



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica e Informática

Relatório de Estágio Integrado PI-Tecnologia

Pablo Michell Gurjão da Silva

Campina Grande, PB
Fevereiro de 2019

Pablo Michell Gurjão da Silva

Relatório de Estágio Integrado PI-Tecnologia

*Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do
Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande, Campus Campina
Grande, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Desenvolvimento de Firmware

Orientador: Rafael Bezerra Correia Lima

Campina Grande, PB
Fevereiro de 2019

Pablo Michell Gurjão da Silva

Relatório de Estágio Integrado PI-Tecnologia

*Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do
Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande, Campus Campina
Grande, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Aprovado em ___/___/___

Danilo Freire de Souza Santos, D.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Rafael Bezerra Correia Lima, D.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

A minha Avó Dona Tereza e toda minha família.

Agradecimentos

Agradeço Primeiramente a Deus por me permitir trilhar meu caminho da forma com que foi feito até aqui, apesar de todos dias de estresse e noites sem dormir, também tive alegrias, realizações e amizades que levarei para vida toda.

Agradeço a minha família, Meu Pai Arimatéa Costa, Minha Mãe Naihara Gurjão e minhas irmãs Pâmela e Paloma Gurjão por sempre estar ao meu lado e me proporcionar todas condições que eu precisei para que eu continuar minha jornada.

Agradeço a minha namorada, Letícia Moreira e amigos que o curso me deu, Martins, Rubens, Breno, Klynger, Carol, Eliamare, Túlio, Danilo e a todos do período 2013.1. Eles foram responsáveis por me dar suporte, sempre me influenciar a seguir em frente, ter me dado suporte, me aguentado e me aconselhado em meus piores momentos.

Agradeço impreterivelmente a meu grande amigo, e por obra do destino, secretário do Curso de Engenharia Elétrica, Tchaikovsky Oliveira e também a lindíssima Adail, por sempre estarem dispostos a ajudar e nos orientar, tanto no meio acadêmico como também trouxeram ensinamentos para a vida.

Agradeço ao Professor Edmar Gurjão por ser meu primeiro mentor dentro do curso, ao Professor Péricles Barros por me proporcionar oportunidades de trabalho que me moldaram pessoal e profissionalmente, ao Professor Danilo Santos por ter me orientado no meu trabalho de conclusão de curso e ao professor Rafael pela orientação neste estagio.

Agradeço também, de forma carinhosa, a todos que conheci na cidade de Campinas, Júlio, Juliano, Paulo, Guilherme, Thiago, Bárbara, Darlene, Camila, Bruna, Daniel, Yamile, Adriana e todos da equipe Pi-Tecnologia, por sempre terem atenção, me ensinarem e me auxiliarem no que fosse preciso.

Em especial, agradeço a uma das mulheres mais fortes que já conheci e que sempre esteve ao meu lado, moldando a pessoa que me tornei, Dona Tereza, minha avó, a qual me aconselhou ao saber que eu tinha sido aprovado para o curso de engenharia elétrica, dizendo: "Meu filho, tenha cuidado nesta profissão e não vá subir em postes, pois é perigoso", mas que infelizmente partiu antes de me ver terminando esta fase da minha vida.

Não viva para que sua presença seja notada, mas para que sua falta seja sentida.
(Bob Marley)

Resumo

Este trabalho apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio realizado na equipe de desenvolvimento de Firmware na Pi-Tecnologia. Durante o período de estágio, 4 meses, foram desempenhadas atividades de desenvolvimento e manutenção de firmware e software, dedicados ao desenvolvimento de um detector de raios-X para o acelerador de partículas de Campinas-SP. Além de atividades de suporte nas linhas de luz do acelerador de partículas e treinamentos sobre tópicos relacionados as atividades da empresa.

Palavras chave: Acelerador de Partículas, Firmware, Medipix3RX

Abstract

This work presents the activities developed during the internship carried out in the Firmware development team at Pi-Tecnologia. During the 4-month internship period, software and firmware development and maintenance activities were accomplished, dedicated to the development of an X-ray detector for the particle accelerator from Campinas-SP. In addition to supporting activities in the beamline of particle accelerator and participated trainings on topics related to the company's activities.

Keywords: Particle Accelerator, Firmware, Medipix3RX

Lista de Figuras

4.1	Sirius, Acelerador de Partículas de Quarta Geração.	14
4.2	Partes de um Acelerador de Partículas.	16
4.3	Acelerador de Partículas de segunda Geração do LNLS. Destacado em vermelho está o booster.	17
4.4	Disposição dos sensores Medipix3RX no Pimega.	17
4.5	Estrutura de Transmissão de dados do Pimega.	18
4.6	Estrutura do microcontrolador utilizado.	19
5.1	Estrutura do sensor Medipix3RX em Hexa.	20
5.2	Estrutura dos conversores internos do sensor Medipix3.	21
5.3	Estrutura do protocolo SPI entre um mestre e um escravo.	22

