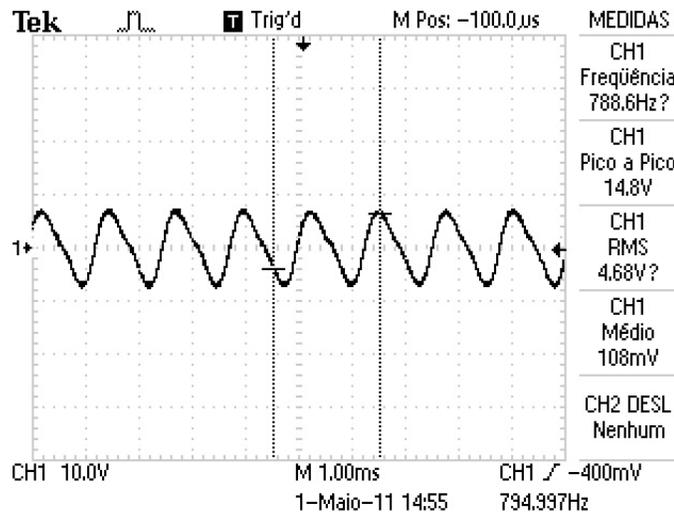


Figura 24: Exemplo de sinal elétrico do sensor de relutância variável.

Na figura 24, observa-se, o sinal característico de tensão de saída do sensor. As medição foi realizada em uma bancada de teste com uma roda de pulsos de 60 dentes. Observa-se que a amplitude do sinal foi de 14,8Vpp. A rotação do eixo está relacionada com a frequência do sinal elétrico conforme a equação 7.

$$n_{eixo} = \frac{f \times 60}{p} \quad (7)$$

Onde:

n_{eixo} – Rotação do eixo em (rpm).

f – Frequência do sinal elétrico em (Hz).

p – Número de dentes da roda de pulso.

Para o sinal apresentado na figura 24, a rotação correspondente a frequência de 794,997 Hz é de 794,997 rpm, isso se deve ao fato da roda de pulsos possuir 60 dentes.

Para projetar o circuito de atenuação foi utilizado o simulador de circuitos “*LT Spice*”, o circuito foi baseado em um circuito já utilizado na indústria automobilística.

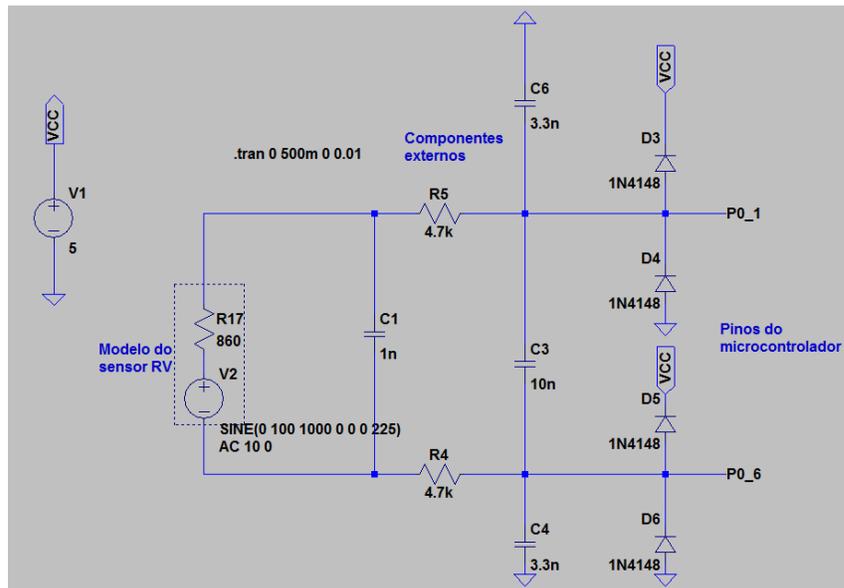


Figura 25: Circuito limitador de tensão externa.

Na figura 25, observa-se o diagrama elétrico do circuito que foi projetado para limitar a amplitude do sinal elétrico proveniente do sensor de relutância variável. O sensor foi modelado com uma fonte de tensão alternada de 100V de amplitude (200 Vpp) e uma resistência interna de 860 Ω , conforme especificação do fabricante. Os pares de capacitores C4 - C6 e C1- C3 são utilizados para atenuar interferências de modo comum e diferencial respectivamente, seus valores foram copiados de circuitos automotivos já existentes. Os diodos D3, D4, D5 e D6 modelo 1N4148, são utilizados para limitar a amplitude do sinal de entrada do microcontrolador. Os resistores de 4,7k Ω (R4 e R5), foram projetados para limitar a corrente de entrada do circuito, seu valor foi determinado de forma a colocar uma impedância de entrada do circuito ($R5 + R4 = 9400 \Omega$) de aproximadamente 10 vezes a resistência interna do sensor que é de 860 Ω . Com os valores adotados para R4 e R5 a corrente de entrada também é limitada em valores próximos a 10mA ($I_{entrada} = V_{sensor} / (R_{int} + R_{entrada})$).

Realizando a simulação do circuito, foi possível observar as formas de onda resultantes para o modelo do sensor.

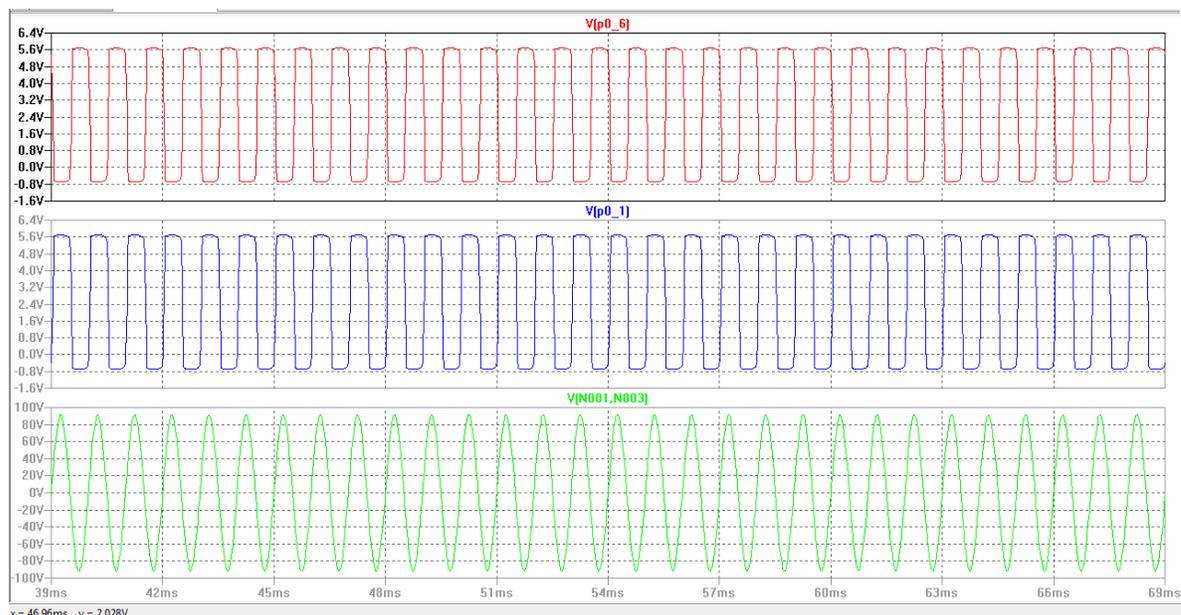


Figura 26: Formas de onda do circuito de limitação do sinal entrada para o sensor RV.

Observa-se na figura 26, que o sinal de entrada proveniente do sensor V(N001,N003) tem uma amplitude de aproximadamente 180Vpp e que os sinais que vão para as entradas do microcontrolador (V(p0_1) e V(p0_6)) possuem amplitude limitada em uma faixa de -0,7 a 5,7V, o que comprova o funcionamento do circuito de limitação de tensão.

A primeira etapa do desenvolvimento do circuito de condicionamento de sinal para o sensor de relutância variável foi o desenvolvimento do circuito externo de limitação de tensão na entrada do microcontrolador. A segunda parte foi a configuração do circuito de condicionamento dentro do microcontrolador e a edição do código fonte.

3.2.2.1 Caracterização do circuito de condicionamento para o sensor RV

Para o desenvolvimento do circuito de condicionamento que foi configurado no microcontrolador, o primeiro passo foi definir qual seria o tipo de sinal de saída do circuito e a partir daí foram definidos basicamente quais blocos seriam necessários para condicionar o sinal proveniente do circuito de limitação de tensão externo. Feito isso foi elaborado um diagrama de blocos para mostrar de forma mais clara como deveria ser o tratamento do sinal dentro do microcontrolador e qual seria o tipo de saída desejada.

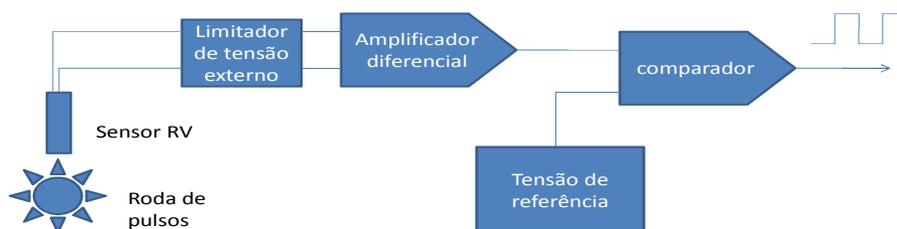


Figura 27: Diagrama de blocos do condicionador de sinal para o sensor RV

Na figura 27 é possível observar o diagrama de blocos do condicionador de sinal para o sensor de relutância variável. O bloco limitador de tensão externo, representa o circuito discutido no item 3.2.2. Os demais blocos foram configurados dentro do microcontrolador. O Amplificador diferencial amplifica o sinal de entrada, ele fornece um sinal de saída em modo comum. Em seguida, o sinal passa por um comparador de tensão, onde a tensão de referência é 2,5V que corresponde à metade da amplitude máxima que o amplificador fornece que é de 5V. Ao final é obtido um sinal de onda quadrada e amplitude fixa de 5Vpp com frequência igual a do sinal de entrada.

Ao configurar e interligar os blocos no ambiente de desenvolvimento, o resultado é um diagrama de blocos no padrão do ambiente de desenvolvimento do PSoC.

