



CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SAÚDE

MODALIDADE:

Projetos, Manutenção e Operação de Equipamentos Médico-Hospitalares.

Danilo Cabral Rosendo

Caracterização de contraste e luminosidade em
limitadores de feixe de equipamentos de raios X

Sorocaba-SP

21 de Outubro de 2011.

Danilo Cabral Rosendo

Caracterização de contraste e luminosidade em limitadores de feixe de equipamentos de raios X

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Tecnologia em Saúde da
Faculdade de Tecnologia de
Sorocaba como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Tecnólogo em Saúde

Prof. Dr, José Luiz Antunes de Almeida

Orientador da Fatec-SO

Tecgo.MSc. Márcio Bottaro

Orientador do IEE

Sorocaba-SP

Dezembro de 2011

Danilo Cabral Rosendo

Caracterização de contraste e luminosidade em limitadores de feixe de equipamentos de raios X

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Tecnologia em Saúde da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo em Saúde.

Data da aprovação ____/12/2011.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Luiz Antunes de Almeida

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

Tecgº. MSc. Márcio Bottaro

Instituto de Eletrotécnica e Energia –IEE

Prof.

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

RESUMO

O equipamento de raios X é um sistema para diagnóstico de imagem não invasivo. Devido seu risco radiológico o quadrante de luz é uma ferramenta obrigatória que fornece ao operador a área a ser exposta. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema eletrônico piloto para a realização do ensaio de leitura de contraste e iluminância média do campo luminoso. Para este trabalho foi utilizado uma plataforma de desenvolvimento com microcontroladores PIC18 conectado a uma plataforma aquisição de dados, desenvolvida para atender as prescrições da norma NBR IEC 60601-1-3 de 2001. A linguagem utilizada para a programação do microcontrolador foi linguagem C. A lógica estabelecida no programa apresenta função de cálculo de contraste, erros de leitura de contraste, varredura de defeito dos fotodiodos, comunicação serial, leitura de iluminância média e ajuste de algoritmos para cálculo de contraste. A resposta de iluminância foi validada pelo luxímetro de referência FLUKE 07-621 apresentando resposta dentro de $\pm 2\%$. O sistema de medição de contraste foi validado pelo osciloscópio Tektronix DPO 7104. O ruído apresentado no sistema dificulta a leitura e conseqüentemente o cálculo matemático. Melhorias estão prevista para futuros desenvolvimentos.

Palavra chave: Colimador. Raios X. Microcontrolador

SUMMARY

The x-ray equipment is a system for noninvasive diagnostic imaging, due to its radiological risk quadrant light is a mandatory tool which provides the operator the area to be exposed. This paper describes the development of an electronic pilot for the test reading of contrast and luminance average light field. For this study we used a development platform PIC18 microcontroller connected to a data acquisition platform, developed to meet the requirements of the standard-NBRIEC60601 1-3, 2001. The language used to program the microcontroller is in C. The logic program has established the basis for calculation of contrast, contrast errors reading, scanning fault of photodiodes, serial communication, reading and average illuminance adjustment algorithms for calculation of contrast. The response of lighting has been validated by reference FLUKE 07-621 lux meter showing response within $\pm 2\%$. The measurement system was validated by contrast Tektronix DPO 7104 oscilloscope. The noise introduced in the system and therefore difficult to read the math. Improvements are planned for future developments.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. HISTÓRICO DA INSTITUIÇÃO	1
1.2. JUSTIFICATIVA	1
1.3. OBJETIVOS	2
2. FUNDAMENTOS.....	3
2.1. EQUIPAMENTO DE RAIOS-X.....	3
2.1.1 Catodo	3
2.1.2 Anodo.....	4
2.1.3 Circuito de controle	4
2.1.4 Limitador de feixe de luz	5
2.2. PROPRIEDADE DA LUZ	7
2.3 TERMOS DE LUMINOTÉCNICA	8
2.3.1 INTENSIDADE LUMINOSA	8
2.3.2 FLUXO LUMINOSO	8
2.3.3 ILUMINÂNCIA	9
2.4 DIODOS SEMICONDUTORES	9
2.4.1 MATERIAL TIPO N	10
2.4.2 MATERIAL TIPO P.....	10
2.4.3 POLARIZAÇÃO DO DIODO SEMICONDUTOR	10
2.5 FOTODIODOS.....	12
2.6 . AMPLIFICADOR OPERACIONAL	13
2.6.1.TENSÕES E CORRETE DE DESEQUILÍBRIO.....	13
2.6.2. Operação com frequência	14
2.7. Microcontrolador	16
2.7.1. Periféricos.....	17
2.7.2. PIC18F4520.....	17
3. DESENVOLVIMENTO.....	32
3.1. PRESCRIÇÕES DA CLÁUSULA.....	32
3.2 DEFINIÇÕES DO PROJETO	32
3.2.1 definição de operação do microcontrolador	34

3.2.2 Erros previstos durante operação	34
3.2.3 Periféricos e funções internas	36
3.2.4. Amplificação dos sinais de resposta	40
3.3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	42
3.3.1. Microcontrolador	43
3.3.2. USART	43
3.3.3. Display LCD	43
3.3.4. Botões de comando.....	45
3.3.5. Programação do microcontrolador	46
3.3.6. Circuito de aquisição de dados	46
4. RESULTADOS	49
4.1. RESPOSTA DE LEITURA DE CONTRASTE	50
4.2. RESPOSTA DE LEITURA DO SENSOR DE LUX	53
5. CONCLUSÃO	56
6. REFERÊNCIAS.....	57

1. INTRODUÇÃO

1.1. HISTÓRICO DA INSTITUIÇÃO

O Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) foi criado há 65 anos com a finalidade de auxiliar a indústria elétrica paulistana realização de ensaios de equipamentos. Devido a demanda em 1912 foi criado o Gabinete de Eletrotécnica. Em 1926 o Gabinete de eletrotécnica passa a ser o Laboratório de Máquinas e Eletrotécnica realizando ensaios em equipamentos elétricos para a indústria. Em 1940 é criado o Instituto de Eletrotécnica (IE). Com o crescente desenvolvimento do país, em 1952 foram inaugurados os dois pavilhões da Sessão de Máquinas Elétricas, no campus da Cidade Universitária no bairro Butantã. Em 1966 o Instituto ganhou independência da Escola Politécnica, tornando-se uma unidade autônoma dentro da Universidade de São Paulo (USP). Em 1986 o IE passa a se chamar Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE). A mudança total do bairro do Bom Retiro para o campus do Butantã entre julho de 1987 a outubro de 1988. Em 1995 o instituto obteve acreditação conforme Guia ABNT NBR ISO/IEC 17025, correspondente à ISO 9000 para laboratórios. A Seção Técnica de Ensaio em Equipamentos Eletromédicos (STEEE) do IEE/USP foi o primeiro laboratório no Brasil a ser acreditado (12/1995) pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO) para realizar ensaios em Equipamentos Eletromédicos de acordo com as normas NBR IEC específicas para tais equipamentos. O laboratório realiza ensaios de segurança em equipamentos para certificação e registros na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). O STEEE é o único laboratório acreditado para execução de ensaios em equipamentos de raios X para diagnóstico por imagem.

1.2. JUSTIFICATIVA

A caracterização de feixe de iluminação de raios X é parte obrigatória do processo de certificação do equipamento. Tal exigência é relevante, pois o campo luminoso é a única forma de parametrização prévia do campo de radiação X. O não atendimento a essa norma pode causar possíveis erros de posicionamento, pois dificulta o alinhamento do tubo de raios X pelo

operador, o que acarreta erros como exposição de áreas indesejadas e possibilidade de efeitos futuros proveniente de doses excessivas. A baixa qualidade de visualização do filme é outro fator levado em consideração, pois torna o exame mais caro, se levarmos em conta a repetição do mesmo.

O segundo fato levado em consideração, é otimizar o tempo de realização do ensaio, reduzindo o custo operacional do laboratório. A redução do tempo de ensaio implica diretamente na rápida certificação, o que sob o ponto de vista do fabricante também é viável.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo de ensaio capaz de atender os requisitos da NBRIEC60601-1-3 de 2001 na sub cláusula 29.202.7 para a caracterização do contraste óptico e intensidade luminosa mínima de ensaios em equipamentos de raios X.

O presente trabalho teve como objetivo específico:

- Desenvolver sistema eletrônico para aquisição de sinais que ofereça menor interferência humana.
- Desenvolver sistema microprogramado.
- Estudo e melhoria da resposta do sistema eletrônico.
- Otimização de procedimentos e tempo de ensaio.

2. FUNDAMENTOS

2.1. EQUIPAMENTO DE RAIOS-X

O equipamento de raios-x é um equipamento capaz de transformar energia elétrica em energia de fótons. A parte responsável por esta transformação é o tubo de raios-x onde transforma eletricidade em radiação e calor, a construção deste tubo é constituída de anodo, catodo e um rotor (anodo giratório) dentro de um tubo de acrílico a vácuo conforme a figura1.

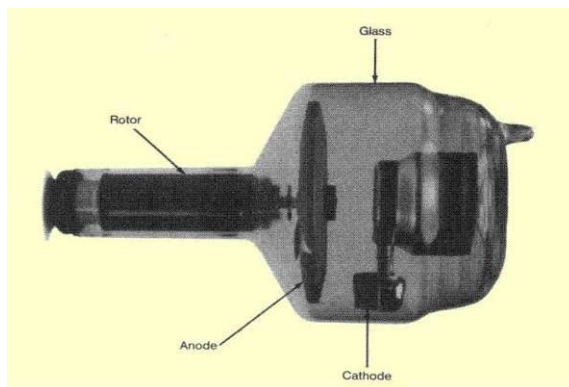


Figura 1-Tubo de raios X (SPRAWLS, P)

2.1.1 Catodo

É composto por um ou dois filamentos geralmente construído de tungstênio dentro de uma cavidade focalizadora. Quando uma corrente elétrica da ordem de 3,5 a 7A passa através deste filamento, a agitação térmica de seus átomos torna-se tão grande que provoca a emissão de elétrons para fora do fio criando uma nuvem eletrônica em volta deste. (Bottaro, M (2007))

2.1.2 Anodo

O anodo tem a função de produção de radiação X e dissipação de calor gerado neste processo. Após a emissão de elétrons pelo filamento, uma tensão alternada é aplicada entre o catodo e o anodo, no pico positivo desta tensão os elétrons são atraídos para o anodo. A colisão ou encontro dos elétrons com anodo causa o que conhecemos como desaceleração do elétron que se produz os fótons da radiação X (figura2). Os métodos utilizados para essa produção são o Bremsstrahlung e radiação característica, tais métodos não serão descritos, pois não se encontram nos objetivos deste trabalho.

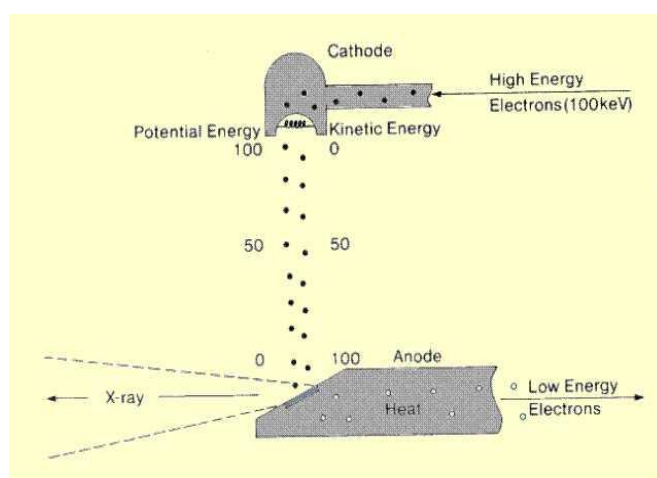


Figura 2-Produção de raios X (SPRAWLS, P)

2.1.3 Circuito de controle

Basicamente um sistema de raios X é controlado por três variáveis a tensão em KV, corrente em mA e tempo em segundos S. O KV define a energia que cada elétron carrega, pois cada KV equivale a 1KeV de energia. A parte responsável pelo controle é o gerador de alta tensão. O transformador de alta tensão apresenta uma relação de espiras normalmente elevada, sendo projetado para trabalhar com altas correntes no circuito primário, e altas tensões no circuito secundário. (Bottaro, M (2007))

A corrente é o fluxo de elétrons que passa por uma determinada seção. Como citado anteriormente a corrente utilizada para a produção de raios X é da ordem de mA, em que 1mA

equivale a 6.25×10^{15} elétrons, esse fluxo elétrico pode ser definido como carga elétrica em mAS ou seja a corrente de mA por segundo S, que por sua vez é o tempo de exposição definido pelo operador (figura 3). A energia total do sistema pode ser definida na Eq. (1).

$$\text{Energia (joule)} = \text{Tensão (KV)} \times \text{Corrente (mA)} \times \text{Tempo (S)} \quad (1)$$

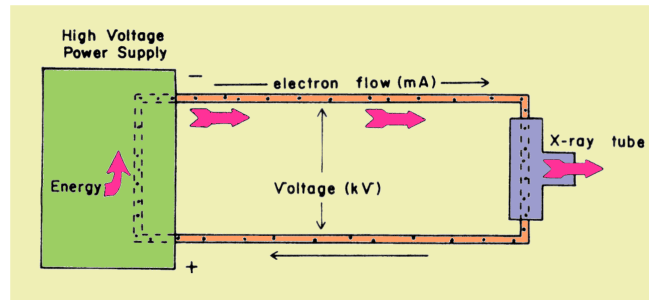


Figura 3 – Circuito de alimentação do tubo de Raios X(SPRAWLS, P)

2.1.4 Limitador de feixe de luz

O limitador de feixe de luz é parte integrante do colimador (figura 4), que por sua vez é parte integrante do equipamento de raios X (figura 5), e tem a função de limitar a área a ser exposta pela radiação por meio de indicação prévia por campo de luz visível.