Lista de Abreviaturas e Siglas

CERN Organização Europeia para Pesquisas Nucleares

FPGA Field-programmable gate array

GIT sistema de controle de versões distribuído

I2C Serial protocol for two-wire interface to connect low-speed devices

IBM International Business Machines

LNLS Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

RTOS Sistema operacional em Tempo Real

SPI Serial Peripheral Interface

Sumário

Lista de Figuras	1
1 Introdução	12
2 Objetivos	13
3 Metodologia	13
4 Fundamentação Teórica	14
4.1 Acelerador de Partículas - LNLS	14
4.1.1 Tecnologias das Gerações de Aceleradores de Partículas	14
4.1.2 Funcionamento	15
4.2 Pimega	16
4.2.1 Disposição Física	16
4.2.2 <i>Front-End e Back-End</i>	18
4.3 Área de Desenvolvimento	18
5 Atividades realizadas	19
5.1 Revisão e Atualização da Documentação	19
5.2 Estudo do Funcionamento do sensor Medipix3RX	19
5.3 Desenvolvimento de Firmware	20
5.3.1 Conversores Digitais Analógicos e Analógicos digitais Externos - DACs e ADCs	20
5.3.2 Dacs Internas do Sensor Medipix3RX	21
5.3.3 Protocolo SPI	22
5.4 Mudança de Arquitetura	22
5.5 Teste de Qualidade de Produto	23
5.6 Desenvolvimento de Software e Rotina Automatizada para Testes	23
5.7 Teste de Produto em Linha de Luz	24
5.8 Demonstração do Funcionamento da Nova Arquitetura	24
6 Resultados	24
6.1 Funcionamento do Sensor Medipix3RX	24
6.2 Mudança de Arquitetura	24
6.3 Teste de Qualidade de Produto	25
6.4 Desenvolvimento de Firmware, Software e Testes Automatizados	25
6.5 Metodologia de Desenvolvimento	25
6.6 Testes na Linha de Luz	25
7 Considerações Finais	26
8 Referências	27

1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo descrever as atividades realizadas no âmbito profissional durante o Estágio Integrado, como parte indispensável para a formação acadêmica em engenharia elétrica. O estágio foi realizado durante o período de 08/10/2018 a 22/02/2019 na empresa Pi-Tecnologia LTDA, sob a supervisão de Guilherme Paulino.

A carga horária de trabalho foi de 8 horas diárias, totalizando 40 horas semanais e atendendo aos requisitos previstos na resolução 01/2012 do Colegiado do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica e em consonância com a Lei do Estágio (11.788/2008).

2 Objetivos

Desenvolver firmware embarcado para produto e testes automatizados para equipamento detector de raios-X usado em aplicações para medidas em física experimental de alta energia em aceleradores de partículas do tipo síncrotron.

Ser capacitado em processo de desenvolvimento de firmware orientado a teste unitário de código e controle de versão, dominar o uso de ferramentas de auxílio para depurar sistema, e compreender programação em C++ para microcontrolador ARM Cortex-M.

Programar em Python e Shell *scripting* para testes automatizados do sistema e para suporte à utilização de usuário final.

Compreender sistema operacional em tempo real utilizado e a implementação de suas interfaces de comunicação serial USB para chamada de procedimento remoto por comandos.

Dar suporte no firmware desenvolvido e auxiliar na integração do sistema com a equipe de lógica programável em FPGA e também dar suporte ao sistema eletrônico por protocolos de comunicação SPI e I2C para a configuração de dispositivos periféricos (ADCs, DACs, memórias, sensores de temperatura, fontes de alimentação, etc).

3 Metodologia

A gestão e planejamento do projeto foi feita utilizando um processo ágil baseado na metodologia Scrum (SCHWABER, SUTHERLAND, 2017).

No Scrum, os projetos são divididos em ciclos mensais chamados de Sprints. O Sprint representa um período de tempo dentro do qual um conjunto de atividades deve ser executado. As funcionalidades a serem implementadas em um projeto são mantidas em uma lista que é conhecida como Product Backlog.

A organização dos trabalhos foi construída por gerenciamento de um repositório GIT, o Bitbucket ¹, que aliado com o Jira, uma ferramenta para a organização das atividades.

No Jira as atividades criadas são chamadas de Tickets, e segue a mesma organização do Scrum, com sprints e atividades diárias. O relacionamento entre o Jira e o bitbucket é bem fluido e permite o controle de *commits* através de códigos dados as *branches* de desenvolvimento.

Para o controle de versionamento GIT, foi utilizada uma metodologia baseada em *branch* de desenvolvimento e *branch master*, na qual, tendo o fim de alguma implementação, era aberto um *pull request* para a migração do desenvolvimento para o ambiente final.

¹Disponível em: <http://bitbucket.org>

4 Fundamentação Teórica

Para a realização do estágio foram necessários alguns conhecimentos adquiridos durante a graduação e alguns que foram adquiridos durante o período de estágio.

4.1 Acelerador de Partículas - LNLS

O LNLS [1] é o responsável pelo atual acelerador de partículas do Brasil, localizado na cidade de Campinas - SP, o qual dispõe de uma unidade específica dedicada a operação e manutenção das linhas de luz do acelerador.

O acelerador de partículas que hoje está em funcionamento, no Brasil, tem uma tecnologia correspondente a segunda geração de aceleradores. Hoje a tecnologia mais avançada, com relação a aceleradores é encontrada na Suécia que corresponde a Quarta geração de aceleradores de partículas [2].



Figura 4.1: Sirius, Acelerador de Partículas de Quarta Geração.

Existindo essa diferença de tecnologia de aceleradores de partículas, surgiu o interesse de se investir em um acelerador de partículas de última geração, o Sirius ², como mostrado na Figura 4.1 que em seu projeto teve um diferencial, ele estimula o desenvolvimento e uso de tecnologia nacional, onde hoje, ele conta com 85% de toda tecnologia utilizada, obtida no Brasil [6].

