

3 METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

No que diz respeito à classificação deste trabalho, verifica-se que se trata de uma pesquisa aplicada, quanto à sua natureza, uma vez que os resultados obtidos foram destinados a aplicações práticas que visam a solução de um problema demandado pela VALE.

Quanto aos seus objetivos, o presente trabalho é classificado como uma pesquisa exploratória, uma vez que busca explicações e comparações para uma análise maior e mais abrangente. Já em relação à abordagem, classifica-se este trabalho por pesquisa quantitativa, uma vez que utilizará modelos matemáticos e a coleta e análise de dados numéricos diretamente extraídos de sensores.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, conclui-se que esta é uma pesquisa experimental, já que será necessário testar e validar o desempenho, em condições controladas, da solução proposta.

3.2 Etapas de Desenvolvimento

3.2.1 Estrutura Cronológica

Em termos cronológicos, o presente trabalho pode ser dividido em três períodos de execução:

- Desenvolvimento, no laboratório da FT Tech, de prova de conceito com requisitos previamente definidos e fornecidos;
- Análise investigativa, não mais em conjunto com a FT Tech, a fim de tornar o projeto mais robusto e financeiramente mais atrativo;
- Proposição de método para o desenvolvimento da solução de maneira organizada, eficiente e replicável a partir das discussões geradas na etapa anterior.

3.2.2 Requisitos

Preliminarmente, a equipe da FT Tech, através de reuniões com lideranças da VALE, realizou o levantamento dos requisitos que deveriam ser atendidos pela solução desenvolvida, os quais foram listados conforme se segue:

- (i) Entender quando a correia transportadora inicia um processo de desalinhamento;
- (ii) Realizar uma previsão de produção mensal;
- (iii) Contruir painel para visualização dos dados gerados;
- (iv) Gerar alertas em caso de possíveis problemas;
- (v) A solução desenvolvida deve ser capaz de se conectar aos sistemas internos da Empresa.

3.2.3 Hardware utilizado

Passada a fase de obtenção dos requisitos, foi iniciado o desenvolvimento do dispositivo. Nesta fase primeira etapa é definido o hardware que compõe a solução.

Dentre os produtos disponibilizados pela FT Tech em seu catálogo, foi selecionado o *Intelligent Edge Gateway (IEG)* para ser utilizado como Hardware central do projeto.

O *IEG* é um dispositivo projetado para ser modular, ou seja, possui capacidade de ser customizado para se adequar de acordo com o que se pretende realizar. Na Figura 11 é possível visualizar a placa com a qual o dispositivo é equipado. Por sua vez a placa é equipada com o *Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4)*, uma versão compacta da *Raspberry Pi*, mas com foco em aplicações industriais. A FT Tech utiliza em suas placas versões da CM4 com 16GB e 32GB de armazenamento, 4GB e 8GB de memória RAM, além de versões com e sem Wi-Fi integrado. Para o desenvolvimento dessa solução, foi escolhida a versão que possui: (i) 32GB de armazenamento; (ii) 8GB de memória RAM; (iii) Wi-Fi integrado.

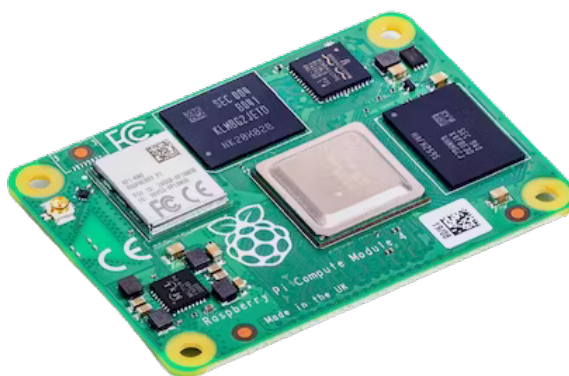
O fato de possuir o CM4 confere ao *IEG* a capacidade de realizar o processamento de dados local, ou seja, não há necessidade de enviar dados para a nuvem ou para outro dispositivo.