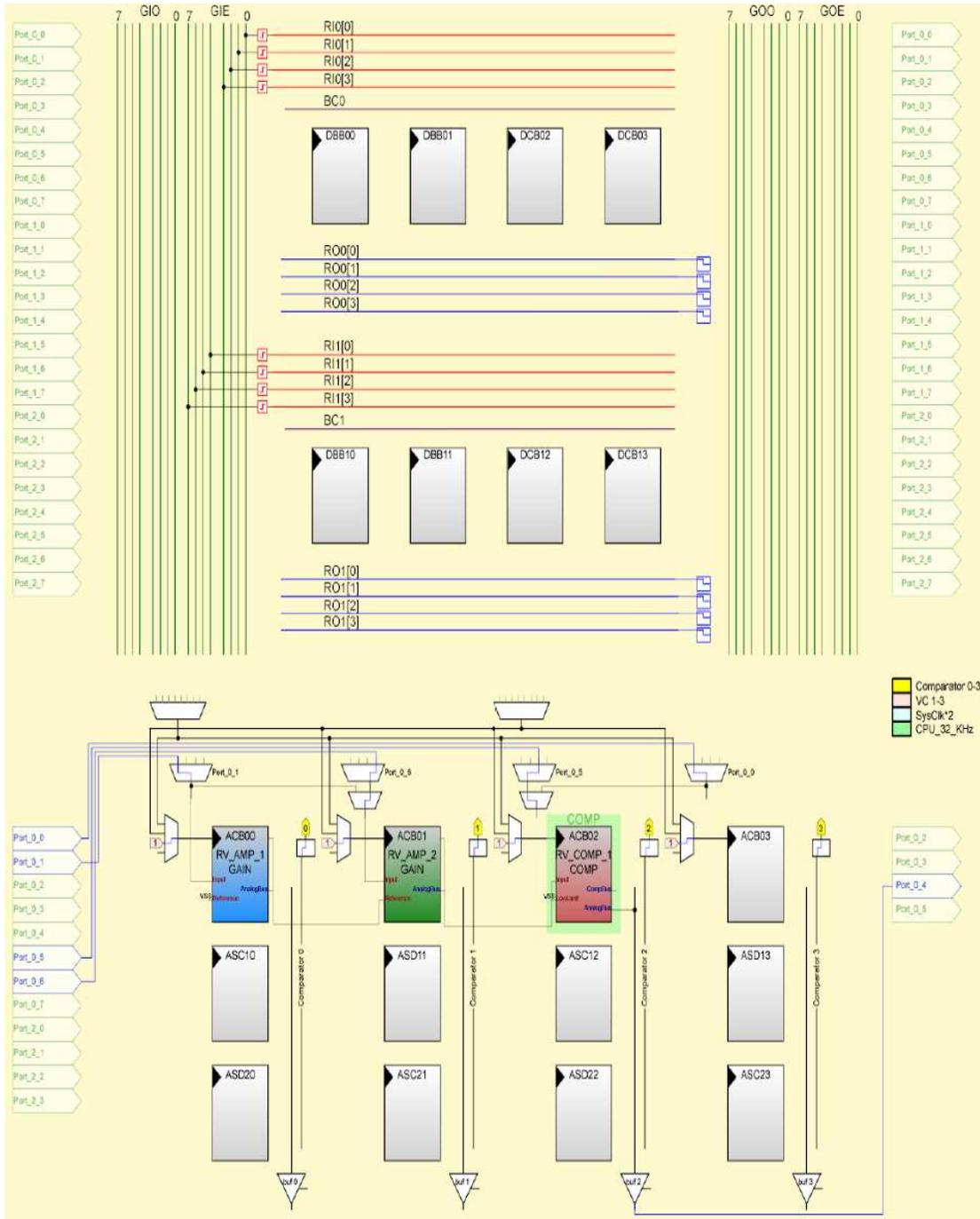


Figura 28: Configuração dos blocos para o condicionador do sensor RV

É possível observar na figura 28 os blocos que foram utilizados para caracterizar o condicionador de sinal para o sensor RV. Para configurar um amplificador diferencial foi necessário usar dois amplificadores de ganho programável, RV_AMP_1 e RV_AMP_2. As entradas do circuito foram definidas nos pinos P0.1 e P0.6. O comparador RV_COMP_1 é o responsável por gerar a saída condicionada para o pino P0.4.

Neste circuito de condicionamento o sinal de saída é uma onda quadrada com amplitude de 0 à 5V, com a mesma frequência do sinal de entrada.

Abaixo está o trecho de código que habilita a energia dos blocos utilizados no condicionador de sinal do sensor RV:

```
RV_AMP_1_Start(RV_AMP_1_HIGHPOWER); //liga energia do
amplificador 1
RV_AMP_2_Start(RV_AMP_2_HIGHPOWER); //liga energia do
amplificador 2
RV_COMP_1_Start(RV_COMP_1_HIGHPOWER); //liga energia do
comparador 1
```

São utilizadas instruções específicas para cada bloco. Cada bloco é habilitado com um nível de energia específico escolhido pelo projetista. O nível de energia afeta o desempenho do bloco. Blocos configurados com nível de energia têm maior desempenho.

3.2.2.2 Análise experimental para o circuito de condicionamento do sensor de relutância variável

Para analisar o funcionamento do circuito de condicionamento foi realizado um experimento em bancada. Não foi possível realizar os testes com o sensor, por isso foi utilizado um gerador de sinais em seu lugar.

O experimento seguiu o seguinte procedimento:

- 1) Foi montado o arranjo experimental da figura 29.

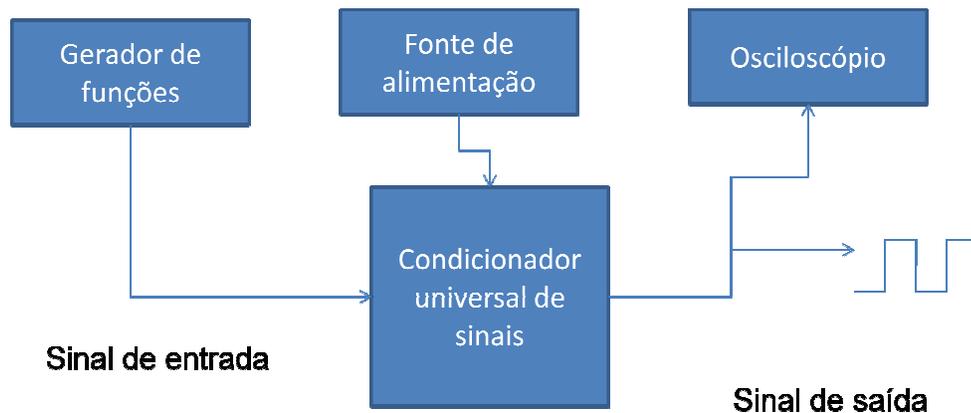


Figura 29: Diagrama de blocos do arranjo experimental

Na figura 29 é possível observar que o sensor de relutância foi substituído por um gerador de funções. Essa substituição não trouxe prejuízo à análise experimental, já que o gerador é capaz de fornecer o sinal com formato muito próximo ao de um sensor de relutância variável real. Do ponto de vista da amplitude do sinal também não houve prejuízo já que o sinal de entrada sempre irá passar pelo circuito limitador de tensão já discutido no item 3.2.2.1. Os sinais de entrada foram medidos com o osciloscópio.

- 2) Foram utilizados sinais de 1kHz e 10kHz, que correspondem a sinais de rotação de 1000 e 10000 rpm respectivamente.
- 3) A frequência do sinal foi ajustada conforme o passo 2 e foram medidos os seguintes parâmetros:

- Vent – Tensão de entrada do circuito em (Vpp).
- Vsaida – Tensão de saída do circuito em (Vpp).
- Forma de onda de ambos os sinais.

4) No experimento foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Gerador de funções BK PRECISION modelo 4012A.
- Fonte de alimentação ICEL modelo PS5000.
- Osciloscópio Tektronix modelo TDS 1002 B.
- Placa protótipo do condicionador universal de sinais.

5) Análise dos resultados.

Realizando as medições em ambas as frequências escolhidas foram obtidos os resultados da tabela 7.

Tabela 7: Dados das medições no circuito de condicionamento para sensor RV

| Frequência | Freq. Entrada | Vent | Freq. Saída | Vsaida | Erro relativo freq. | Forma de onda |
|------------|---------------|-------|-------------|--------|---------------------|---------------|
| (Hz) | (Hz) | (Vpp) | (Hz) | (Vpp) | (%) | |
| 1000 | 998,66 | 8 | 1000,26 | 5 | 0,16 | 30 |
| 10000 | 10000 | 8 | 10002,4 | 5 | 0,024 | 31 |

Na tabela 7 é possível observar um resumo dos dados obtidos durante o experimento com o circuito de condicionamento. As formas de onda correspondentes podem ser observadas nas figuras 30 e 31.

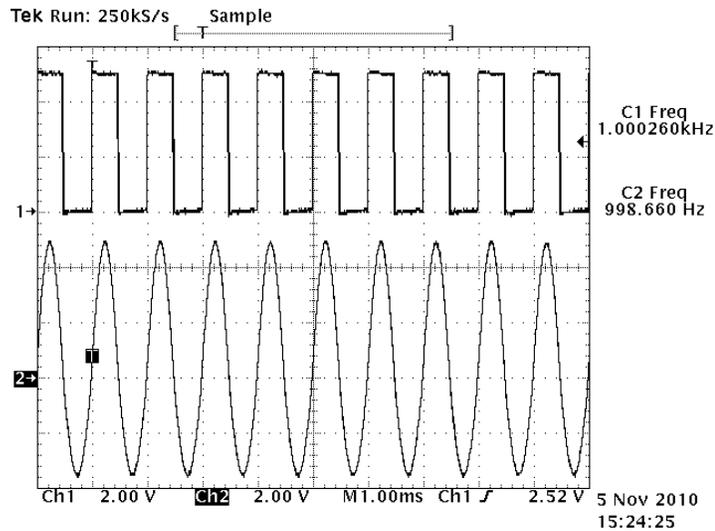


Figura 30: Sinais de entrada e saída do condicionamento de sinal para o sensor RV à 1kHz.

Na figura 30 é possível observar as formas de onda do sinal de entrada (2) e o sinal de saída do circuito (1). Também é possível observar que existe um pequeno erro entre a frequência de entrada e a de saída.