4.1.1 Tecnologias das Gerações de Aceleradores de Partículas

Como mencionado acima, os aceleradores de partículas são classificados pela geração de sua tecnologia, sendo assim, hoje temos quatro gerações deste instrumento [3]:

²Figura disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/136220-sirius-novo-acelerador-particulas-brasileiro-inaugurado-campinas.htm>

- **Primeira Geração:**

Os primeiros aceleradores utilizou a radiação síncrotron de forma parasítica, pois a radiação do Ímã de dobra era extraída por furos nas câmaras de vácuo em uma faixa de $10^{12} \text{fót}/\text{seg}/\text{mm}^2/\text{mrad}^2$.

- **Segunda Geração:**

Devido a notoriedade dos resultados obtidos com o uso da radiação síncrotron, esta geração de fato foi a primeira dedicada a este tipo de radiação, que com seu projeto, já seria capaz de entregar 240MeV no anel de armazenamento, isso em 1968.

- **Terceira Geração:**

Esta geração é baseada no uso de onduladores, que são dispositivos magnéticos que excitam a partícula e permite observar mais de 3 ordens de magnitude de brilho. O uso destes dispositivos aumentou a faixa de energia que os aceleradores chegavam, sendo então, em 1997, o SPRING 8 - síncrotron japonês, alcançou algo em torno de $10^{20} \text{fót}/\text{seg}/\text{mm}^2/\text{mrad}^2$ e 8GeV .

- **Quarta Geração:**

Contendo toda a tecnologia da geração anterior, esta geração é baseada no uso de anéis de armazenamento de emitância, produto do feixe de elétrons pela divergência, muito baixas que permitem atingir algo em torno de $10^{22} \text{fót}/\text{seg}/\text{mm}^2/\text{mrad}^2$.

4.1.2 Funcionamento

Um acelerador de partículas é composto basicamente de três partes [7], como apresentado na Figura 4.2.

- **Linac:** Parte do acelerador onde o elétron é injetado, através de um canhão de elétrons e recebe a primeira excitação, e começa a ser acelerado;
- **Booster:** Parte do acelerador onde o elétron é encaminhado, logo após a primeira aceleração na área linear. O *Booster*³ é uma estrutura que tem a forma elipsoidal, no atual acelerador de partículas em funcionamento no LNLS, como mostrada na Figura 4.3, sendo a estrutura destacada. Já para o Sirius, será uma estrutura circular, como apresentado na representação na Figura 4.2. Nesta estrutura a partícula é acelerada a uma velocidade próxima a velocidade da luz.
- **Anel de armazenamento:** Parte do acelerador onde a partícula acelerada, com velocidade próxima da luz é armazenada. Como o elétron não faz "curvas", ele é atraído a continuar no centro do anel por uma força magnética aplicada no mesmo, a qual provoca mais excitação na partícula, que como a mesma já está no limite físico de energia, precisa perder esse excesso de energia, fazendo-o assim em forma de radiação luminosa, a qual se desprende de forma tangencial a mudança de trajeto do elétron e é encaminhada para as estações de pesquisa, onde se encontram os detectores.

³Figura disponível em: <https://www.lnls.cnpem.br/uvx/aceleradores/>

Caminho da luz

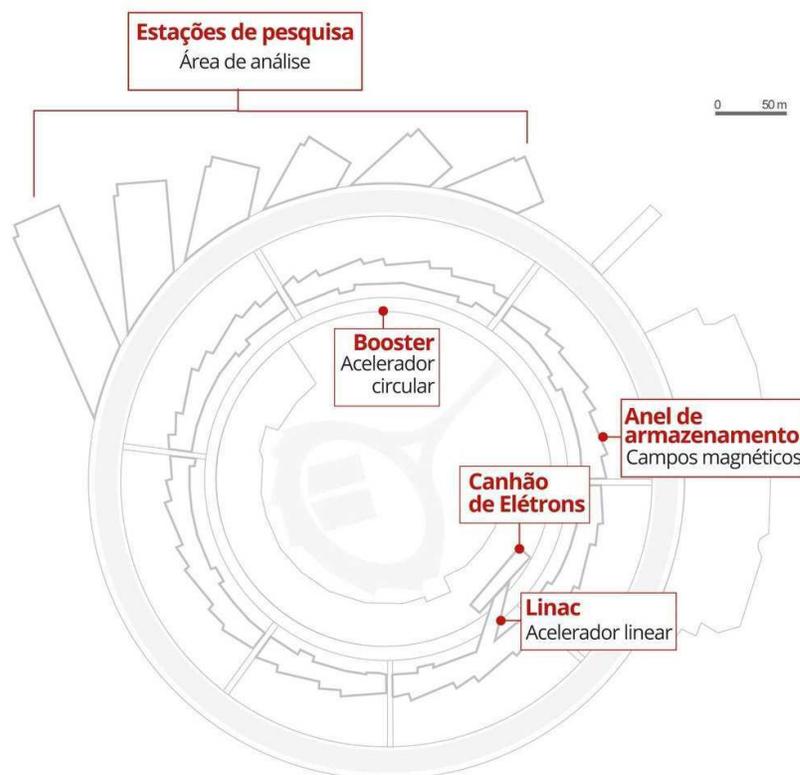


Figura 4.2: Partes de um Acelerador de Partículas.

