

## DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA O MONITORAMENTO DE NÍVEL EM SILOS

**Gustavo Pedro de Freitas Neto<sup>1</sup>**

**Fernando Guessi Plácido<sup>2</sup>**

**Resumo:** O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um equipamento capaz de suprir a necessidade de monitoramento em tempo real dos níveis de materiais dentro de silos armazenadores, seja na área da cerâmica, agronegócio e outros. Baseado no conceito de indústria 4.0, no qual releva a informação e a acessibilidade como elemento principal de um negócio desenvolvido, o projeto busca através da medição de distância com um sensor de tecnologia a *laser*, enviar dados de controle para um servidor *WEB* por meio de comunicação GPRS e/ou *Wi-Fi*, além de permitir que o cliente utilize outras formas de comunicações, como leitura de um sinal analógico, Modbus-RTU e rádio frequência, garantindo ao usuário visualização das leituras do equipamento. Busca-se realizar a implementação de um protótipo com bom custo benefício que supra a necessidade de monitoramento de nível, para que o cliente tenha conhecimento real de seu patrimônio.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, medição de nível, supervisor, silos.

### 1. INTRODUÇÃO

A chamada quarta revolução industrial acendeu rapidamente e é motivo de mudanças no dia a dia de diversas áreas. Ela não é apenas sobre indústria, e sim sobre uma transformação generalizada utilizando integrações digitais e engenharia da inteligência, com soluções que envolvam robótica, mecânica, sistemas de computador, eletrônica, estatística e automação. (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2018).

O desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT) e o incremento de funções referente a *Big data* podem ser definidos por uma variedade de dados examinados e novas informações lidas por um sistema, no qual fez com que todas as áreas relacionadas a serviços tecnológicos fossem afetadas, cita-se por exemplo, sistema de monitoramento, energias renováveis, cidades e casas inteligentes, carros autônomos, logísticas, agronegócio, etc. (NASARUDDIN et al., 2017).

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecatrônica. E-mail: gepedro12@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Fernando Guessi Plácido. E-mail: fernandogplacido@hotmail.com

Um novo desafio dessa era de aplicações tecnológicas é garantir uma gestão da cadeia de suprimentos do negócio, seja na compra com fornecedores ou venda para cliente. Os fatores que influenciam essa gestão são: *performance*, tecnologia, política ambiental, custo-benefício e competitividade, estratégia, informação em tempo real, relacionamentos, aprovisionamento e taxa mínima de erros (E.; K., 2018).

Neste trabalho busca-se justamente enfrentar o desafio descrito, com o desenvolvimento de um produto aplicado a medição de nível de produtos sólidos e líquidos, por meio de um sensor de distância a *laser* que incluirá o monitoramento *online*, bem como o levantamento de dados aplicados a um sistema que pode prever e informar as necessidades de matéria prima ou produto acabado sem imprevistos para o cliente. Assim, o desenvolvimento deste trabalho apresenta-se inserido dentro do âmbito tecnológico da indústria 4.0, no qual auxilia diretamente na gestão de processos que dependam de determinada matéria prima.

Este trabalho foi baseado em problemáticas que serão abordadas durante o desenvolvimento do artigo, e o objetivo é solucioná-las com o produto proposto. Inicialmente verificou-se a necessidade de uma indústria de revestimentos cerâmicos da região em determinar o nível de estoque da massa utilizada na fabricação de pisos, pois, até então, necessitava-se da constante movimentação de um funcionário para acompanhar, de maneira visual, a quantidade de massa restante no silo.

Também na área de pós colheita de grãos, no qual é um setor que movimenta muito dinheiro e está em constante crescimento, a quantidade de armazenamento no primeiro semestre de 2019 foi de 175,5 milhões de toneladas de grãos com 7977 estabelecimentos ativos (IBGE, 2019). O que está estocado dentro de um silo é o maior patrimônio de um produtor, e por isso, sua análise e monitoramento deve ser feito com cuidado e atenção (VOGT; GERDING, 2017).

