

DESENVOLVIMENTO DE UM OSCILOSCÓPIO DE BAIXO CUSTOS.

Maicon Alves de Araujo¹, Dr. Taciano Amaral Sorrentino²

Resumo: Este trabalho propõe o desenvolvimento de um osciloscópio digital de baixo custo com capacidade de medição e amostragem de uma onda de tensão aplicada a uma de suas portas analógicas. E ainda, o sistema deveria enviar os dados para um computador que mostrara através de um software, também desenvolvido neste trabalho, a forma de onda e algumas informações sobre a tensão analisada. O sistema consiste de uma integração do *hardware* representado por uma plataforma de prototipagem eletrônica (constituída pelo dispositivo Arduino Uno e pelo módulo CPLD acoplado como shield) com o *software* desenvolvido neste trabalho que mostrara em tela as informações. O funcionamento do produto final foi devidamente comprovado através de testes mostrando que o sistema é capaz de atingir os objetivos propostos. Além disso, o trabalho permitiu verificar a versatilidade e facilidade da ferramenta adotada (Arduino) para utilização em desenvolvimento de sistemas de baixo custo e úteis como o projeto proposto.

Palavras-chave: medidor de tensão; arduino; desenvolvimento; porta lógica;

1. INTRODUÇÃO

Apesar do grande avanço tecnológico da eletrônica nos últimos anos, o custo de alguns equipamentos para laboratórios de eletricidade e eletrônica ainda é muito elevado, como é o caso do osciloscópio. Assim, para se montar um laboratório de eletrônica para uma escola profissionalizante ou universidade, depara-se com alguns problemas que devem ser muito bem estudados.

Deve-se decidir o tamanho da sala, o tipo de bancada a ser utilizada, os componentes e principalmente os equipamentos a serem adquiridos e assim por diante. Relacionado a estrutura física não há muitas opções, mas com relação aos componentes e equipamentos, existem vários tipos e modelos no mercado. Para que um laboratório possa dar condições para os estudantes ampliarem seus conhecimentos e atender em várias áreas da elétrica envolvida, deverá ser gasto um elevado valor monetário.

O osciloscópio, apesar dos avanços tecnológicos nos últimos anos, é um equipamento de valor elevado, sendo possível em muitos casos a sua aquisição apenas com elevados orçamentos. Com os avanços das placas de prototipagem e modelagem de circuito como o Arduino, o custo para o desenvolvimento de um osciloscópio utilizando essas placas em conjunto com um computador pessoal, tenderia a baixar, além da facilidade e praticidade de sua utilização.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Problema

Um dos grandes problemas enfrentados por alunos dos cursos de engenharia quando são matriculados em disciplinas que são lecionadas em laboratórios com o uso de equipamentos como o osciloscópio é que o circuito não funciona em tempo reservado para uma aula. Deste modo, o período de tempo de aula não é suficiente para resolver o problema da montagem do circuito ou ter o desempenho necessário exigido. Na sua maioria, os acadêmicos, não tem uma segunda chance ou a opção de realizar as medições em sua residência pois não dispõem dos equipamentos necessários incluindo entre eles o osciloscópio. Então como proceder?

Esse problema é recorrente, em graus variados, principalmente nas cadeiras do curso base das engenharias e disciplinas eletivas para o segundo ciclo de engenharia elétrica que são ministradas em laboratórios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) tais como laboratórios de eletricidade e magnetismo, de eletricidade básica, de circuitos eletrônicos, de análise de circuitos eletrônicos i. Até mesmo as cadeiras teóricas da área de circuito ou sistema seriam facilitadas caso o aluno possuísse ao menos um equipamento como o osciloscópio.

2.2. Justificativa

A justificativa para este trabalho *a priori* é apresentar uma solução prática para o problema informando no item

¹ Aluno graduando em Ciência e tecnologia

² Orientador

anterior. Se no início dos cursos de graduação em ciência e tecnologia ou engenharia os alunos com certa habilidade de construção eletrônica executassem o projeto deste trabalho, o rendimento e aproveitamento das aulas certamente seria incrementado devido ao uso desse instrumento de medição e visualização. Na área que tangem a biologia o osciloscópio é usado para mostrar formas de onda com frequências muito baixas, inferiores a 1000hz, para monitorar sinais biológicos de origem animal ou humana. Na geologia o osciloscópio permite medir o tempo de retorno do eco de uma explosão artificial e assim calcular a distância até o objeto de interesse.

Vale salientar que o osciloscópio a ser montado não é um equipamento de desempenho superior aos comerciais, porém ele traz o essencial desse instrumento para visualização de forma de onda no tempo, bem como alguns dados intrínsecos ao espectro de frequência do sinal a ser analisado.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo geral

Apresentar uma solução possível e economicamente viável para a construção de um osciloscópio digital com capacidade de analisar espectro de sinais de até 1000 kHz para estudantes, laboratórios ou profissionais que necessitam dessa ferramenta.

2.3.2 Objetivos específicos

- Utilizar um computador pessoal como um osciloscópio digital;
- Obter recursos semelhantes a um osciloscópio comercial;
- Desenvolver um equipamento de medição de baixo custo para montagem e construção;
- Usar tecnologia de software e hardware com arquitetura aberta como o “Arduino”;
- Elaborar um equipamento de medição de tensão portátil

2.4 Método de pesquisa

O desenvolvimento deste projeto foi fundamentado em periódicos, livros, datasheets, na maioria das referências visando obter dados sobre conversão de tensões analógicas para digitais, orientação buscada com professores das áreas de conhecimento envolvidas.