4.2 Pimega

Para a nova estrutura de acelerador de partículas do Brasil, o Sirius, o qual se propõe em ser a fonte de luz síncrotron mais avançada de todo o mundo [8], está sendo desenvolvido o detector de raios-x, Pimega 135D ⁴, em parceria com a empresa Pi-Tecnologia LTDA.

4.2.1 Disposição Física

O detector Pimega 135D ⁵ consiste no uso de 6 sensores Hexa do Medipix3RX ⁶, como apresentado na Figura 4.4, onde uma das principais características do produto é não ter espaços que não detectam a radiação, ou seja, 100% de área ativa. Este detector é projetado para suportar o vácuo com 3 - 10 mbar.

⁴informação disponível em: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5084596>

⁵informação disponível em: <http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/2018/IFDEPS/S2.10.LNLS.Polli.pdf>

⁶informação disponível em: https://www.amscins.com/site/wp-content/uploads/2014/06/A5_MPX3RX_specs_Xray_digital.pdf



Figura 4.3: Acelerador de Partículas de segunda Geração do LNSL. Destacado em vermelho está o booster.

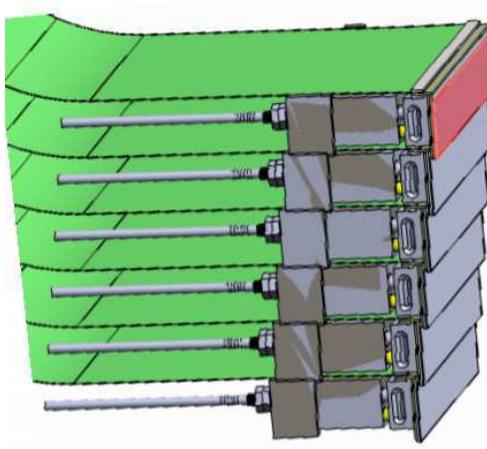


Figura 4.4: Disposição dos sensores Medipix3RX no Pimega.

4.2.2 Front-End e Back-End

O Pimega é um detector que será capaz de:

- Transferir dados a uma taxa de 2.000 quadros por segundo no modo contínuo de escrita e leitura em resolução 12 bits;
- Compatibilidade com o servidor IBM Power8, onde a interface do servidor é diretamente ligada a unidade de processamento gráfico, como apresentado na Figura 4.5.

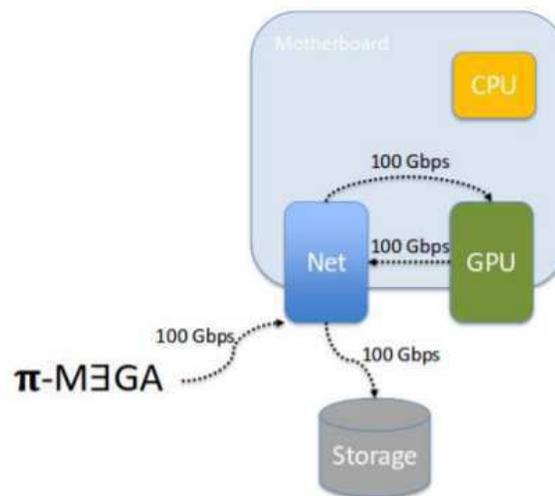


Figura 4.5: Estrutura de Transmissão de dados do Pimega.

- Transferir dados através de uma fibra ótica de até 100 metros com uma taxa de transferência de 100 Gbps, através da implementação do protocolo Roce ⁷.

4.3 Área de Desenvolvimento

O estágio foi desenvolvido na área de desenvolvimento de firmware, o qual estava envolvido com atividades ligadas ao microcontrolador K60 ⁸, com a arquitetura ARM Cortex M4 [9], tendo sua estrutura apresentada na Figura 4.6.

O microcontrolador é responsável pelo controle de toda a estrutura do detector, sendo este regido por um sistema operacional em tempo real - RTOS, o MQX ⁹.

⁷informação disponível em: http://www.mellanox.com/page/products_dyn?product_family=79

⁸informação disponível em: https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/arm-based-processors-and-mcus/kinetis-cortex-m-mcus/k-series/performance4/k6x-ethernet/kinetis-k60-100-mhz-mixed-signal-integration-microcontrollers-based-on-arm-cortex-m4-core:K60_100

⁹informação disponível em: https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/MQX.IO_User_Guide.pdf

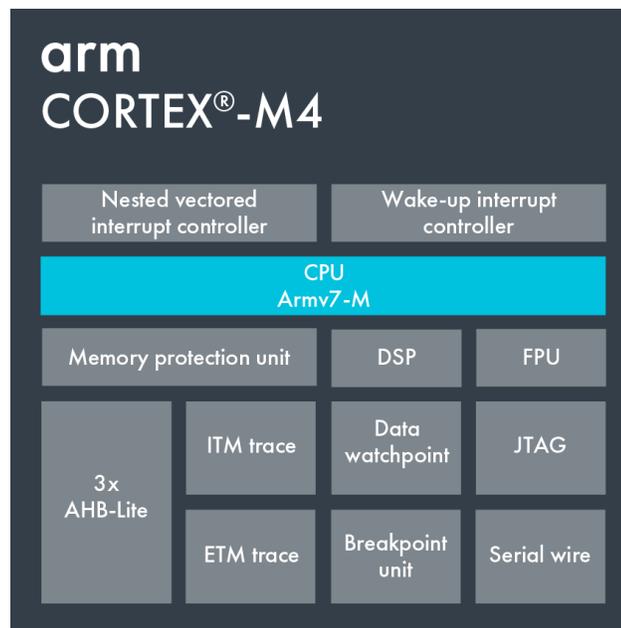


Figura 4.6: Estrutura do microcontrolador utilizado.