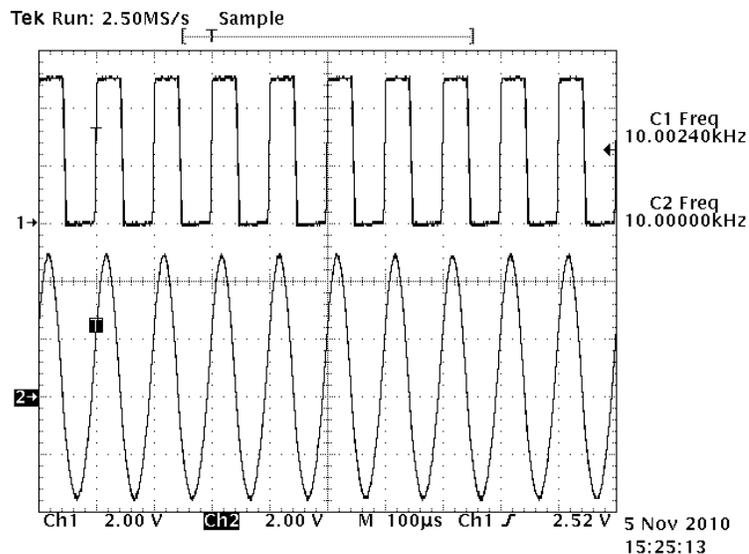


Figura 31: Sinais de entrada e saída do condicionamento de sinal para o sensor RV à 10kHz.

Na figura 31 é possível observar os sinais de entrada e saída do circuito de condicionamento para o sensor de relutância variável. O sinal de entrada é o (2) e o sinal de saída é o (1). O comportamento do circuito a 10kHz é similar ao comportamento em 1kHz.

Analisando ambos os resultados é possível observar que o circuito foi capaz de condicionar o sinal conforme esperado. O sinal de entrada foi condicionado para uma forma de onda quadrada e a frequência do sinal de saída pode ser considerada igual à de entrada. Nas duas frequências analisadas não foi observado problema de defasagem de sinal.

3.2.3 Desenvolvimento do circuito de condicionamento para o sensor capacitivo

Foi escolhida a versão protótipo do Pedal de Acelerador Capacitivo para Aplicações Automotivas (CAMARGO, 2011).

O circuito de condicionamento escolhido para ser caracterizado no SOC é baseado na medição da diferença de potencial em uma ponte híbrida capacitiva / resistiva. O princípio de funcionamento desse circuito é baseado na variação da impedância do capacitor em função da variação da capacitância. Um sinal senoidal com uma frequência apropriada alimenta a ponte. Existem dois capacitores com propriedades e natureza idênticas, um deles é o sensor e o outro é o de referência.

$$XC = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \quad (8)$$

Onde:

XC – Reatância capacitiva em (Ω).

π – constante 3,1415.

f – Frequência em (Hz).

C – Capacitância em (F).

O sensor possui as características de capacitância em função do ângulo de atuação e da frequência do circuito ressonante conforme pode ser observado na figura 32.

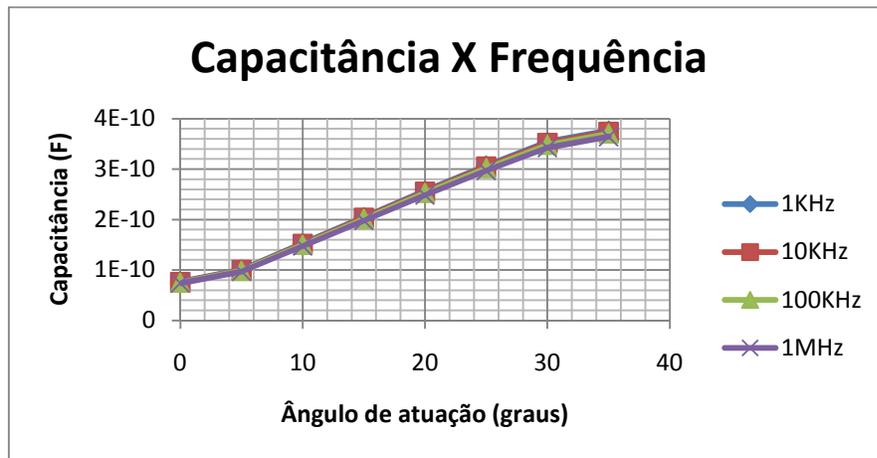


Figura 32: Valores de capacitância do sensor em função da frequência e do ângulo de atuação.

(CAMARGO, 2011)

Vê-se na figura 32 que os valores da capacitância do sensor variam em função do ângulo de atuação. Repetindo o ensaio em 4 frequências diferentes os resultados foram praticamente os mesmos em todas elas. A variação da capacitância do sensor é quase linear na faixa de 100pF até 350 pF.

Para condicionar o sinal do sensor capacitivo, foi necessário desenvolver um circuito em ponte para possibilitar a aquisição dos sinais no microcontrolador. O circuito foi desenvolvido no “*LT Spice*” e pode ser observado na figura 33.

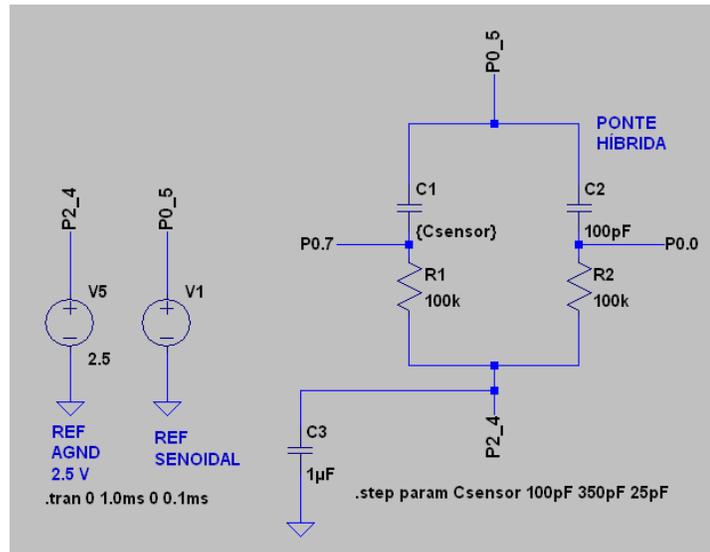


Figura 33: Circuito em ponte para adequação do sinal do sensor capacitivo para o microcontrolador.

Vê-se na figura 33 o circuito externo com a ponte híbrida para medição da capacitância do sensor. O pino P0.5 do SOC gera uma forma de onda senoidal de 10kHz com amplitude programável. O pino P2.4 fornece um nível de tensão de referência de $V_{cc}/2 = 2,5V$. A diferença de potencial entre os pinos P0.0 e P0.7 é proporcional a variação de capacitância do sensor.

Na condição inicial os capacitores C1 e C2 estão com o mesmo valor de capacitância, nessa condição, as tensões em P0.0 e P0.7 são iguais. Quando a capacitância do sensor C1 for diferente de C2 as tensões serão diferentes entre os pinos P0.0 e P0.7.

As formas de onda obtidas na simulação do circuito podem ser observadas na figura 34.

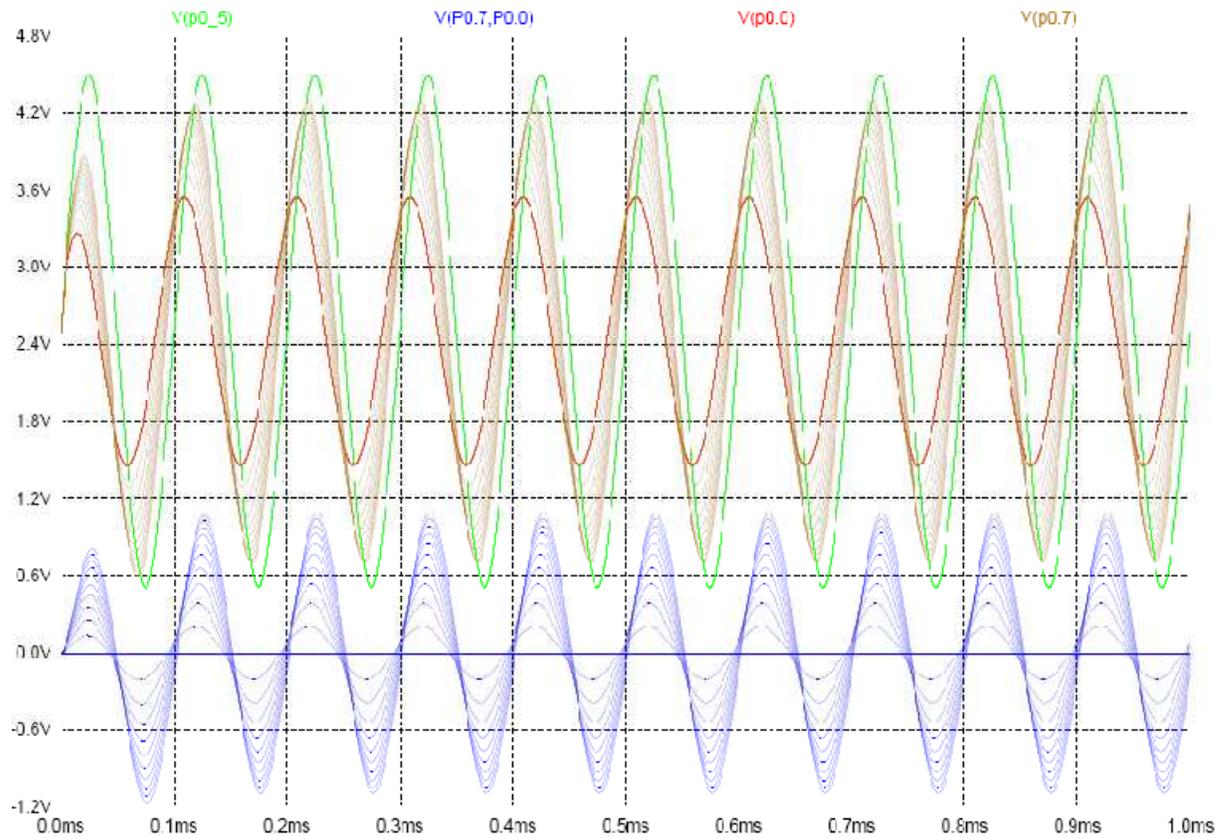


Figura 34: Formas de onda da ponte híbrida

Vê-se na parte inferior da figura 34 a forma de onda resultante entre os pinos P0.0 e P0.7 quando a capacitância do sensor varia, com os valores nesses pontos variando de zero até 2Vpp. Essa diferença de potencial será medida pelo circuito de condicionamento.

3.2.3.1 Caracterização do circuito de condicionamento para o sensor capacitivo

O circuito de condicionamento é baseado na medição da tensão diferencial da ponte capacitiva híbrida. A ponte é alimentada com uma senóide de 10 kHz e uma tensão de referência para forçar um nível de tensão contínua na saída da ponte para possibilitar a leitura do sinal por um

amplificador de instrumentação. As etapas posteriores de retificação e filtragem fazem o tratamento final do sinal antes da saída analógica.

O diagrama de blocos da figura 35 mostra os blocos internos do circuito de condicionamento para o sensor capacitivo que foi caracterizado no microcontrolador.