Figura 11 – Intelligent Edge Gateway: Placa



Fonte: FTtech (2021)

Figura 12 – Raspberry Pi Compute Module 4: Modelo Básico



Fonte: Raspberry (2022)

A Figura 12 mostra a versão básica do CM4, modelo que não possui Wi-Fi integrado, enquanto a Figura 13 mostra o modelo do CM4 com Wi-Fi integrado.

Além disso, o *IEG* possui encapsulamento IP67, que garante uma proteção robusta contra

Figura 13 – *Raspberry Pi Compute Module 4*: Wi-Fi Integrado

Fonte: Raspberry (2020)

poeira, umidade e impactos físicos, tornando-o adequado para uso em ambientes industriais adversos. Dessa forma, um problema que poderia surgir em relação à implantação do dispositivo em local desafiador, tal qual é o ambiente industrial da VALE, pode ser sanado sem haver preocupação com danos ao equipamento. A Figura 14 mostra o produto já com encapsulamento.

Figura 14 – Intelligent Edge Gateway: Encapsulamento



Fonte: FTtech (2021)

A FT Tech firmou acordo de parceria com a empresa CAPI Controle, que ficou responsável pelo fornecimento do hardware necessário para a criação de um ambiente de testes, que incluíram:

1. Sensor a laser 2D *RF627Smart Series*;
2. Sensor de velocidade *ISD-5 Series*;
3. Sistema transportador de correia para testes com motor embutido;
4. Cabeamento para conexão de todos os dispositivos anteriores;

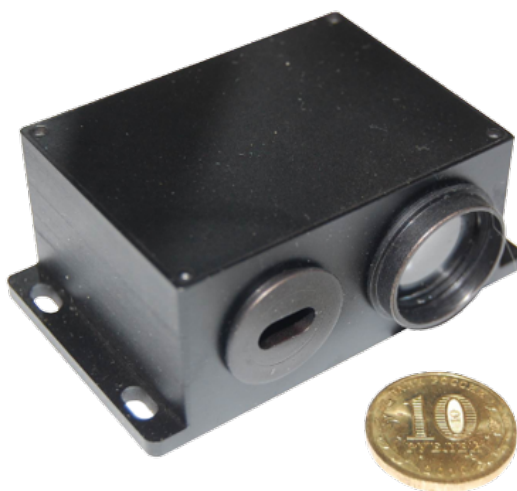
Dessa forma, sempre que o ambiente de testes for mencionado no texto, trata-se do conjunto listado anteriormente.

Figura 15 – Família de sensores *RF627 Series*



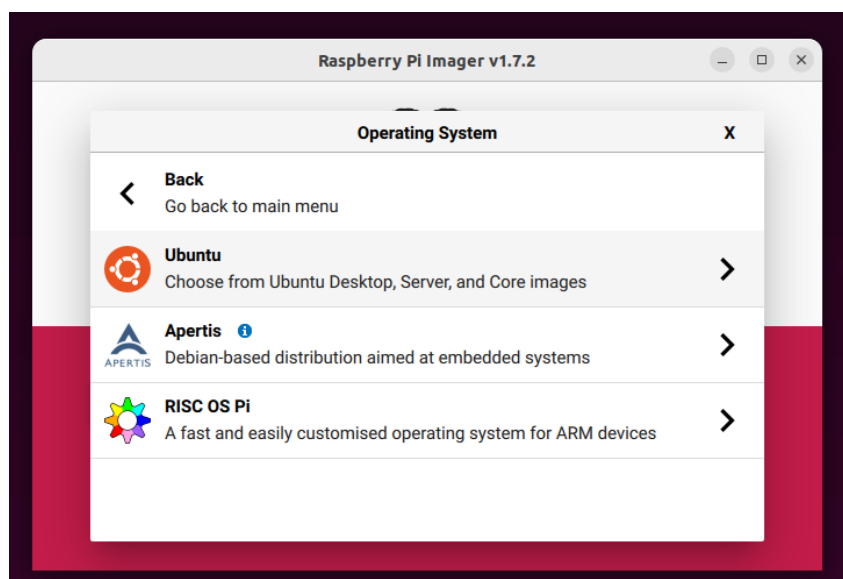
Fonte: Riftek (2022)

A Figura 15 ilustra a família de sensores , que possuem princípio de funcionamento conforme descrito na seção 2.3.2, enquanto a Figura 16 ilustra o sensor de velocidade *ISD-5 Series*.