Figura 4 – Colimador (LEADMEC)



Figura 5 – Quadrante de luz produzido pelo colimador

Não existe norma para padronização de construção para colimadores, tornando a norma apresentada posteriormente, a única forma de avaliação.

A construção apresentada no desenvolvimento deste capítulo é baseada na construção do colimador LEADMEC MODELO LDM 206. Colimador luminoso, manual, de palhetas simples que se movem perpendicularmente ao feixe de raios-x, comandadas por knobs localizados no painel frontal, com abertura linear variando de 0 x 0 cm a 43 x 43 cm a 1 metro. (LEADMEC)

A indicação luminosa é fornecida através de uma lâmpada alógena de 100W e 12V a qual, através de um temporizador interno, pode variar de 20 a 60 segundos ligada. A distribuição de luz é conseguida pela presença de espelho interno, o qual idealmente espalha a luz de forma homogênea para formação do campo luminoso (figura 6). A construção do colimador de atender às normas de segurança elétrica contra choque elétrico classe I, tipo B, sem proteção contra penetração de água e possibilidade de aplicação em atmosferas explosivas.

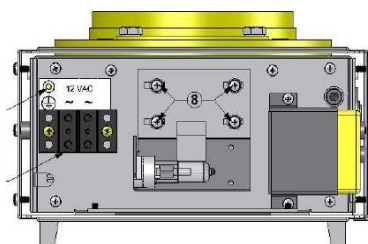


Figura 6 – Construção elétrica do colimador (LEADMEC)

2.2. PROPRIEDADE DA LUZ

A luz é estudada através de dois parâmetros o que é denominado dualidade onda-partícula. A natureza ondulatória da luz foi primeiramente demonstrada por Thomas Young que observou o padrão de interferência de duas fontes de luz coerentes produzidos pela iluminação de um par de fendas estreitas paralelamente através de uma única fonte (Tipler,P.1982)

Posteriormente em 1860 esta teoria foi concluída por Maxwell nas predições das ondas magnéticas que foi desenvolvida por Heinrich Hertz com a descoberta de ondas de rádio. O espectro eletromagnético é apresentado na figura 7.

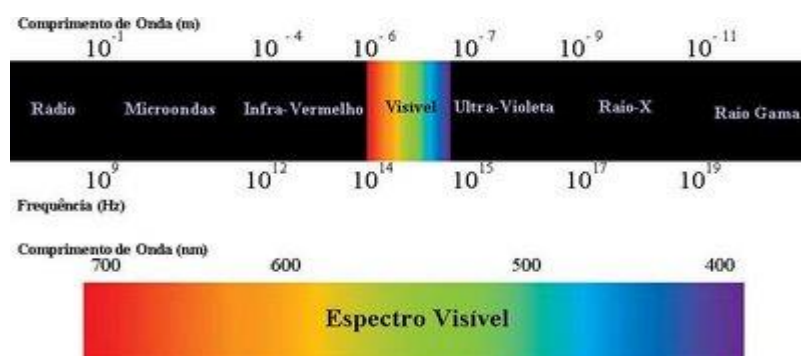


Figura 7 – Espectro de luz (Novaes, F.2010)

O olho humano é capaz de captar apenas uma faixa de frequência que é denominada espectro visível, cada frequência visível corresponde a uma determinada cor como mostrado na figura 7.

A natureza da luz como partícula foi proposta por Albert Einstein em 1905, em que uma partícula de luz chamada fóton possui energia E que está relacionada com a frequência f e o comprimento de onda λ na conforme a Eq.(1). (Tipler,P.1982)

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Onde c é a velocidade da luz e h é constante de Planck.

Entendendo dessa forma, utiliza-se a propriedade da luz como onda na propagação da luz, e sua propriedade (partícula) na troca de energia entre a luz e a matéria.

2.3 TERMOS DE LUMINOTÉCNICA

Este capítulo tem o objetivo de descrever ao leitor os termos utilizados no decorrer deste trabalho.

2.3.1 INTENSIDADE LUMINOSA

É definida como a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície plana de área igual a 1/600 000 metros quadrados, de um corpo negro à temperatura de fusão da platina, sob a pressão de 101.325 Newton por metro quadrado (1 atmosfera). (CREDER, H. 2007)

Sua unidade é denominada como Candela (cd).

2.3.2 FLUXO LUMINOSO

Fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido de 1 esferorradiano por uma fonte puntiforme de intensidade invariável e igual a 1 candela, em todas as direções (CREDER, H. 2007) sua unidade é denominada Lúmen (lm).

2.3.3 ILUMINÂNCIA

Iluminância, de uma superfície plana, de área igual a 1 m² que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso igual a 1 lúmen, uniformemente distribuído. É a densidade superficial de fluxo recebido. Sua unidade é denominada Lux (lx) onde é fornecida conforme a Eq. (2).

$$lux = \frac{\text{lúmen}}{m^2} \quad (2)$$

2.4 DIODOS SEMICONDUTORES

Um semicondutor é o material que possui um nível de condutividade entre os extremos de um isolante e um condutor (BOYLESTAD, R. NASHELSKY, L. 2004)

O diodo semicondutor é formado de uma união entre dois materiais, denominados tipo N e tipo P (figura 8). O material base utilizado para a construção do diodo é o Germânico ou o Silício.

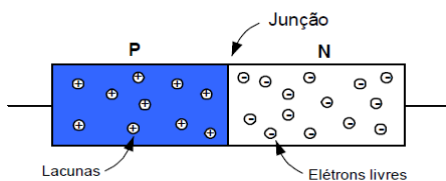


Figura 8 – construção do diodo semicondutor

2.4.1 MATERIAL TIPO N

São impurezas com elementos com cinco elétrons de valência, como o antimônio, arsênico e o fósforo. Tal ligação torna o material com elétrons livres ou adicionais com capacidade de deslocamento.

2.4.2 MATERIAL TIPO P

Esta impureza apresenta apenas três elétrons de valência, como boro, o gálio e o índio.

Esta ligação torna o material com falta de elétrons ou lacunas. Na região de junção os elementos se combinam tornando a região ausente de portadores e lacunas. A região de íons positivos e negativos não combinados é chamada de região de depleção devido à depleção de portadores nesta região (figura 9). (BOYLESTAD, R. NASHELSKY. 2004)

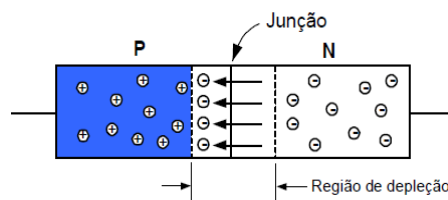


Figura 9 – Região de depleção

2.4.3 POLARIZAÇÃO DO DIODO SEMICONDUTOR

2.4.3.1 Polarização Reversa

Na polarização reversa do diodo a parte N é ligada ao terminal positivo enquanto a parte P ao terminal negativo. Tal ligação aumenta o número de íons não combinados em ambas as partes aumentando assim a região de depleção. Os portadores minoritários que penetram na região de depleção geram um fluxo contrário denominado corrente de saturação reversa.

2.4.3.2 Polarização direta

Na polarização direta a parte N é ligada ao terminal negativo e a parte P ao terminal positivo. Esta ligação força a combinação dos portadores diminuindo a região de depleção. O aumento da amplitude da polarização é proporcional a diminuição da camada de depleção, ou seja, maior será a força de atração das partes. A partir de uma determinada amplitude de polarização esta barreira é quebrada gerando um fluxo de elétrons denominado como corrente de saturação.

2.5 FOTODIODOS

Existem dois tipos de funcionamento para os fotodiodos: O modo fotocondutor onde o diodo é polarizado reversamente, então a corrente no circuito é proporcional à intensidade luminosa incidente.

No modo fotovoltaico o diodo não é polarizado, gerando uma tensão proporcional à intensidade luminosa incidente.

Como citado anteriormente a polarização reversa gera uma corrente de saturação reversa. Este processo é devido à geração térmica de portadores minoritários. A aplicação de luz provoca a transferência de energia (fótons), aumentando o número de portadores minoritários e aumentando assim a corrente reversa. O número de portadores minoritários gerados pela luz é proporcional ao comprimento de onda, que por sua vez é dependente da faixa de resposta do material utilizado no dispositivo (figura 10). Comercialmente o material utilizado é Selênio com resposta entre 2000 a 8000 Åλ, Silício aproximadamente 4000 a 12000 Åλ e Germânio aproximadamente 2000 a 14000 Åλ. A aplicação desses dispositivos se estende de circuitos de chaveamento a detectores de radiação. Devido o sinal de resposta ser na ordem de microampéres, se faz necessário o uso de um amplificador para uma fácil leitura.

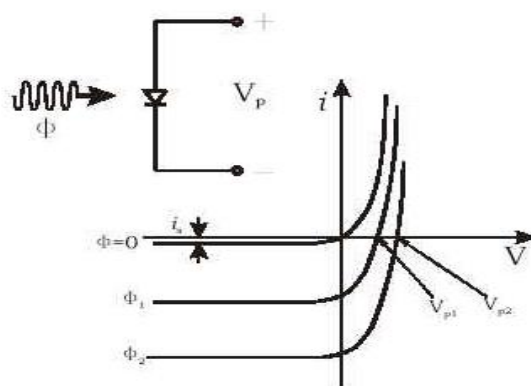


Figura10 – Resposta do fotodiodo (LABELEC)

2.6 . AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Um amplificador operacional é um amplificador de ganho muito alto tendo impedância de entrada muito alta (na escala de megaohms) e uma baixa impedância de saída (menor que 100 ohms). (BOYLESTAD, R. NASHELSKY, L. 2004)

O circuito prático é apresentado na figura 11.

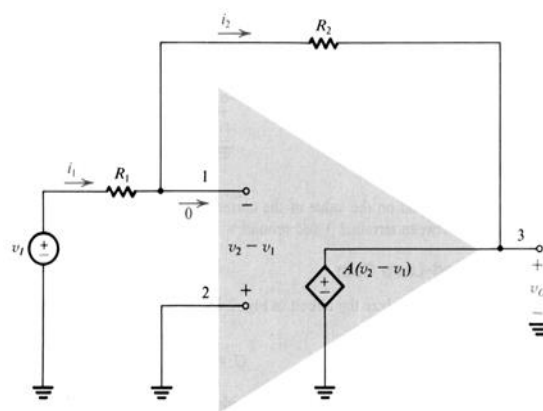


Figura 11 – Construção interna do Amplificador Operacional (FRUETT,F)

2.6.1.TENSÕES E CORRENTES DE DESEQUILÍBRIO

Em uma operação real, o amplificador apresenta resposta ou saída indesejáveis nas quais podem alterar a saída do sinal desejado. A tensão de desequilíbrio pode ser percebida quando aplicado uma tensão de 0V nas entradas do amplificador operacional e verificar a saída na ordem de mV. Tal tensão é adquirida conforme demonstrado na Eq. (3).

$$V(\text{desequilíbrio } V_o) = V_o \frac{R_1 + R_f}{R_1} \quad (3)$$

Outra tensão de desequilíbrio é gerada pela corrente de polarização de ambas as entradas, esta, pode ser adquirida na Eq. (4).

$$Vo(\text{desequilíbrio devido a } I_o) = I_o \times R_f \quad (4)$$

O desequilíbrio total pode ser obtido através da Eq.(5).

$$Vo(\text{total}) = Vo(\text{desequilíbrio } V_o) + Vo(\text{desequilíbrio devido a } I_o) \quad (5)$$

Sendo ele independente da polaridade.

2.6.2. Operação com frequência

Um Amp-op ideal é projetado para ser um amplificador de alto ganho, ampla banda-passante. Esta operação tende a se instável (oscilador) devido aos efeitos de realimentação positiva. Para assegurar operação estável, amp-ops são constituídos com circuitos de compensação interna, os quais podem ocasionar que o ganho de malha aberta diminua com o aumento da frequência. Esta redução no ganho é referenciada como um *roll-off*. (BOYLESTAD, R. NASHELSKY, L. 2004)

Esta redução ocorre numa taxa de 20 dB década ou 6 dB por oitava.

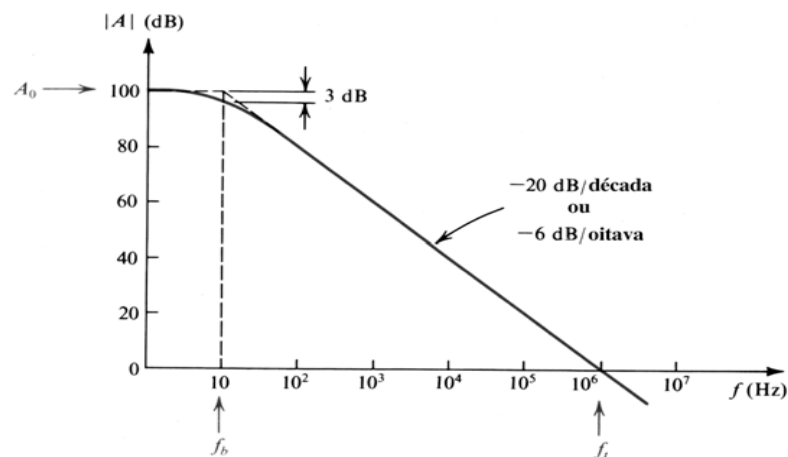


Figura 12 – Resposta do Amplificador em operação dom frequência

Usualmente o amplificador apresenta muitas formas de aplicação como amplitude de tensão, osciladores, filtros e circuitos de instrumentação nos quais os circuitos aplicados serão descritos no desenvolvimento.