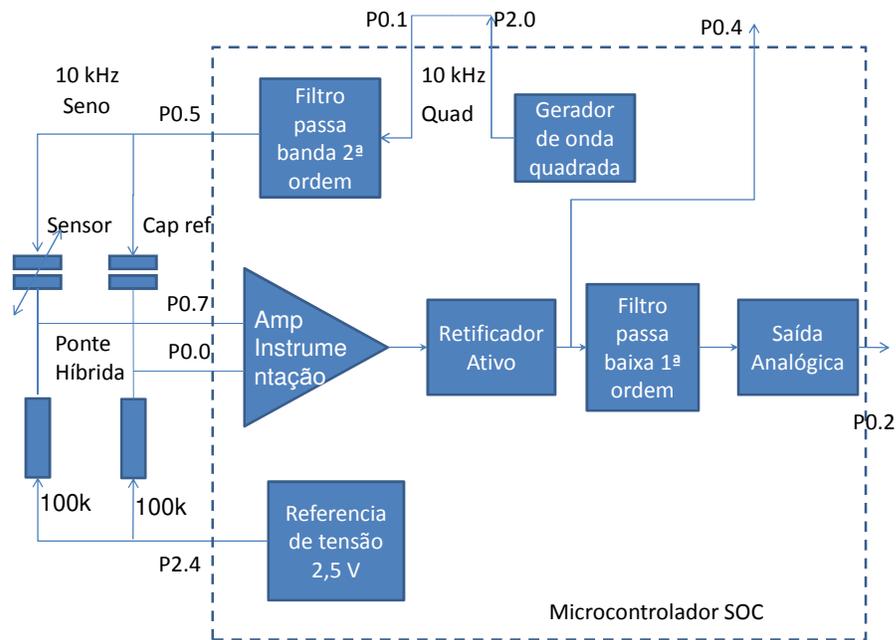


Figura 35: Diagrama de blocos do condicionador para sensor capacitivo

É possível observar na figura 35 os blocos configurados dentro do microcontrolador SOC. Para gerar a senóide a 10 kHz foi aplicada a decomposição dos termos da série de Fourier para deixar somente o termo fundamental após o filtro de 2ª ordem. O amplificador de instrumentação funciona como elemento de alta impedância e amplifica o sinal diferencial que é encaminhado para o retificador ativo, configurado com um bloco de capacitor chaveado. O filtro serve para minimizar a ondulação característica do retificador.

Os blocos configurados são mostrados na figura 36, que representa o circuito de condicionamento para o sensor capacitivo com todo o tratamento do sinal até a saída analógica.

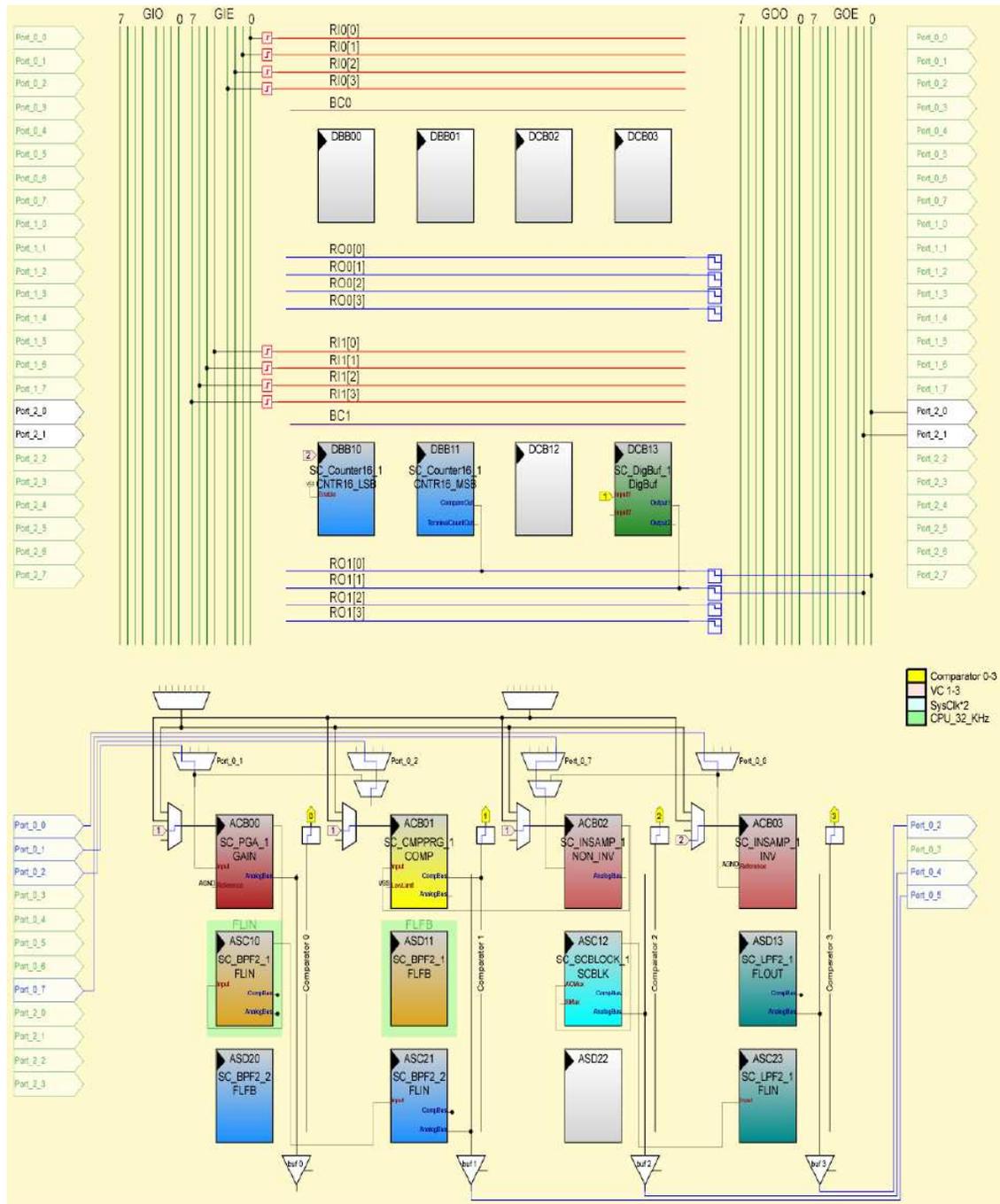


Figura 36: Configuração dos blocos do microcontrolador SOC para o condicionador do sensor capacitivo.

Vê-se na figura 36 que o gerador de onda quadrada foi configurado com um contador de 16 bits e esse contador usa dois blocos SC_Counter16_1. O filtro passa banda de 2ª ordem foi configurado usando 5 blocos analógicos, SC_PGA_1 ajusta a amplitude de entrada do filtro propriamente dito, os blocos SC_BPF2_1 e SC_BPF2_2.

A seguir o sinal senoidal alimenta a ponte capacitiva híbrida. O sinal é lido pelo amplificador de instrumentação configurado pelos 2 blocos SC_INSAMP_1. A saída do amplificador de instrumentação é levada a um bloco comparador SC_CMPPRG_1 e a um amplificador a capacitor chaveado SC_SCBLOCK_1. O comparador funciona como um detector de polaridade de sinal, que gera uma saída positiva quando a tensão na entrada é maior que 2,5V e zero quando a tensão é menor que 2,5 V. O sinal de saída controla o ganho do bloco chaveado, esse ganho pode ser +1 ou -1. O ganho é +1 quando a saída do amplificador de instrumentação é >2,5V e se torna -1 quando a saída é < 2,5V. O resultado é um sinal retificado na saída do bloco a capacitor chaveado. A etapa seguinte formada pelo filtro passa baixa SC_LPF2_1 elimina a pulsação no sinal que sai do retificador.

O software para o condicionador do sensor capacitivo se resumiu a ativação de energia dos blocos e uma linha para direcionar a saída do comparador para o retificador.

```
SC_LPF2_1_Start(SC_LPF2_1_HIGHPOWER); // liga energia do filtro
    SC_BPF2_1_Start(SC_BPF2_1_HIGHPOWER); // liga energia do
filtro
    SC_BPF2_2_Start(SC_BPF2_2_HIGHPOWER); // liga energia do
filtro
    SC_Counter16_1_Start(); // liga energia do contador
    SC_PGA_1_Start(SC_PGA_1_HIGHPOWER); //LIGA ENERGIA DO
SC_PGA_1
    SC_INSAMP_1_Start(SC_INSAMP_1_HIGHPOWER); //LIGA ENERGIA DO
SC_INSAMP_1
```

```

    SC_SCBLOCK_1_Start(SC_SCBLOCK_1_HIGHPOWER); // LIGA ENERGIA
DO RETIFICADOR
    SC_CMPPRG_1_Start(SC_CMPPRG_1_HIGHPOWER); //LIGAENERGIA DO
COMPARADOR
    SC_DigBuf_1_Start(); //LIGA ENERGIA DO BUFFER DIGITAL

    AMD_CR0 |= 0x50; //DEFINE Comparator_Bus_1 COMO FONTE DO
Modulator ASC12

```

No trecho de código anterior, é possível observar que além de ligar a energia dos blocos, também é definido que o barramento 1 de comparação é a fonte de sinal de modulação do bloco retificador.

3.2.3.2 Avaliação experimental do circuito de condicionamento para o sensor capacitivo

Com o circuito caracterizado e o sensor protótipo foi realizado um experimento para verificar o funcionamento do circuito. Foram realizadas as medições dos sinais de alimentação da ponte capacitiva, do retificador e a tensão na saída analógica.

Para verificar os sinais do circuito foram realizadas as medições mostradas na figura 37.

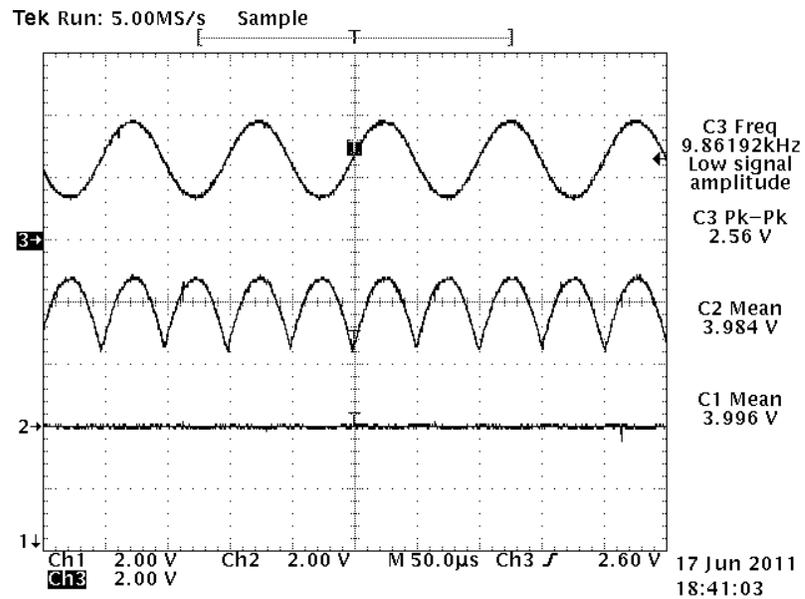


Figura 37: Formas de onda do condicionador para sensor capacitivo na posição máxima.