Figura 16 – Sensor *ISD-5 Series*

Fonte: Riftek (2016)

3.2.4 Intelligent Edge Gateway: Configuração inicial

Figura 17 – Instalação do Ubuntu através do *Pi Imager*

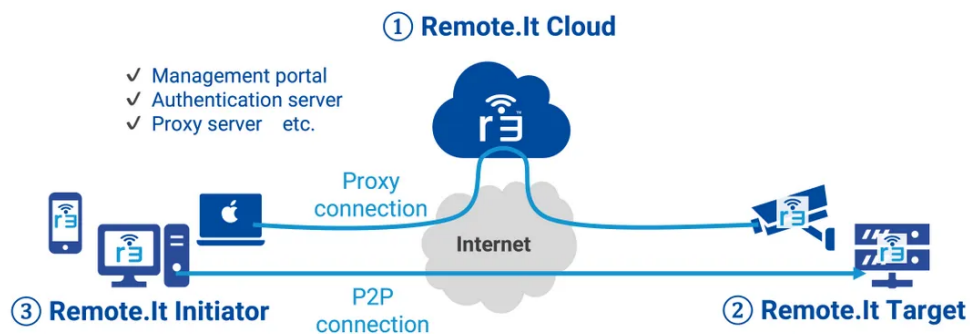
Fonte: Produção do próprio autor

Para realizar processamento local dos dados é necessária instalação de sistema operacional. Além do *Raspberry Pi OS*, sistema operacional oficial para dispositivos *Raspberry Pi*, é possível optar por outras alternativas desde que compatíveis com a versão do hardware utilizado. Por conta da grande difusão e de sua vasta documentação, o sistema operacional Ubuntu foi escolhido em sua versão servidor 20.04.5 LTS (64 bits) e a instalação foi feita

utilizando o software *Raspberry Pi Imager 1.7.2*, conforme Figura 17.

Durante os primeiros três meses de desenvolvimento, o ambiente de testes fornecido pela CAPI Controle esteve disponível para utilização somente em Americana-SP, sede da empresa. Dessa forma, foi necessário buscar alternativas para contornar o problema, uma vez que era inviável à FT Tech manter funcionário no município paulista para realização dos testes.

Figura 18 – Estabelecimento de conexão pelo Remote.It



Fonte: Remote.It (2023)

A solução encontrada foi a instalação do *Remote.It*, uma plataforma que fornece soluções de conectividade remota segura para dispositivos. Tal software permite o acesso e controle remoto de dispositivos através da internet, mesmo quando estão localizados em redes diferentes ou estão atrás de firewalls e roteadores.

Para o projeto, o computador pessoal do autor funciona como o *Remote.It Initiator* enquanto o *IEC* é o *Remote.It Target*, conforme Figura 18. Inicialmente foi criada conta no site www.remote.it, então o *Remote.It* foi instalado no *IEC* e o código de registro recebido durante a instalação foi atrelado à conta criada anteriormente.

Para estabelecer a conexão remota entre os dispositivos é necessário que ambos possuam acesso à internet. O cliente (Computador pessoal) solicita a conexão com o dispositivo remoto (*IEC*) através da plataforma do *Remote.It*, que retorna um endereço *IP* e uma porta que dão acesso ao dispositivo. Após a conexão ser estabelecida, é possível controlar o dispositivo remoto como se estivesse fisicamente presente nele.