2.7. Microcontrolador

Podemos definir o microcontrolador como um dispositivo que está inserido em um circuito integrado, constituído de uma CPU (Unidade Central de Processamento), memória e periféricos. Suas principais arquiteturas de construção são Harvard e Von-Neumann.

A arquitetura Harvard é caracterizada pela presença de um barramento para acesso à memória de dados e outro para o programa, resultando em um aumento no fluxo de dados.



Figura 14 – Arquitetura Harvard (MECATRONICA EDUCACIONAL)

Na arquitetura Von-Neumann a memória de dados e a de programa dividem o mesmo barramento, o que limita sua operação.



Figura 15 – Arquitetura Von Neumann (MECATRONICA EDUCACIONAL)

Outra consideração importante na construção do microcontrolador são as memórias presentes no mesmo, podendo ser divididas em:

ROM: não permite a alteração de seu conteúdo, aceita somente a leitura do mesmo. Espaço reservado para programações definidas pelo fabricante.

RAM: memória volátil (conteúdo perdido se cortada a alimentação do microcontrolador), esta, é reservada para variáveis e constantes do sistema.

EPROM: tem a capacidade de se apagar e programar por muitas vezes. Seu conteúdo é apagado por luz ultravioleta.

OTP: tolera somente uma gravação

FLASH: pode ser apagada eletricamente e programada ou reprogramada 100.000 a 1.000.000 de vezes.

2.7.1. Periféricos

Os periféricos são os conversores A/D, USART (universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), TIMER, SPI(Serial Peripheral Interface), I2C (Inter - Integrated Circuit),LCD, USB (Universal Serial Bus), RTC(Real Time Clock) , CAN (Controller Area Network) entre outros menos comuns.

2.7.2. PIC18F4520

O PIC 18F4520 é um opcional de uma linha de microcontroladores PIC conhecida como PIC18, fabricados pela Microchip. Esta linha de microcontroladores utiliza arquitetura Harvard, instruções de 16bits, onde inclui uma CPU PIC18, 16.384 palavras de memória *flash* (32.768bytes), 1.536 bytes de memória RAM e 256 bytes de memória EEPROM. A estrutura interna do microcontrolador é fornecida pelo fabricante no seguinte bloco lógico na figura 16.

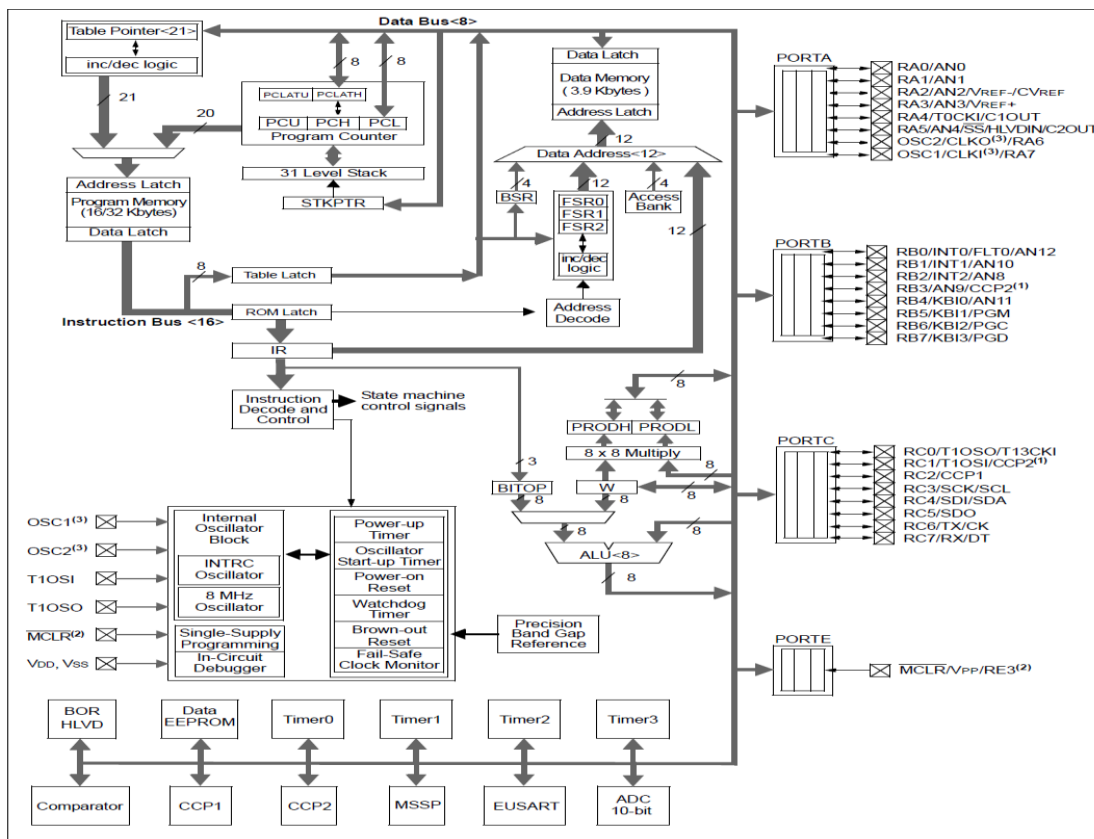


Figura16 – Diagrama de blocos do microcontrolador PIC18F4520 (MICROCHIP)

Pra facilitar o entendimento deste diagrama foram separados os blocos em razão das funções gerais onde estão envolvidos.

2.4.2.1 Unidade Lógica e Aritmética

Um pouco abaixo do cento do lado direito podemos visualizar a ALU ou ULA (unidade lógica e aritmética) responsável pela execução de caçulos e operações lógicas da CPU, onde executa operações de adição, subtração, negação, E lógico, OU lógico.

O resultado é armazenado no registradores PRODH e PRODL, onde H vem de high e L de low ou seja bits mais significativos (H) e bits menos significativos(L). O registro relacionado a ULA é o Work Register (WREG) ou acumulador. À esquerda podemos visualizar as funções de programação/debugger, Power-Up Timer(PWRT).

2.7.2.2 Osciladores

Relacionado ao mesmo grupo citado acima temos os blocos com oscillator ou oscilador, sua função é definir a velocidade de processamento, ou seja, quanto maior a frequência, maior é a velocidade do ciclo de máquina do microcontrolador. O sistema possui três tipos de osciladores, onde cabe ao programador definir conforme a figura 17.

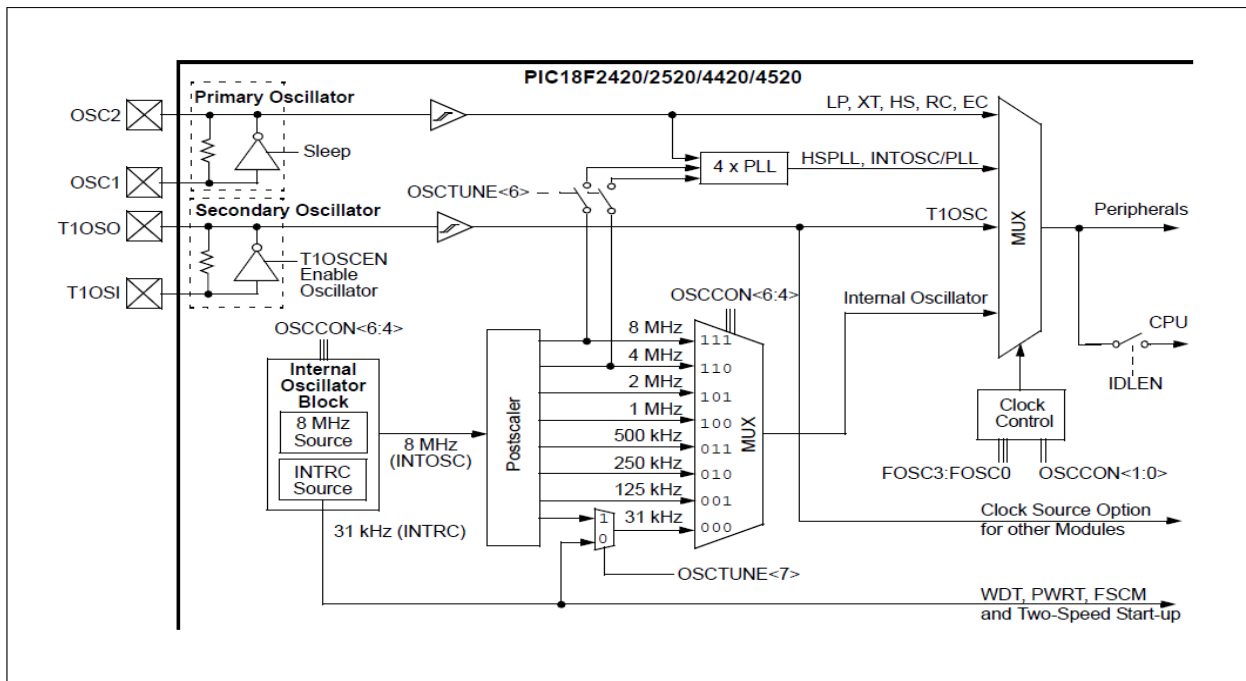


Figura17 – Diagrama de blocos do Oscilador (MICROCHIP)

2.7.2.3. Ciclo de máquina

O ciclo de máquina do microcontrolador PIC18 é dividido em quatro fases: Q1, Q2, Q3, Q4, resultando em uma velocidade de máquina equivalente a um quarto do valor do oscilador. (Miyadaira,2010)

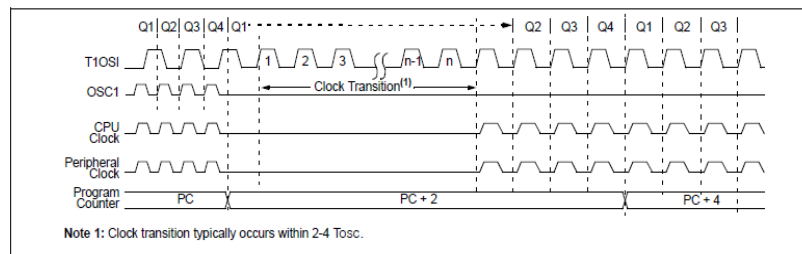


Figura 18 – Ciclo de Máquina (MICROCHIP)

A tecnologia embarcada nesse microcontrolador permite a execução de duas funções paralelamente denominada ciclo de localização e ciclo de execução.

O ciclo de localização incrementa o Program Counter (PC) durante o ciclo Q1, e a instrução localizada na memória de programa é carregada para dentro do registro de instrução (IR) durante o ciclo Q4. (Miyadaira, 2010)

No ciclo de execução a instrução localizada é carregada para o registrador (IR) no ciclo Q1 e é executada nos ciclos Q2 a Q4 onde é lida em Q2 e escrita em Q4.

2.7.2.4 Oscilador Interno

Podemos visualizar na figura 17 um bloco chamado Internal Oscillator (oscilador interno) onde fornece ao sistema um clock de 8MHz direto ou derivações de 4MHz a 31KHz. Funções estas definidas pelo programador. Outra fonte de clock é o oscilador RC que fornece 31KHz.

2.7.2.4.1. Oscilador Primário

Os pinos OSC1 e OSC2 representam os osciladores primários, ou seja, quando não selecionado na programação o tipo de oscilador, o sistema tem como padrão a referência de oscilações destes pinos. Esta função necessita de osciladores externos onde os mais usados são HS, XT, RC e EC.

2.7.2.4.2. HS (High Speed ou alta velocidade)

Para esta aplicação se faz necessário o uso de cristais e ressonadores com frequência de 4MHz a 20MHz.

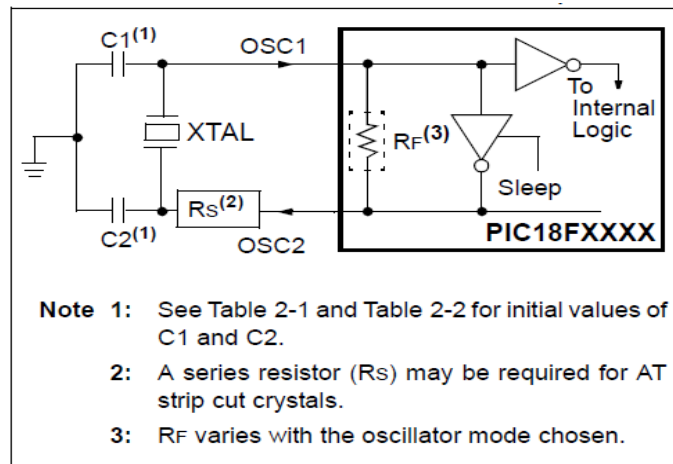


Figura19 – Esquema elétrico de ligação do cristal (MICROCHIP)

A resistência R_s deve ser calculador de forma a reduzir a condução de corrente e garantir um sinal senoidal perfeito.

2.7.2.4.3. XT (XTal)

Aplicações com cristais e ressonadores de 1MHz a 4MHz.aplicação conforme a figura 19.

2.7.2.4.4. RC

Os osciladores RC são compostos de uma resistência em serie com um capacitor, é considerado um sistema barato, entretanto menos preciso devido às tolerâncias destes componentes. Este sistema necessita apenas a utilização do pino OSC1, tornado o pino OSC2 livre para outra função (figura20).