Na figura 37 é possível observar a tensão senoidal que é aplicada à ponte capacitiva (3). Na posição angular máxima do sensor observam-se também as formas de onda do retificador ativo (2) e o sinal de saída analógica (1).

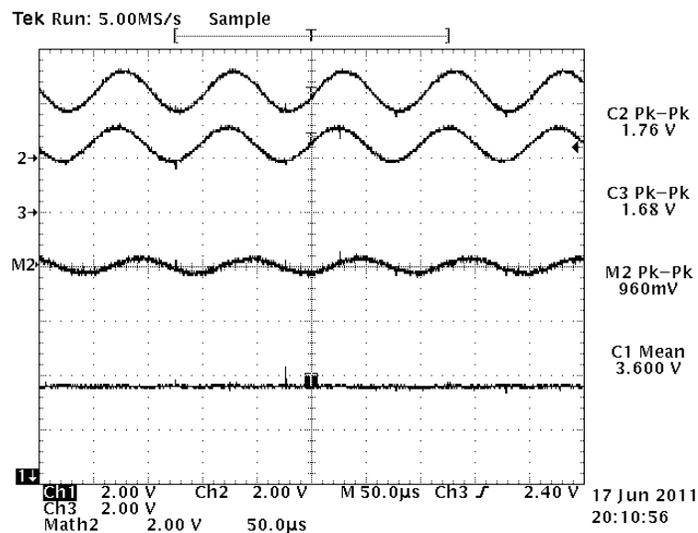


Figura 38: Formas de onda do condicionador de sinal para sensor capacitivo na posição de repouso.

Na figura 38 vê-se que para a posição de repouso do sensor capacitivo a tensão de saída (1) é de 3,6V. Os sinais dos capacitores correspondem as formas de onda dos canais (2) e (3).

3.2.4 Projeto do protótipo do condicionador universal de sinais para sensores automotivos

Até aqui foram apresentados os circuitos de condicionamento caracterizados individualmente. Para caracterizar o protótipo experimental do conversor o primeiro passo foi integrar todos os componentes externos na mesma placa de circuito impresso, conforme pode ser observado na figura 39.

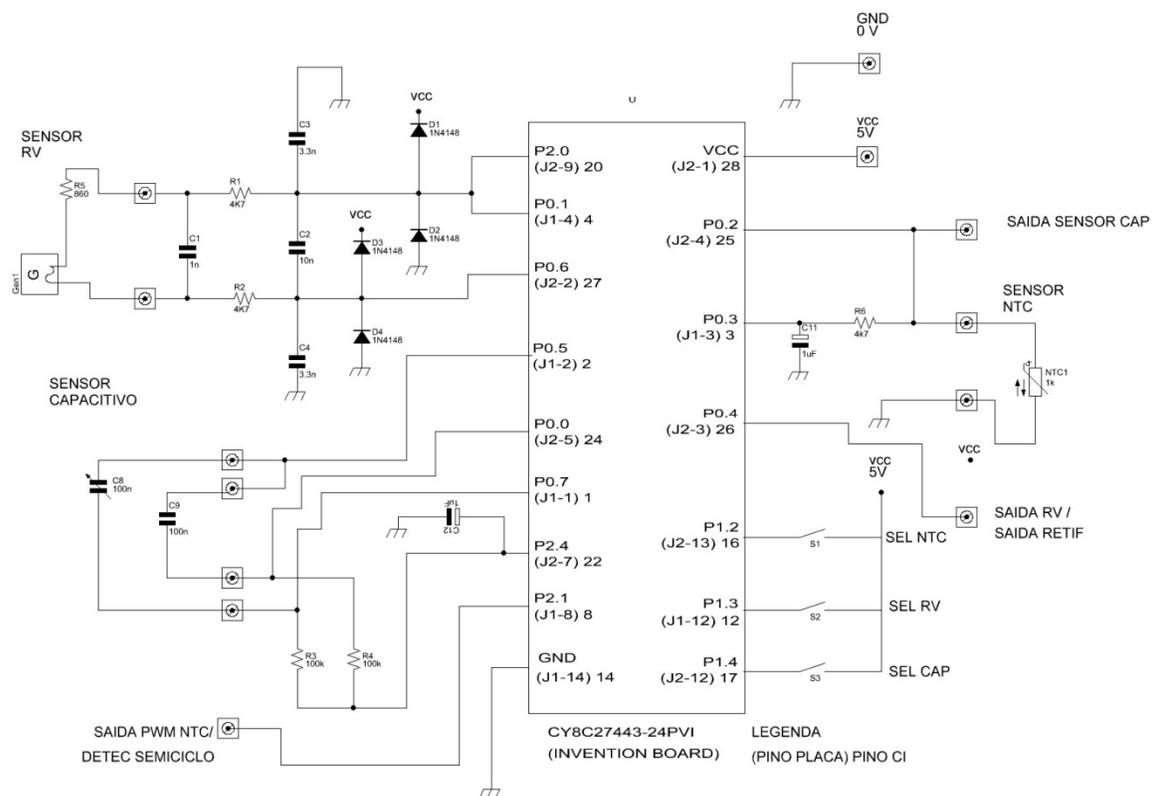


Figura 39: Esquema elétrico condicionador universal

É possível observar na figura 39 todos os componentes externos que foram utilizados na montagem da placa protótipo. Esses componentes externos são necessários para que os sinais

possam ser lidos pelo microcontrolador. Apesar disso, foi utilizada uma quantidade reduzida de componentes externos, somente o estritamente necessário.

Foi utilizada uma placa padrão para montagem do protótipo experimental do condicionador universal de sinais.

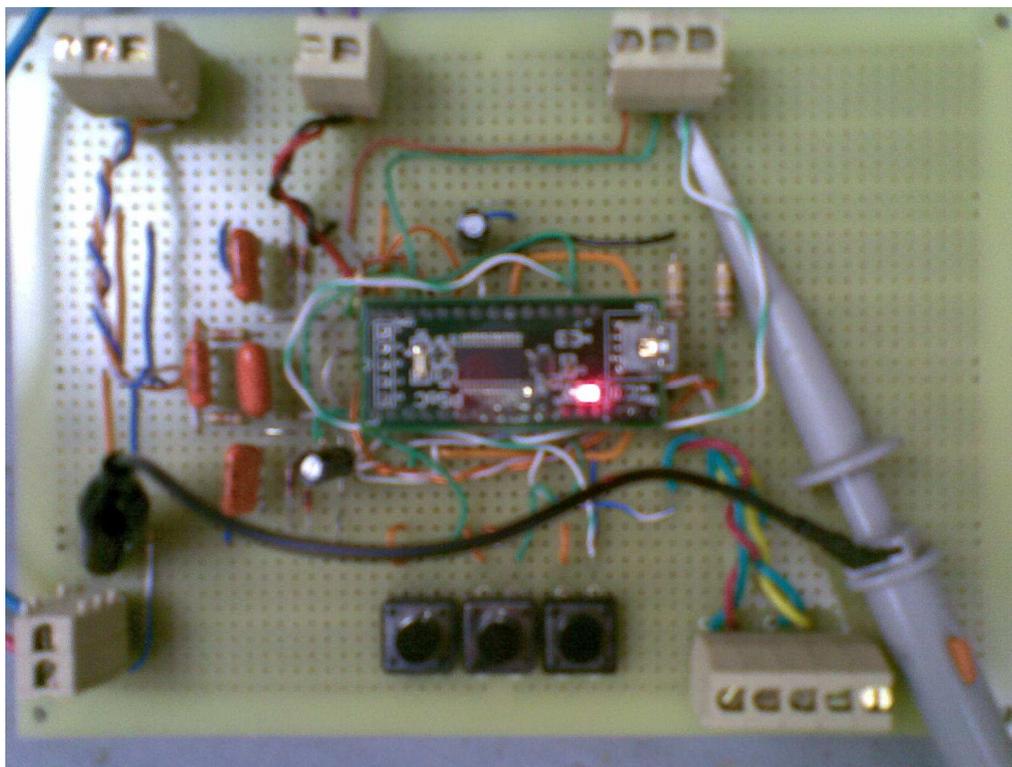


Figura 40: Foto da placa de circuito impresso do protótipo do condicionador universal de sinais.

O segundo passo foi desenvolver uma lógica de reconfiguração dinâmica, de forma que fosse possível, de fato, selecionar os circuitos de condicionamento internos de acordo com o sensor a ser conectado. Essa solução foi necessária porque os blocos internos do sistema são sempre os mesmos por esse motivo não seria possível caracterizar todos os circuitos de condicionamento ao mesmo tempo. Por outro lado, o recurso da reconfiguração dinâmica abre possibilidades quase que ilimitadas de desenvolvimento de diferentes circuitos no mesmo sistema. Nesse aspecto a única limitação é o tamanho da memória de programa.

Os circuitos de condicionamento já caracterizados foram salvos individualmente. No ambiente de desenvolvimento cada circuito é chamado de configuração recarregável. Por definição, do fabricante do microcontrolador, é necessário sempre haver uma configuração base que sempre será carregada independente das outras.

Existem comandos específicos para carregar e descarregar uma dada configuração do sistema. Esses comandos precisam estar dentro do programa principal. Basicamente existe um comando para carregar uma configuração e outro comando para descarregar. Existem apenas três detalhes fundamentais para a reconfiguração dinâmica funcionar:

- 1) Antes de descarregar uma configuração é preciso desligar a energia de todos os blocos.
- 2) Após carregar uma configuração é preciso ligar a energia de todos os blocos.
- 3) Quando um bloco é usado na configuração base ele não deve ser utilizado em outras configurações para evitar conflitos de informação.

No caso do condicionador universal, não foi utilizado nenhum bloco na configuração base para ter total liberdade de escolha dos blocos nas demais configurações. O programa foi desenvolvido respeitando essas observações.