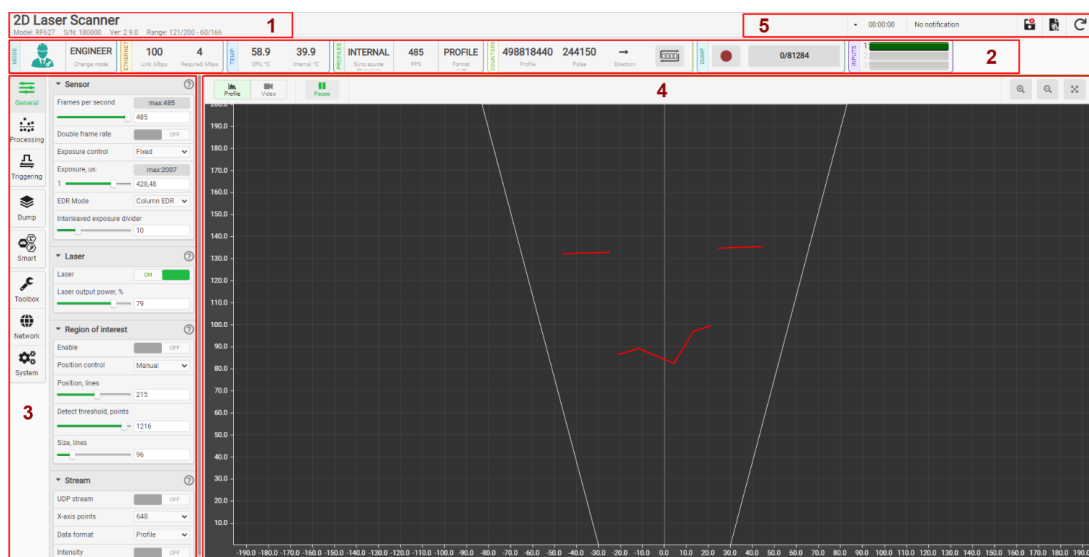
3.2.5 Configuração do Sensor *RF627Smart Series*

A Riftek, fabricante do Sensor a laser *RF627Smart Series*, fornece um manual que apresenta as funcionalidades e possibilidades de configuração do dispositivo o qual foi utilizado como fonte de pesquisa para estudo bem como para configurações necessárias ao projeto. Por padrão de fábrica os scanners *RF627 Series*, até a data do desenvolvimento deste projeto, possuem a seguinte configuração de rede:

- Endereço IP do Scanner: 192.168.1.30
- Máscara de Sub-Rede: 255.255.255.0
- Gateway: 192.168.1.1
- Endereço IP destino (dispositivo que recebe os dados do sensor): 192.168.1.2
- Porta destino: 50001
- Porta para conexão HTTP: 80
- Porta de serviço do Scanner: 50011

As configurações do scanner podem ser alteradas usando o kit de desenvolvimento de software (*SDK*), o protocolo de serviço, ou ainda via interface web, que é disponibilizada em seu endereço IP padrão.

Figura 19 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series*: Página Inicial



Fonte: Riftek (2022)

Conforme figura 19, a interface Web é dividida em cinco áreas:

1. Nome do Scanner, modelo do Scanner, número de série, versão do firmware e intervalos de medição;
2. Indicadores de status do Scanner;
3. Abas de parametrização;
4. Área de visualização;
5. Notificações e botões de controle.

Para realizar as configurações do sensor é necessário alterar os valores das abas de parametrização (área 3). Para proceder com as configurações gerais do sensor altera-se os parâmetros da aba "*General*", que pode ser vista na Figura 20.

Figura 20 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series*: Aba "*General*"