5 Atividades realizadas

5.1 Revisão e Atualização da Documentação

Como primeira atividade no estágio, foi proposto a leitura da documentação e atualização dos documentos em uma página "wiki" no Bitbucket, que por pertencer a propriedade intelectual da empresa, não pode ser referenciada. Após a leitura do material relacionado ao produto em desenvolvimento, foi necessário a familiarização da construção de arquivos *Markdown* - *.MD*, a partir deles foi criada uma estrutura de organização da "wiki", na qual foi atualizada as informações e documentações referentes ao projeto corrente.

A edição dos textos pôde ser feita no próprio bitbucket, no qual já disponibiliza uma ambiente de edição dos arquivos.

5.2 Estudo do Funcionamento do sensor Medipix3RX

Tomando como ponto de referência principal, um datasheet fornecido através de parceria com LNLS, foi possível obter informações voltadas ao sensor em questão, pois todo o desenvolvimento do Pimega é pautado no funcionamento dos sensores.

O sensor utilizado foi o Medipix3RX¹⁰ em formato hexa, como apresentado na Figura 5.1¹¹.

¹⁰informação disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/331811>

¹¹informação disponível em: <http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/2018/IFDEPS/S2.10.LNLS.Polli.pdf>

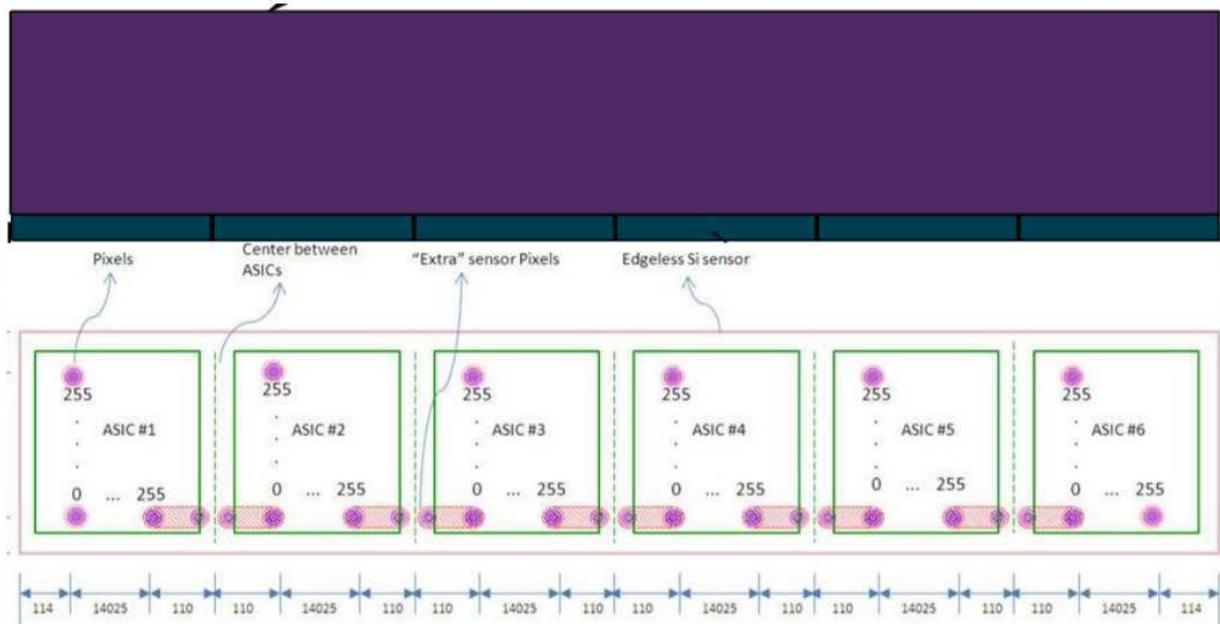


Figura 5.1: Estrutura do sensor Medipix3RX em Hexa.

Este sensor é formado por uma estrutura de seis *Asics* juntos e alinhados por um mesmo cristal, facilitando assim o alinhamento horizontal, por ser apenas uma peça, mas mantendo a maleabilidade de configuração individual de cada sensor, por dispor de seis chips *Asic*.

5.3 Desenvolvimento de Firmware

Com a funcionalidade do sensor em mente e uma noção de como o sistema estava estabelecido, pôde-se iniciar o estudo da arquitetura que o firmware do produto estava estabelecido.

Baseada em um sistema operacional de Tempo Real, a arquitetura do firmware é responsável por estabelecer, desde a interface de comunicação do FPGA com o microcontrolador até a interface do microcontrolador com o software usado atualmente.

Todo o firmware foi estruturado na linguagem de programação C++11.

5.3.1 Conversores Digitais Analógicos e Analógicos digitais Externos - DACs e ADCs

Estes componentes são responsáveis pela tradução dos comandos e respostas, dados e/ou recebidos pelo sensor Medipix3RX, uma vez que todo o sistema é voltado para configuração, ajuste, otimização e aquisição de informações desde sensor.

A primeira atividade como desenvolvedor foi fundamentada em criar uma instancia de uma DAC dentro de uma placa, com objetivo de ativar o componente físico da placa para uso no firmware.

Para a ativação deste componente foi necessário o estudo do datasheet da placa, para ativação dos pinos no sistema operacional de Tempo Real do sistema.

