



Revista Ilha Digital

Endereço eletrônico:
<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/>



Utilização da abordagem Construir-Medir-Aprender da metodologia *Lean Startup* no desenvolvimento de um sistema eletrônico de uma máquina selecionadora

Gabriel Deschamps Lozano^{1,2}, Samir Bonho¹

Resumo: Esse artigo propõe a exploração de técnicas de desenvolvimento rápido para o desenvolvimento de um sistema de visão computacional de uma máquina selecionadora de grãos. A metodologia utilizada e adaptada ao desenvolvimento é a *Lean Startup*. Feito o mapeamento de hipóteses, premissas foram estabelecidas para direcionar o desenvolvimento dos firmwares e softwares associados ao sensor de imagem. São desenvolvidos o PCB para o sensor, juntamente com uma placa protótipo microcontrolada para configuração do mesmo. Um sistema de processamento embarcado já existente foi utilizado para captura e envio da imagem a um computador. Apresentam-se as imagens capturadas e as conclusões obtidas pelo teste das hipóteses, confirmando a validade das premissas. Conclui-se que a adaptação e uso de metodologias de desenvolvimento rápido para a criação de produtos eletrônicos que envolvem hardware, firmware e software devem estar presentes nos ambientes de desenvolvimento das empresas.

Palavras-chave: Máquinas selecionadoras. Visão computacional. Startup enxuta.

Abstract: *This work addresses the use of lean Startup techniques for developing and upgrading a vision system embedded in an optical sorting machine. The build-measure-learn feedback loop was applied to the electronic system responsible for capturing the images. A set of assumptions related to the sensor were made in order to guide the product development. For the purpose of validating those assumptions, an image sensor PCB and prototype board for controlling the sensor parameters were developed. An existent embedded system was then used to send the image to a computer. Finally, it is shown the images taken by the sensor and the results are discussed. Thus, it is suggested that lean Startup can be used for hardware and firmware developing.*

Keywords: *Machine vision cameras. Optical sorting. Lean Startup.*

* Autor para contato <gabrieldesloz@gmail.com>

¹ Depto de Eletrônica, Instituto Federal de Santa Catarina

² Bühler Sanmak

1. Introdução

De acordo com o 2º Levantamento da safra de grãos 2020/21, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), o Brasil deverá alcançar a produção de 268,9 milhões de toneladas de grãos, 4,6% a mais do que a temporada de 2019/2020 (MIN. DA AGRIC., 2020). Para se ter uma ideia da representatividade mundial, na safra 2019/2020 o Brasil foi responsável por 37% (124,845 milhões de

toneladas) de toda produção de soja do planeta. (EMBRAPA, 2021)

Como a qualidade dos grãos agrega valor ao produto, se faz necessária a seleção destes grãos garantindo uma maior segurança alimentar. Para dar vazão a toda esta produção, torna-se indispensável o uso de tecnologias de automação industrial.

Esta automatização na cadeia de produção de grãos é feita por máquinas selecionadoras. Por envolverem diferentes sistemas mecânicos e eletroeletrônicos, o desenvolvimento das máquinas

se torna extremamente complexo. Boas práticas de desenvolvimento podem diminuir a chance de falha em algum sub-etapa da construção do equipamento.

Em um projeto complexo há o risco de desenvolver produtos, funcionalidades e serviços que o consumidor não deseja. Para conduzir o desenvolvimento de produtos, existem uma série de metodologias de gestão que podem auxiliar desde a concepção até o lançamento de um produto.

Existem alguns modelos de gestão da inovação, utilizados por startups, dentre os quais destaca-se o Lean Innovation Management. O Lean Innovation Management, que pode ser traduzido como inovação enxuta, é um modelo de gestão da inovação direcionado para empresas maiores que as startups. Sua teoria foi publicada por Steve Blank em 2015, o criador do conceito das lean startups.

No presente trabalho, utilizar-se-á técnicas de desenvolvimento rápido, dentro do universo da *lean innovation*, em um sistema de aquisição de imagens de alta resolução, para um possível *upgrade* de uma máquina selecionadora já existente. Serão analisados o esforço necessário e complexidade de desenvolvimento, a fim de se obter maior conhecimento do caminho a ser seguido para atualização do produto.

2. Conceitos

Essa seção apresenta os conceitos envolvidos no trabalho. Uma breve descrição de uma máquina selecionadora é feita. É também feita uma revisão sobre o sistema eletrônico responsável pela captura e processamento da imagem, destacando-se o hardware envolvido neste tipo de aplicação. Posteriormente, são resumidas as técnicas e metodologias utilizadas na inovação enxuta. Aqui os conceitos do ciclo “construir, medir e aprender” e o mapa de premissas são apresentados em nível de detalhamento suficiente apenas para a compreensão do Lean Innovation, não se tendo a intenção de aprofundar a discussão nesse sentido.

2.1. Máquinas selecionadoras

As máquinas selecionadoras utilizam um sistema de visão computacional para detectar defeitos, tonalidades de cor e formas de grãos de tamanhos pequenos (arroz, feijão, lentilha etc.). Com esta informação, a máquina separa os grãos bons dos ruins, conforme critérios pré-estabelecidos pelo produtor.

Geralmente está situada na última etapa de beneficiamento dentro de um moinho. Após a seleção, o grão sem defeitos é enviado para a parte de ensacamento do produto, indo, após esta etapa, para as prateleiras dos supermercados. A figura 1 mostra uma máquina selecionadora.



Figura 1 – Máquina selecionadora da empresa Bühler SANMAK. Adaptado de <http://www.sanmak.com.br/produtos/sanmak-b>

A máquina selecionadora é dividida em calhas. Uma calha é o meio por onde desliza o produto. Cada calha pode ter seus sistemas vibratório, óptico e pneumático, para poder selecionar, em uma mesma máquina, diversos tipos de grãos. Na prática, porém, estas calhas são divididas conforme os vários processos existentes dentro de um moinho. Estes processos estão relacionados à qualidade do grão.

É comum usar uma fila com de diversas máquinas selecionadoras, uma selecionando o resultado da seleção da anterior, para garantir um produto selecionado com a melhor qualidade possível.

Existem equipamentos de diversos tipos e tamanhos possíveis, desde de uma calha até aparelhos com mais de quinze calhas. Os parâmetros que geralmente distinguem estas máquinas são a qualidade percentual do grão aceito (o que não que não é ejetado, o grão não defeituoso), o custo e a produção total e por calha em toneladas por hora.