A proposta aborda a necessidade de diferentes áreas de atuação da região sul de Santa Catarina, empregando um equipamento através do desenvolvimento de algo novo, com custo-benefício e competitividade, que busca garantir o acesso à informação e contribui com o incentivo da utilização de novas tecnologias voltadas as indústrias cerâmicas e graneleiras. Além disso, este trabalho proporcionará divulgação do curso de Engenharia Mecatrônica com atuação voltada ao empreendedorismo e aplicação em um cenário de real necessidade.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado uma pesquisa bibliográfica do tema a ser estudado, baseada em periódicos nacionais e internacionais, pretende-se abordar as principais tecnologias existentes no mercado para medição de nível, e comentar as vantagens e desvantagens do equipamento desenvolvido. Será apresentado algumas características da chamada quarta revolução industrial relacionadas ao desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1. ANÁLISE DE MERCADO

O tema deste trabalho foi escolhido inicialmente pela demanda fornecida pela empresa de revestimentos cerâmicos CEUSA, localizada na cidade de Urussanga – SC, onde a mesma possui a necessidade de monitorar nível de massa cerâmica estocada em silos. A aplicação foi proposta ao Me. Engenheiro Fernando Guessi Plácido, orientador deste trabalho e sócio da empresa EAP Engenharia Automação de Processos.

Na cerâmica uma das etapas fundamentais do processo produtivo está relacionada a preparação e armazenamento da massa no qual será utilizada para fabricação do produto. É essencial que se mantenha atualizado o nível da quantidade de massa disponível. Todos os dias um funcionário desloca-se para checar esse nível de maneira visual no topo do silo, acarretando em incertezas e tempo de serviço destinado para tal função.

Existem algumas etapas no desenvolvimento de um piso cerâmico que dependem da quantidade de massa armazenada. Quando a matéria prima em forma de terra (argila, areia, calcário) chega à indústria ela é despejada em alguns boxes, que de acordo com uma determinada formulação para fabricação de um produto, essas matérias primas são selecionadas e misturadas com água. Com uma mistura adequada a solução passa por um atomizador, que separa a parte líquida da sólida e direciona o pó formado para os silos. Por essa razão o estoque controlado dessa massa formada garante o controle de demanda das etapas anteriores, e a capacidade de produção do piso final (ABCERAM, 2019).

Bem como na cerâmica, produtores e cerealistas de grãos que armazenam seus produtos dentro de silos metálicos também necessitam ter conhecimento da quantidade de produto estocada. Apesar dessa armazenagem se decorrer ao longo do ano, um dos principais motivos para se medir o nível de alimentos de dentro dos silos é saber qual o volume que está sendo processado lá dentro, evitando alarmes, transbordamentos e paradas de planta desnecessárias.

Além dessa armazenagem ao longo do ano, quando o grão é recebido na safra ele passa por um silo menor, denominado silo pulmão, responsável por armazenar o grão temporariamente, até que seja direcionado para uma próxima etapa, como pré-limpeza, secagem ou armazenamento final. Esse silo sofre constantes mudanças de nível e com um monitoramento via software seria possível verificar o quanto exatamente está sendo transferido entre os processos, auxiliando no levantamento de dados para uma melhoria no controle e logística do grão.

Tendo em vista a análise de mercado efetuada na região e com conhecimento das necessidades dos clientes, elaborou-se uma representação do funcionamento do sistema no qual pode ser observado na figura 1. Com base na medição da distância dos materiais de dentro do silo, sólidos ou líquidos, com a utilização de um sensor de tecnologia do tipo *laser*, essas informações serão enviadas para uma aplicação *online* por meio de um módulo eletrônico de comunicação GPRS (Rede telefônica – 2G) e com isso poderão ser acessadas por meio de qualquer plataforma através de um navegador de internet.

Figura 1: Exemplificação do sistema proposto.



Fonte: do autor (2019).

No sistema a comunicação entre o equipamento e o servidor de supervisão não precisará ser necessariamente via GPRS, uma vez que a placa eletrônica terá compatibilidade com outros protocolos industriais no formato de rede, como a interface serial RS-485, que suporta o protocolo Modbus-RTU, acesso via rádio frequência através de módulos de comunicação e ainda, *Wi-Fi* se acessível na fábrica.

## 2.2. INDÚSTRIA 4.0

De acordo com Nasaruddin et al. (2017) estatísticas mostram que o número de sensores utilizados para aquisição de informações sofrerá um acréscimo de 1 trilhão até 2030. Por isso é importante o estudo e a capacidade de oferecer soluções por parte dos desenvolvedores, que devem garantir uma comunicação efetiva entre as aplicações, por meio de soluções como *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee*, GPRS e outros.