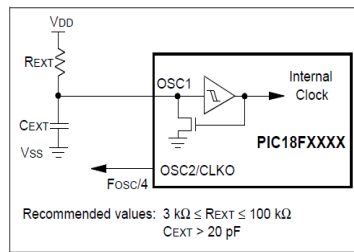


Figura 20 – Esquema elétrico do circuito RC (MICROCHIP)

2.7.2.4.5 EC (External Oscillator)

Aplicação que necessita de um oscilador externo, onde apresenta alto consumo de energia recomenda-se o uso de osciladores citados acima.

2.7.2.4.6 Oscilador secundário

Os pinos responsáveis por esta função são T1OSI e T1OSO, diferentemente da função primária se faz a necessidade de escolha pelo programador. Esta função opera com cristais de aproximadamente 32KHz.

2.7.2.5 Reset

O reset é o reinício do programa, podemos separar esta causa em três grupos, reset definido por hardware, reset devido alteração externa e reset predefinido pelo fabricante conforme a figura 21.

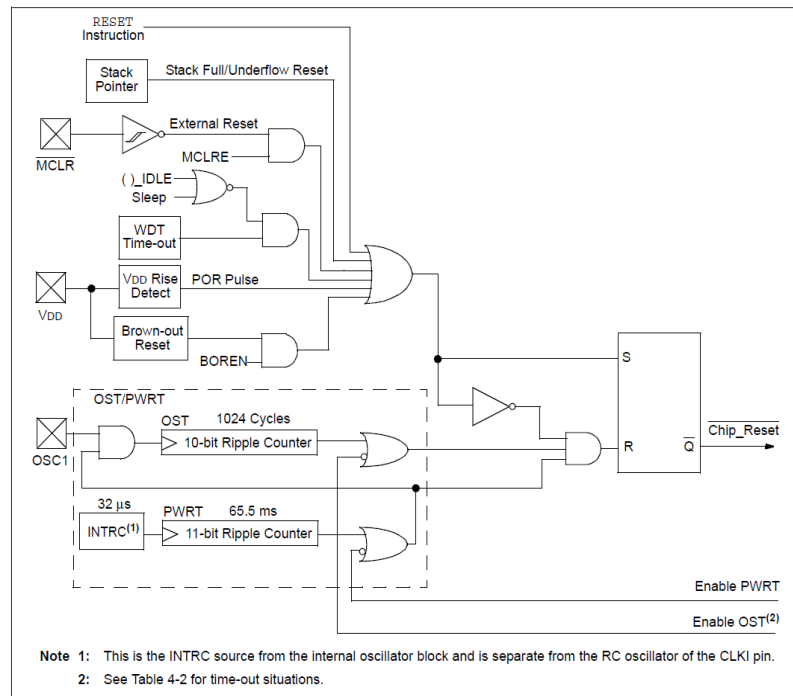


Figura 21 – Diagrama de blocos da função de reset (MICROCHIP)

2.7.2.5.1 Reset definido por hardware

O PIC18 possui dois blocos responsáveis por esta função o Brown-out Reset e Watch Dog Timer.

2.7.2.5.2 Brown-out Rese

“Reseta” o dispositivo se a tensão de alimentação for abaixo de um valor definido pelo programador e aguarda a volta deste parâmetro para reiniciar.

2.7.2.5.3 Watch Dog Timer(WDT)

Conhecido como cão de guarda, reinicia o dispositivo se este ultrapassar um limite de tempo estipulada pelo programador na execução de uma rotina. Sua fonte de clock é o RC

interno de 31KHz onde trabalha num período mínimo de 4,1ms a aproximadamente 134 segundos.

2.7.2.5.4 Reset devido alteração externa

Os blocos desta função são o Power-On e Master Clear Reset.

2.7.2.5.4.1 Power-On

Função que mantém o reset do PIC enquanto sua tensão não atinja sua tensão de trabalho.

2.7.2.5.4.2 Master Clear Reset (MCLR)

Pino do microcontrolador que força o reset caso sua tensão se encontre abaixo de um parâmetro, que por sua vez é dependente da tensão de alimentação do microcontrolador. Tensão usualmente inferior a 1V, quando o dispositivo é alimentado com 5Vcc. Com ele é possível realizar um reset externo durante o funcionamento normal do programa (Miyadaira,2010).

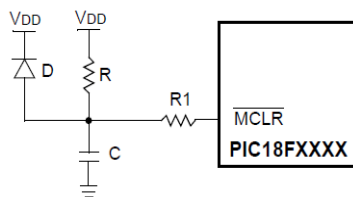


Figura 22 Circuito de ligação do MCLR (MICROCHIP)

O esquema elétrico apresentado acima é fornecido pelo fabricante onde o diodo força a descarga do capacitor em caso de elevação tensão. As resistências R e R1 garantem as especificações elétricas normais de trabalho.

2.7.2.6. OUTRAS FUNÇÕES

2.7.2.6.1. Fail-Safe Clock

O Fail-Safe Clock Monitor monitoriza a fonte de clock, caso aconteça uma falha no oscilador externo este dispositivo detecta reinicia o sistema com o oscilador interno.

2.7.2.7 MEMÓRIA

Como citamos no início deste capítulo o Pic18f4520 possui 16.384 palavras de memória *flash* (32.768bytes), 1.536 bytes de memória RAM e 256 bytes de memória EEPROM. Definimos memória *flash* como memória de Programa, a memória RAM como memória de dados e a memória EEPROM como Memória para salvamento de dados.

2.7.2.7.1. Memória de Programa

A memória de programa armazena o código do programa do microcontrolador, além de permitir escrever, ler e apagar os dados durante a operação normal (Miyadaira,2010).

2.7.2.7.2. Memória de Dados

Esta memória está dividida em registradores de funções especiais e registradores de propósito gerais.

2.7.2.7.3. Registradores de funções especiais

Estes registradores armazenam informações relacionadas ao controle e status do microcontrolador e as funções relacionadas ao gerenciamento dos periféricos. (Miyadaira,2010).

A figura 23 apresenta os registradores e seus endereços.

Address	Name	Address	Name	Address	Name	Address	Name
FFh	TOSU	FDh	INDF2 ⁽¹⁾	FBh	CCPR1H	F9h	IPR1
FEh	TOSH	FDEh	POSTINC2 ⁽¹⁾	FBEh	CCPR1L	F9eh	PIR1
FFDh	TOSL	FDDh	POSTDEC2 ⁽¹⁾	FBDh	CCP1CON	F9Dh	PIE1
FFCh	STKPTR	FDCh	PREINC2 ⁽¹⁾	FBCh	CCPR2H	F9Ch	— ⁽²⁾
FFBh	PCLATU	FDBh	PLUSW2 ⁽¹⁾	FBBh	CCPR2L	F9Bh	OSCTUNE
FFAh	PCLATH	FDAh	FSR2H	FBAh	CCP2CON	F9Ah	— ⁽²⁾
FF9h	PCL	FD9h	FSR2L	FB9h	— ⁽²⁾	F99h	— ⁽²⁾
FF8h	TBLPTRU	FD8h	STATUS	FB8h	BAUDCON	F98h	— ⁽²⁾
FF7h	TBLPTRH	FD7h	TMR0H	FB7h	PWM1CON ⁽³⁾	F97h	— ⁽²⁾
FF6h	TBLPTRL	FD6h	TMR0L	FB6h	ECCP1AS ⁽³⁾	F96h	TRISE ⁽³⁾
FF5h	TABLAT	FD5h	T0CON	FB5h	CVRCON	F95h	TRISD ⁽³⁾
FF4h	PRODH	FD4h	— ⁽²⁾	FB4h	CMCON	F94h	TRISC
FF3h	PRODL	FD3h	OSCCON	FB3h	TMR3H	F93h	TRISB
FF2h	INTCON	FD2h	HLVDCON	FB2h	TMR3L	F92h	TRISA
FF1h	INTCON2	FD1h	WDTCON	FB1h	T3CON	F91h	— ⁽²⁾
FF0h	INTCON3	FD0h	RCON	FB0h	SPBRGH	F90h	— ⁽²⁾
FEFh	INDF0 ⁽¹⁾	FCFh	TMR1H	FAFh	SPBRG	F8Fh	— ⁽²⁾
FEeh	POSTINC0 ⁽¹⁾	FCEh	TMR1L	FAeh	RCREG	F8eh	— ⁽²⁾
FEDh	POSTDEC0 ⁽¹⁾	FCDh	T1CON	FADh	TXREG	F8Dh	LATE ⁽³⁾
FECh	PREINC0 ⁽¹⁾	FCh	TMR2	FACH	TXSTA	F8Ch	LATD ⁽³⁾
FEBh	PLUSW0 ⁽¹⁾	FCBh	PR2	FABh	RCSTA	F8Bh	LATC
FEAh	FSR0H	FCAh	T2CON	FAAh	— ⁽²⁾	F8Ah	LATB
FE9h	FSR0L	FC9h	SSPBUF	FA9h	EEDR	F89h	LATA
FE8h	WREG	FC8h	SSPADD	FA8h	EEDATA	F88h	— ⁽²⁾
FE7h	— ⁽²⁾	FC7h	SSPSTAT	FA7h	EECON2 ⁽¹⁾	F87h	— ⁽²⁾
FE6h	POSTINC1 ⁽¹⁾	FC6h	SSPCON1	FA6h	EECON1	F86h	— ⁽²⁾
FE5h	POSTDEC1 ⁽¹⁾	FC5h	SSPCON2	FA5h	— ⁽²⁾	F85h	— ⁽²⁾
FE4h	PREINC1 ⁽¹⁾	FC4h	ADRESH	FA4h	— ⁽²⁾	F84h	PORTE ⁽³⁾
FE3h	PLUSW1 ⁽¹⁾	FC3h	ADRESL	FA3h	— ⁽²⁾	F83h	PORTD ⁽³⁾
FE2h	FSR1H	FC2h	ADCON0	FA2h	IPR2	F82h	PORTC
FE1h	FSR1L	FC1h	ADCON1	FA1h	PIR2	F81h	PORTB
FE0h	BSR	FC0h	ADCON2	FA0h	PIE2	F80h	PORTA

Figura 23 – Registradores do PIC18 (MICROCHIP)

2.7.2.7.4. Registradores de propósito gerais

Espaço destinado a registradores ou constantes definidos pelo programador, onde o mesmo define o espaço de memória utilizado. A figura 24 define os bancos de memória do Pic18f4520.

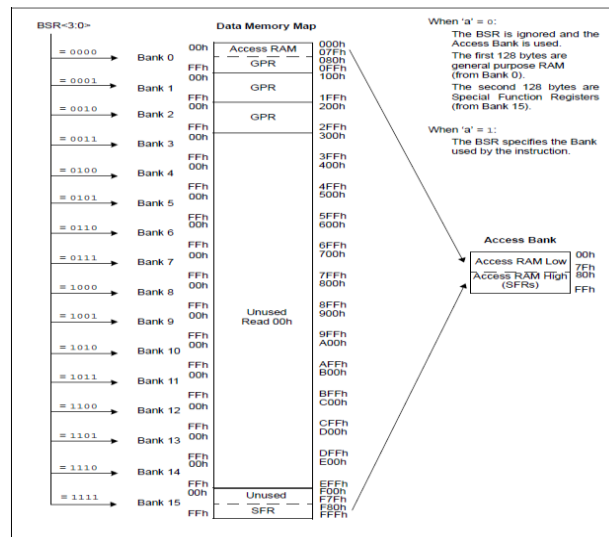


Figura 24 – Banco de memória para os registradores de propósito geral (MICROCHIP)

2.7.2.7.5. Memória para salvamento de dados

Memória esta que é utilizada para salvamento de dados não voláteis, ou seja, estes dados não se perdem com desligamento do microcontrolador. Está organizada em dezesseis endereços (bytes) onde todos os endereços possuem dezesseis pontos (bits) num total de 256 pontos, conforme a figura 25.

Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
00	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
10	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
20	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
30	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
40	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
50	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
60	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
70	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
80	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
90	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
A0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
B0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
C0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
D0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
E0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
F0	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF

Figura 25 – Organização da memória dos dados não voláteis (MICROCHIP)

2.7.2.7.6. Portas de Entrada e Saída (E/S)

Como vimos na figura 16, o Pic18f4520 possui pinos para a comunicação com o meio externo, onde pode ligar/desligar, controlar e adquirir sinais do periférico conectado. Por uma questão de organização e controle, os pinos estão divididos em portos A, B, C, D e E. Devido à limitação física do microcontrolador cada pino possui duas ou mais funções, onde cabe ao programador a escolha do mesmo através do controle de seus registradores.

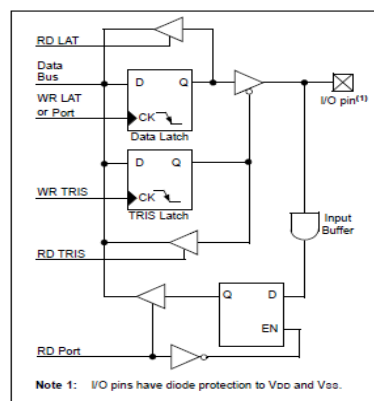


Figura 26 – Circuito interno das portas (MICROCHIP)

O esquema elétrico acima apresenta a operação genérica de uma porta (E/S). Cada porta tem três registradores, TRIS que configura o sentido do fluxo de dados, PORT escreve/lê o nível dos pinos associados à porta e LAT que armazena o valor do último comando de escrita. [livro] as funções especiais de cada pino podem ser adquiridas no manual de instruções do Pic18f4520, as funções utilizadas serão descritas conforme a sua utilização no desenvolvimento do trabalho.