Após a análise das tecnológicas usadas para a conversão de sinais analógicos para digitais chegou a um segundo momento que foi a análise de conversores analógicos para digital *Flash* e *Half-Flash*, seu princípio de funcionamento, vantagens e implementação em circuitos integrados comerciais de arquitetura aberta.

Por último a adição de um circuito integrado do osciloscópio responsável pela captação do espectro de onda e o envio para um software de computador desenvolvido na linguagem c# ao qual recebe as informações da porta analógica pela *universal serial bus* (USB).

Usar conversores A/D paralelos pode torna o projeto simples, porém eles requerem uma quantidade enorme de componentes. O número de comparadores que são necessários é de $(2^n)-1$, ao qual n é número de *bits* da saída. Para se obter um conversor A/D paralelo de 16 bits são necessários 65535 comparadores, o que elevaria o custo do projeto.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Conversor A/D

O conversor flash, também conhecido como conversor A/D paralelo, tem seu funcionamento baseado no princípio de amplificadores operacionais [1]. Este conversor funciona comparando a tensão de entrada na porta analógica com uma tensão de referência que no caso é de 5 volts, valor máximo obtido pela porta analógica. Em um conversor A/D de 8 bits, o sinal de entrada é captado, em seguida, a partir da informação encontrada é gerado um valor que pode representar no máximo 5 volts que é transformado no número 255, ou 11111111 em binário.

Há uma redução na tensão de referência usando uma rede de resistores em série juntamente com outros comparadores que são adicionados a tensão de entrada, no caso um sinal analógico de tensão variando no tempo, para que ele seja comparado com outros valores.

Na figura 1 é representado um conversor A/D paralelo de 3 bits cuja a conversão é feita através de amplificadores operacionais comparadores de tensão.

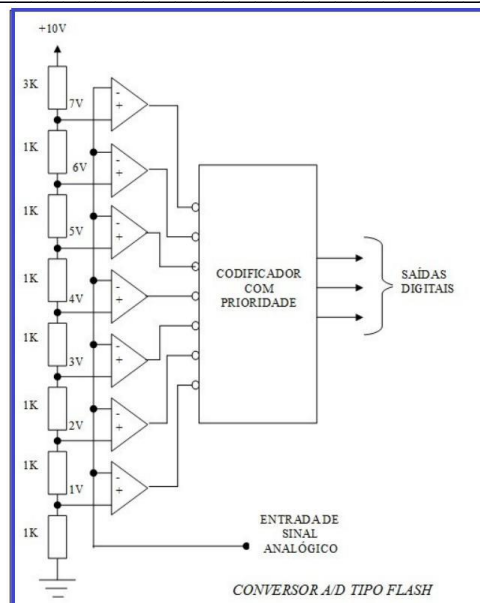


Figura 1. Conversor Analógico/Digital flash [1].

Usando uma porta XOR com uma serie de diodos e resistores pode-se fazer o codificador de prioridade ou usar um *chip* como o 74HC148, codificador de prioridade de 8 para 3 linhas.

A tecnologia “Half Flash” foi usada no circuito integrado TLC5540, ao qual o número de comparadores é bem menor [2]. Esta técnica se diferencia da “Flash” pelo fato de dividir o circuito de comparadores de tensão em três blocos em sequência neste caso. O TLC5540 é um conversor A/D de 8 *bits* que pode operar até 40 milhões de amostras por segundo e tem sua alimentação baixa, no caso 5 volts. Outro fator interessante para esse projeto é o seu custo muito baixo e sua capacidade de digitalizar sinais de até 40 MHz.

3.2 Dispositivo lógico complexo programável

Os dispositivos de lógica programável (PLDs, sigla em inglês) são muito usados em novos projetos pois, tem a capacidade de executar uma grande quantidade de processos lógicos ao mesmo tempo, ou seja, simultaneamente, enquanto microcontroladores executam operações de forma sequencial, uma instrução após a outra. Existem no mercado várias versões de PLDs com grandes quantidades de pinos com maiores ou menores quantidades de recursos de logica e com capacidade que permite o desenvolvimento de projetos muito complexo a esses PLDs chamamos de CPLD (Complex Programmable Logic Device sigla em inglês), ao qual se destaca por ter um alto desempenho, baixo custo e consumo de energia [3].

3.3 Placa Arduino

Microcontroladores são dispositivos usados em diversas aplicações em diversas categorias na indústria de projetos da área de eletrônica digital, com numerosos recursos integrados nestes componentes, facilidade de uso e baixo custo eles se tornaram um padrão nesta área. Entre inúmeras soluções para desenvolvimento com microcontroladores, destaca-se a plataforma Arduino, ao qual é composta de uma placa (*hardware* aberto) e um ambiente de desenvolvimento aberto [4]. O Arduino se caracteriza por ter uma biblioteca com inúmeras funções que simplificam o desenvolvimento e aprendizado de projetos, tornando-a um excelente recurso para o ensino de tecnologia.