A partir dessa concepção de sistemas interligados, um novo nível de automação se tornou possível, com sistemas projetados para ler todos os tipos de dados relacionados à uma indústria. No artigo estuda-se sobre um modelo de alocação em nuvem dos dados que integra diferentes elementos e sistema, armazenando e consolidando a informação (PETRASCH; HENTSCHE, 2016).

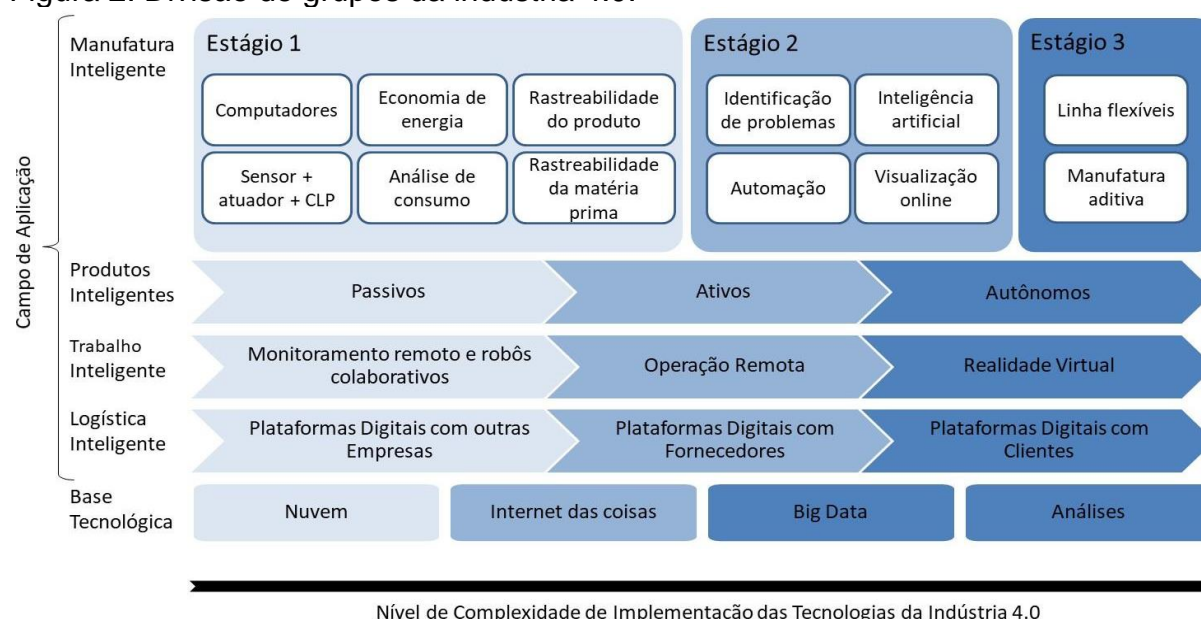
Com o crescimento exponencial da coleta de informações em campo, todos os dias surgem novas ferramentas para melhorar e facilitar o tratamento de dados. Instalar e utilizar uma plataforma de *Big Data* pode ser difícil e requer expertise na área de ciências da computação, por isso, há uma grande tendência da comunidade científica em produzir bibliotecas pré-configuradas e serviços prontos para garantir que o usuário desenvolva apenas a solução final (GÖKALP et al., 2016).

Para representar a importância do tema indústria 4.0 na atualidade, o autor Muhuri (2017) relata através de uma visualização das palavras chaves popularmente utilizadas pelos autores do Scopus, sendo este maior banco de dados de resumos e citações da literatura com revisão por pares, que atualmente o tema Indústria 4.0 é o assunto mais comentado e referenciado entre os autores de publicação de periódicos.

No artigo elaborado por Frank, Dalenogare e Ayala (2018), os autores expõem uma ideia interessante de definição da estrutura de indústria 4.0, propondo uma linha de trabalho conceitual onde divide a indústria em dois grandes grupos de tecnologias, as de base e as de âmbito comercial.

Ainda relacionado ao artigo mencionado, o grupo de base compõe as tecnologias que dão suporte e possibilidade as integrações e sistemas existentes relacionadas a indústria 4.0, que são os serviços de Nuvem, a Internet das Coisas (IoT), o *Big Data* e a análise do sistema. O segundo grupo são as definições que impactam diretamente o produto ou o processo e tudo/todos que ele afeta, entre eles, a manufatura, o produto, a logística e o trabalho inteligente. Na figura 2 é demonstrado essa divisão de grupos bem como as subcategorias que abrangem.