Já para os conversores analógicos digitais, foi desenvolvida uma atividade similar e também a criação de uma classe para determinados tipos destes conversores.

O protocolo de comunicação utilizado para o transporte de informações dos conversores, tanto analógico digital quanto digital analógico, foi o SPI, o qual teve sua classe adaptada para diferentes utilizações dentro das placas.

5.3.2 Dacs Internas do Sensor Medipix3RX

O sensor Medipix3RX possui seu funcionamento pautado na configuração, calibração e leitura de DACs internas, assim, também foi necessário a criação de comandos para a manipulação destas estruturas internas.

Como apresentado no circuito da Figura 5.2¹² o sensor Medipix3 possui dois circuitos internos, um analógico e outro digital.

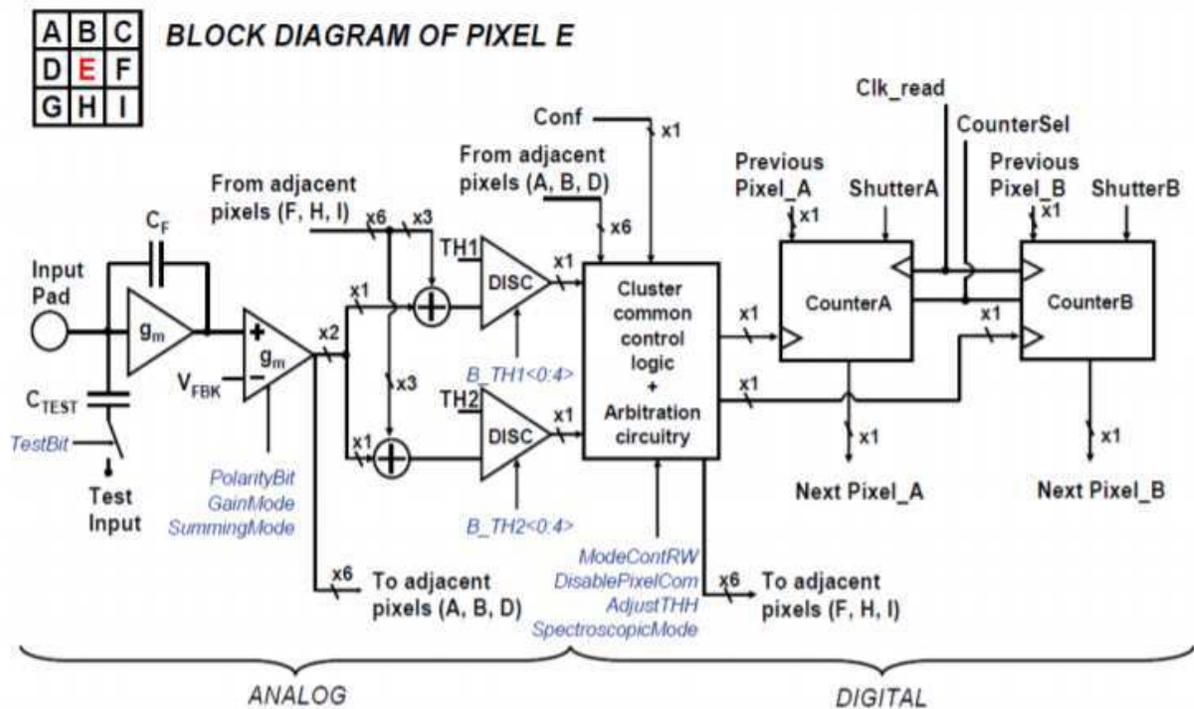


Figura 5.2: Estrutura dos conversores internos do sensor Medipix3.

Cada um destes circuitos são responsáveis por uma parte do funcionamento do sensor, e a existência das DACs internas são para a parametrização das entradas com fim de atingir determinada configuração.

Para este controle e utilização de todas as funcionalidades do sensor, foi necessário construir comandos que fossem capazes de manipular os valores destes conversores.

¹²Figura disponível em: <https://medipix.web.cern.ch/sites/medipix.web.cern.ch/files/documents/collaboration/techspecmedipix3.p>

Uma das aplicações feitas através da manipulação das DACs internas do sensor, foi a leitura de temperatura interna do Medipix3RX, através da leitura da variação de uma dac voltada apenas para este fim.

5.3.3 Protocolo SPI

O Protocolo SPI [10] é baseado na estrutura mestre escravo e para que a comunicação seja estabelecida são necessários quatro fios, como mostrado na figura 5.3 ¹³.