3.4 A placa osciloscópio

O EPT-570-AP-U2 é uma placa equipada com um CPLD Altera EPM570 no forma de *Thin Quad Flat Pack*(TQFP sigla em inglês), ou seja, um CPLD desenvolvido com espessura de apenas 1mm e 100 pinos programáveis, a placa ainda conta com um oscilador de 66Mhz usado como *driver* USB para transferência de dados e programável pelo usuário com capacidade de transferir a taxas de 8 Mega Bytes por segundo, além disso conta 24 entrada/saída que podem ser controladas pelo usuário e ainda quatro led também controláveis pelo usuário [5]. Com todos esses recursos e a um custo extremamente baixo, esta placa foi a escolhida para o desenvolvimento do projeto e seu funcionamento e diagrama podem ser observados na figura 2 abaixo;

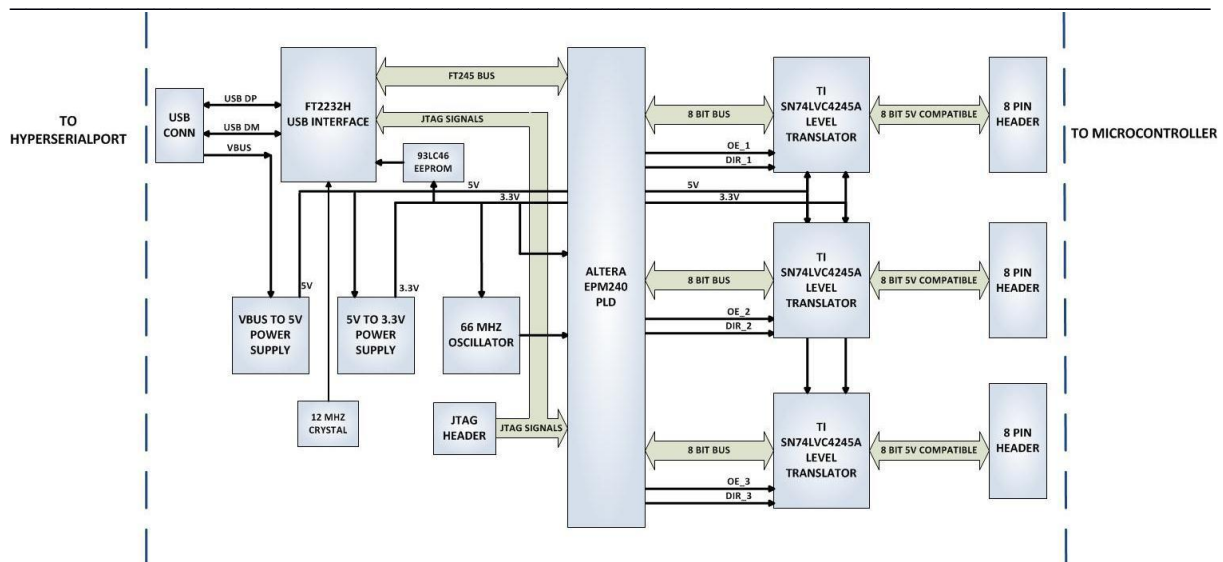


Figura 2. EPT-570-AP diagrama de blocos [5].

É possível notar que além dos inúmeros recursos disponíveis, tem-se ainda duas fontes de energia que podem ser utilizadas pelo usuário além da facilidade de enviar códigos de linguagem de descrição de hardware (HDL sigla em inglês) tornando assim possível a implementação de qualquer circuito logico.

4. FUNCIONAMENTO

O código HDL do usuário é compilado, sintetizado e empacotado em um arquivo de programação, o arquivo é empacotado e é programado no CPLD usando o canal de comunicação USB, neste caso provido pelo converso de Serial para USB FT2232H. Os dados são armazenados na memória local do PC e um evento é acionado para informar ao usuário que os dados estão disponíveis no CPLD. Este método de programação e desenvolvimento torna a transferência de dados transparente e simples conforme demonstrando na figura 3.