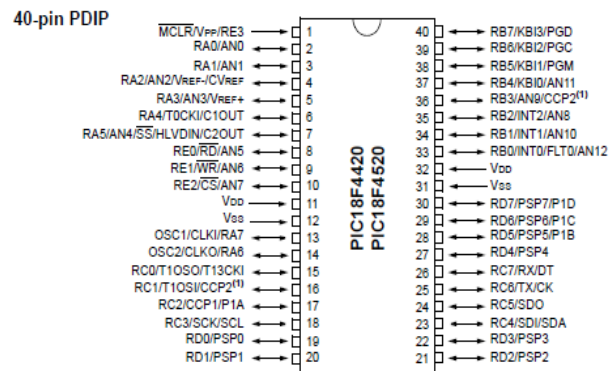


Figura 27 – Funções dos pinos do microcontrolador (MICROCHIP)

2.7.2.8. MPLAB

O MPLAB é um software desenvolvido pela Microchip para o gerenciamento de projeto, compilação, simulação e gravação das diversas linhas de microcontroladores PIC. O software permite a programação em linguagem assembly(baixo nível) e C(alto nível).

2.7.2.8.1. Gerenciamento de Projetos

O software disponibiliza ao usuário ferramentas para a verificação do conteúdo da EEPROM interna e da memória de dados, verificação, alteração dos registradores e visualização do projeto em assembly caso a linguagem utilizada seja o C.

2.7.2.8.2. Compilação

É o processo de conversão da linguagem de programação em linguagem de máquina (0 e1) onde é gerado um arquivo com extensão .hex para o processo de gravação.

2.7.2.8.3. Simulação

Permite ao usuário a simulação da programação desenvolvida, onde pode efetuar a verificação ponto a ponto, execução do código até um ponto pré-definido, atribuir valor aos pinos do microcontrolador e a simulação de USART.

2.7.2.8.4. Gravação

Permite a gravação direta do programa, sem necessitar de outros softwares para isso, por ser utilizado gravadores ou placa de desenvolvimento da Microchip. Este software pode ser adquirido através do site oficial da Microchip Technology (WWW.microchip.com).

2.7.2.8.5. C18

A Microchip disponibiliza uma biblioteca voltada a linha PIC18 para a programação em C, como mencionado anteriormente, a linguagem C é uma linguagem de alto nível o que permite a escrita sem se preocupar com a organização nos diversos tipos de memórias, pois é organizada automaticamente e a possibilidade de operações matemáticas complexas como raiz quadrática, elevação a potencia entre outras, otimizando a complexidade do código e o poder de trabalho do microcontrolador. Esta biblioteca pode ser adquirida através do site oficial da Microchip Technology (WWW.microchip.com).

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. PRESCRIÇÕES DA CLÁUSULA

Conforme a NBRIEC60601-1-3 de 2001 na sub cláusula 29.202.7 é definido que todo equipamento de raios X específico para radiologia diagnóstica deve prover um indicador de campo luminoso, caso o equipamento tenha esse indicador, deve fornecer uma iluminação não inferior a 100 lux a uma distância de 1m e contraste não inferior a 3 nos equipamentos de raios x móveis e 4 nos demais equipamentos de raios x.

A sub cláusula 29.202.7 define que a intensidade luminosa deve ser determinada pela média de medição de cada quadrante onde esse por sua vez é a média de no mínimo 4 vezes nos centros de cada área iluminada.

O contraste por sua vez é definido pela medição da intensidade luminosa a 3mm da borda para o centro (I_1) e 3mm da borda para direção oposta (I_2) em um abertura não superior a 1mm, em que obtêm o contraste aplicando a seguinte equação I_1/I_2 corrigindo os valores para a iluminação ambiente.

3.2 DEFINIÇÕES DO PROJETO

As seguintes exigências ou objetivos foram estabelecidas:

1. Sistema automatizado
2. Precisão de leitura e reprodutibilidade
3. Menor interferência humana
4. Facilidade de operação

Analisando os objetivos pode-se definir que o microcontrolador é a ferramenta que apresenta à maior viabilidade de aplicação, pois automatiza uma operação sem necessitar de um grande volume de suporte eletrônico para operação, precisão e reprodutibilidade acima do necessário, com interferência e operação limitada pelo programador oferecendo uma ferramenta flexível ao ajuste do corpo técnico do laboratório.

3.2.1 definição de operação do microcontrolador

A operação do microcontrolador é apresentada pelo seguinte fluxograma:

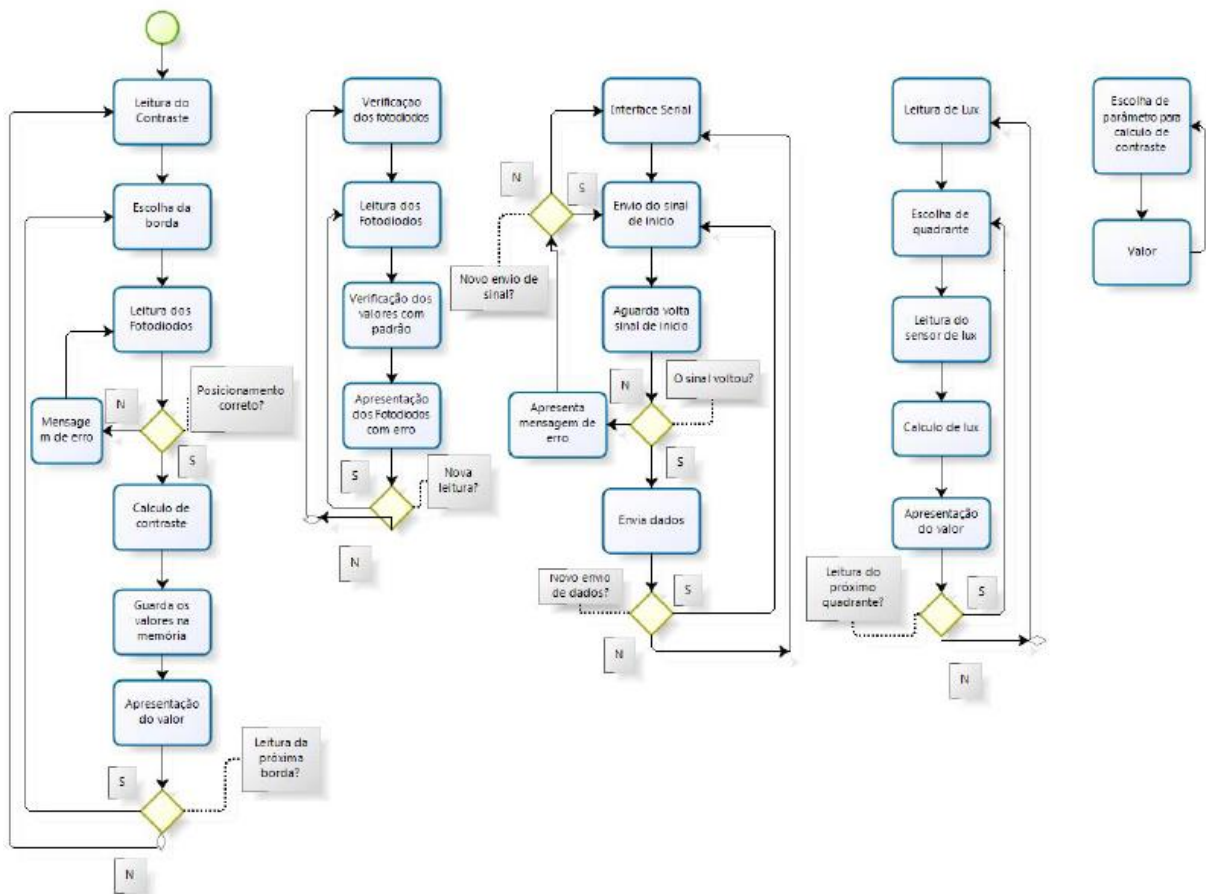


Tabela 1 – Fluxograma de funcionamento do microcontrolador

3.2.2 Erros previstos durante operação

O programa apresenta durante sua operação diversas mensagens de erro que tem o objetivo de avisar o operador de procedimentos que não ocorreram conforme esperado seguido de sua ação para correção. O primeiro erro encontrado é na função de “leitura do contraste”. Este erro deve-se ao mau posicionamento dos fotodiodos na borda do campo, podendo ser dois casos. Ambos os casos devem-se ao posicionamento errado de centro dos

fotodiodos, o primeiro erro é a concentração de fotodiodos da borda para o centro do campo luminoso não deixando a quantidade mínima de fotodiodos do lado oposto do quadrante impossibilitando o cálculo dos 3mm e conseqüentemente o cálculo do contraste (figura 28).



Figura 28 - Erro de posicionamento de borda

O segundo caso nada mais é do que a concentração de fotodiodos do lado oposto da borda (figura 29). O segundo erro é a função de verificação que nada mais é do que a verificação individual de falha cada fotodiodo aplicado em uma luz ambiente no qual forneça um valor maior do que o padrão estipulado de 2V, caso o fotodiodo não responda o número referente é apresentado no display (figura 30).



Figura 29 - Erro de posicionamento de borda



Figura 30 - Erro de resposta do fotodiodo

O terceiro erro é na função de “Interface”, que aponta ao operador a não conectividade entre o instrumento e o computador enviando uma mensagem de erro (figura 31).



Figura 31 – Erro de comunicação

3.2.3 Periféricos e funções internas

Dentre os periféricos e funções internas citadas no desenvolvimento deste trabalho, este capítulo tem o objetivo de aprofundar o funcionamento das funções utilizadas no trabalho, sendo o display LCD, USART ou comunicação serial e o conversor analógico digital (conversor A/D).

3.2.3.1 Display LCD

O display LCD alfanumérico é uma interface de saída capaz de mostrar caracteres do código ASCII, símbolos, além de alguns caracteres/símbolos especiais criados pelo próprio usuário (Miyadaira,2010)

Para estabelecer tal comunicação e controle dos processos, o LDC conta com um controlador HD44780 ou compatível. A figura 32 apresenta os pinos do LCD AND721GST/GST-LED que podem variar conforme o fabricante.

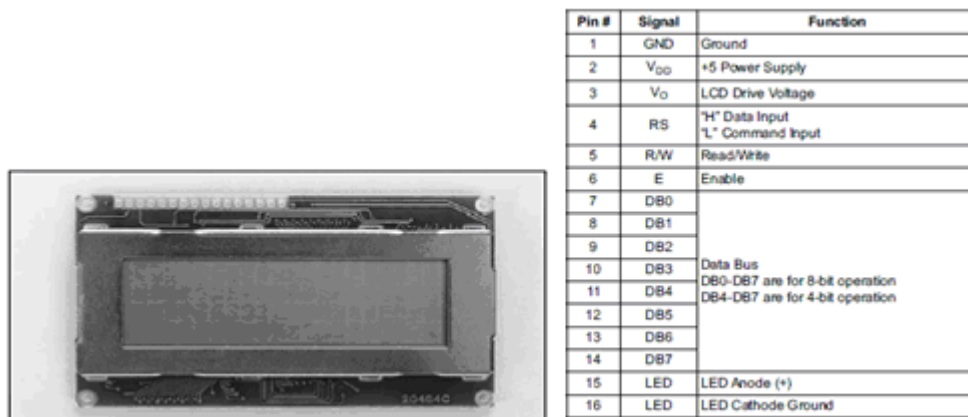


Figura 32 - Display LCD e diagrama de pinos (PUDR ELETRONICS)

O PIC18F4520 inclui uma porta paralela de 8bits que pode ser utilizada por um dispositivo externo para trocar dados com PIC. Essa porta paralela possui oito pinos de entrada/saída e mais três pinos de controle: RD, RW e CS. [Pereira] esta porta paralela é habilitada quando bits PSPMODE é setado. Quando PAPMODE habilitado o porto D passa a ser controlado pelos pinos de controle. Para otimizar o tempo de programação o trabalho utilizou a biblioteca do livro “microcontroladores PIC18” disponível pela editora Érica no site www.ERICA.com.br.

3.2.3.2. USART

USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) ou interface de comunicação serial é normalmente utilizada para comunicação de conversores A/D, EEPROM e no caso deste trabalho comunicação com o PC. A comunicação serial é constituída de informações de 10 ou 11 bits onde 8 bits é o tamanho da mensagem, 1 bit de inicio, 1/1.5/2 bits de parada e 1 bit de controle de erro (figura 33). O início de uma comunicação serial consiste na passagem do estado 1 para 0 pelo transmissor, o receptor por sua vez inicia a uma contagem de clock para receber dados. Após o sinal de inicio a mensagem de 8 bits é enviada seguido do sinal de paridade e final, completando os 11 bits. A velocidade de transmissão de uma

informação é definida conforme o padrão EIA-232 em que as taxas de comunicação são de 300bps, 600bps, 1200bps, 2400bps, 4800bps, 9600bps, entre outras de menor utilização.