Este tipo de aparato é composto por vários subsistemas:

- O vibratório, onde há uma bandeja vibratória que permite uma dosagem da produção e garante que o produto caia de uma maneira uniforme e espalhada;
- O sistema eletrônico, onde estão os circuitos eletrônicos responsáveis pela aquisição e o processamento das imagens, a interface homem – máquina e o controle dos demais sistemas. Um dos principais circuitos eletrônicos deste sistema é o sensor de imagem;
- O sistema de iluminação, que permite a melhor identificação dos detalhes dos grãos, de acordo com o ângulo de incidência da luz, intensidade, espectro luminoso e sincronia com o sistema de aquisição da imagem,

- O sistema óptico: conjunto de lentes, difusores e acrílicos que servem para direcionar, amplificar e homogeneizar a luz emitida pelo sistema de iluminação e a luz captada pelos sensores;
- O sistema mecânico-pneumático, que permite a ejeção do produto, variando-se a intensidade e a duração dos jatos de ar.

Dentre estes subsistemas, o trabalho aborda especificamente o sistema eletrônico da máquina selecionadora.

2.1.1 - Sistema Eletrônico

O sistema eletrônico de uma máquina selecionadora é composto por um sistema computacional e uma câmera.

Dependendo do tipo da máquina e seu desenvolvimento, o dispositivo usado para capturar a imagem pode ser separado da unidade principal de processamento de imagem ou combinado com ela. Quando a função de processamento acontece dentro do mesmo invólucro da câmera, é chamado de processamento embarcado. Quando separada, a imagem é processada em outro hardware ou enviado a um capturador de imagens (*frame grabber*) dentro de um computador, através de um link de alta velocidade.

Uma vez que a imagem é captada ela segue para uma central de processamento que é geralmente uma CPU ou GPU (embarcada em uma placa de vídeo) ou um FPGA ou uma combinação destes três. A complexidade do processamento irá depender do tamanho da imagem em pixels, da velocidade de captação e da complexidade das operações de transformação que serão realizadas na imagem. O hardware deve ser capaz de fazer, entre outras operações, filtragem e ganho, *thresholding* (separação da imagem em partes), detecção de borda (*edge detection*), análise de cor, reconhecimento de padrões (*pattern recognition*), detecção e extração de manchas (*blob detection and extraction*), reconhecimento de caracteres, etc. (THE AI JOURNAL, 2020)

2.2 - Sistema de visão de máquina

Um sistema de visão de máquina (ou em inglês, *machine vision system*) é um tipo de tecnologia que permite a um dispositivo de computação inspecionar, avaliar e identificar imagens estáticas ou em movimento. (TECHOPEDIA,2021)

A visão de máquina está ligada à capacidade de um computador de enxergar. O termo visão

computacional é usado para designar a tecnologia na qual um computador digitaliza uma imagem, processa os dados e toma algum tipo de ação. (ROBOTICS TOMORROW,2019). O sistema de visão de máquina seria o “corpo” enquanto que a visão computacional o “cérebro da aplicação”.

A visão de máquina é utilizada em uma variedade de processos industriais, tais como inspeção de materiais, reconhecimento de objetos, de padrões e análise de componentes eletrônicos. Tipicamente consiste de câmeras digitais, *hardware* e *software* de processamento de imagens. Uma câmera captura imagens do ambiente ou de um objeto focalizado e depois as envia para o sistema de processamento. Dependendo do projeto ou da necessidade do sistema de visão computacional, as imagens capturadas são armazenadas ou processadas de acordo com a aplicação.

O processamento da imagem pode ocorrer em um PC, com a transmissão da imagem por uma interface de alta velocidade, ou pode ser em parte ou totalmente executado em um sistema embarcado. Dependendo da complexidade pode ser executado em um microcontrolador, FPGA ou DSP. (BASLER,2021)

O processamento da imagem emprega algoritmos que analisam e extraem as informações necessárias, executam uma inspeção e tomam uma decisão. E finalmente, a comunicação é realizada por um sinal de entrada/saída discreto ou transmitida através de uma comunicação serial a um dispositivo que armazenará ou processará a informação.

2.3 - Câmeras

Há uma diversidade de câmeras diferentes disponíveis com diferentes interfaces, tamanhos de pixels, resoluções e recursos.

A câmera pode ser chamada de *smart camera* quando ela captura e realiza o processamento da imagem. Uma *smart camera* geralmente contém todas as interfaces de comunicação necessárias para transferir todas as imagens captadas.

Existem as câmeras “*off the shelf*” específicas para ambientes industriais, como exemplo na figura 2 uma câmera do fabricante Basler. As empresas fabricantes disponibilizam software que fazem a interface de configuração. Estas câmeras possuem interface de alta velocidade para transmitir em Gbps, por exemplo com os protocolos Firewire e Camera Link.



Figura 2 - Câmera industrial. Fonte: BASLER

Outra opção são os módulos de câmera (*camera modules*). Normalmente oferecem uma função reduzida em relação às câmeras industriais, mas muito mais funcionalidade que os sensores discretos. Estes módulos têm interface com padrões definidos (ex. LVDS) para a saída de dados da imagem. Além disso, estes módulos podem oferecer um pré-processamento da imagem – correção de erros, otimização etc. Exemplo: Módulo de câmera para o Raspberry Pi - figura (3)



Figura 3 - Módulo de câmera para o Raspberry Pi. Fonte: <https://tinyurl.com/aakkpdpv>

Existem no mercado também módulos mais simples com pouco mais que um sensor de imagem ligado a uma placa de circuito. Estas placas contêm além do sensor os circuitos básicos que dão suporte ao seu funcionamento, como por exemplo, resistores, capacitores de desacoplamento e reguladores de tensão. Exemplo: Módulo PCB com sensor (figura 4)

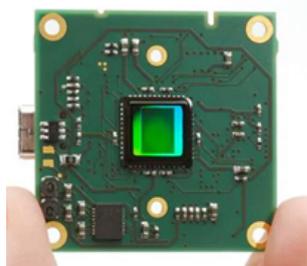


Figura 4 - Módulo PCB com sensor. Fonte: <https://tinyurl.com/58mskwtj>

Para todos os tipos de câmeras e módulos, um sensor de imagem se faz presente.