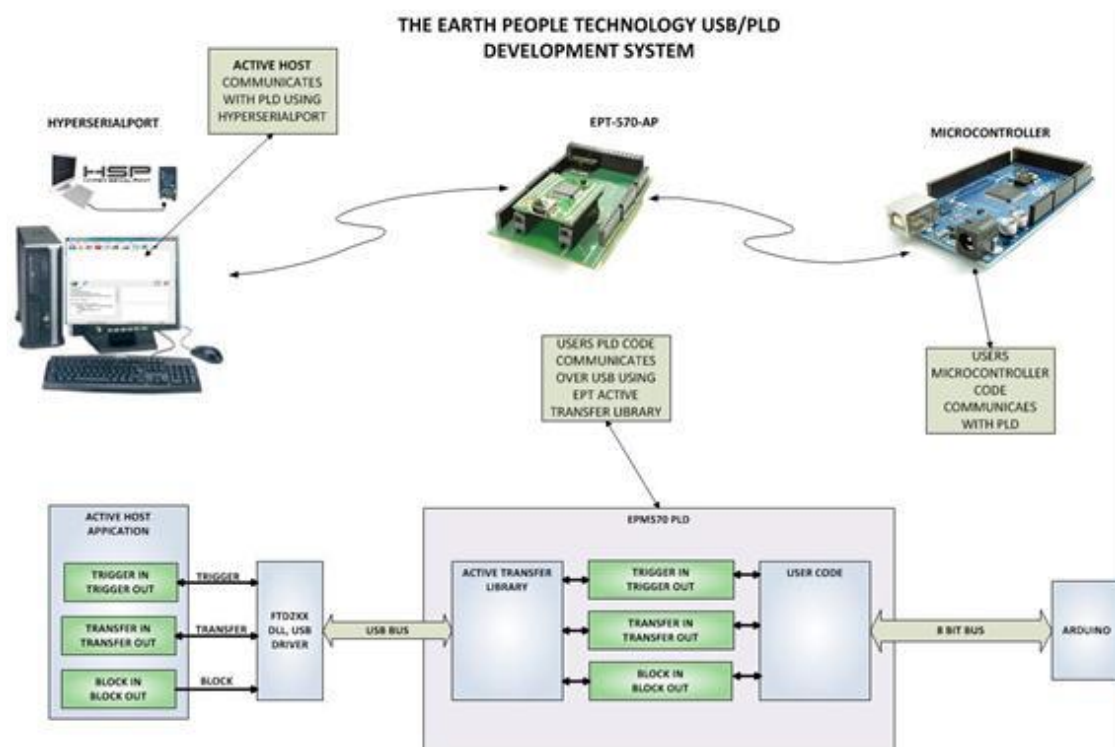


Figura 3. EPT-570-AP sistema de comunicação e programação [6].

A figura 3 apresenta o funcionamento da comunicação entre o PC e a placa Arduino utilizando eventos que disparados e enviado pelo *chip* FT2232H[7]. Pode-se notar que a placa EPT-570-AP é conectado a placa do Arduino através de acoplamento superior devido a sua construção comumente chamada de *shield* tornando assim possível novos acoplamentos e adição de novas funcionalidades através de outros *shield*.

A programação do CPLD é rápida, tudo o que é necessário é um cabo USB padrão com um conector mini USB tipo B em uma extremidade e a DLL do *driver* EPT-570-AP. Apenas conectando a placa ao PC e utilizando uma interface de desenvolvimento como o Quartus II pode-se programar o CPLD para as funções desejadas [7].

4.1 Programas com linguagem c#

A linguagem de programação C#, também escrito como C# ou C Sharp (em português lê-se "cê sharp"), é uma linguagem elegante, orientada a objeto e fortemente tipada, que permite que os programadores e desenvolvedores criem inúmeras aplicações robustas e seguras com a facilidade do *framework* .NET. Pode-se usar o C# para criar aplicativos de cliente do sistema operacional Windows, serviços Web XML, componentes distribuídos, aplicativos cliente-servidor entre outros [8]. Devido a essas características essa foi a linguagem escolhida para o desenvolvimento de um software para o sistema operacional Windows que permitisse captar as informações enviado pela placa EPT-570-AP através da interface USB e fosse possível visualizar a forma de onda para o usuário.

Os dados das entradas analógicas usadas pela EPT-570-AP são enviado pela interface USB chegando em formas de pacotes de dados com o formato de números inteiro dentro do comprimento de 0 a 255, esse intervalo representa a fração de tensão de no máximo 5 volts do sinal captado na porta analógica. Com esses dados pode-se assim descrever o sinal de entrada atribuindo esse valor a uma variável que descreverá a onda de tensão captada.

Foi necessário o uso de várias técnicas de programação para se obter o resultado desejado, porém conforme mostra a figura 4 abaixo o resultado foi satisfatório.

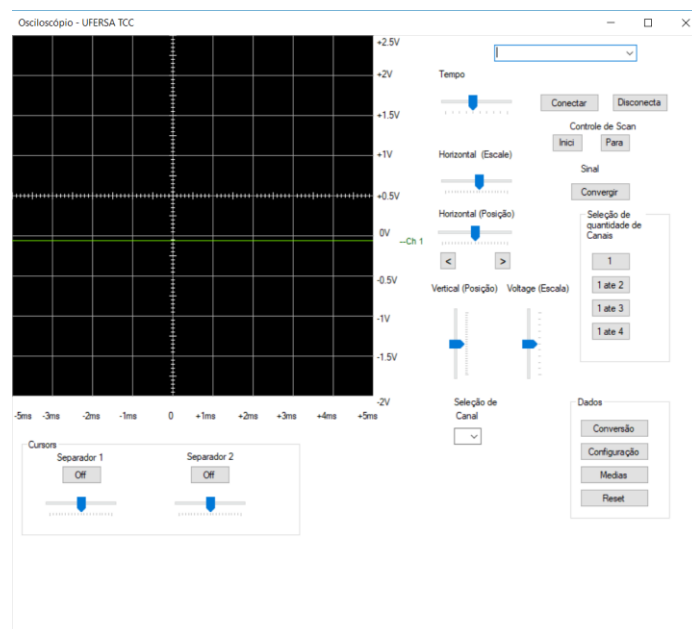


Figura 4. software desenvolvido para coleta de dados. (Autoria própria)

Muitas funções e opções podem ser adicionadas ao projeto mediante o desenvolvimento computacional, porém foi limitado a fornece o básico de informações necessárias para o uso de estudantes e profissionais que necessitam deste equipamento.

5. MONTAGEM

A placa do Arduino é muito simples e versátil, ao ser adquirida ela já vem pronta para uso, porém foi necessário o acoplamento da placa EPT-570-AP na parte superior do Arduino conforme demonstrado na figura 5.