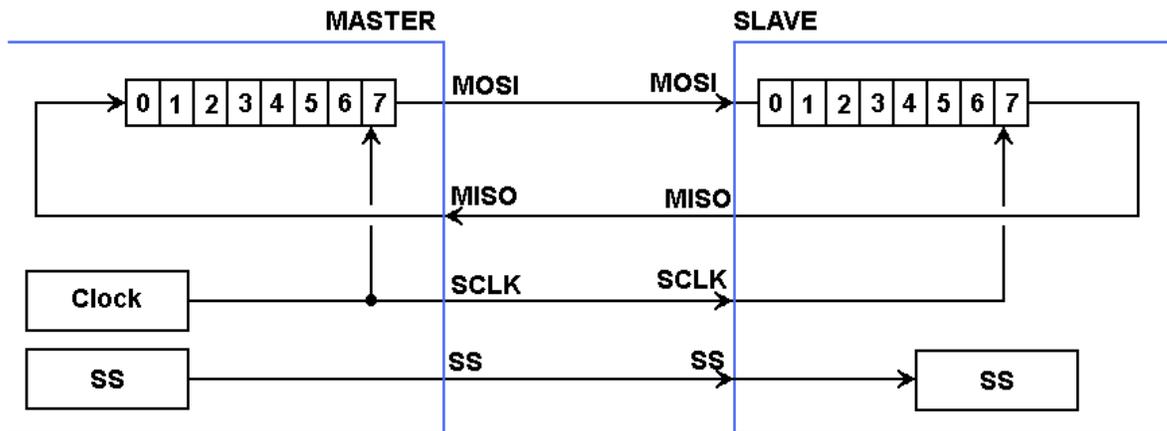


Figura 5.3: Estrutura do protocolo SPI entre um mestre e um escravo.

- MOSI: Sinal enviado do mestre para o escravo;
- MISO: Sinal enviado do escravo para o mestre;
- Clock: pulso síncrono de relógio responsável por controlar o tempo e organização dos dados enviados e recebidos;
- Seletor de escravo: Sinal que informa ao mestre qual escravo vai se comunicar.

5.4 Mudança de Arquitetura

Durante o período de estágio, o produto teve sua arquitetura geral modificada, a qual gerou impactos no *firmware* desenvolvido.

Para a mudança de arquitetura foi necessário reestruturar a interface de comunicação entre o *firmware* e a FPGA, através da manipulação do sistema operacional utilizado. Para tal mudança foi feito um novo mapa de memória para a estruturação da comunicação.

¹³informação disponível em: <https://www.embarcados.com.br/spi-parte-1/>

5.5 Teste de Qualidade de Produto

Na primeira arquitetura do produto usava-se uma placa com o microcontrolador embarcado, a qual tinha como única funcionalidade conectar todo o sistema com os barramentos do microcontrolador.

Foram fabricadas algumas unidades destas placas e foi proposto uma rotina de testes de qualidade para validar a montagem das placas construídas. A rotina proposta se baseia em testes de validação de Hardware, através da análise dos *datasheets*, de gravação e comportamento na gravação do *firmware* e de observação dos sinais da comunicação SPI em osciloscópio e em analisadores lógicos.

Em outro momento, também foi observado as formas de ondas, em um osciloscópio e em um analisador lógico, da comunicação SPI para análise e validação da construção da classe do protocolo.

5.6 Desenvolvimento de Software e Rotina Automatizada para Testes

Em paralelo ao desenvolvimento de *firmware*, foram desenvolvidos comandos na linguagem *Python* para o software existente. O console em *Python* faz interface entre o equipamento e o usuário.

Todas as funcionalidades que o usuário final desejava, para o controle e funcionamento do produto foram desenvolvidas para o software através do *Python*, no qual cada comando poderia ser um conjunto de chamadas de funções de *firmware*, que quando chamadas em conjunto e em uma determinada sequência, executa, habilita obtém ou configura o produto.

A criação de comandos oferece funcionalidades do produto, mas foi necessário a junção e automatização de alguns procedimentos, como o procedimento de equalização do sensor Medi-pix3RX, por exemplo.

O procedimento de equalização consiste em deixar todos os *pixels* de todos os sensores com a mesma sensibilidade a ruídos, para que estes possam fazer uma imagem padronizada e menos distorcida possível. Para a obtenção deste procedimento foi necessário o estudo do funcionamento do sensor, e utilização dos comandos criados em software, de forma conjunta, para que o procedimento fosse estabelecido e validado.

Para estabelecer os comandos e a sequência de uso de cada um foi utilizado as informações do *datasheet*, já para validar a sequência de comandos utilizados, ou seja, saber se a sequência chamada entregava o resultado esperado, foi montada uma rotina automatizada para testes, os quais eram utilizados para *debug* e entendimento bit a bit, do que estava sendo feito, para que assim, fosse possível validar os procedimento adotado.

Além do procedimento de equalização foram feitos outros procedimentos, como calibração das DACs internas e levantamento de dados físicos do sensor, os quais se baseavam em uma dinâmica de desenvolvimento e validação do processo parecida com a descrita acima e que dependendo da funcionalidade era necessário criar uma rotina de testes automatizados, podendo ser esta rotina criada em *Python* ou em *Shell Script*, devido ao tempo de execução dos procedimentos e sua complexidade.

5.7 Teste de Produto em Linha de Luz

Com alguns meses estudando o funcionamento do sensor Medipix3RX, estudando o funcionamento desejado do produto e desenvolvendo em varias frentes como em Firmware, Software e dando suporte para testes feitos pelo time de FPGA, o produto atingiu certa maturidade confiabilidade para testes em linha de luz.

Assim, o produto foi levado para o acelerador de partículas do LNLS, para que fosse possível ser feito testes das funcionalidades do produto a nível de usuário e em um ambiente não controlado e exposto a utilização final desejada.

Foi dado suporte na utilização da versão de testes do produto durante uma semana nas instalações do LNLS. Durante este período foram observados os resultados e desempenho do produto, além de garantir o funcionamento do aparelho nos casos e funcionalidades definidas para os testes.

5.8 Demonstração do Funcionamento da Nova Arquitetura

Com o desenvolvimento voltado para uma nova arquitetura do produto, foi possível chegar a um determinado ponto que esta versão era capaz de executar determinadas funcionalidades. A partir da validação e robustez na execução das atividades foi marcada uma demonstração para o LNLS.