2.3.1 - Sensor

As duas tecnologias de imagem dominantes nos sensores são (em inglês *charge-coupled device*), e CMOS (em inglês - *complementary metal-oxide-semiconductor*) (ALL ABOUT CIRCUITS, 2020)

Os sensores CMOS oferecem níveis mais altos de integração com o sistema embarcado - o que reduz a complexidade da tarefa do projetista do circuito. Sua interface de saída já é digital, ou seja, a imagem já é transmitida de forma digital para o circuito que vai fazer aquisição da imagem. Enquanto que o CCD, requer vários circuitos adicionais como por exemplo, reguladores de tensão negativa e circuitos AD (*analog to digital*), pois sua saída é analógica.

Os requisitos para um sensor variam de aplicação para aplicação, porém os atributos chaves são a sensibilidade, range dinâmico (*dynamic range*), nível de ruído (*noise level*), velocidade em que as imagens são mostradas (*frame rate*). Dependendo das necessidades do produto, a escolha do sensor pode ser complexa. Para auxiliar o projetista, o padrão EMVA Standard 1288 (*Standard for Characterization of Image Sensors and Cameras*) (EMVA, 2010) pode ser aplicado, já que propõe um método de classificação dos sensores por diversos parâmetros diferentes.

2.3.1.1 - Sensor de linha

Um sensor de linha lê os dados da imagem uma linha de cada vez. Isto significa que ela não observa a imagem como um todo, mas a analisa linha por linha. Para construir uma imagem bidimensional, o objeto deve se mover de forma perpendicular à linha de pixels do sensor.

Um sensor de linha geralmente é a melhor opção para objetos se movendo. Esta tecnologia é usada em aplicações que captam imagens com alta frequência e alta resolução. (TELEDYNE DALSA,2020).

A resolução horizontal é representada pelo número de pixels, enquanto que a resolução vertical depende do movimento objeto sendo inspecionado.

O sensor tira fotos de “pedaços da imagem” a uma velocidade ajustável que determinará como o produto será representado. Quanto mais rápido o objeto estiver passando sob o campo de visão da câmera, maior a velocidade de aquisição. Por sua vez, quanto maior a velocidade de aquisição e o número de pixels do sensor, maior o processamento e capacidade de comunicação necessários, e,

portanto, maior será a velocidade que os dados precisam ser transmitidos até a unidade de processamento.

2.4 - Especificações da imagem para detecção de defeitos em grãos

As anomalias ou defeitos em grãos podem ser consideradas a detecção de cores diferentes daquelas esperadas. Nos grãos de arroz, por exemplo, busca-se retirar pontos manchados e picados, arroz translucentes, amarelos, rajados e gessados, além de objetos estranhos ao consumo (pedras, por exemplo).

Na instrução normativa 6/2009 do ministério da agricultura (MIN. DA AGRIC., 2009) são classificados os diversos tipos de falhas esperadas no arroz. Na figura 5, são mostrados exemplos de grãos de arroz picados ou manchados.



Figura 5 – Grãos de arroz picados ou manchados. Fonte: CIENTEC

O tamanho do defeito mínimo detectado pelo sensor é na prática o tamanho do pixel projetado sobre a área de visão da câmera (do inglês *FOV*, *field of vision*). Quanto maior a resolução, menor o detalhe do defeito captado. A largura da área de visão para uma máquina selecionadora é a largura da calha por onde passa o produto e a altura é a altura do pixel projetada na própria calha.

Para determinar o número de pixels do sensor é necessário especificar o campo de visão e o tamanho mínimo do defeito. Segundo (TELEDYNE DALSA), a câmera deve ter resolução suficiente para ter 3 ou 4 pixels cobrindo a área mínima de defeito. Considerando-se um ponto em um arroz manchado com o tamanho horizontal de 0,5 mm, e a largura da calha 300 mm, a quantidade de pixels necessária dada pela seguinte expressão:

$$\text{Quantidade de pixels} = \frac{FOV \times 3}{\text{tamanho mínimo defeito}} \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$\text{Quantidade de pixels} = \frac{300 \text{ mm} \times 3}{0,5 \text{ mm}}$$

$$\text{Quantidade de pixels} = 1800$$

Com 2048 pixels, o sensor escolhido seria adequado para a detecção do defeito.

Em relação à velocidade de aquisição, a taxa de linhas por segundo é definida pelo campo de visão, velocidade do grão em queda e o tamanho do pixel projetado na calha. Em (NGUYEN, 2020), os autores demonstram com mais detalhes o cálculo da velocidade de queda do grão.

O tamanho do pixel projetado no campo de visão é dado pela expressão

$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{FOV}{\text{Resolução}} \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{300 \text{ mm}}{2048}$$

$$\text{Tamanho do pixel} = 0,1465 \text{ mm}$$

Considerando que o formato do pixel é quadrado, e a velocidade de queda do grão é aproximadamente 3 m/s, a frequência necessária para a aquisição da imagem é dada pela expressão

$$F. \text{ aquisição} = \frac{\text{Velocidade de queda}}{\text{Tamanho do pixel}} \quad [\text{Eq. 3}]$$

$$F. \text{ aquisição} = \frac{3000 \text{ mm/s}}{0,1465 \text{ mm}}$$

$$F. \text{ aquisição} = 20,48 \text{ kHz}$$

Percebe-se que o sensor utilizado tem a frequência de amostragem de 25 kHz, portanto é adequado para captar a imagem do grão em movimento.

2.5 - Lean Innovation

Num modelo tradicional do processo de inovação segue-se principalmente na metodologia linear de planejamento extensivo, que busca a perfeição até o lançamento no mercado.

O modelo de inovação enxuta, utilizado no trabalho, utiliza o conceito de mínimo produto viável e testagem rápida, prioritariamente em condições reais de mercado. A ideia é ir depurando o conceito inicial com velocidade e custo baixo.

Segundo (SONNENBERG, 2011):

“Trabalhar de maneira lean, ou enxuta, é trabalhar tentando eliminar sistematicamente todos os processos que não adicionam valor de modo a atingir as metas com o menor esforço possível.”

A inovação enxuta (Lean Innovation) é baseada nas metodologias:

- Lean Startup;
- Design Thinking e
- Agile Methodology.