Figura 2: Divisão de grupos da indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019).

O produto proposto neste trabalho se encaixa em alguns subgrupos, pois pode ser considerado uma aplicação em *Big Data*, contemplando as tecnologias de base Nuvem e Internet das Coisas. A leitura dos sensores de nível de produto armazenado possibilitará o monitoramento da demanda de matéria-prima e o comissionamento *online*, por isso torna-se um produto inteligente facilitando o trabalho do funcionário que anteriormente acompanhava visualmente o armazenamento.

### 2.3. COMUNICAÇÕES INDUSTRIAIS

Dentro dos processos industriais, os sistemas tradicionais de supervisão utilizam redes físicas para transmitir dados, porém conexões cabeadas requerem maior custo de instalação com mão de obra e material, além disso, é necessário



elaborar um projeto mais específico para a passagem de fios, no qual estão sujeitos a interferências e problemas, prejudicando o funcionamento do sistema com o decorrer do tempo. Por isso, cada vez mais busca-se utilizar redes de transmissão sem fio, como ZigBee e GPRS (LIU; JIANG, 2018).

Como o objetivo desse trabalho é utilizar concepções modernas que fazem parte do cenário de indústria 4.0, a comunicação da placa desenvolvida além dos meios de comunicação já conhecidos, também será conectada a uma rede pública pré-existente de telefone, com o objetivo de reduzir os custos de instalações. Beconâ et al. (2017) relatou os experimentos realizados e compara o processo de transmissão de um pacote de dados utilizando as tecnologias GPRS e 3G, e concluiu que para diferente redes de operações a tecnologia GPRS se apresentou mais eficiente para transmissões de baixas taxas de dados, no entanto, dispositivos 3G devem ser usados quando a taxa de transmissão de outras fontes como GSM não for suficiente.

Em sites de periódicos internacionais é possível encontrar diversas aplicações em que a comunicação com dispositivos GPRS teve comportamento positivo na obtenção dos resultados esperados. Em um periódico lido o autor elaborou um sistema de medição de temperatura de amplificadores de rádio frequência através da utilização de uma rede *OneWire* de sensores de temperatura digital 18B20 da MAXIM-DALLAS. Os dados obtidos foram transmitidos para um servidor por meio do modem GPRS SIM900D (WOJTKOWSKI; ZANKIEWICZ, 2018).

Um exemplo de aplicação GSM e GPRS encontrado é utilizar a tecnologia para informar acidentes de trânsito com motocicletas a partir de irregularidades encontradas (AHUJA; BHAVSAR, 2018). Outra possibilidade lida em artigos é a aplicação de um sistema que utiliza um microcontrolador Arduino para transmitir informações de posicionamento providas de um módulo GPS para uma aplicação mobile via GPRS (AGRAWAL; QADEER, 2018).

#### 2.4. SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE NÍVEL

Atualmente existem algumas tecnologias para determinar o nível de um silo, entre as soluções, pode-se encontrar sensores de ponto fixo alocados na lateral dos silos e sensores de distância (VOGT; GERDING, 2017).

O sensor do tipo rotonível é alocado na parede do silo, tendo seu funcionamento baseado no movimento constante de um motor, que será travado com a presença de grãos. Os dispositivos de palhetas vibratórias funcionam baseado no fato de que dois elementos vibram na mesma frequência quando vazio, já no contato com o fluido, há diferenças na frequência e amplitude de vibração.

Sensores de distância do tipo ioiô contam com um peso que desce do topo do silo até ter contato com a superfície do sólido para medir a distância. Já a determinação de nível com o uso de células de carga funciona a partir da elevação do silo para medir a diferença de peso exercido nas suas vigas estruturais.

Com tecnologias mais atuais, existem sensores ultrassônico, *laser* e radar. Durante as pesquisas de mercado realizadas foi possível levantar diferentes orçamentos comparando os preços das tecnologias existentes, bem como analisar as especificações técnicas de cada produto.

Tabela 1 – Comparação entre diferentes tecnologias de medição de nível.