O PIC18 pode ser utilizado no modo assíncrono ou síncrono. Quando configurado como assíncrono, ele utiliza os pinos RX (receptor) e TX (transmissão) para comunicação, enquanto no modo síncrono são utilizados os pinos CK(clock) e DT (dado). (Miyadaira,2010)

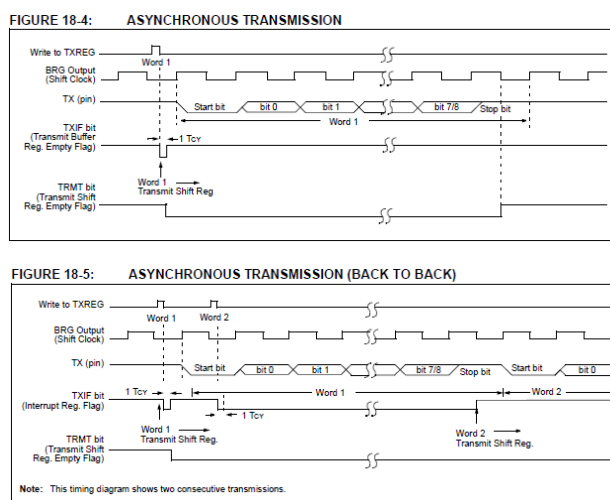


Figura 33 – Comunicação serial (MICROCHIP)

A programação e configuração da USART pelo PIC18 é obtida através da biblioteca `usart.h` disponível no compilador C18. No caso deste trabalho foi usada uma comunicação assíncrona com o CI max232 para adequação dos padrões elétricos de comunicação.

3.2.3.3 Conversor Analógico-Digital

Como o próprio nome define o conversor AD transforma informação analógica em digital. Para tal o microcontrolador necessita de uma tensão de referência que pode ser interna ou externa e que pode ser definido pelo valor de cada bit através das Eq. (6) e Eq.(7).

$$V_{unidade} = \frac{V(ref+) - V(ref-)}{2^{resolução} - 1} \quad (6)$$

$$V_{bit} = \frac{V_{unidade}}{2^{resolução} - 1} \quad (7)$$

Internamente para se realizar uma conversão AD, o microcontrolador possui um capacitor que é carregado com a tensão aplicada no pino de entrada. Após esse tempo de carga é definido pelo programador, o capacitor é desconectado e a tensão aplicada no capacitor é convertida por aproximações consecutivas (figura 34).

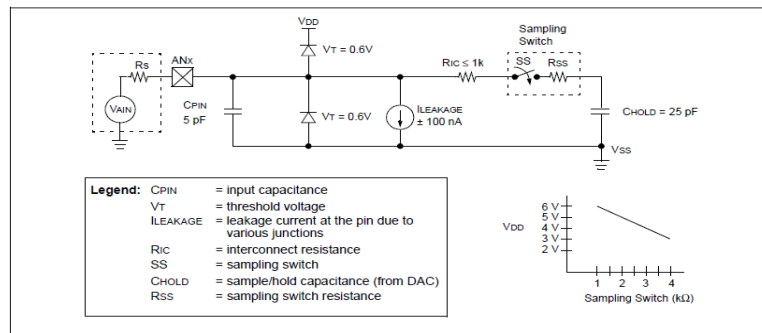


Figura 34 – Circuito interno do conversor AD (MICROCHIP)

Para esta aplicação foram utilizados apenas 2 conversores AD num total de 13 conversores (figura 35). O resultado da conversão AD é fornecido pela Eq.(8).

$$Valor = \frac{V_{sinal_{analógico}} \times (2^{resolução} - 1)}{V_{referência}} = \frac{V_{sinal_{analógico}}}{V_{1bit}} \quad (8)$$

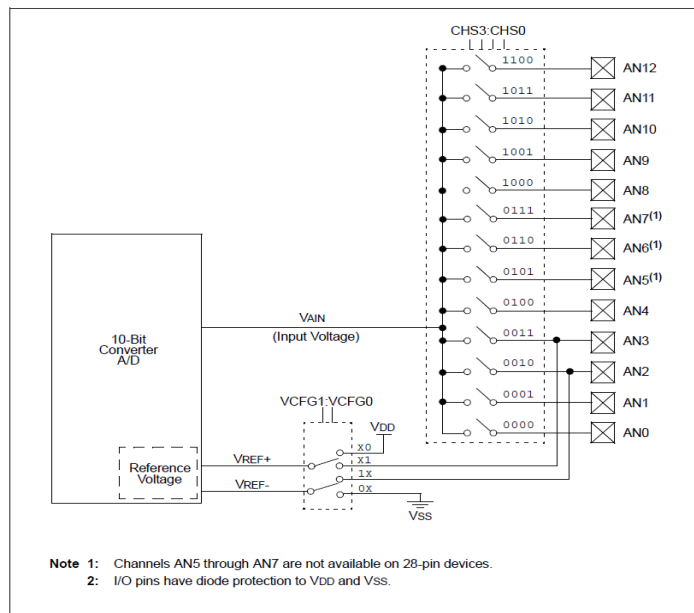


Figura 35 – circuito interno dos canais e tensão de referência do conversor AD (Microchip. 2008)

3.2.4. Amplificação dos sinais de resposta

A amplificação de sinais é necessária para o sensor de contraste bem como para o luxímetro, pois ambos apresentam sinais de baixa amplitude, inferior a tensão de referência interna do conversor AD do microcontrolador (resolução AD). Além disso, o amplificador promove o casamento de impedâncias devido à baixa impedância de entrada do conversor AD do microcontrolador e as altas impedâncias de saída dos sensores óticos.

3.2.4.1. Amplificação de resposta do fotodiodo

Como citado anteriormente a corrente de saída do fotodiodo é da ordem de microamperes, o que justifica a necessidade do amplificador operacional. Para tal aplicação foi utilizado o amplificador de instrumentação que possui alta impedância de entrada e fornece uma saída baseada em entradas diferenciais. A figura 36 apresenta modelo padrão de CI amplificador de instrumentação.

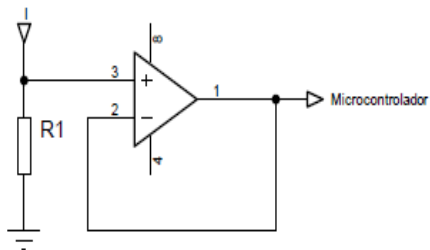


Figura 37 – Circuito amplificador de transimpedância com ganho unitário

3.3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O protótipo foi desenvolvido a partir da plataforma de desenvolvimento KIT-F877c da CNZ ind. & com. Ltda. O uso da plataforma de desenvolvimento se deve ao fato que todos os periféricos utilizados junto ao microcontrolador e seu suporte de gravação e reset estão presentes na mesma placa. O KIT-F877c é composto de um microcontrolador, USART, display LCD, display de sete segmentos de quatro dígitos, quatro botões, oito LEDs, um buzzer e ponto de alimentação de 5V para periféricos externos.

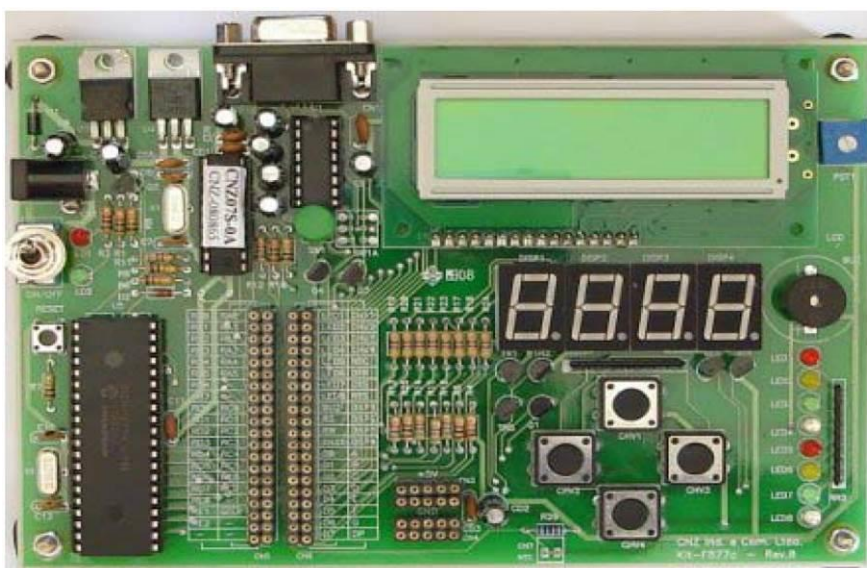


Figura 38 – Plataforma de desenvolvimento (CNZ)

3.3.1. Microcontrolador

O microcontrolador presente na placa é o PIC18F4520 com cristal de 20MHz e botão de reset conforme a figura 38.

3.3.2. USART

A comunicação presente na placa é composta de uma porta DB9 com conversor de sinais MAX232. Esta porta de comunicação é utilizada para gravação do microcontrolador e saída de dados do mesmo, sendo selecionado por uma chave é selecionado a aplicação desejada conforme a figura. Para esta aplicação foi escolhido à máxima transferência de dados disponíveis 9600bps.

3.3.3. Display LCD

O KIT-F877c conta com um display LCD de 16x2, ou seja, duas linhas com 16 caracteres. O seguinte esquema elétrico é fornecido pelo fabricante conforme a figura 39.

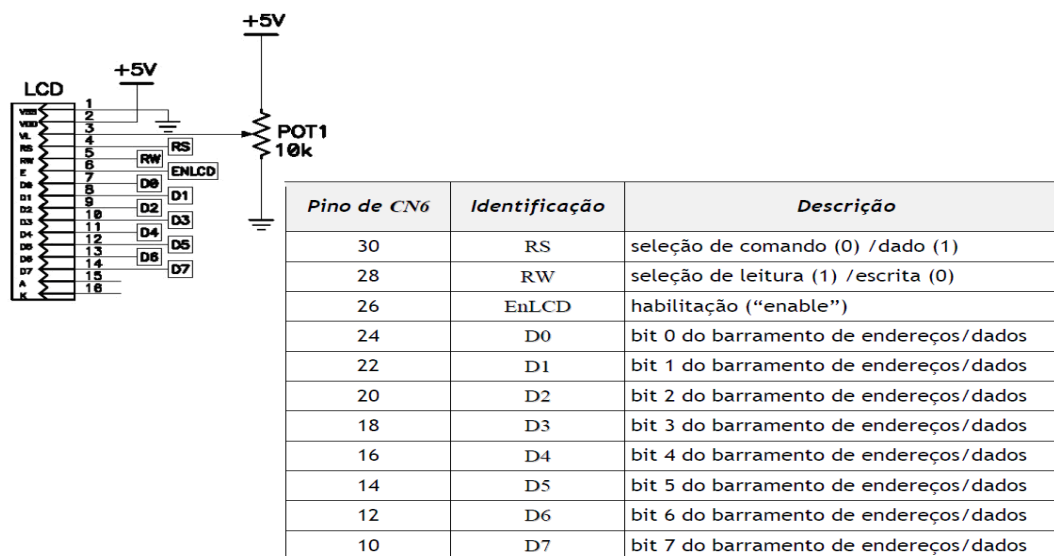


Figura39 - Conexão elétrica presente na plataforma de desenvolvimento (CNZ)

Seguindo as especificações elétricas conforme citadas pelo livro, o seguinte esquema elétrico foi montado conforme a figura 40.

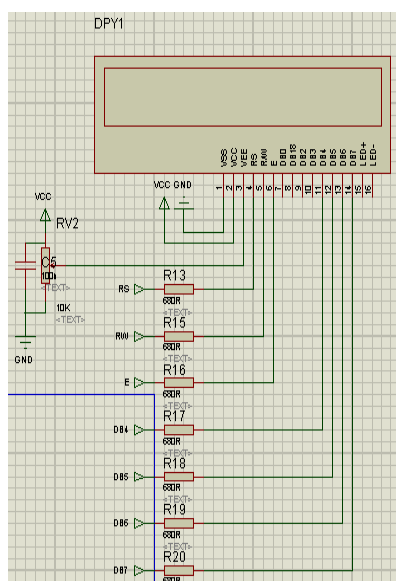


Figura 40 – Conexão estabelecida na plataforma de desenvolvimento

3.3.4. Botões de comando

Como citado o KIT-F877c possui 4 Push Button normalmente abertos que fornecem nível lógico 1 e quando pressionados fornecem nível lógico 0. Tal característica obriga o programador a configurar os pinos de entrada do PIC18F4520 a supervisionarem um sinal 1 para 0 (figura 41).

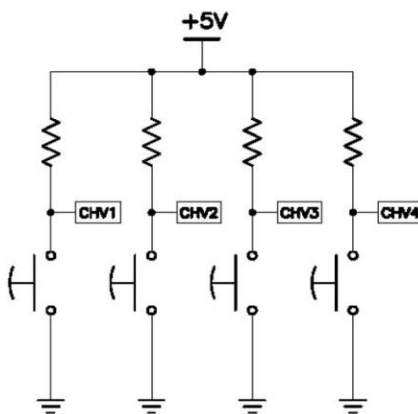


Figura 41 - Circuito elétrico dos botões (CNZ)

Devido à distribuição física dos Push Button a seguinte lógica foi estabelecida conforme a figura 42.

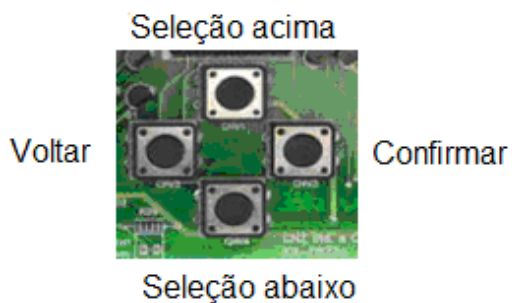


Figura 42 – Lógica de operação estabelecida (CNZ)

3.3.5. Programação do microcontrolador

A programação do microcontrolador consiste em duas etapas, a primeira etapa é a escrita da rotina e a segunda a gravação.

Para escrita da rotina foi utilizado o ambiente de programação MPLAB. Sua estrutura de funcionamento é descrita no desenvolvimento deste trabalho. A linguagem escolhida foi a linguagem C, devido ser de alto nível, possibilitando a escrita de equações complexas. A biblioteca disponível pelo fabricante para escrita em C é chamada C18, e descrita no desenvolvimento deste trabalho.