Os processos e os princípios são:

- O desenvolvimento de produtos e serviços que o consumidor quer, através do ciclo construir - medir – aprender. Segundo Ries (RIES,2012), “a atividade fundamental de uma startup é transformar ideias em produtos, medir como os clientes reagem, e então aprender se é o caso de pivotar ou perseverar”;
- A eliminação do desperdício, no processo de inovação, aumentando a eficiência, reduzindo funcionalidades e características que o consumidor não quer, que não adicionam valor;
- Busca da falha rápida (*fail fast*). É preferível buscar as falhas o mais cedo possível no desenvolvimento do produto, para que ocorra o aprendizado.

2.5.1 Lean Startup

No livro *A Startup Enxuta* (RIES,2012), o autor Eric Ries descreve e formula a aplicação do pensamento enxuto do *Lean Innovation* ao processo de inovação em uma *startup*. Em uma *Startup*, o objetivo é descobrir a coisa certa a ser desenvolvida, o que os clientes querem e vão pagar, o mais rápido possível através da realização de experimentos científicos para testar estratégias e avaliar aquelas que devem seguir ou não. Antes do teste, desenvolve-se uma hipótese que faz o prognóstico do que pode acontecer, depois estes prognósticos são testados de forma empírica.

A abordagem Lean Startup é centrada em um ciclo “construir, medir, aprender” (figura 6), através deste ciclo a companhia construirá um produto mínimo viável (do inglês *Minimum Viable product*) ou uma versão bastante reduzida do produto em questão, para que seja possível que os usuários “*early adopters*” possam testar. O MVP deve ter as funções principais que o produto final terá, porém servirá principalmente como guia para um desenvolvimento futuro.

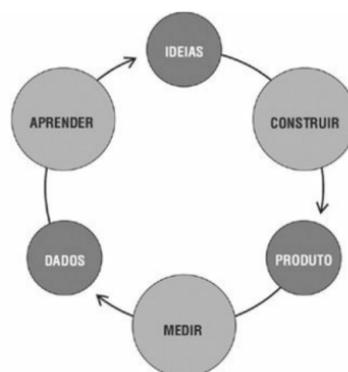


Figura 6 – Ciclo construir, medir, aprender.

Fonte: RIES, Eric. A Startup Enxuta

O desenvolvimento de um projeto é feito através de ciclos de teste de premissas. Constrói-se então um protótipo que prova a hipótese mais arriscada, depois mede-se os resultados e decide-se quais serão os próximos testes baseados nestes resultados.

Depois seguem-se as reuniões a respeito de pivotar ou perseverar. Pivotar, abandonar a ideia, ou perseverar, se o resultado do teste da hipótese for bem-sucedido. O uso de premissas com foco no tempo e complexidades reduzidas permite parar e reavaliar as necessidades.

Projetos com muitos riscos e incertezas devem ser descartados. Para isto, uma das etapas é o mapeamento dos riscos, mostrado na figura 7, baseando-se em saltos de fé (*leaps of faith*), que orientam para onde a equipe deve concentrar o foco e recursos.



Figura 7 – Mapeamento de suposições (assumption mapping). Fonte: Do autor.

De acordo com o mapa, observa-se que situações consideradas não críticas, sejam estas conhecidas ou desconhecidas, não são levadas em consideração no estabelecimento das premissas que nortearão o projeto. Por outro lado, os aspectos críticos do desenvolvimento devem estar cobertos

por alguma ação. O mapeamento indica que pontos conhecidamente mais sensíveis na construção do produto devem ser debatidos pela equipe. Para todos os outros tópicos que sejam decisivos e críticos, porém não totalmente conhecidos devem ser criadas premissas.

3. Metodologia

Para este trabalho, considerou-se o subsistema eletrônico o ponto mais crítico do produto. O ciclo de construção-medição-aprendizado foi feito em cima do hardware de comunicação com o sensor de imagem.

Estabeleceu-se como MVP apenas o desenvolvimento para validação do sensor, e não o produto como o hardware de um sistema de visão de máquina em si. Aqui é considerado como cliente uma outra equipe de desenvolvimento que agregará novas ações e funcionalidades ao sistema.

Para o mapeamento de hipótese, elencou-se uma série de premissas, derivadas da pergunta fundamental do sistema de visão: O sensor de imagem funciona? Estas premissas definirão um caminho mais claro para o desenvolvimento do sistema. Com isto em mente, construiu-se um protótipo de prova para a hipótese mais arriscada.

As premissas estabelecidas foram:

1. É possível escrever e ler os registradores do sensor montado na placa PCB.
2. É possível gerar um sinal padrão no sistema embarcado, transmiti-lo para o PC e mostrar uma imagem na tela.
3. É possível capturar um frame do sensor e transmiti-lo para o PC.
4. É possível capturar um frame de um objeto em movimento.

Para responder a cada premissa, foi feito o desenvolvimento de um protótipo de hardware ou software.

4. Verificação das hipóteses

Com o intuito de avaliar se as hipóteses estabelecidas podem ser consideradas verdadeiras, podendo assim manter a mesma estratégia de desenvolvimento, utilizou-se módulos de desenvolvimento e técnicas de prototipagem rápida.

4.1. Premissa 1: É possível escrever e ler os registradores do sensor montado na placa PCB.

4.1.1 Estudo do sensor

Para verificação desta primeira premissa, foi necessário estudar o sensor, saber o que faz cada registrador e conhecer a sequência de inicialização dos registradores, tensões, saídas e entradas e níveis lógicos. Além disso, procurou-se saber como são transmitidos os quadros (*frames*) e como estes são formados. Por último, verificou-se como os registradores de controle do sensor são acessados.

A figura 8 mostra o diagrama de blocos do dispositivo.

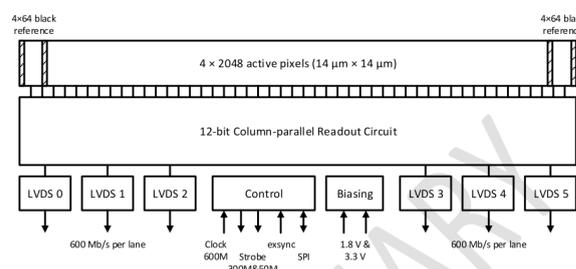


Figura 8 - Diagrama de blocos do sensor
Fonte: Adaptado de [datasheet do sensor]

O sensor utilizado é do tipo CMOS e possui 4 linhas com controle de exposição. Cada linha é um canal independente das cores vermelha, verde, azul e monocromática. A cadeia de leitura ou *readout chain* é projetada para uma frequência de 100 mil linhas por segundo, 25000 linhas por segundo para cada cor. Possui ainda um conversor AD de 12 bits sendo que a imagem digitalizada é enviada por por 6 canais LVDS, a um bitrate máximo de 600 Mb/s. Além disso, o sensor divide a transmissão de seus 2048 pixels em 12 *taps* (saídas) que são transmitidas por pares diferenciais LVDS.