Orçamentos	Proposta A	Proposta B	Proposta C	Proposta D	Projeto TCC
Tecnologia	Haste rotativa	Sensor ultrassônico	<i>Laser</i>	24-26 GHz Radar	<i>Laser</i>
Instalação	Lateral	Topo	Topo	Topo	Topo
Distância	Pontual	0.45 – 15m	0.1 – 30m	0 – 80m	0.1 - 100m
Precisão	-	0.25%	3mm	3mm	1mm
Material	Sólidos	Líquidos	Sólidos/líquidos	Sólidos/líquidos	Sólidos/líquidos
Saída	Contato seco	<i>Display</i> Rele 4-20mA	Serial RS232 4-20mA	Serial 4-20mA	Analógica Modbus-RTU GPRS RF e <i>Wi-Fi</i>
Valor (un.)	<b>R\$ 400,00</b>	<b>R\$ 8.503,74</b>	<b>R\$ 14.020,00</b>	<b>R\$ 25.979,35</b>	-----

Fonte: do autor (2019).

Na tabela 1 separou-se algumas propostas comerciais, com características distintas, levantadas a partir do contato com fabricantes e fornecedores dessas tecnologias. De forma comparativa, na última coluna apresenta-se o funcionamento a ser desenvolvido neste trabalho, onde pretende-se desenvolver um equipamento mais competitivo que os demais. As considerações completas sobre os custos de hardware, software, instalação e recursos humanos serão abordadas nos resultados.



Com o intuito de conceder para o cliente exatidão na quantidade de material estocado, descarta-se inicialmente a possibilidade de utilizar sensores de ponto fixo, pois este tipo de equipamento não considera o espaço entre eles e não serão precisos em silos de diâmetro extenso. Também foi decidido não utilizar qualquer tipo de medição que envolvesse dispositivos mecânicos, pois isso reduz a vida útil do sistema e gera maior custo de manutenção.

As tecnologias recentes para esse tipo de trabalho são baseadas em sensores a *laser*, radar de frequência e analisador 3D. Este último garante a maior precisão existente no mercado, pois considera o formato 3D da superfície do sólido trazendo múltiplos pontos de medição em um único sensor, porém sua aplicação no mercado se torna difícil devido ao seu alto custo (VOGT; GERDING, 2017).

Sistemas de medição de nível com tecnologia radar pode ser utilizados tanto para líquidos quanto para sólidos, e estão disponíveis no mercado versões com frequência dedicada a 6 GHz, 10 GHz, 24 GHz e 80 GHz. Um grande problema de aplicações com sólidos ocorre devido ao fato de que a superfície é irregular, assim as ondas de rádio são refletidas de maneira desigual, dispersando a resposta e diminuindo a acuracidade da medição (KROHNE, 2018).

#### **2.4.1. Sensor *Laser***

Um sensor a *laser* mede a distância do ponto de origem até um objeto alvo por meio da emissão de um pulso de luz, no qual será refletido para o dispositivo de medição. O tempo de “voo” da luz é medido, e como ela tem velocidade constante dentro da superfície da terra, faz com que a distância possa ser medida indiretamente com grande precisão por meio da equação (1). Os sensores a *laser* são utilizados pela grande confiabilidade que passam, já que podem percorrer distância gigantes com praticamente nenhuma perda ou interferência (SEUBERT, 2017).

$$D = C.T/2 \quad (1)$$

Onde:

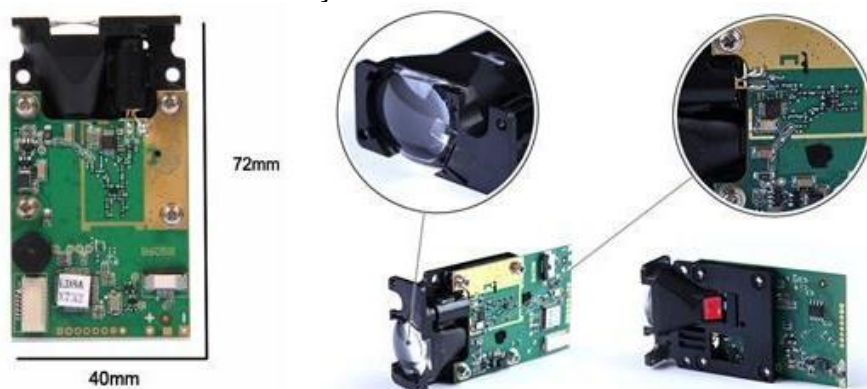
D [m]: Distância até o ponto medido

C [m/s]: Constante da velocidade da luz - 299 792 458 m/s.