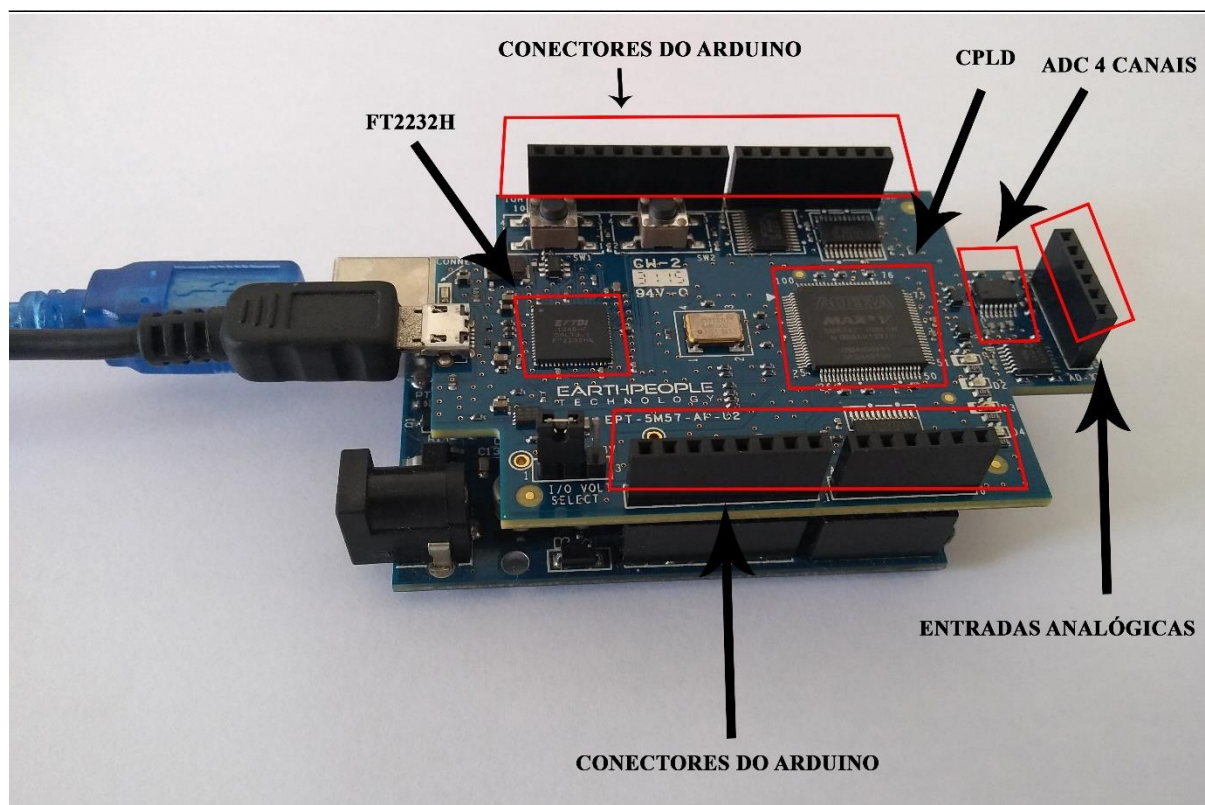


Figura 5. Placa montada com Arduino uno acoplado. (Autoria própria)

Após a conexão das duas placas, foi necessário a utilização de dois cabos USB para alimentação e transferência de dados para as placas. Em seguida, foi utilizado nas entradas analógicas fios de cobre com a finalidade de medir o sinal que será captado. A entrada analógica de número 1, funciona como o terra do sistema e a entrada de número 6 está configurada para entregar 5 volts em corrente contínua, as entradas de numeração de 2 a 4 são utilizadas como canais do osciloscópio. Na figura 5 foi descrito a posição de cada elemento na placa, assim podemos notar a necessidade de cada componente como o *chip* FT2232H que tem por finalidade trabalhar como um conversor de serial para usb, os conectores do Arduino que continuam disponíveis para futuras implementações de novos recursos, o conversor ADC de 4 canais responsável pela captação dos sinais, o CPLD responsável por todo o processamento e conversão de sinal e as entradas analógicas ao qual entra o sinal de tensão separando cada canal.

5.1 Instalação

Após a montagem do equipamento foi realizada a instalação no computador e também a compilação do código necessário para que o CPLD consiga captar os sinais das portas lógicas e transmiti-las pela porta USB. Para programar o CPLD utilizou-se o software chamado Quartus II da altera ao qual é um software para projetos com PLD que é apropriado para projetos com dispositivos de alta densidade *Field Programmable Gate Array* (FPGA sigla em inglês) e também CPLD [9].

Ao conectar a placa o sistema operacional Windows não identificou a placa, com isso foi necessário a instalação de um *driver* do tipo *Join Test Access Group* (JTAG sigla em inglês) [10]. Com isso agora iniciamos o quartus e desenvolvemos o código para configuração dos pinos do CPLD, após o desenvolvimento da lógica utilizando a linguagem de programação HDL compilamos o código e adicionamos a placa utilizando o *driver* anteriormente instalado, com isso foi enviado para o CPLD o código para ser gravado em sua memória e assim ser executado ao ser iniciado.

Finalizando essa parte o instrumento está pronto para uso e testes, outras funcionalidades podem ser adicionadas ao CPLD através da sua programação, porém neste trabalho nos limitamos apenas a leituras das tensões nas portas lógicas.

6. AFERIÇÃO

Após a configuração podemos agora iniciar os testes que foram realizados no laboratório de eletricidade da UFERSA, utilizando dois geradores de sinal GV-2002 da ICEL Manaus com capacidade de gerar sinal senoidal com frequência de até 2MHz [11], o primeiro gerador foi configurado para gerar um sinal de onda senoidal com amplitude de 1,4 volts e 96 Hz de frequência e o segundo gerador foi configurado para gerar um sinal de onda senoidal de amplitude de 1,2 volts e 410 kHz de frequência, neste teste só foi possível alcançar 410kHz de

frequência pois o gerador de sinal não conseguia gerar uma onda com frequência superior a essa por motivos desconhecidos.