O quadro (ou frame) transmitido por 1 *tap* é composto por 371 pixels, que contém informação sobre a imagem e bits de informação, indicando o começo e o fim do quadro. Esta informação será usada posteriormente para armazenar o quadro na memória da da placa de aquisição de imagens.

De modo a ter um mínimo produto viável, escolheu-se parâmetros que simplificaram o desenvolvimento: *frame-rate* menor que o máximo permitido pelo sensor e um número reduzido de pixels. A imagem a ser captada é de apenas uma linha e de um canal, o que representa 371 pixels. Será adquirido um frame com 366 pixels mais pixels de controle e CRC (código de redundância cíclica). Cada pixel contém 12 bits.

Ao total são transmitidos para o PC 128 linhas de 371 pixels cada, contando com os pixels do

início e do fim do quadro, mais a sequência de bits que representa o cálculo CRC.

4.1.2 Placa PCB

Foi construído uma placa protótipo, figura 9ab, de acordo com diagrama esquemático cedido pelo fabricante do sensor do sensor. A placa foi desenvolvida com o objetivo de ter capacidade de depuração e trabalhar com sinais de alta frequência, utilizando técnicas de roteamento para tais fins. O roteamento e desenvolvimento da placa PCB foi terceirizado.

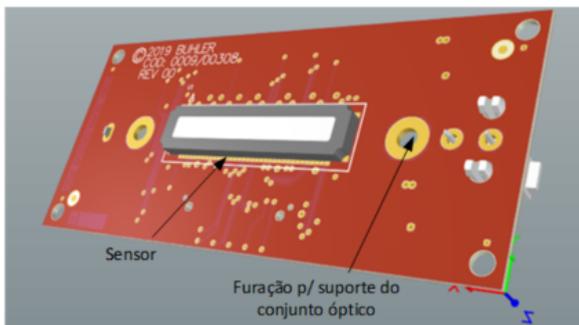


Figura 9a - Fotografia dos protótipos utilizados na prova de conceito. Parte frontal. Imagem do autor

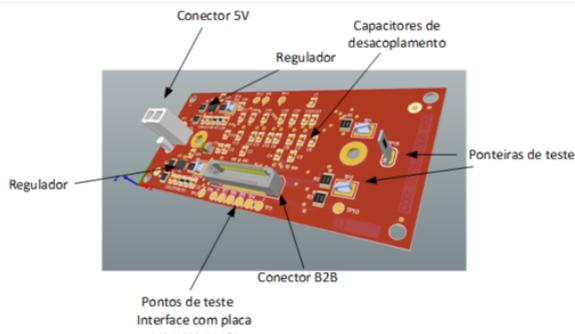


Figura 9b - Fotografia dos protótipos utilizados na prova de conceito. Parte traseira. Imagem do autor

Nesta placa foi soldado o sensor, capacitores de desacoplamento, reguladores de tensão e um conector B2B (*board to board*) para alta velocidade de transmissão. Como este tipo de conector permite a modularidade, propicia-se a criação de uma placa “mãe” de processamento desenvolvida com o mesmo conector, para que a placa do sensor seja uma placa “filha”. A ligação desta placa com a placa de aquisição é feita soldando-se fios nos pontos de conexão abaixo do conector, figura 10.

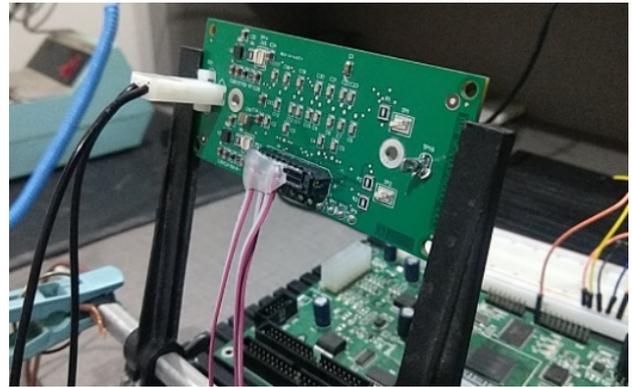


Figura 10 - Placa do sensor. Imagem do autor

4.1.3 - Sistema de aquisição

O sistema de aquisição utilizado é composto principalmente pelas seguintes subpartes, além do sensor: placa com FPGA, microcontrolador e circuito LVDS.

O sistema completo utilizado para o teste do sensor é formado pelo PC, placa de aquisição com FPGA, placa de desenvolvimento com microcontrolador STM32 e placa do módulo com sensor (figura 11).

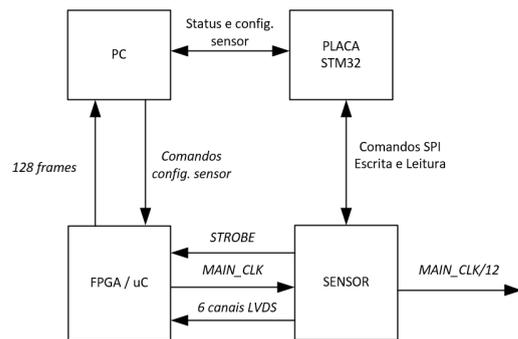


Figura 11 - Diagrama de blocos do sistema. Imagem do autor

Para a aplicação específica, seleção de grãos, o algoritmo de seleção proposto pode ser executado em uma placa com um sistema embarcado.

A placa usada em uma das máquinas produzidas pela empresa fará a aquisição e processamento da imagem transmitida pelo sensor e geração do sinal de *clock*. A vantagem de se utilizar uma placa pronta, é a disponibilidade, conhecimento do *hardware* e da linguagem de programação, que é de domínio da equipe. Portanto utiliza-se parte do código que a empresa já possui, junto com o material fornecido pela fabricante de sensores.