Abaixo é mostrado o trecho do código do programa onde é realizada a seleção das configurações:

```
for(;;) // loop infinito
{
    switch (PRT1DR) //porta P1 de seleção digital da
configuração desejada
    {
        case 0x04: //porta P1.2 selecao NTC
            liga_ntc();
            config=1;
            break;
```

```

        case 0x08: //porta P1.3 selecao RELUT_VAR
            liga_relut_var();
            config=2;
            break;

        case 0x10: //porta P1.4 selecao SENSOR_CAP
            liga_sensor_cap();
            config=3;
            break;
    }
}

```

O laço “for (; ;)” é responsável pela repetição infinita do comando switch, que a cada ciclo de repetição avalia o estado lógico da porta P1. Quando é reconhecida a ativação de um dos 3 pinos de controle de seleção é chamada a função correspondente para ativação do circuito de condicionamento correspondente, além de atribuir uma valor específico à variável config, também correspondente ao circuito de condicionamento específico.

Para deixar o programa com uma estrutura lógica mais amigável foram construídas funções específicas para carregar e descarregar cada configuração:

```

//prototipagem de funções
void liga_ntc(void); //protótipo da função de configuração do
condicionador NTC
void liga_relut_var(void); // protótipo da função de configuração
do cond RELUT_VAR
void liga_sensor_cap(void); //protótipo da função de configuração
do cond SENSOR_CAP

```

```

void desl_ntc(void); // protótipo da função de desabilitação do
NTC
void desl_relut_var(void); //protótipo da função de desabilitação
do RELUT_VAR
void desl_sensor_cap(void); // protótipo da função de
desabilitação do SENSOR_CAP

```

O uso da prototipagem de funções facilita o entendimento do fluxo de processamento e também a realização de futuras ampliações no programa para novas configurações de circuitos porque deixa o programa mais limpo. Dentro do código de cada função estão os comandos específicos para executar a reconfiguração dinâmica.

Abaixo é mostrado o trecho do programa fonte onde foi definida a função `liga_ntc`:

```

void liga_ntc(void) //funcao para carregar a configuracao NTC
{
    desl_relut_var(); //desabilita a configuração RELUT_VAR e
desl seus blocos
    desl_sensor_cap(); //desabilita a configuração SENSOR_CAP e
desl seus blocos
    LoadConfig_NTC(); //carrega a configuração NTC

    NTC_V_REF_1_Start(NTC_V_REF_1_HIGHPOWER); // liga energia do
amplificador
    NTC_AMP_1_Start(NTC_AMP_1_MEDPOWER); // liga energia do
amplificador
    M8C_EnableGInt; // habilita interrupcoes globais
    NTC_ADCINC_1_Start(NTC_ADCINC_1_HIGHPOWER); // liga energia
do ADC
    NTC_PWM8_1_DisableInt(); // desabilita interrupcoes do PWM
    NTC_PWM8_1_Start(); /* Liga energia do PWM */
}

```

```
    NTC_ADCINC_1_GetSamples(0); // Faz o ADC funcionar  
    continuamente  
    return;  
}
```

É possível observar que ao executar essa função, por ordem de seqüência, os primeiros comandos executados são os que desligam as outras configurações. Somente após a execução dessas funções de desligamento, é executado o comando para carregar a configuração para o sensor NTC. Após o carregamento da configuração desejada, os comandos de energização dos blocos são executados. Somente então a configuração está pronta para ser utilizada.

O código fonte completo do programa do microcontrolador está disponível no Apêndice A.

Após realizar os testes funcionais com todos os circuitos de condicionamento, foram realizados testes em câmara climática para verificar a influência da temperatura. Foram realizados testes na câmara climática da figura 41.



Figura 41: Foto da câmara climática do laboratório LPM - Unicamp

Na figura 41 é possível observar a vista parcial da câmara climática THERMOTRON do laboratório LPM.

O procedimento básico dos ensaios foi colocar o circuito de condicionamento dentro da câmara climática, colocar o circuito em funcionamento em uma determinada condição e então foram variados os parâmetros climáticos de temperatura e umidade dentro da câmara.

Os equipamentos de medição podem ser observados na figura 42.



Figura 42: Foto da bancada com os instrumentos utilizados nos testes.

Vê-se na figura 42 os instrumentos utilizados para medir os parâmetros dos circuitos nos testes de avaliação de influência da temperatura. Foram utilizados uma fonte MINIPA PS 6000, Um osciloscópio Tektronix TDS 430A e um multímetro de mão ICEL MD 1200.

O primeiro teste realizado foi com o circuito de condicionamento do sensor NTC. O Sensor NTC foi simulado com um potenciômetro de 50 k Ω . Foi ajustado um valor de resistência, de forma ao “*duty cycle*” do sinal PWM de saída ficar próximo de 50 %. Somente a placa de circuito

impresso foi colocada dentro da câmara climática. A faixa de temperatura do teste foi de 0 °C a 70 °C, em passos de 10 ° C.

Foram obtidos os dados da tabela 8, onde:

Temperatura – Temperatura da câmara em (°C).

VNTC – Tensão sobre o sensor NTC em (V).

Larg Pulso – Largura do pulso positivo do sinal PWM de saída em (ms).

Período – Período do sinal PWM de saída em (ms).

Tabela 8: Parâmetros do circuito de condicionamento do sensor NTC

| temperatura (°C) | VNTC (V) | Larg Pulso (ms) | período (ms) | duty cycle (%) | delta vntc (%) |
|------------------|------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|
| -0,100 | 2,456 | 1,330 | 2,710 | 49,077 | 49,12 |
| 10,100 | 2,448 | 1,330 | 2,710 | 49,077 | 48,96 |
| 20,200 | 2,464 | 1,330 | 2,710 | 49,077 | 49,28 |
| 30,200 | 2,456 | 1,330 | 2,710 | 49,077 | 49,12 |
| 40,200 | 2,440 | 1,330 | 2,710 | 49,077 | 48,8 |
| 50,200 | 2,448 | 1,330 | 2,700 | 49,259 | 48,96 |
| 60,100 | 2,468 | 1,330 | 2,700 | 49,259 | 49,36 |
| 70,200 | 2,468 | 1,330 | 2,700 | 49,259 | 49,36 |

Foram analisadas as variações percentuais na tensão sobre o sensor em relação a temperatura ambiente de 20 °C. Também foi analisada a variação percentual do “duty cycle” do sinal PWM de saída.

Nas figuras 43 e 44 são mostradas de forma gráfica as variações percentuais da tabela 8.

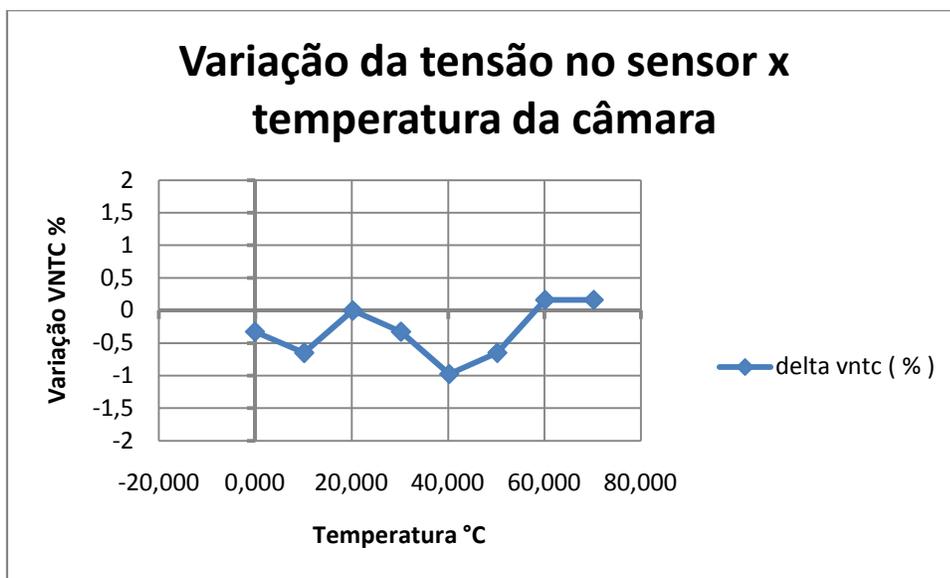


Figura 43: Variação percentual da tensão sobre o sensor em função da temperatura

Na figura 43, é possível observar que a variação percentual da tensão no sensor é menor que +/- 1%.

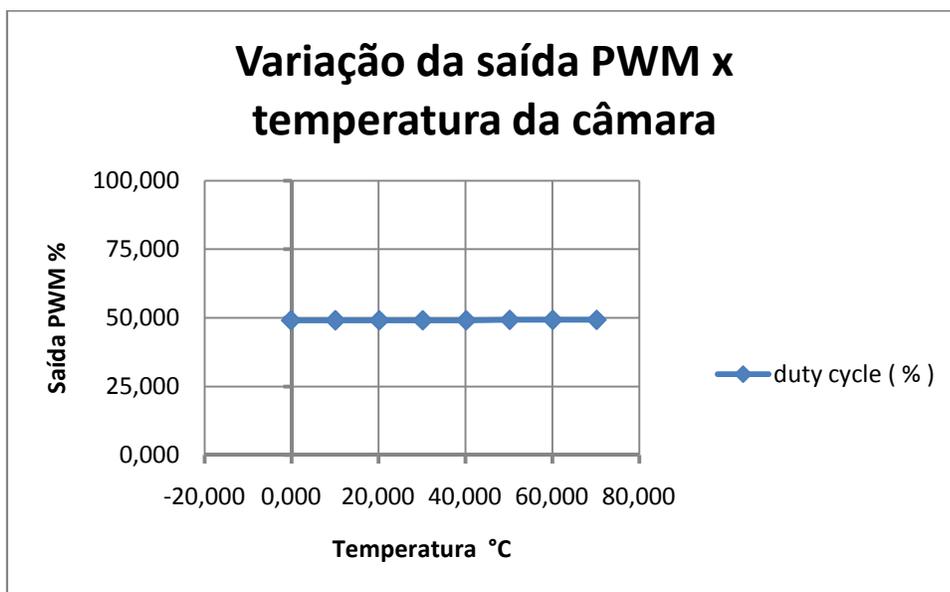


Figura 44: Variação percentual do sinal PWM em função da temperatura

Vê-se na figura 44, que a variação percentual do sinal PWM é praticamente constante na faixa de temperatura do experimento. Isto significa que a configuração de condicionamento de sinal do sensor NTC possui boa imunidade à variação de temperatura.

O segundo teste foi realizado com o circuito de condicionamento para o sensor capacitivo. O teste também foi realizado variando a temperatura de 0°C a 70 °C. Foi ajustada uma posição angular no sensor capacitivo para obter uma tensão na saída do circuito de 3,6 V. Todo o conjunto (sensor e circuito de condicionamento) foi colocado dentro da câmara climática para o teste.