Na figura 6 é mostrada a parte frontal do primeiro gerador de função ao qual foi configurado para gerar uma onda senoidal, no primeiro visor é mostrado a frequência de 96,644 Hz e no segundo a amplitude de tensão de pico a pico de 1,4 volts.

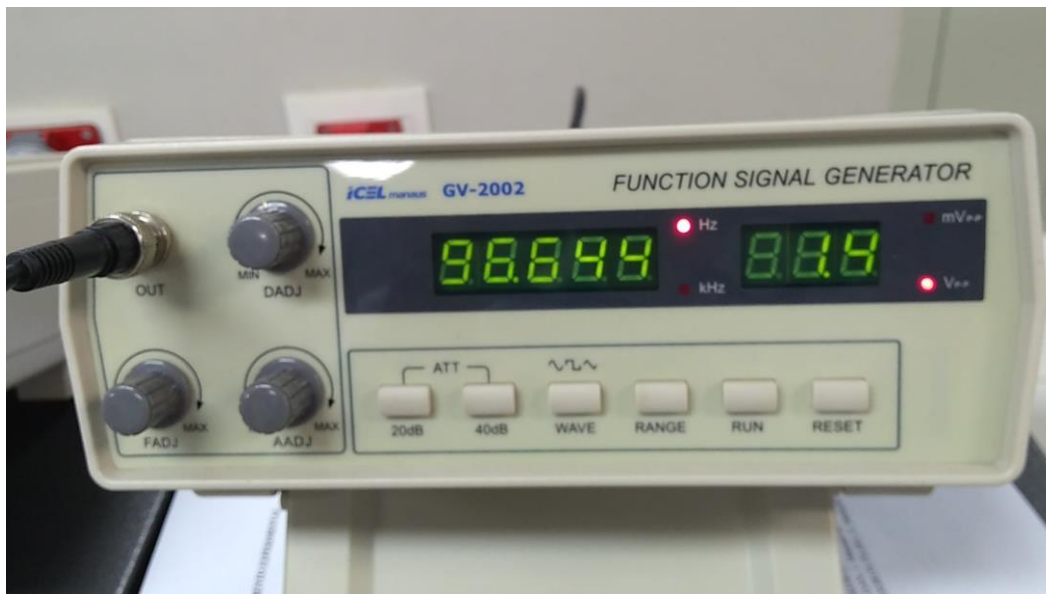


Figura 6. GV-2002 primeiro gerador de sinal com frequência 96,644 Hz. (Autoria própria)

Na figura 7 é mostrada a parte frontal do segundo gerador de função ao qual foi configurado para gerar uma onda senoidal, no primeiro visor é mostrado a frequência de 410,75 kHz e no segundo a amplitude de tensão de pico a pico de 1,2 volts.

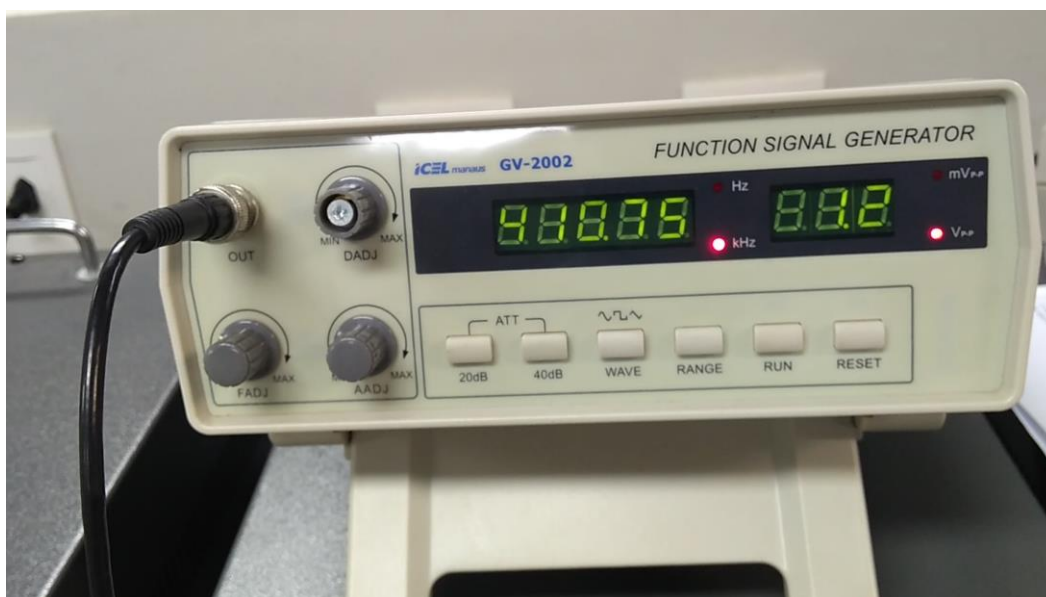


Figura 7. GV-2002 segundo gerador de sinal com frequência 410,75 kHz. (Autoria própria)

Na figura 8 é demonstrada como está a ligação dos cabos do tipo jacaré nas entradas analógicas da placa, cada gerador de função está acoplado a uma entrada e o polo negativo dos dois geradores de função estão conectados a entrada de número 6 ao qual tem a função de terra da placa.