O sistema embarcado usado para a captura, processamento e transmissão dos *frames* (quadros) do sensor é composto de um FPGA, que faz a aquisição e processamento da imagem, e um microcontrolador que faz a conexão com o PC.

O processamento consiste na aplicação de ganhos e offset na imagem “raw”. Além disso, o FPGA captura os pixels, encontra o início e o fim dos frames e os salva em uma memória para então transmiti-los para o software no PC.

Aqui o FPGA utilizado é o *Spartan 6* XC6SLX25 que possui capacidade lógica suficiente para processar todas as saídas do sensor. Quanto maior o número de elementos lógicos, maior o paralelismo, por consequência, maior a capacidade de processar as saídas (*taps*) do sensor em paralelo, aumentando a frequência máxima possível.

Para os testes de hipóteses, foi utilizada uma placa de aquisição com FPGA já desenvolvida anteriormente.

4.1.3 Controle e acesso aos registradores

Foi usado um microcontrolador externo para o acesso aos registradores e controle do sensor. A placa escolhida foi a STM32F103C8T6 (figura 12), cujo funcionamento já era de conhecimento do projetista, o que possibilitou rapidez na implementação dos códigos.

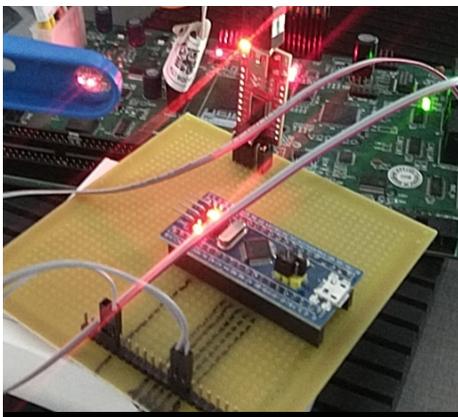


Figura 12 – Fotografia dos protótipos utilizados na prova de conceito. Imagem do autor.

O software desenvolvido para a placa permite o controle do sensor através da programação dos seus registradores de memória e fazendo o envio de comandos via interface SPI.

Desenvolveu-se também uma interface entre o microcontrolador e o PC, mostrada na figura 13, usando a biblioteca open source Azande (ZEIJLON SYSTEMS, 2019). É possível visualizar em tempo real o conteúdo dos registradores do sensor, além disso, configurar diversos parâmetros, como o *dark offset*, tempo de integração (*row time*), calibração de luz branca para cada linha, etc.



Figura 13 - Interface gráfica do sensor. Imagem do autor.

Na figura 14, mostra-se o sinal habilitado pela interface SPI, *MAIN_CLK/12*, o sinal de *clock* principal, o *MAIN_CLK* e o sinal *STROBE*.

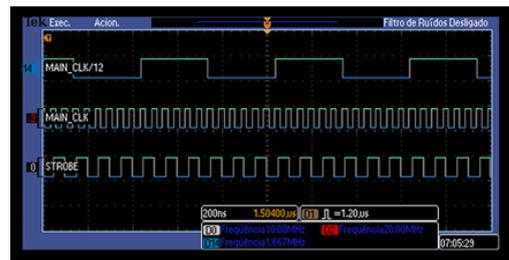


Figura 14 – Sinal de clock habilitado no sensor. Imagem do autor. Imagem do autor

4.1.1 Conclusões

O teste da primeira premissa resultou nas seguintes conclusões:

- É possível programar os registradores do sensor;
- O sensor de imagem funciona;
- Programando os registradores, consegue-se habilitar a saída de testes e assim medir frequência do sinal de testes;
- Sabe-se que os reguladores de tensão e os componentes da placa estão funcionais;
- Medindo o sinal de teste, advém-se que a comunicação LVDS entre a placa de processamento e a placa do sensor funciona.

O sinal da saída de testes deve ser a divisão da entrada de "clock" do sensor por um valor configurado no sensor. Esse *clock* de entrada é um sinal LVDS oriundo da placa de seleção.

4.2.Premissa 2: É possível gerar um sinal padrão no sistema embarcado, transmiti-lo para o PC e mostrar uma imagem na tela.

Para testar a hipótese, um módulo no FPGA foi desenvolvido para testar a memória e a comunicação. Este gerador de sinais foi desenvolvido em hardware e simulado no software ISE 14.7 (XILINX, 2021), usando uma construção da linguagem de descrição de circuitos VHDL

chamada de *testbench* - ou mesa de testes. Parte da simulação é mostrada na figura 15.

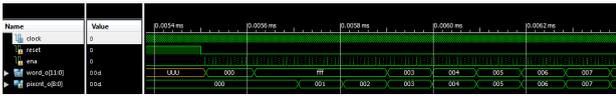


Figura 15 – Simulação do módulo gerador de padrões. Imagem do autor

Também foi desenvolvido um software para PC que mostra na tela a imagem gerada. Na figura 16 mostra-se esta imagem construída a partir da geração do sinal de testes.

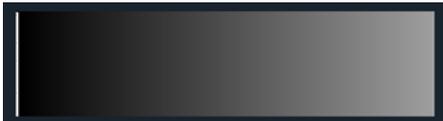


Figura 16 - Imagem padrão gerada a partir do FPGA da placa de processamento. Imagem do autor.

4.2.1 Conclusões:

O teste da premissa 2 resulta nas seguintes conclusões:

- A comunicação entre o FPGA e o PC funciona;
- O módulo que salva a imagem da memória da placa está operacional;
- O software que mostra a imagem no PC consegue obter a imagem e projetá-la corretamente na tela.

4.3. Premissa 3: É possível capturar um frame do sensor e transmiti-lo para o PC?

Para a aplicação específica, seleção de grãos, o algoritmo de seleção pode ser executado em uma placa com um sistema embarcado (FPGA).

O sensor divide a transmissão de seus 2048 pixels em 12 *taps* (saídas) que são transmitidas por pares diferenciais LVDS. O sistema de aquisição é composto principalmente pelas seguintes subpartes: placa com FPGA, microcontrolador e circuito LVDS.

O FPGA faz a aquisição da imagem e o processamento. Este consiste na aplicação de ganhos e offset na imagem “raw”, ou bruta.

O principal objetivo do FPGA é capturar os pixels, encontrar o início e o fim dos frames e salvá-los em uma memória para então transmiti-los para o software no PC. O FPGA foi programado usando a linguagem de descrição de circuitos VHDL.