A gravação do microcontrolador se consiste na geração do arquivo executável (.hex), a geração do arquivo fica a cargo do MPLAB. Tendo gerado o arquivo executável, este é encaminhado para o software de gravação da placa de desenvolvimento, software disponível junto com a placa de desenvolvimento.

3.3.6. Circuito de aquisição de dados

De forma a facilitar o sistema de aquisição de dados foi confeccionada uma placa de circuito impresso que fosse capaz de amplificar o sinal de resposta dos sensores e garantir o correto posicionamento dos mesmos. Para tal função foi utilizada a plataforma de desenvolvimento de circuito impresso ORCAD. O ORCAD é composto por dois ambientes de trabalho Capture CIS e Layout PLus. O Capture CIS define o esquema elétrico do projeto e no qual é referenciado para Layout Plus onde se confecciona o circuito impresso para fabricação. A figura 43 apresenta protótipo desenvolvido.

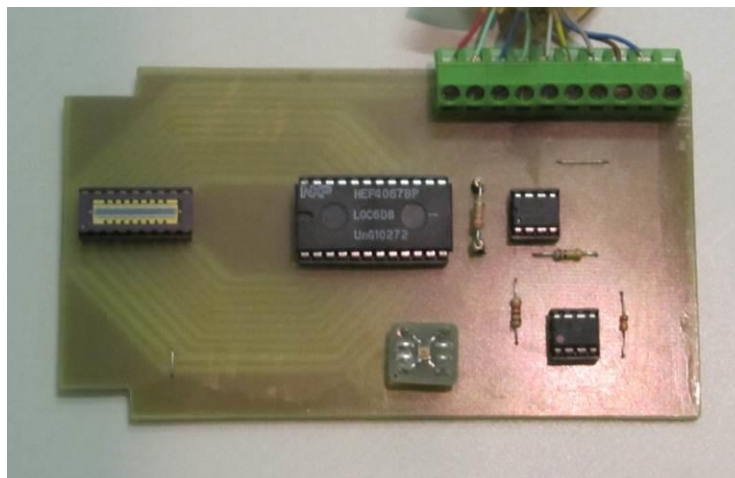


Figura 43 – Circuito de aquisição de dados

Do lado esquerdo da figura, pode-se observar o fotodiodo de 16 canais conectado ao ci de seleção de canal seguido de seu amplificador. Os degraus apresentados no canto superior e inferior do fotodiodo foram desenvolvidos buscando definir um guia de centralização para leitura de contraste do fotodiodo. O sensor de lux é encontrado na parte inferior da figura, por ser um componente smd foi desenvolvido uma placa com dimensões equivalentes a padronização de construção de circuitos integrados de oito pinos. O barramento conecta a placa de aquisição de dados com a placa de desenvolvimento no que diz respeito a alimentação do sistema, comando de chaveamento e saída dos sinais dos sensores.

O procedimento para medição do contraste consiste em duas etapas de análise:

1. Busca da região de penumbra, que é a região intermediária entre a região dentro do campo luminoso e a região fora desse;
2. Cálculo de contraste entre os fotodiodos localizados à três milímetros das bordas interna e externa da região de penumbra.

Neste processo, o alinhamento é corrigido pela interação do ensaísta com o software do microcontrolador (mensagens de erro). Um exemplo de medição incluindo a zona de penumbra é apresentado na figura 44.

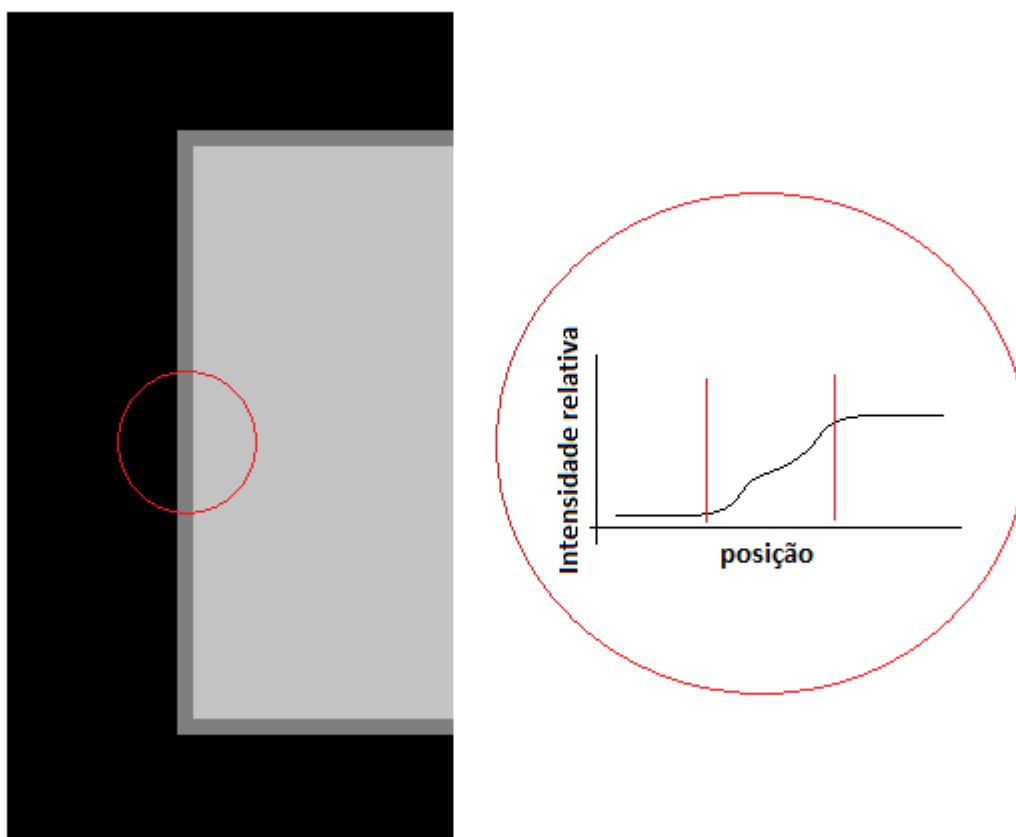


Figura 44 – Zona de penumbra na borda do campo luminoso

O critério para definição de zonas de penumbra no software do microcontrolador é baseado na diferença relativa entre dois fotodiodos, sendo considerado fora dessa zona, os elementos com desvio relativo maior que 5%¹. Esta definição inicial foi validada nos resultados apresentados neste trabalho.

¹ Critério inicial adotado como sugestão do Prof. Dr. Balázs Vince Nagy da Universidade de Budapeste.

4. RESULTADOS

Este capítulo é dedicado ao estudo da resposta do sistema desenvolvido. O ambiente de teste foi a sala de ensaios de radiação do setor de ensaios em equipamentos eletromédicos que é iluminada com lâmpadas fluorescentes, possui paredes brancas e chão preto. O foco de luz é fornecido por um equipamento de raios-x móvel com colimador a uma distância de 1 metro da mesa com abertura total do campo, a escolha dessa abertura se deve ao fornecimento da maior dispersão da luz e conseqüentemente o pior caso de visualização. A figura 45 apresenta o ambiente de ensaio descrito.



Figura 45 – Ambiente de ensaio

Para aquisição dos sinais foi utilizado o osciloscópio DPO7104 da Tektronix conectado à mesma entrada de conversão AD selecionada pelo microcontrolador. O padrão de posicionamento do fotodiodo foi estabelecido como apresentado a figura 46, em que metade dos fotodiodos corresponde à leitura de luz ambiente.

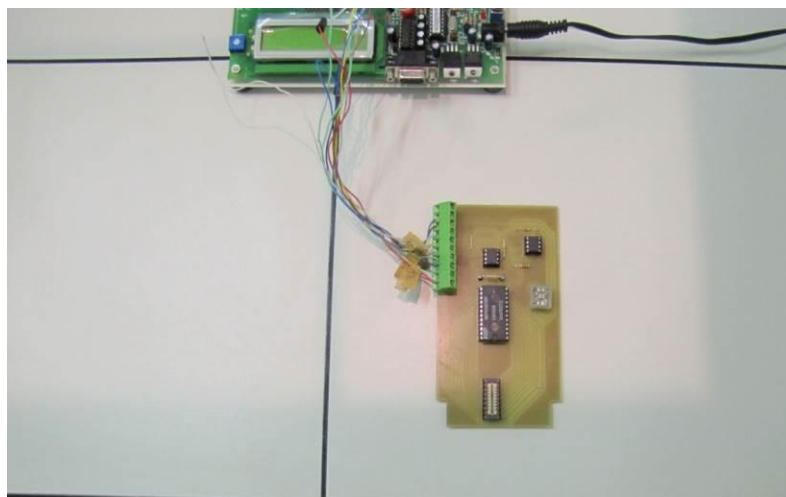


Figura 46 – Posicionamento da placa de aquisição de dados

4.1. RESPOSTA DE LEITURA DE CONTRASTE

Para a leitura dos sinais provenientes dos fotodiodos foi estabelecida uma rotina em que o microcontrolador estabelece um tempo de corte entre um sinal e outro facilitando a leitura dos canais. A figura 47 apresenta a resposta dos sinais em uma operação com a distribuição correta do sensor.

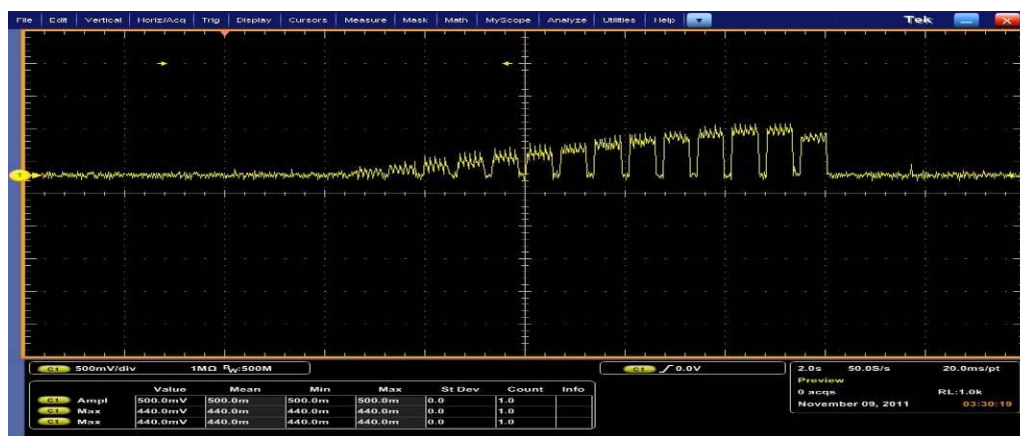


Figura 47 – Resposta do sensor em distribuição correta

Pode-se observar na figura o crescimento gradual do sinal, fica evidente o sinal do ambiente (menor sinal) para o centro de foco de luz (maior sinal). Conforme previsto, o posicionamento errado do sensor acarreta sinais nos extremos do sensor tal sinal pode ser percebido na figura 48 e 49.