T [s]: Tempo entre a emissão do feixe de luz e recebimento do mesmo.

O sensor de distância utilizado no trabalho foi o JRT B605B (figura 3) e conta com as seguintes características: distância de medição de até 100 m, tempo de resposta entre 0,125 e 4 segundos, comunicação serial (TTL/CMOS), alimentação de 3.3V, precisão de +/- 1mm, peso de 25g e tamanho de 72x18x40mm. Com esse sensor busca-se precisão, desempenho e estabilidade.

Figura 3 – Sensor de medição *laser* B605B.



Fonte: JRT Meter Technology (2019).

Com o objetivo de futuramente incrementar as funcionalidades do sistema desenvolvido, a placa foi preparada para controlar dois servos motores que terão a capacidade de rotacionar o equipamento, a fim de realizar um mapeamento de diversos pontos de um silo. O sensor funcionará com base em três eixos: o eixo vertical, o eixo horizontal e o eixo do *laser*. Com base na distância medida pelo sensor a *laser* e com o conhecimento dos ângulos de rotação dos eixos, é possível determinar as coordenadas do ponto medido, e assim determinar da melhor maneira o nível do silo. O autor Yang et al. (2018) conseguiu precisão de aproximadamente 3.5 mm utilizando um sensor a *laser* a 15 m de distância do alvo.

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de dividir as etapas de desenvolvimento desse trabalho, segue abaixo os tópicos das principais atividades executadas desde o projeto a concepção final de produto. Em cada etapa será discutido os principais assuntos relacionados à mesma bem como os resultados obtidos no processo.

### 3.1. ETAPA 1 – LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE

Visando estabelecer um cenário real de necessidade, a armazenagem de grãos e o estoque de massa cerâmica são interessantes pois surgiram a partir de conversas diretas com pessoas relacionadas a área de aplicação. Desse modo, as informações obtidas são de suma importância, pois norteiam a necessidade mercadológica para o produto desenvolvido nesse projeto.

O processo atual de medição de nível de massa dos silos na cerâmica é mostrado na figura 4, onde um funcionário precisa se deslocar todos os dias até parte superior do silo, subindo lances de escada até uma altura de aproximadamente 18 metros, para realizar o acompanhamento deste nível de maneira visual, com o auxílio de um cabo guia dotado com determinada metragem. Por isso as necessidades se resumem em:

- Eliminar a necessidade do acompanhamento do nível no local;
- Envio da informação para uma aplicação de maneira a torná-la mais acessível;
- Precisão de alguns centímetros;
- Medição da descarga da massa;
- Distância de 18 metros.

Figura 4: Sistema de medição de nível na cerâmica atual



Fonte: do autor (2019).