O FPGA da placa é programado para capturar imagem e decodificar os frames, identificando início e fim, e salvando-os em uma memória SRAM. No FPGA também é desenvolvida a interface com o microcontrolador. O FPGA foi programado usando a linguagem de descrição de circuitos VHDL.

Na placa há um microcontrolador que vai fazer a interface entre o FPGA e a rede ethernet. Conectado nessa rede estará o PC.

Inicialmente transmitiu-se imagens de linhas estáticas, sem movimento. O sensor foi colocado sobre um suporte onde está fixado um acrílico com padrões. Neste acrílico estão desenhadas linhas conforme figura 17ab.

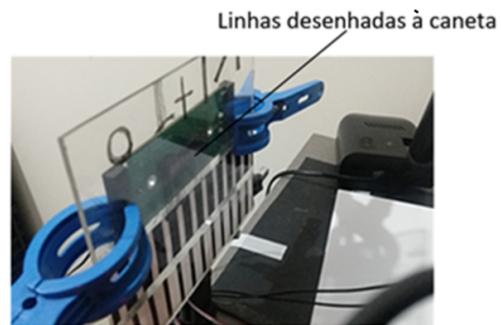


Figura 17a – Sensor fixado a um suporte. Imagem do autor

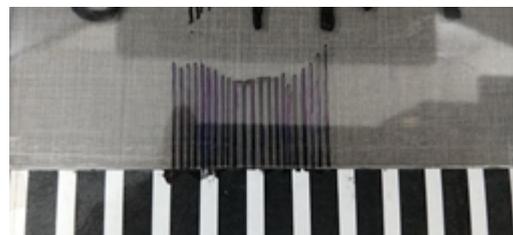


Figura 17b – Padrão desenhado sobre o acrílico transparente.

O teste é efetuado sem o uso da parte óptica do sistema, teste também conhecido como *lensless* conforme descrito em (GOEDEME, 2016). Na figura 18, a imagem obtida no teste é ilustrada.



Figura 18 – Padrão desenhado sobre o acrílico transparente. Imagem do autor

4.3.1 - Conclusões:

O teste da premissa permite chegar às seguintes conclusões:

- A comunicação entre o sensor o FPGA está funcionando;
- O sistema de aquisição funciona;
- O sensor está captando imagens que correspondem aos padrões de teste colocados na sua frente;

4.4. Premissa 4: É possível capturar um frame de um objeto em movimento?

O tempo de exposição do sensor, sua velocidade, precisa estar sincronizada com o objeto em movimento. Isto é geralmente feito por um *encoder*, que gera um sinal de pulso a cada movimento do objeto. O sensor possui uma entrada para sincronia externa, porém para este projeto, o produto está em queda, então é mais simples desenvolver uma solução em software. Para captar a imagem em movimento, o software precisa saber exatamente qual o momento que o objeto passa na frente do sensor.

Para isso foi desenvolvido um módulo de acionamento, ou *trigger*, que compara o valor da média móvel de um fundo branco com o da imagem em movimento. Quando a imagem passa na frente do sensor, os valores dos pixels são comparados contra esta média móvel, se for menor que o valor da média móvel o módulo *trigger* inicia a aquisição da imagem.

Para comprovar o funcionamento, passou-se diversos objetos na frente do sensor, conforme as figuras 19ab e 20ab. Nas figuras 19b e 20b, são mostrados pedaços dos objetos, no tamanho do segmento do sensor que está sendo adquirido.



Figura 19a – Objeto. Imagem do autor

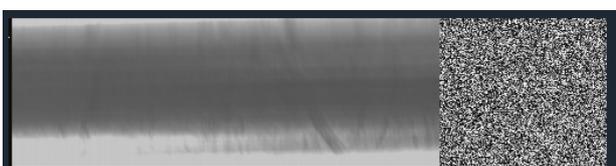


Figura 19b – Fragmento do objeto capturado. Imagem do autor



Figura 20a – Objeto. Imagem do autor



Figura 20b – Fragmento do objeto capturado. Imagem do autor

4.4.1 - Conclusões

O teste desta última premissa permite chegar às seguintes conclusões:

- Foi possível capturar uma imagem em movimento;
- As dimensões reais dos objetos foram distorcidas.

Verificou-se uma dificuldade em mostrar a imagem da furação de forma correta (figura 20b), com o tamanho correto, pois o teste foi realizado de modo manual, com pouco controle da velocidade do movimento. A velocidade incorreta pode distorcer a imagem e está relacionada com a frequência de Nyquist. Em (GOEDEMÉ, 2016), é demonstrado o cálculo que relaciona a frequência de aquisição com a velocidade de movimento do objeto. A aquisição depende de diversos fatores, conforme demonstrado no documento técnico.

O pivotamento da ideia não é indicado já que as possíveis alterações no projeto podem ser feitas para corrigir a problemática encontrada. O próximo passo seria desenvolver uma mesa de testes com um motor de passo que faz um tambor girar. Sobre este tambor deve ser colocado um padrão de testes, como por exemplo o padrão do tipo RONCHI (EDMUND OPTICS, 2020), que ajuda a ajustar o foco da câmera.

5. Conclusão

O presente trabalho abordou a aplicação e adaptação da metodologia *Lean Startup* no desenvolvimento de um sistema eletrônico de uma máquina selecionadora. O foco de aplicação foi no sistema de visão computacional.

A escolha de uma metodologia rápida de desenvolvimento em detrimento de uma metodologia tradicional de desenvolvimento em ambiente de engenharia deve-se às restrições de equipe e orçamento, fatores comuns em empresas de tecnologia. Nelas, urge-se a racionalização do tempo, materiais e recursos humanos de modo a se obter a melhor eficiência com o menor risco. É necessário reduzir os desperdícios, que podem ser produtos ou serviços que o cliente não quer ou funcionalidades que não serão utilizadas.

Assim buscou-se técnicas que permitiram chegar a estas conclusões, acerca do desenvolvimento, o mais rápido possível.

Através do ciclo iterativo do *lean startup*, “construir, medir, aprender”, eliminou-se riscos desnecessários, possibilitando um aumento gradativo e controlado de complexidade no desenvolvimento do projeto. O uso desta abordagem trouxe também um aprendizado acumulativo do funcionamento do sensor, principal *hardware* do sistema.