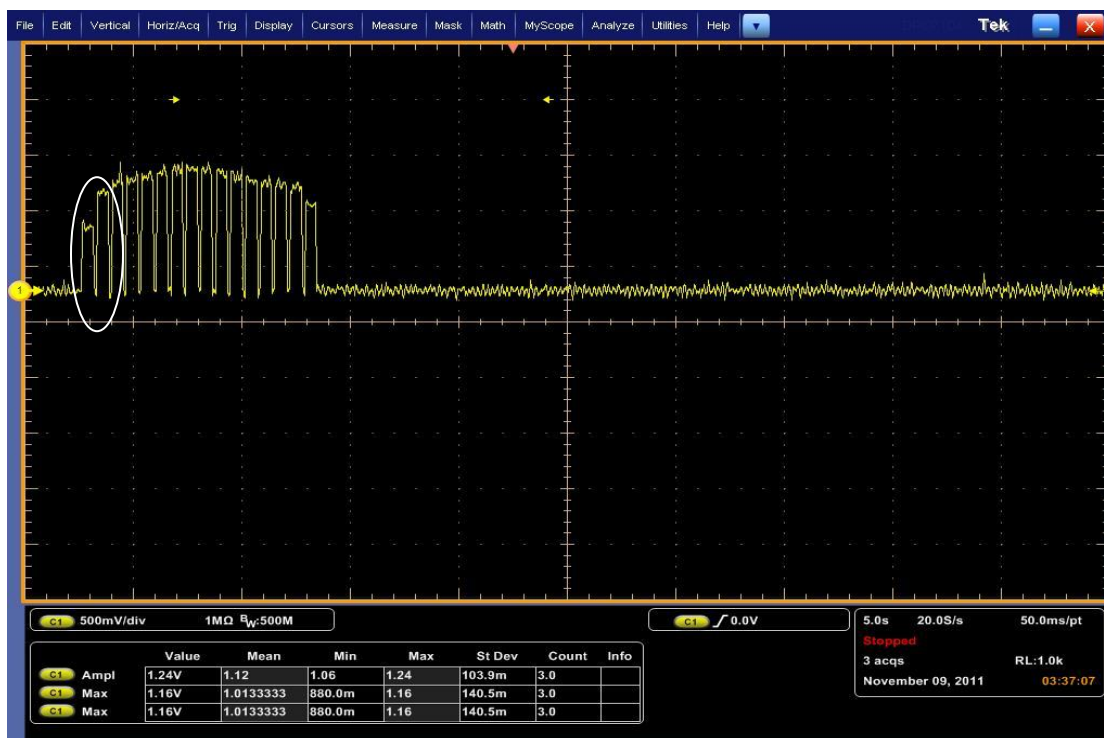


Figura 48 – Resposta do sensor em concentração no foco de luz

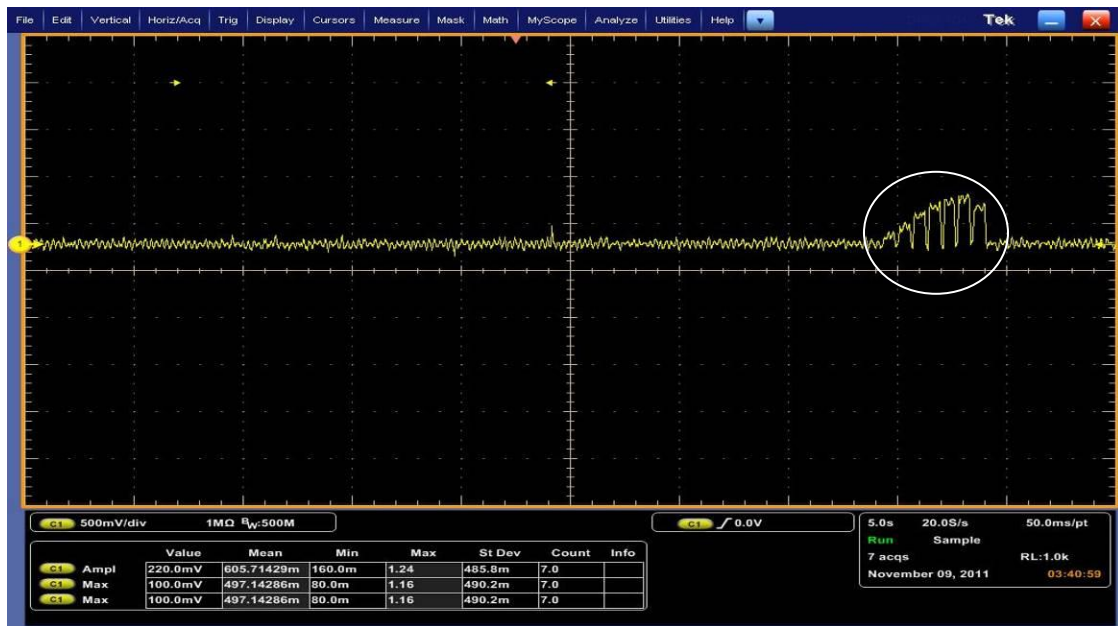


Figura 49 – Resposta do sensor em concentração ambiente

A figura 48 apresenta um posicionamento do sensor dentro do foco em que apenas os primeiros sensores estão na borda. É visível a diferença de sinal dos sensores um e dois do fotodiodo (visualização da esquerda para direita) tornando impossível a leitura do contraste a uma distância de 3mm.

A figura 49 apresenta um posicionamento do sensor fora do foco de luz em que apenas os últimos sensores estão na borda. Fica visível o sinal fora da faixa de leitura impossibilitando a leitura como no caso anterior.

4.2. RESPOSTA DE LEITURA DO SENSOR DE LUX

Devido à saída do sensor de lux ser única e constante nenhuma alteração foi realizada para facilitar a resposta de saída. O apenas dois testes foram empregados, sendo eles a resposta de centro do campo luminoso com foco de luz e resposta do campo luminoso sem foco de luz, ou seja, apenas iluminação ambiente.

A figura 50 apresenta o sinal de lux em foco de luz ligado e a figura 51 apresenta o sinal em foco desligado, a diferença de resposta é visível quando se analisa a distância do sinal (linha amarela) em relação ao centro o que corresponde o aumento da tensão quando aplicado o foco de luz.

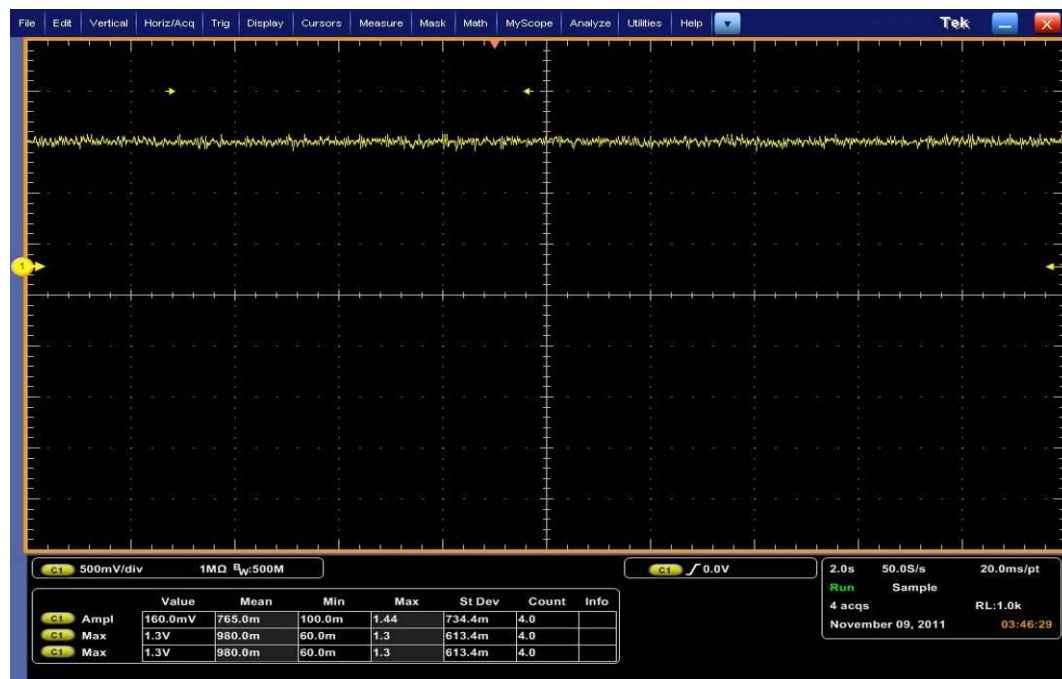


Figura 50 – Resposta do sensor de lux aplicado ao campo luminoso

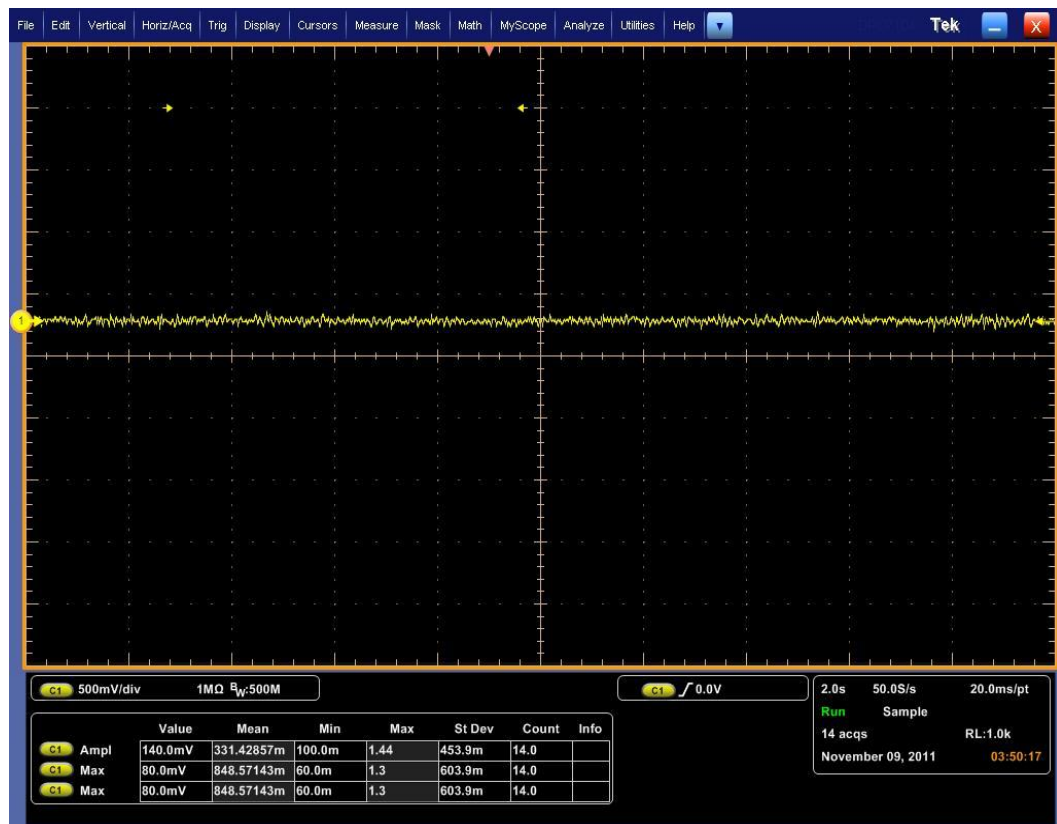


Figura 51 – Resposta do sensor de lux aplicado luz ambiente

5. CONCLUSÃO

O colimador é uma peça de grande valor ao equipamento de raios-x, pois otimiza o tempo de ajuste foco-paciente, que por sua vez diminui a falha humana de operação e risco de doses excessivas e doses em regiões indesejáveis. O sistema apresentado busca atender os requisitos da norma, em que vale salientar ser um protótipo piloto para um produto embarcado final como mostrado na figura 52.

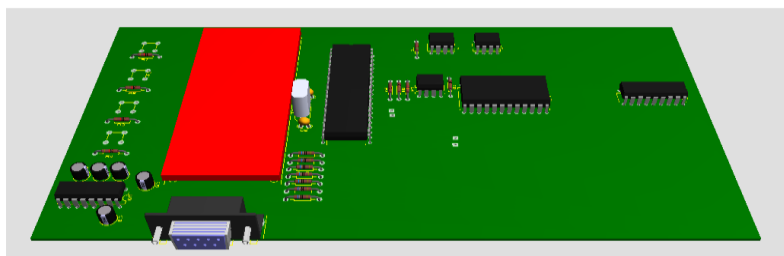


Figura 52 – Sistema eletrônico embarcado final

Melhorias ainda estão previstas como a eliminação ou minimização do ruído presente nos sinais de resposta dos sensores, como se pode observar nas figuras apresentadas no desenvolvimento. Está prevista também a criação de um programa para manipular os dados entregues a o computador.

Apesar dos ruídos o sensor de lux apresenta respostas, o cálculo matemático para o contraste ainda necessita de ajuste entre o sinal, digitalização do sinal e calculo, levando também em consideração a dificuldade de conversão dos valores devido aos picos de ruído que alteram o valor, tornando o cálculo errôneo.

No andamento dos testes foi observado que a iluminação não é constante no tempo que permanece ligado, diminuindo gradualmente. Outra observação foi na construção do campo lumionoso visto que apresentam bordas indiferentes dos extremos, tal fato é devido à construção do mesmo.

6. REFERÊNCIAS

BURR-BROW. **Instrumentation Amplifier.** Disponível em:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/255475_DS.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2011

BOTTARO,M. **Estudo do Envelhecimento de um tubo de raios X por métodos não invasivos.** 2007. 141. Área de Tecnologia Nuclear- IPEN, Universidade de São Paulo, 2007

BOYLESTAD, R. NASHELSKY, L.**Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.** Rio de Janeiro. Ed. Pertice-Hall do Brasil. 2004

CNZ. **Manual de operação do Kit-F877c**

CREDER, H. **Instalações Elétricas.** São Paulo. Ed. LTC. 2007

DEMAR. **Diodos.** Disponível em: <<http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/aulas/Diodos.pdf>>
acesso em: 25 de novembro de 2011

FRUETT, F. **Eletrônica Básica.** Disponível em:
<<http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE530/PDF/E%20-%20Circuitos%20com%20operacionais%20reais.pdf>>. Acesso em: 25 de novembro de 2011.

LABELEC. **Fotodiodos.** Disponível em: <<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/otros/infrarrojos/fotodetectores.htm>>. Acesso em: 25 de novembro de 2011.

MECATRONICA EDUCACIONAL. **Microcontroladores.** Disponível em: <<http://mecatronicaeducacional.blogspot.com>>. Acesso em: 25 de novembro de 2011

MICROCHIP. **C18 Compiler Libraries**, 2005. Disponível em:<www.microchip.com> Acesso em: 25 de novembro.

MICROCHIP. **PIC18F4520/2520/4420/4520 Data Sheet**, 2008. Disponível em: <<http://www.microchip.com>> Acesso em: 25 de novembro de 2011

MIYADAIRA, A. Microcontroladores **PIC18: Aprenda e Programa em Linguagem C**, São Paulo. Ed. Érica. 2010.

NOVAES,F. **Aulas de física**. 2010. Disponível em: <<http://aulasdefisicafelipe.blogspot.com>>. Acesso em: 25 de novembro de 2011.

PEREIRA, F. **Microcontrolador PIC18 Detalhado**. São Paulo. Ed. Érica.

PURDY ELETRONICS. **DISPALY LDC**. Disponível em: <<http://www.purdyelectronics.com/pdf/and721gst.pdf>>. Acesso em: 25 de novembro de 2011.

LEADMEC. **Manual do Colimador Leadmec Modelo LDM 206**. 2010

SPRAWLS, P. **The Physical Principles of Medical Imaging**. Disponível em:<www.sprawls.org> Acesso em: 25 de novembro de 2011

SOARES, A. Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. Serviço de Biblioteca e Documentação (2010). **Ensaio para Avaliação de Segurança e Desempenho de Incubadoras Neonatais e Berços Aquecidos, quanto às Características de Temperatura e Umidade**. Sorocaba.

TRIPLER, P. **Física**. São Paulo. Ed. LTC. 1982