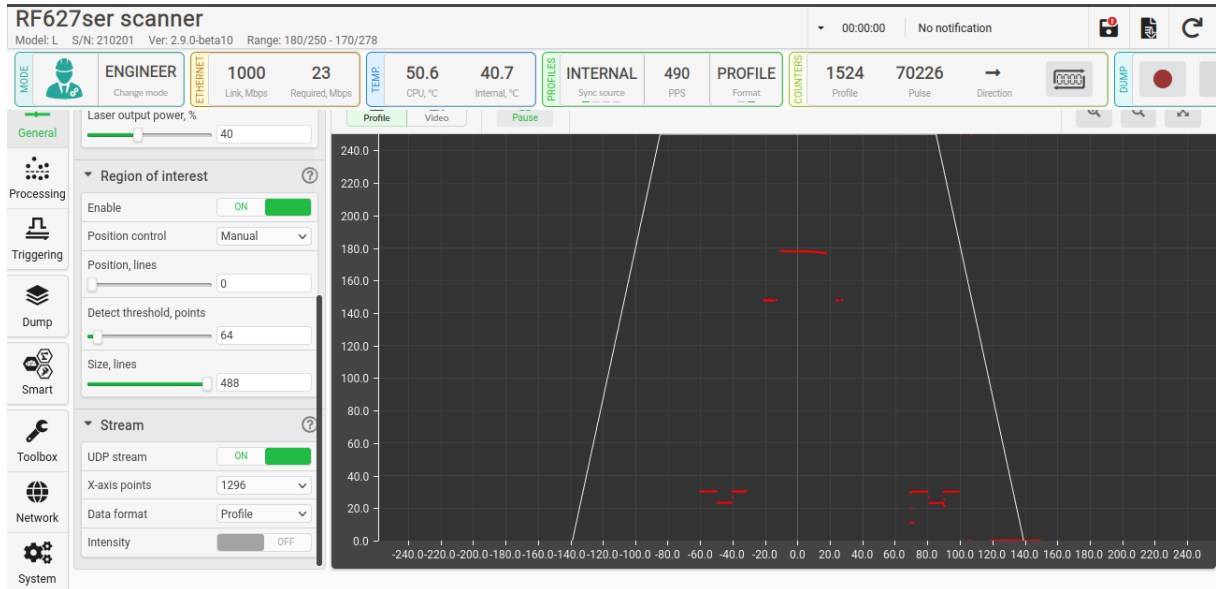
The image shows a web interface for the RF627Smart Series sensor. On the left is a vertical sidebar with icons and labels for different configuration sections: General (highlighted in green), Processing, Triggering, Dump, Smart, Network, and System. The main content area is titled 'Sensor' and contains several configuration sections:

- Sensor**: Includes a 'Frames per second' slider (max: 490, current: 100), a 'Double frame rate' toggle (OFF), an 'Exposure control' dropdown (Fixed), and 'Exposure, us' sliders for three channels (max: 9956, current values: 9956.2, 299.7, 299.7). It also has an 'EDR Mode' dropdown (EDR disabled) and an 'Interleaved exposure divider' slider (current: 2).
- Laser**: Includes a 'Laser' toggle (ON) and a 'Laser output power, %' slider (current: 60).
- Region of Interest**: Includes an 'Enable' toggle (OFF), a 'Position control' dropdown (Manual), a 'Position, lines' slider (current: 287), a 'Detect threshold, points' slider (current: 320), and a 'Size, lines' slider (current: 64).
- Stream**: Includes a 'UDP stream' toggle (OFF), an 'X-axis points' dropdown (648), a 'Data format' dropdown (Profile), and an 'Intensity' toggle (OFF).

Fonte: Riftek (2022)

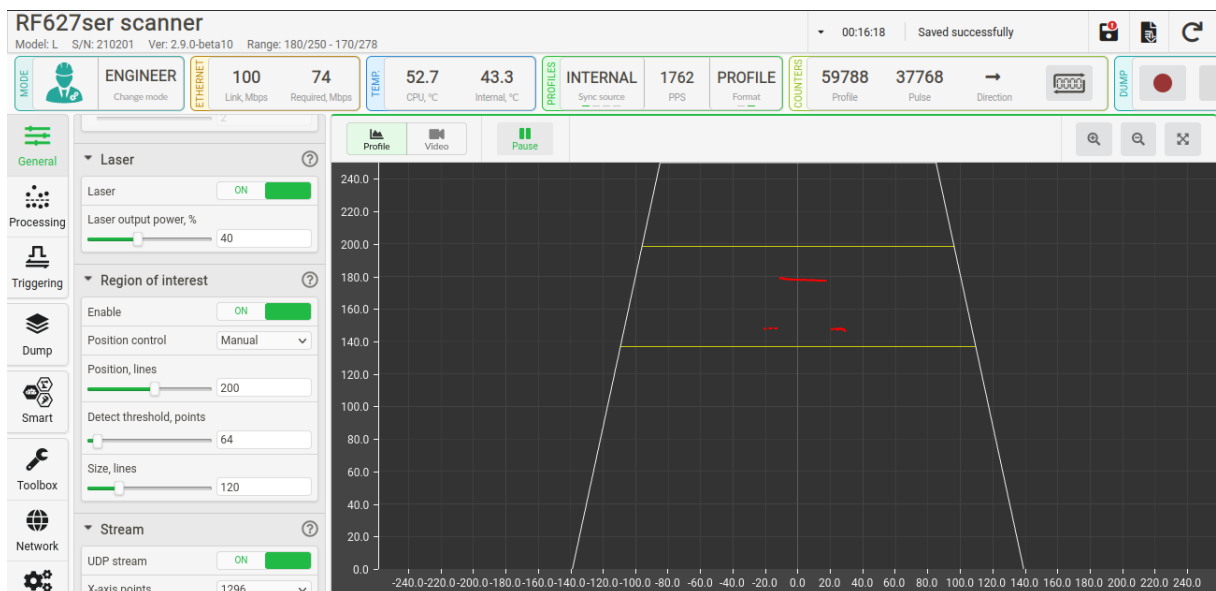
Nessa aba, o número de frames por segundo foi ajustado para o valor máximo, ou seja, 490 frames por segundo, que permite uma acurácia maior nos cálculos posteriores. O Laser foi colocado na posição "ON" para efetuar as leituras e a potência ajustada para 50%.