Tabela 9: Parâmetros do circuito condicionamento do sensor capacitivo x temperatura

| temperatura (°C) | Vcap sens (V) | Vcap ref (V) | Vdif (mV) | Vout (V) | variação (%) |
|------------------|-----------------|----------------|-----------|------------|----------------|
| 0,0 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,612 | 0,000 |
| 10,3 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,620 | 0,221 |
| 20,1 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,612 | 0,000 |
| 30,2 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,608 | -0,111 |
| 40,3 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,576 | -0,997 |
| 50,2 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,568 | -1,218 |
| 59,9 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,552 | -1,661 |
| 70,3 | 1,760 | 1,600 | 880,000 | 3,440 | -4,762 |

Vê-se na tabela 9, que apesar da tensão no sensor permanecer constante durante todo o teste (V cap sens) (Vcap ref), a tensão da saída do circuito (Vout) caiu acentuadamente a partir de 40 °C, mostrando que o circuito sofre mais influência da temperatura acima desse ponto. A variação % foi calculada em função da tensão de saída a 20 °C.

Na figura 45 é mostrada a variação da tensão de saída da tabela 9 na forma gráfica.

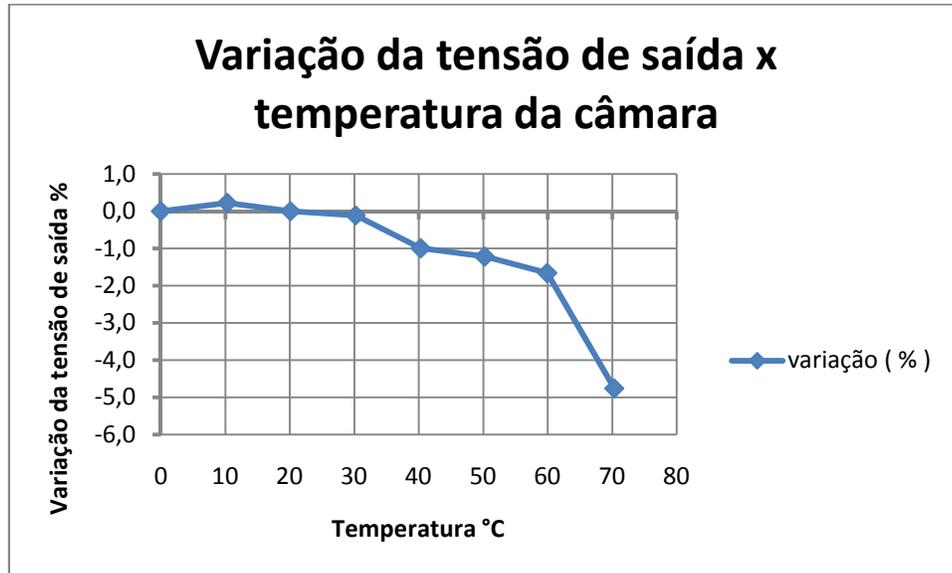


Figura 45: variação percentual da saída do circuito.

Vê-se na figura 45, que a tensão da saída do circuito permaneceu quase constante até 30 °C. A partir de 40 °C houve uma queda acentuada da tensão de saída do circuito. Esse resultado mostra que o circuito sofreu influência da temperatura acima de 40 °C, o que sugere que para uma aplicação automotiva, o circuito precisa ser melhorado e receber uma funcionalidade de compensação térmica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados do condicionador de sinal para sensor NTC

O condicionador de sinal para sensor NTC funcionou corretamente, o sinal PWM foi gerado conforme o esperado. O circuito pode ser melhorado para futuros projetos para ajustar os ganhos automaticamente para outros sensores que trabalham com valores diferentes de resistência.

4.2 Resultados do condicionador de sinal para sensor de relutância variável

O circuito de condicionamento para o sensor RV teve um bom desempenho. Funcionou corretamente e sem apresentar problemas visíveis no sinal de saída com frequência até 10 kHz. Essa largura de banda atende às necessidades da maioria das aplicações automotivas.

Caso seja necessário que o circuito trabalhe com uma largura de banda maior, é necessário fazer algumas alterações em sua configuração. O uso de um elemento digital de saída pode possibilitar uma largura de banda maior.

4.3 Resultados do condicionador de sinal para sensor capacitivo

A medição de capacitância é um processo um pouco mais complexo que os dos sensores anteriormente estudados, porém o circuito de condicionamento apresentou resultados regulares. Um ponto que prejudicou o desempenho do circuito foi a sua sensibilidade a variação de temperatura.

Durante os testes realizados na fase experimental foi detectada uma variação de 3,6 % na tensão de saída do circuito.

Ficou claro que o circuito precisa de uma etapa de compensação térmica para não sofrer influência da temperatura ambiente dentro da faixa de trabalho. Esta compensação poderia ser incluída adicionando um sensor de temperatura ambiente na placa, por exemplo.

4.4 Resultados gerais do condicionador universal

Os resultados mostram que o conceito de um conversor universal é válido. A reconfiguração dinâmica do circuito é a característica mais marcante desse sistema. Para aplicação automotiva algumas melhorias precisam ser integradas nos circuitos de condicionamento. As principais aplicações estão na construção de protótipos e na fabricação de sensores inteligentes.

Durante o estudo não foi encontrada nenhuma referência que indicasse o uso de dispositivos SOC na indústria automobilística. O que indica uma ótima oportunidade para desenvolver a tecnologia no meio automotivo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Neste trabalho foi apresentada como solução ao problema de condicionamento de sinais no âmbito da indústria automobilística um conversor universal de sinais. A solução proposta difere das soluções comuns adotadas na indústria e também das soluções divulgadas na literatura, em que se trata de uma solução de simples implementação e baixo custo. Sua aplicação é ampla, pois vai além das aplicações do ambiente automotivo, e ao mesmo tempo é de baixo custo porque usa componentes comerciais.

A solução apresentada valida o conceito descrito na hipótese de desenvolvimento do condicionador universal de sinais, uma vez que, foi demonstrada experimentalmente a capacidade do dispositivo condicionar o sinal de três diferentes tipos de sensores. Ficou evidente também durante o desenvolvimento do trabalho a flexibilidade do sistema para implementar novas aplicações diferentes.

Os circuitos de condicionamento desenvolvidos no trabalho têm suas limitações, porém algumas alterações simples podem resolver o problema.

Como sugestões para próximos estudos é possível citar as seguintes:

- 1) Desenvolvimento de uma interface gráfica que permita a parametrização dos circuitos de condicionamento sem a necessidade de usar o ambiente de desenvolvimento.
- 2) Desenvolver uma configuração para comunicação usando protocolo CAN.
- 3) Desenvolver as estratégias de diagnose dos circuitos e dos sensores.
- 4) Desenvolvimento de um sistema de codificação padronizado para identificação de sensores e seus parâmetros.

Referências

- BECKWITH, T. G., MARANGONI, R. D., & LIENHARD V, J. H. (1995). *Mechanical measurements*. Adson-Wesley Publishing Company.
- BOSCH. (1997). *Technical Customer Information Y280 K20 147 e-000*.
- BOSCH. (1996). *Type Characteristic Data Sheet Rotational Speed Sensor DG6*.
- CAMARGO, E. G. (2011). Desenvolvimento de um Pedal de Acelerador Capacitivo para Aplicações Automotivas. *Dissertação de Mestrado*. Campinas, SP, Brasil.
- CYPRESS SEMICONDUCTOR CORPORATION. (2008). Technical Reference Manual (TRM). Cypress Semiconductor Corporation.
- CYPRESS SEMICONDUCTOR. (31 de Outubro de 2009). PSoC Designer 5.0 - Help - Documentation - User Module Data Sheets. EUA: CYPRESS SEMICONDUCTOR.
- DELL'ACQUA, R. (1989). *Sensors Technologies for Automotive Applications*. IEEE.
- ECIL. (2001). *Tabela de Variação da Resistência com a Temperatura para Bulbo de Resistência (PT100)*. Acesso em 23 de Setembro de 2011, disponível em <http://www.ecil.com.br/upload/produto/pdf/1291296955.pdf>
- FLEMING, W. J. (2001). *Overview of Automotive Sensors*. IEEE.
- LARSON, W. E., HALLBERG, C., & MEDELIUS, P. J. (1994). *Universal Signal Conditioning Amplifier*. Florida, EUA.
- NEKOOGAR, F., & NEKOOGAR, F. (2003). *From ASICs to SOCs: A Practical Approach*. Prentice Hall.
- NICOLOSI, D. E., & SANTOS, R. C. (2006). *Microcontrolador PSoC: Uma Nova Tecnologia, Uma Nova Tendência*. São Paulo: Erica.
- PALLÀS-ARENY, R., & WEBSTER, J. G. (2000). *Sensors and signal conditioning* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- SCHÄUFFELE, J., & ZURAWKA, T. (2005). *Automotive Software Engineering*. SAE International.
- TOYOTA. (s.d.). Acesso em 27 de Setembro de 2011, disponível em www.autoshop101.com/forms/h36.pdf

ZHANG, J., & MASON, A. (2004). Characterization of a Configurable Sensor Signal Conditioning Circuit for Multi-Sensor Microsystems. IEEE.

Glossário

*.hex – Tipo de arquivo binário.

Air Bag – Bolsa de ar.

Arquitetura Harvard – Barramento de dados e endereços separados.

Assembler – linguagem de programação de baixo nível.

Bits – Menor unidade lógica.

C – Linguagem de programação estruturada.

Circuito impresso – Circuito condutor desenhado em um substrato isolante.

Circuito integrado – Dispositivo eletrônico que integra vários dispositivos em um mesmo encapsulamento.

Clock – Relógio, base de tempo para circuitos digitais.

Conversor A/D – Conversor analógico para digital.

Cypress – Empresa de semicondutores fabricante do PSoC.

Data sheet – Folha de dados de especificação de um componente ou dispositivo.

Duty cycle – Ciclo de carga.

ENCODER – Codificador.

Excel – Editor de planilha eletrônica.

File open – Abrir arquivo.

Firmware – Rotinas de software armazenadas em memória de leitura (ROM), programa do microcontrolador.

Global resources – Recursos globais.

Hardware – componentes físicos de um sistema.

In circuit – No circuito, se refere a algum dispositivo ou função integrada no circuito ou na pastilha.

Invention Board – Placa de invenção - Nome da placa de desenvolvimento da Cypress com microcontrolador PSoC1 CY8C27443-24PVI e um gravador ” in circuit, utilizada neste trabalho.

Invention Board Programmer – programador da placa de invenção.

Layout – Disposição, arranjo.

Linear Technologies – Empresa fabricante de semicondutores.

LTSpice – Simulador de circuitos da Linear Technologies.