Para a demonstração foram separados alguns procedimentos para serem expostos ao LNLS e como incumbido, foi executado o procedimento de execução das funcionalidades para os interessados.

6 Resultados

Ao término do estágio foi possível notar que bastante conhecimento foi adquirido, voltado ao aparelho detector de raio-X para o acelerador de partículas de última geração que está sendo construído pelo LNLS e também a consolidação de muito do que se foi visto em sala de aula durante todos os anos de graduação.

Por motivos de propriedade intelectual e da assinatura de um termo de sigilo com relação ao que se desenvolveu e foi aprendido no período de estágio na empresa, não foi possível trazer dados gráficos, tabelas e/ou comentários mais claros sobre as tecnologias utilizadas.

6.1 Funcionamento do Sensor Medipix3RX

Ao longo de pouco mais de quatro meses de estágio sempre desenvolvendo e estudando sobre o funcionamento deste sensor, foi possível absorver grande parte de seu funcionamento, o que foi essencial para a continuidade do processo de estruturação do sistema, melhoria e adição de novas funcionalidades.

6.2 Mudança de Arquitetura

Com a oportunidade de fazer parte da mudança de arquitetura, foi possível entender o funcionamento de todo o produto a baixo nível, o que definiu-se como essencial para o amadurecimento dos conhecimentos adquiridos por estudos do produto, assim como possibilitou uma maior imersão na construção da visão de um sistema como um todo.

6.3 Teste de Qualidade de Produto

Ao executar procedimentos para teste e validação de placas construídas, foi possível desenvolver um senso crítico a nível de produto e saber o que deve ser observado, assim como a validação na prática de tudo que se mostrava no *datasheet*.

6.4 Desenvolvimento de Firmware, Software e Testes Automatizados

Como este foi o tópico principal do estágio, acabou se tornando o ponto mais exercitado, o qual proporcionou a utilização dos conhecimentos adquiridos antes do estágio e a aperfeiçoamento da forma de programar em linguagens como C++11 e Python e principalmente no aprendizado da linguagem Shell Script.

Além do aperfeiçoamento do conhecimento e utilização das linguagens supracitadas, foi possível aperfeiçoar os conhecimentos e utilização do sistema operacional linux.

Com a construção e manutenção de testes automatizados, conhecimento esse adquirido durante o estágio, foi possível aprender a estruturar uma sequencia de comandos e garantir o funcionamento de determinado procedimento, mesmo que este seja demorado e complexo.

6.5 Metodologia de Desenvolvimento

A utilização da ferramenta Jira, aliada com o repositório do Bitbucket, proporcionou a consolidação de uma metodologia pautada no método de desenvolvimento ágil chamado Scrum, além de fazer com que o uso diário da ferramenta GIT pudesse fixar comandos e aprender novas funcionalidades e formas de utilização de repositórios.

6.6 Testes na Linha de Luz

Poder participar da validação do produto desenvolvido na linha de luz proporcionou o conhecimento de toda a estrutura do acelerador de partículas, seu funcionamento, sua finalidade e sua usabilidade na prática, além de lidar com situações de necessidade de manutenção, as quais forçavam a utilização de todo o conhecimento do produto e processo adquirido sobre os procedimentos e particularidades do detector, ajudando assim, a ter uma visão mais crítica e detalhada do procedimento como um todo.

7 Considerações Finais

As atividades que foram designadas para o período de estágio foram realizadas com êxito e durante esse tempo, foi possível adquirir bastante conhecimento na área de desenvolvimento de firmware.

O ambiente da Pi-Tecnologia foi propício para a realização das atividades, pois a empresa sempre prezou pelo bem estar dos funcionários e colaboradores, dispondo de área de lazer com piscina e quadra de basquete, disponível para uso de todos e ao mesmo tempo influência a obtenção de resultados por vender muito bem o valor do que está sendo construído por todo o time e sua alta importância para o cenário nacional.

Além disso, o programa de estágio se mostrou extremamente importante ao proporcionar a inserção do aluno no mercado de trabalho e neste caso em um ambiente de pesquisa e desenvolvimento de uma tecnologia não existente no Brasil.

8 Referências

- [1] LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON . Disponível em: <https://www.lnls.cnpem.br/o-lnls/>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [2] A corrida pela melhor luz . Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/07/13/a-corrida-pela-melhor-luz/>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [3] Radiação de Síncrotron no Brasil UVX e Sirius . Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252017000300007
Acesso: 25 de Fevereiro de 2019
- [4] LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON . Disponível em: <https://home.cern/>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [5] *Sirius*. Disponível em: <https://www.lnls.cnpem.br/sirius/projeto-sirius/>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [6] *Sirius*. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/136220-sirius-novo-acelerador-particulas-brasileiro-inaugurado-campinas.htm>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [7] *Entenda o Sirius*. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2018/11/14/entenda-o-sirius-o-novo-acelerador-de-particulas-do-brasil.ghtml>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [8] *Sirius, o acelerador mais potente do mundo*. Disponível em: <https://canaltech.com.br/ciencia/sirius-o-acelerador-de-particulas-mais-potente-do-mundo-e-brasileiro-123522/>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [9] *CortexM4*. Disponível em: <https://developer.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m4>
Acesso: 17 de Fevereiro de 2019
- [10] *Protocolo SPI*. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/spi-parte-1/>
Acesso: 18 de Fevereiro de 2019