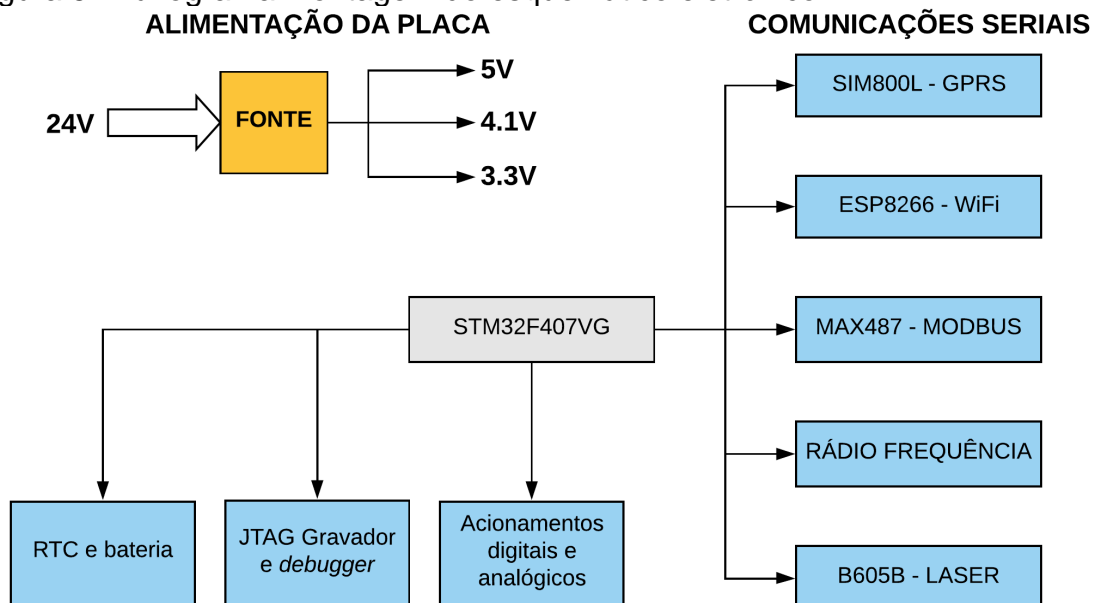
### 3.2. ETAPA 2 – ESQUEMÁTICO ELETRÔNICO E CANAIS DE COMUNICAÇÃO

Nessa etapa de desenvolvimento do esquemático eletrônico é essencial levantar todas as necessidades futuras da placa, para que ela possa ser preparada para executar tais funções e prevenir necessidades de mudanças futuras. Dessa forma, a escolha dos componentes e módulos adequados para o funcionamento do circuito é de extrema importância na elaboração do projeto.

O equipamento proposto será desenvolvido com a utilização de um microcontrolador ARM da família STM32, compatível com o que há de mais moderno e flexível para várias aplicações. Será utilizada uma fonte industrial externa de 24 Volts, e essa tensão será regulada para níveis inferiores de 5V, 4.1V e 3.3V de acordo com a necessidade dos componentes.

Para efetuar as comunicações propostas, alguns módulos e circuitos integrados foram adicionados na eletrônica, no fluxograma da figura 5 é possível analisar a construção lógica da placa. O *hardware* disponibilizará quatro modos diferentes de integração para informar o nível de material no silo, entre eles o conjunto de saídas digitais e analógicas, uma rede serial RS485 com suporte ao protocolo Modbus-RTU, um módulo de comunicação de rádio frequência, o ESP8266 para rede *Wi-Fi* e o módulo SIM800L para envio através de GPRS, ambos com envio da distância a um servidor *online* externo.

Figura 5: Fluxograma montagem do esquemático eletrônico



Fonte: do autor (2019).

### 3.2.1. Indicação através de saídas digitais e analógicas

Grande parte dos sensores industriais disponíveis no mercado possibilitam integração com diversos métodos de leitura. Os mais conhecidos são saída de corrente (4 a 20ma), de tensão (0-5V ou 0-10V), digital (contato seco, I2C, SPI), serial (HART, MODBUS). É muito importante oferecer um produto flexível.

Neste protótipo foi previsto a instalação de uma torre luminosa de três cores para indicação de diferentes situações de nível, e um contato NA que representará somente casos mais críticos de falta de material. Essas saídas foram levadas a borne e estão disponíveis para o usuário utilizar conforme sua aplicação. Também por meio da saída analógica disponível na placa, é possível acompanhar a quantidade de material de dentro do silo através de um faixa de tensão de 0 a 10V.

Com o objetivo de facilitar a calibração da distância máxima, ou seja, com o silo vazio, a placa conta com uma entrada digital que ao ser acionada pela própria tensão de alimentação calibra um valor de *offset*, e assim, as saídas representarão valores corretos numa escala de 0 a 100%. Também é permitido estabelecer um *offset* a partir do protocolo de comunicação entre transmissor e receptor de rádio frequência.

### 3.2.2. Rede serial de comunicação RS485 – Protocolo Modbus

Modbus é um protocolo industrial de comunicação utilizado em sistemas de automação, pode ser configurado em uma rede de aplicação física serial RS485 ou Ethernet e serve para interações entre clientes e servidores. O protocolo foi desenvolvido em 1979 e continua possibilitando a comunicação de milhões de dispositivos ao redor do mundo (MODBUS, 2019).

Nesse trabalho foi utilizado o circuito integrado MAX487 para compatibilidade com a rede RS485, a placa está preparada para responder os comandos 03 (*Read Holding Registers*) e 06 (*Write Holding Registers*), sem paridade, 1 stop bit, e *baudrate* configurável (MODBUS, 2019). Apesar de não ser uma tecnologia recente ainda é muito comum encontrar produtos industriais com suporte a esse tipo de rede, como inversores e CLPs. Esse equipamento foi configurado para ler os endereços do sistema de nível conforme endereços da tabela abaixo.