No que tange a metodologia, o sensor de imagem foi o foco da aplicação do mapa de premissas e teste de hipóteses. Foram feitas premissas para o sensor e pequenas tarefas realizáveis foram construídas e suas métricas observadas.

Começou-se com uma prospecção do sensor que melhor atendesse as expectativas da empresa. Uma vez escolhido, desenvolveu-se um módulo de sensor (sensor module) com os componentes mínimos necessários para o funcionamento do sensor. Após, trabalhou-se na geração dos sinais necessários para controlar e programar o sensor, com o objetivo de ativar a saída de teste.

Para isso utilizou-se uma placa de desenvolvimento com um microcontrolador STM32, que gerou os sinais de controle e os enviou e recebeu através do protocolo de comunicação SPI.

Após, foi feito o desenvolvimento do software para o sistema embarcado da placa FPGA já utilizada em outro produto da empresa. Este software foi responsável pela geração do sinal de *clock* para o sensor, aquisição dos frames da imagem e do sinal de sincronia. Foi possível então montar a imagem através da análise do cabeçalho de cada frame. O software salva 128 linhas na memória e as retransmite para o PC através de uma interface ethernet. Um software para PC foi desenvolvido para mostrar 128 frames que são recebidos da placa de aquisição.

Verificou-se uma dificuldade na captura das imagens em movimento pois o teste foi realizado de modo manual, com pouco controle da velocidade. Além disso, nos testes não foi utilizado nenhum artefato com lentes. Para melhorar a aquisição é necessário acionar a entrada de *trigger* do sensor. Desta maneira, a aquisição da imagem é sincronizada com o movimento do objeto através de um pulso gerado proporcionalmente à velocidade deste objeto.

Há outras premissas e ciclos de desenvolvimento a serem desenvolvidos. Pensando sempre no produto final, mas livre para seguir qualquer caminho que leve a este objetivo segundo a própria metodologia *Lean Startup*.

Em um estágio mais avançado do projeto, a placa “filha” se conectará a uma placa de processamento desenvolvida para este fim, ou em uma placa protótipo de algum kit de desenvolvimento. Este kit de desenvolvimento servirá como referência para um projeto próprio.

O teste de premissas atingíveis conforme detalhado na metodologia ajuda a delimitar o foco e tomar decisões sobre os próximos passos para se atingir o objetivo final. Com o auxílio da metodologia aplicada e ajustando o desenvolvimento para as limitações de recursos e tempo disponíveis, conseguiu-se o menor esforço possível para se testar a viabilidade do produto eletrônico sensor de imagem.

REFERÊNCIAS

ALL ABOUT CIRCUITS. **Introduction to Image Sensor Technology, from Photons to Electrons.** Disponível em:

<<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-image-sensor-technology-photons-to-electrons/>> Acesso em: 01 dez. 2020.

BASLER. **Fundamentals of Image Processing Systems.** Disponível em:

<https://www.baslerweb.com/fp-1478427503/media/en/downloads/documents/white_papers/BAS1404_White_Paper_Fundamentals_of_Image_Processing_Systems.pdf> Acesso em: 03 fev. 2021.

BASLER. **raL2048-48gm - Basler racer.** Disponível em:

<<https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/line-scan-cameras/racer/raL2048-48gm/>> Acesso em: 01 fev. 2021.

CIENTEC. **Arroz de A a Z**. Disponível em <http://www.cientec.rs.gov.br/upload/1374092494_Picado%20ou%20manchado.jpg> Acesso em: 01 fev. 2021.

EDMUND OPTICS. **The Edmund Optics Knowledge Center**. Disponível em: <<https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/#!/&CategoryId=175>>. Acesso em: 01 out. 2020

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2019/20)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 07 Fev.. 2020.

EMVA. **EMVA Standard 1288**. Disponível em: <<https://www.emva.org/wp-content/uploads/EMVA1288-3.0.pdf>> Acesso em: 01 dez. 2020.

GOEDEMÉ, Toon et al. **Embedded Line Scan Image Sensors: The Low Cost Alternative for High Speed Imaging ArXiv**. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1612.02218>: Acesso em: 15 out. 2020

MAXFIELD, C. M. 2004. **The Design Warrior's Guide to FPGA's**. Burlington, Mass.: Newnes Press.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Instrução normativa Nº 6, de 16 de fevereiro de 2009**. Disponível em: <<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/acton/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>>. Acesso em: 01 de fev. de 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Produção de grãos da safra 2020/21 deve alcançar novo recorde**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2020/11/producao-de-graos-da-safra-2020-21-deve-alcancar-novo-recorde>>. Acesso em 06 de fev. de 2021.

RIES, Eric. **A Startup Enxuta: Como os empreendedores atuais utilizam inovação contínua para criar empresas extremamente bem-sucedidas**. São Paulo: Leya Editora, 2012.

ROBOTICS TOMORROW. **What is Machine Vision?** Disponível em: <<https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/12/what-is-machine-vision/14548>> Acesso em: 03 fev. 2021.

SONNENBERG, H.; SEHESTED, C. **Lean innovation**. Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.

THE AI JOURNAL - **What is machine vision? Everything you need to know**. Disponível em: <<https://aijournal.com/what-is-machine-vision-everything-you-need-to-know/>>. Acesso em: 01 fev. 2021.

TECHOPEDIA. **Machine Vision System (MVS)**. Disponível em: <<https://www.techopedia.com/definition/30414/machine-vision-system-mvs>> Acesso em: 01 fev. 2021.

TELEDYNE DALSA. **Understanding Line Scan Camera Application**. Disponível em: <<https://www.teledynedalsa.com/en/learn/white-papers/>> Acesso em: 01 dez. 2020.

XILINX. **ISE Design Suite for Windows 10 - 14.7**. Disponível em: <<https://www.xilinx.com/>>. Acesso em: 30 set. 2019.

Y, Nguyen & Son, Le & Tuyen, Tran & Nguyen, Bich & Thinh, Nguyen. (2020). **Study of Design and Manufacture for One-Line Rice Color Sorting Machine**. Science & Technology Development Journal - Engineering and Technology. 3. First. 10.32508/stdjet.v3iS11.724.

ZEIJLON SYSTEMS. **Azande Studio**. Disponível em: <<https://zeijlonsystems.se/products/azande/download.html>> Acesso em: 30 set. 2019.