Microcontrolador – Dispositivo eletrônico integrado que engloba no mesmo circuito integrado, um microprocessador, memórias, periféricos de controle, cálculo e E/S.

Pinout – Pinagem.

Port – Terminal de entrada e saída de um microcontrolador.

Powertrain – Trem de força.

Program – Programar.

Properties – Propriedades.

Properties – Propriedades.

PSoC – Programmable System on Chip – Sistema no circuito integrado programável, microcontrolador fabricado pela Cypress Semiconductor.

PSoC Designer – Ambiente de desenvolvimento integrado.

Rail to rail – De barramento a barramento.

Roda de pulsos – Roda dentada.

SOC – System On Chip – Sistema no circuito integrado, se refere em geral à microcontroladores que agregam blocos analógicos e digitais de configuração programável.

Thermotron – Câmara climatic do laboratório LPM Unicamp.

User Modules – Módulos de usuário.

Workspace Explorer – Gerenciador da área de trabalho.

APÊNDICE A – Código Fonte do Programa do Microcontrolador

```
//-----  
-----  
// Programa principal C - CONDICIONADOR UNIVERSAL V3.01 -  
17/JUNHO/2011  
//-----  
-----  
  
// V1.00  
/* PROGRAMA BASICO DO CONDICIONADOR UNIVERSAL DE SINAIS  
  
IMPLEMENTADO COM A PLACA DO KIT INVENTION BOARD COM CY8C27443-  
24PVI COM PROGRAMADOR INCORPORADO  
  
A PARTIR DE DUAS ENTRADAS DIGITAIS P1.2 E P1.3. QUANDO APLICADO  
UM SINAL LOGICO  
1 EM UMA DELAS EH SELECIONADO UM TIPO DETERMINADO DE CIRCUITO DE  
CONDICIONAMENTO DE SINAL:  
P1.2 SELECIONA O CIRCUITO PARA CONDICIONAMENTO DE SENSOR TIPO NTC  
P1.3 SELECIONA O CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE UM SENSOR DE  
RELUTANCIA VARIAVEL  
  
O PINO P0.4 EH A SAIDA DE PULSOS DO RELUT_VAR  
O PINO P2.0 EH A SAIDA PWM DO NTC  
  
P0.2 E P0.1 SAO ENTRADAS PARA O SENSOR RELUT VAR  
  
P0.1 EH ENTRADA DE TENSAO DO SENSOR NTC  
P0.3 EH SAIDA DE ALIMENTACAO DO SENSOR NTC */  
  
// V2.01  
/* ADICIONADO CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO PARA SENSOR CAPACITIVO  
EM ETAPAS  
    1A ETAPA- TABELA PARA GERAR FORMA DE ONDA SENOIDAL  
    FOI DEFINIDO QUE P1.2=1 E P1.3=1 --> SELECAO SENSOR_CAP*/  
  
//V3.01  
/* REALIZADA ADEQUAÇÃO DE PINOS CONFORME ESQUEMA ELÉTRICO DE  
10/06/2011  
FOI DEFINIDO P1.4 COMO ENTRADA PARA SELEÇÃO SENSOR CAPACITIVO  
    P2.1 SAÍDA PWM DO COND SENSOR NTC  
FORAM AJUSTADOS OS GANHOS DO LPF E DO AMP INST DO COND SENSOR  
CAPACITIVO PARA O SENSOR DO EDMAR  
*/
```

```

#include <m8c.h>          // constantes e macros especificas do
componente
#include "PSoCAPI.h"     // PSoC API definicoes para todos os
modulos de usuario
#include "NTC_PWM8_1.h"  //PWM8 API definicoes para o modulo de
usuario PWM 8 bits
#include "psocdynamic.h" // PSoC API definicoes para
reconfiguracao dinamica
#include "SC_LPF2_1.h"   //API com definições do módulo do filtro
#include "SC_BPF2_1.h"   //API com definições do módulo do filtro
#include "SC_BPF2_2.h"   //API com definições do módulo do filtro

// declaração de variáveis
unsigned char dado_adc; //variável que armazena o resultado do
ADC 0..255 sem sinal
unsigned char config; // variável que armazena a configuração
atual

//prototipagem de funções
void liga_ntc(void); //protótipo da função de configuração do
condicionador NTC
void liga_relut_var(void); // protótipo da função de configuração
do cond RELUT_VAR
void liga_sensor_cap(void); //protótipo da função de configuração
do cond SENSOR_CAP
void desl_ntc(void); // protótipo da função de desabilitação do
NTC
void desl_relut_var(void); //protótipo da função de desabilitação
do RELUT_VAR
void desl_sensor_cap(void); // protótipo da função de
desabilitação do SENSOR_CAP

//código principal
void main(void) //funcao principal
{
    for(;;) // loop infinito
    {
        switch (PRT1DR) //porta P1 de seleção digital da
configuração desejada

```

```

    {
        case 0x04: //porta P1.2 selecao NTC
            liga_ntc();
            config=1;
            break;

        case 0x08: //porta P1.3 selecao RELUT_VAR
            liga_relut_var();
            config=2;
            break;

        case 0x10: //porta P1.4 selecao SENSOR_CAP
            liga_sensor_cap();
            config=3;
            break;
    }
    if (config == 1) //comandos especificos para leitura de
dados no circuito NTC
    {
        while(NTC_ADCINC_1_fIsDataAvailable() == 0);
// Loop ate ler o valor do adc
        dado_adc=NTC_ADCINC_1_bClearFlagGetData(); //
limpa o flag do ADC e pega o dado
        NTC_PWM8_1_WritePulseWidth(dado_adc);/*
escreve o dado_adc na largura de pulso do PWM*/
    }

    /*if (config == 2) //comandos especificos para
configuração RELUT_VAR
    {
        //inserir código aqui
        //não foi usado porque não há comandos
adicionais para RELUT_VAR
    }
*/

    /*if (config == 3) //comandos especificos para
configuração SENSOR_CAP
    {
        //inserir código aqui
        //não foi usado porque não há comandos
adicionais para SENSOR_CAP
    }*/
}
}

```

```

//Funcoes

void liga_ntc(void) //funcao para carregar a configuracao NTC
{
    desl_relut_var(); //desabilita a configuração RELUT_VAR e
desl seus blocos
    desl_sensor_cap(); //desabilita a configuração SENSOR_CAP e
desl seus blocos
    LoadConfig_NTC(); //carrega a configuração NTC

    NTC_V_REF_1_Start(NTC_V_REF_1_HIGHPOWER); // liga energia do
amplificador
    NTC_AMP_1_Start(NTC_AMP_1_MEDPOWER); // liga energia do
amplificador
    M8C_EnableGInt; // habilita interrupcoes globais
    NTC_ADCINC_1_Start(NTC_ADCINC_1_HIGHPOWER); // liga energia
do ADC
    NTC_PWM8_1_DisableInt(); // desabilita interrupcoes do PWM
    NTC_PWM8_1_Start(); /* Liga energia do PWM */
    NTC_ADCINC_1_GetSamples(0); // Faz o ADC funcionar
continuamente
    return;
}

void liga_relut_var(void) // funcao para carregar a configuracao
RELUT_VAR

{
    desl_ntc(); //desabilita a configuração NTC e desl seus
blocos
    desl_sensor_cap(); //desabilita a configuração SENSOR_CAP e
desl seus blocos
    LoadConfig_RELUT_VAR();//carrega a configuração RELUT_VAR

    RV_AMP_1_Start(RV_AMP_1_HIGHPOWER); //liga energia do
amplificador
    RV_AMP_2_Start(RV_AMP_2_HIGHPOWER); //liga energia do
amplificador
    RV_COMP_1_Start(RV_COMP_1_HIGHPOWER); //liga energia do
comparador

    return;
}

```

```

void liga_sensor_cap(void) //função para carregar a configuração
SENSOR_CAP
{
    desl_ntc(); //desabilita a configuração NTC e desl seus
blocos
    desl_relut_var(); //desabilita a configuração RELUT_VAR e
desl seus blocos
    LoadConfig_SENSOR_CAP(); //carrega a configuração SENSOR_CAP
    SC_LPF2_1_Start(SC_LPF2_1_HIGHPOWER); // liga energia do
filtro
    SC_BPF2_1_Start(SC_BPF2_1_HIGHPOWER); // liga energia do
filtro
    SC_BPF2_2_Start(SC_BPF2_2_HIGHPOWER); // liga energia do
filtro
    SC_Counter16_1_Start(); // liga energia do contador
    SC_PGA_1_Start(SC_PGA_1_HIGHPOWER); //LIGA ENERGIA DO
SC_PGA_1
    SC_INSAMP_1_Start(SC_INSAMP_1_HIGHPOWER); //LIGA ENERGIA DO
SC_INSAMP_1
    SC_SCBLOCK_1_Start(SC_SCBLOCK_1_HIGHPOWER); // LIGA ENERGIA
DO RETIFICADOR
    SC_CMPPRG_1_Start(SC_CMPPRG_1_HIGHPOWER); //LIGA ENERGIA DO
COMPARADOR
    SC_DigBuf_1_Start(); //LIGA ENERGIA DO BUFFER DIGITAL

    AMD_CR0 |= 0x50; //DEFINE Comparator_Bus_1 COMO FONTE DO
Modulator ASC12

    return;
}

void desl_ntc(void) // funcao para descarregar a configuracao NTC
e desligar seus blocos
{
    NTC_V_REF_1_Stop(); // desliga energia da fonte de tensao
    NTC_AMP_1_Stop(); // desliga energia do amplificador
    NTC_ADCINC_1_Stop(); // desliga energia do ADC
    UnloadConfig_NTC(); // descarrega (desabilita) a configuração
NTC
    return;
}

void desl_relut_var(void) //funcao para descarregar a
configuracao RELUT_VAR e desligar seus blocos
{

```

```

RV_AMP_1_Stop(); // desliga a energia do amplificador
RV_AMP_2_Stop(); // desliga a energia do amplificador
RV_COMP_1_Stop(); // desliga a energia do comparador

UnloadConfig_RELUT_VAR(); // descarrega (desabilita) a
configuração RELUT_VAR
return;
}

void desl_sensor_cap(void) //função para descarregar a
configuração SENSOR_CAP

{
SC_CMPPRG_1_Stop();
SC_Counter16_1_Stop();// desliga energia do contador
SC_LPF2_1_Stop(); //desliga filtro
SC_SCBLOCK_1_Stop();
SC_PGA_1_Stop();
SC_BPF2_1_Stop(); //desliga filtro
SC_BPF2_2_Stop(); //desliga filtro
SC_INSAMP_1_Stop();
SC_DigBuf_1_Stop();

UnloadConfig_SENSOR_CAP(); // descarrega (desabilita) a
configuração SENSOR_CAP
return;
}

```