Figura 21 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series*: Configuração do *ROI* - parte 1



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 22 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series*: Configuração do *ROI* - parte 2



Fonte: Produção do próprio autor

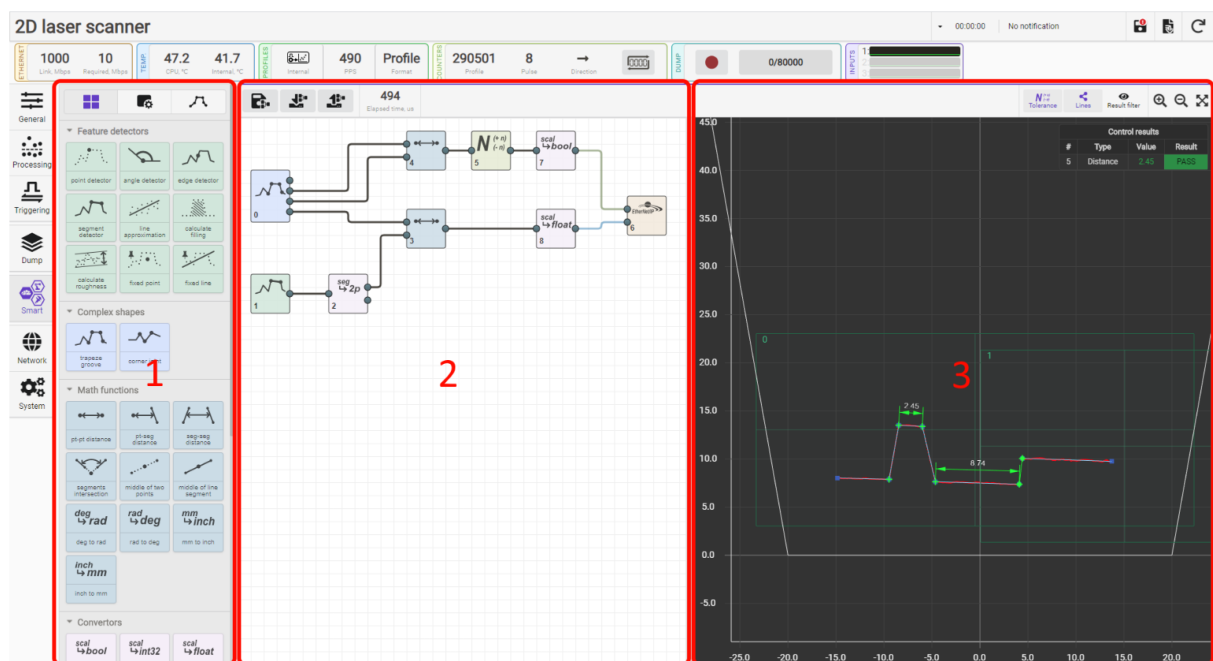
Outro aspecto para se notar é a possibilidade de configurar o *ROI* ou "região de interesse", conforme Figura 21, na qual se escolhe apenas parte de toda a região de leitura disponibilizada pelo sensor. Os traços vermelhos representam as superfícies capturadas pelo sensor naquele determinado momento. A Figura 22, apresenta a região de interesse

configurada para o projeto, onde deve-se notar a presença das linhas amarelas posicionadas para delimitar o *ROI*.