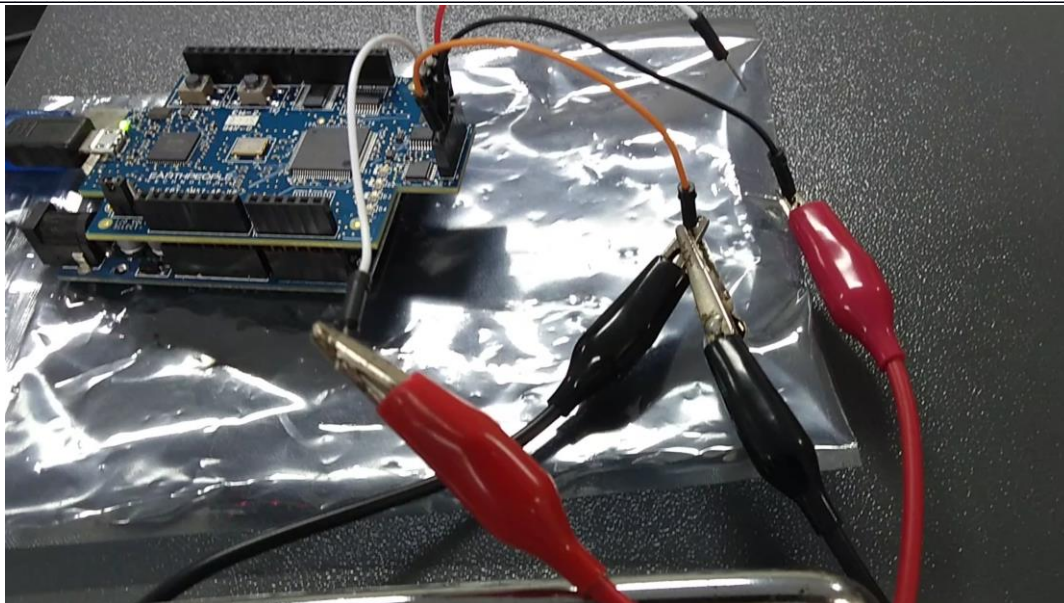


Figura 8. Osciloscópio digital desenvolvido conectado aos dois geradores de sinal. (Autoria própria)

Na figura 9 é mostrado a tela do software desenvolvido, cada canal é diferenciado por uma cor de linha, no caso o canal da entrada que está o primeiro gerador de função com sinal com frequência de 96,644 hz está na cor verde e a segunda linha em vermelho representa a onda gerada pelo segundo gerador de função com frequência de 410,75 kHz, vale salientar que o sinal de alta frequência está com o pico de onda constando mostrando apenas a metade da onda do sinal, esse problema ocorreu sempre que tentamos ultrapassar 400 kHz de frequência no segundo gerador de função.

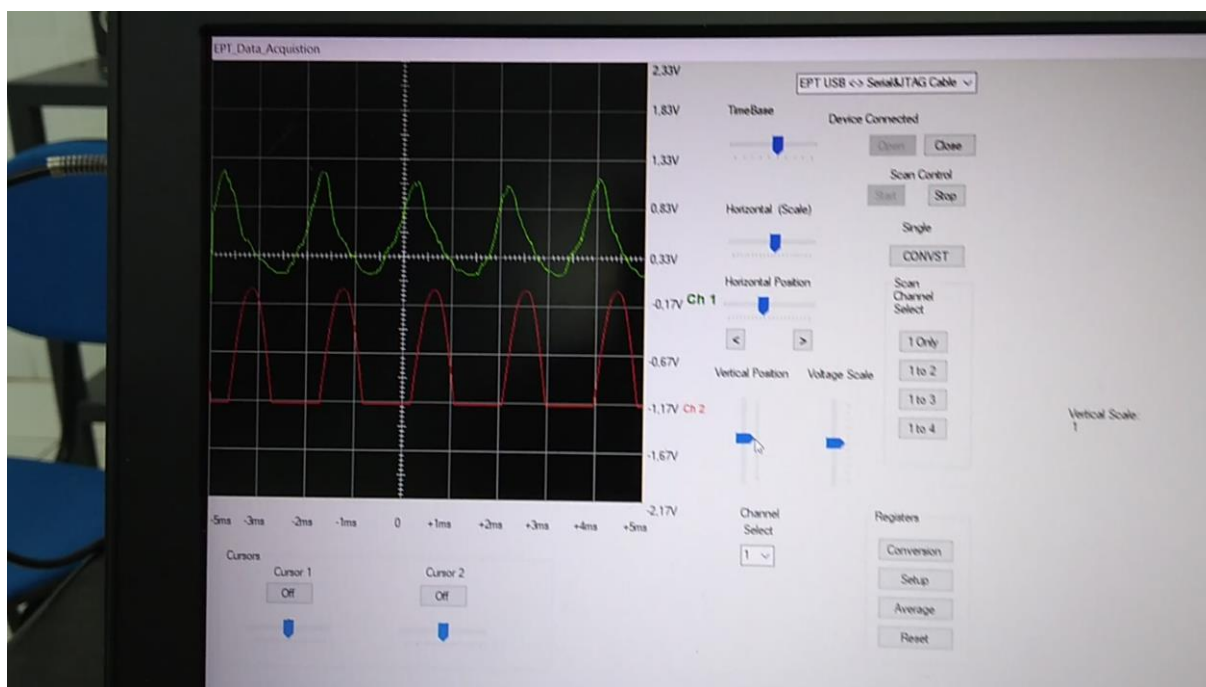


Figura 9. Software desenvolvido para mostrar onda captada. (Autoria própria)

Na figura 9 podemos notar que a amplitude dos sinais foram mostrada de forma correta, no primeiro sinal de linha verde é possível calcular a amplitude de pico a pico da tensão em 1,37 volts gerando um erro de apenas 2,14% em relação ao sinal configurado no gerador de função que era de 1,4 volts, já no segundo sinal representado pela linha vermelha temos 1,17 volts de tensão de pico a pico gerando assim um erro de 2,5% em relação ao sinal configurado no gerador de função que era de 1,2 volts.