A versão *Smart* do scanner difere-se da versão clássica por realizar a medição de parâmetros geométricos do perfil do objeto em tempo real diretamente no scanner sem que seja necessária conexão de computador para realizar o processamento. Análises, cálculos, medidas, controle de tolerância e outras funcionalidades podem ser realizadas de acordo com algoritmo criado pelo usuário na interface web.

Para construir um algoritmo é fornecida uma ferramenta simples e intuitiva - um diagrama. O diagrama é formado a partir de uma biblioteca de blocos disponíveis na interface. Várias combinações de blocos e conexões entre eles permitem ao usuário criar um número quase ilimitado de funções de medição, bem como processar perfis de qualquer complexidade. Os resultados da medição podem ser transmitidos através de vários protocolos, bem como para as saídas lógicas do scanner para controlar os atuadores e notificar sobre a adequação do produto (RIFTEK, 2022).

Figura 23 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series: Smart Tab*



Fonte: Riftek (2022)

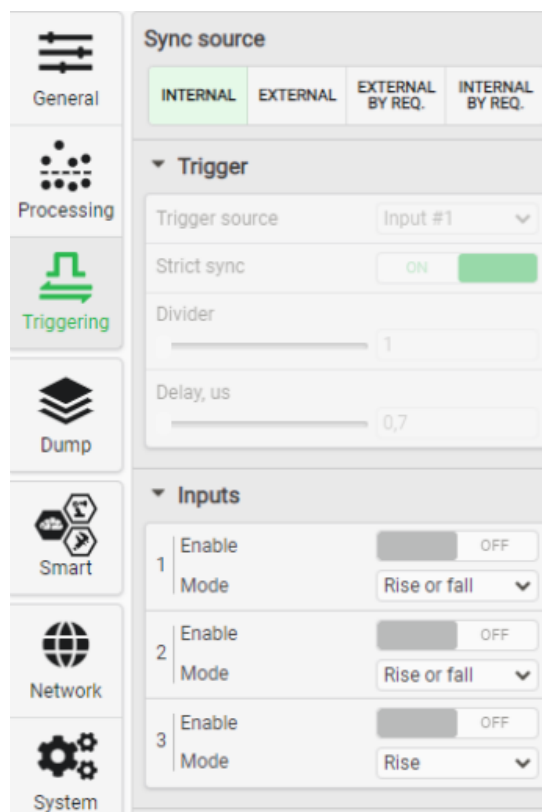
Conforme Figura 23, para realizar a construção de um diagrama deve-se acessar a aba *Smart*, que é dividida em três áreas:

1. Área de blocos e parâmetros;

2. Área de criação do diagrama;
3. Área de exibição de resultados de medição.

O diagrama é criado na área 2 arrastando-se os blocos presentes na biblioteca da área 1 e o efeito da aplicação de um determinado bloco pode ser visualizado em tempo real na área 3. Os blocos possuem funções de cálculo de distância de uma reta ou mesmo da área delimitada por retas, identificação das coordenadas de um ponto extremo, além de muitas outras mais complexas. Além disso, existem blocos que concatenam os valores calculados e enviam utilizando protocolo de comunicação selecionado.

Figura 24 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series*: Aba *Triggering*



Fonte: Riftek (2022)

Além de desenvolver um diagrama para cálculo das variáveis necessárias, também é necessário realizar a conexão do sensor de velocidade. A aba "*Triggering*" destina-se a configurar os modos de sincronização do sensor. A origem dos eventos de sincronização é selecionada pelo seletor de fonte de sincronização (*Sync Source*). O evento de sincronização indica a ocorrência de uma condição (sinais internos ou externos nas entradas, ou combinações dos mesmos) sob a qual o scanner inicia o próximo ciclo de exposição, cálculo, transferência de dados.