8. CONCLUSÃO

Neste trabalho evidenciamos a versatilidade da plataforma baseada no dispositivo Arduino, implementação e

manuseio para propósito de desenvolvimento de um osciloscópio digital com capacidade para ser implementado em larga escala no ensino didático e laboratório da área de engenharia elétrica e áreas que necessitam desse equipamento de medição.

Com o uso conjunto de um CPLD e o desenvolvimento utilizando uma linguagem de programação, foi possível desenvolver um equipamento com capacidade de medição de ondas elétricas com elevada precisão e um custo extremamente baixo em relação ao mesmo equipamento comercializado atualmente.

O equipamento final, ou seja, um osciloscópio digital foi testado e o seu funcionamento e precisão foi devidamente comprovado gerando erros de medição de cerca de 2,5% no máximo e o custo total para seu desenvolvimento ficou em R\$83,70 conforme tabela 1.

Tabela 1. Custos envolvidos na aquisição de componentes. (Autoria própria)

MATERIAL	CUSTO UNITÁRIO	QUANTIDADE	VALOR
ARDUINO UNO	R\$ 19,00	1	R\$ 19,00
CABO USB MINI	R\$ 5,00	2	R\$ 10,00
PLACA EPT-570-AP-U2 com CPLD ALTERA M570	R\$ 49,50*	1	R\$ 49,50
KIT DE FIOS/PLUGS	R\$5,20	1	R\$ 5,20
TOTAL			R\$ 83,70

Nota: *valor convertido da moeda dólar com cotação de R\$3,11.

O objetivo de desenvolver um equipamento com baixo custo foi alcançado, levando em consideração que um osciloscópio digital comercial com capacidade de no mínimo 100Mhz tem custo inicial superior a R\$1.400,00.

Como proposta para trabalhos futuros, tem-se a alternativa de utilizar cabos com melhor qualidade e precisão no lugar dos fios de cobre utilizado nas saídas das portas digitais, a construção de uma capa protetora que envolva todo o equipamento protegendo-o contra danos físicos, o acoplamento de um circuito que gerador de função de onda poderia torna o projeto ainda mais completo.

Para reduzir ainda mais seu custo a fabricação e redução dos recursos da placa Arduino tornando o projeto ainda mais simples, bem como o desenvolvimento de uma placa única baseada no Arduino e na placa EPT-570-AP-U2 reduziria seu custo, tornando assim o projeto mais simples e fácil de fabricação em larga escala.

Conclui-se ainda que o projeto pode se adequar aos seguimentos educacionais e também para uso doméstico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TORRES, Gabriel. Clube do hardware. Disponível em: <<http://www.clubedohardware.com.br/printpage/Como-Convertedores-Analogico-Digital-Funcionam/1307>>. Acesso em: 09 jan. de 2018.
- [2] TEXAS, Instruments Inc. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5540.pdf>>. Acesso em: 09 jan. de 2018.
- [3] SHULTE, Thomas. Implementing the Top Five Control-Path Applications with Low-Cost, Low-Power CPLDs. Altera Corporation. Disponível em: <http://www.altera.com/literature/wp/wp-01146-control-pathapps.pdf?GSA_pos=1&WT.oss_r=1&WT.oss=Implementing%20de%20Top%20Five> Acesso em: 10 jan. de 2018.
- [4] ATMEL, Microcontrolador ATMEGA8. Disponível em: <<http://matrixstorm.com/avr/files/doc2486.pdf>>. Acesso em: 09 jan. de 2018.
- [5] EARTH PEOPLE, TECHNOLOGY Inc. Disponível em: <https://www.earthpeopletechnology.com/wp-content/uploads/2015/04/UNO_USB_CPLD_DEV_SYS_UM.pdf>. Acesso em: 10 jan. de 2018.
- [6] EARTH PEOPLE, TECHNOLOGY Inc. Disponível em: < https://www.earthpeopletechnology.com/wp-content/uploads/2015/04/UNO_USB_CPLD_DEV_SYS_DS.pdf>. Acesso em: 10 jan. de 2018.
- [7] USER MANUAL, USB CPLD Development System User Manual. Disponível em: <https://www.earthpeopletechnology.com/wp-content/uploads/2012/12/UNO_USB_CPLD_DEV_SYS_UM.pdf>. Acesso em: 26 jan. de 2018.
- [8] LIBERTY, Jesse, Programming C#: Building .NET Applications with C#. 4ª.ed. California, 2005. 7 p.
- [9] KLINGMAN, Ed. FPGA programming step by step. Embedded Systems Programming, v. 17, n. 4, p. 29-37, 2004.
- [10] ALTERA, Altera® USB-Blaster™. Disponível em: <<https://www.altera.com/support/support-resources/download/drivers/usb-blaster/dri-usb-blaster-vista.html>>. Acesso em: 15 fev. de 2018.
- [11] ICEL, Icel Manaus indústria e comercio ltda. Disponível em: <<http://www.icel-manaus.com.br/manual/28.pdf>>. Acesso em: 18 fev. de 2018.