Conforme Figura 24, existem 4 modos de sincronização, porém os mais usuais são a sincronização interna, que utiliza um sinal gerado internamente pelo sensor para ativar as leituras e a sincronização externa que utiliza um sinal externo, conectado em uma entrada física do sensor para ativar cada ciclo de leitura. Aqui fica evidente que o sensor de velocidade é utilizado como sinal externo para disparar as leituras do sensor a laser, que só começará a um novo ciclo de leitura quando o sensor de velocidade estiver emitindo pulsos, o que ocorre somente quando a correia está operando.

Figura 25 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series*: Aba *Network*

The screenshot displays the web interface for the RF627Smart Series sensor, specifically the 'Network' configuration tab. On the left, a sidebar contains icons for General, Processing, Triggering, Dump, Smart, Network (selected), and System. The main content area is divided into two sections: 'Current Network settings' and 'Current IP settings'. The 'Current Network settings' section includes a 'Speed (Mbps)' dropdown set to '100' and an 'Autonegotiation' toggle switch set to 'OFF'. The 'Current IP settings' section contains input fields for 'IP address' (192.168.1.30), 'Gateway' (192.168.1.1), 'Subnet mask' (255.255.255.0), 'Host IP address' (192.168.1.2), 'Service port' (50011), and 'Destination port' (50001). An 'Apply' button is located at the bottom right of the IP settings section.

Current Network settings	
Speed (Mbps)	100
Autonegotiation	OFF

Current IP settings	
IP address	192.168.1.30
Gateway	192.168.1.1
Subnet mask	255.255.255.0
Host IP address	192.168.1.2
Service port	50011
Destination port	50001

Fonte: Riftek (2022)

Conforme discutido no início desta seção, os dados serão enviados via protocolo IP e para alterar as configurações de rede deve-se alterar os parâmetros da aba *Network*. A Figura 25 exhibe a configuração padrão de rede, que foi mantida no desenvolvimento do projeto. Para configurar o envio das variáveis calculadas é necessário realizar a inserção de um bloco de rede ao diagrama criado. Por simplicidade o projeto foi executado utilizando um bloco com transmissão UDP/IP, que recebe como entrada a saída dos blocos utilizados para cálculo e envia uma sequência de 32 bytes por vez para o endereço IP e porta configurados na aba *Network*.

As variáveis podem possuir 1, 2, 4 ou 8 bytes de tamanho e podem ser dispostas em

Figura 26 – Interface Web do sensor *RF627Smart Series*: Organização do pacote de transmissão

Attribute name	Size	Offset
sb_udp_0, out	1	0
sb_udp_0, out	4	1
sb_udp_0, out	4	5

0	1	2	3	4	5	6	7
8	9	A	B	C	D	E	F
10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F

Fonte: Riftek (2022)

qualquer posição dentro do pacote desde que não exista sobreposição de espaço. A Figura 26 exibe um exemplo de organização dos bytes no pacote de transmissão. Note que a variável representada pela cor verde possui 1 byte de tamanho e seu *offset*, ou seja, seu endereço inicial, é a posição 0 do pacote, enquanto a variável na cor azul possui 4 bytes de tamanho e *offset* no endereço 5, ocupando assim os endereços 5, 6, 7 e 8.

O diagrama desenvolvido neste projeto objetivou capturar as coordenadas dos pontos na extrema esquerda e na extrema direita, que vão definir se a correia está corretamente alinhada, além de calcular a área do perfil capturado a cada leitura uma vez que é necessário realizar o cálculo do volume transportado. Dessa forma, o bloco de rede do diagrama foi organizado para enviar um pacote com os seguintes dados:

1. Posição da correia na extrema esquerda - variável com 8 bytes do tipo Float;
2. Posição da correia na extrema direita - variável com 8 bytes do tipo Float;
3. Área do perfil presente na correia no momento da leitura - variável com 8 bytes do tipo Float;
4. Quantidade acumulada de pulsos emitidos pelo sensor de velocidade - variável com 4 bytes do tipo Int.

O fato de se tratar de um projeto de pesquisa que tem por objetivo a implantação de uma nova tecnologia na indústria por parte da empresa solicitante não permite que seja divulgado o diagrama utilizado na implementação do projeto.