Tabela 2 – Endereços disponíveis. Funções 03 e 06 do protocolo Modbus.

Endereço	Tipo	Função	Valores
0x0000	Leitura	Distância	0 – 10000 cm
0x0001	Leitura	Nível	0 – 10000 cm
0x0002	Leitura/Escrita	<i>Offset</i>	0 – 10000 cm
0x0003	Leitura/Escrita	<i>BaudRate</i>	4800 – 115200 bits/s
0x0004	Leitura/Escrita	Endereço ID	1 - 254

Fonte: do autor (2019).

### 3.2.3. Rede de comunicação via rádio frequência

Outra frente bem interessante de trabalho é a comunicação por rádio frequência, pois ela permite a troca de informações entre equipamentos sem a passagem de cabos elétricos, o que facilita a montagem e distribuição dos dispositivos.

O módulo utilizado foi homologado pela ANATEL e opera na faixa de frequência de 433MHz, contando com as seguintes características: tensão de alimentação de 5V, distância de comunicação de até 3000 metros sem barreiras, múltiplos canais de envio e recepção de dados, potência de saída máxima de 20dBm, conexão com antenas do tipo SMA.

No sistema proposto de comunicação por meio de rádio frequência não foi utilizado um protocolo padrão, mas sim criado um cabeçalho e modelo de mensagem próprio para que não haja interferência se mais equipamentos estiverem ligados ao mesmo tempo. Por exemplo, na mensagem recebida cada caractere em negrito tem um significado:

“49 64 *D8 D2 01 DD MM AA HH mm 02 00 00 64 OH OL DH DL NH NL 00 01 5C*”

Onde: **DD** – Dia                      **HH** – Hora                      **OH e OL** – Valor de *offset*  
**MM** – Mês                            **mm** – Minuto                      **DH e DL** – Valor de distância  
**AA** – Ano                                **NH e NL** – Valor de nível

### 3.2.4. Envio das informações para um servidor *WEB*

Com toda conectividade promovida pelo uso de *smartphones* e computadores ligados a internet, o acesso à informação é rápido e fácil, e por isso



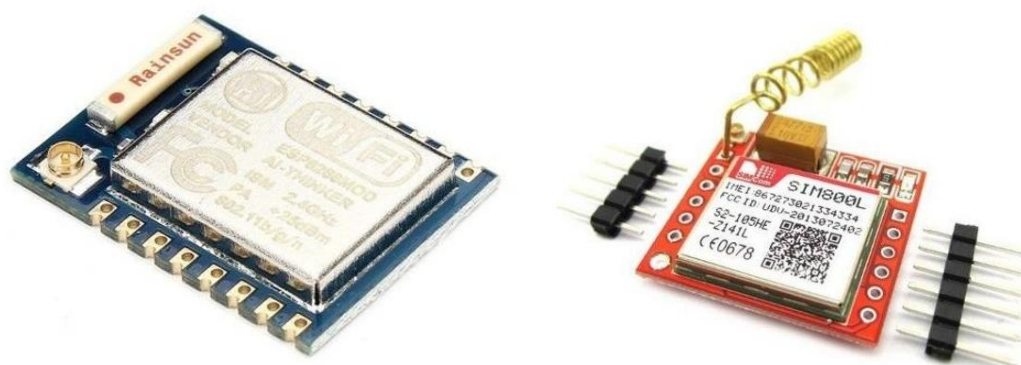
existe a necessidade que os equipamentos industriais sigam na mesma ordem de evolução tecnológica. Dentro de um processo a análise de variáveis facilita tomadas de decisões mais assertivas.

Com base nessa concepção de avanço tecnológico, a interação com o usuário que se destaca nesse trabalho, e que acompanha muito bem a linha de indústria 4.0 mencionada na revisão bibliográfica, é o envio do nível do silo para um servidor *online* que possa ser acessado a qualquer momento e de qualquer lugar do mundo, basta ter internet disponível.

Esse envio pode ser realizado de duas formas, a primeira delas através do módulo de comunicação *Wi-Fi* ESP8266, que utiliza uma rede de *Wi-Fi* existente para se conectar à internet, e tem como principal vantagem a estabilidade do sinal. O módulo (figura 6) opera em uma tensão de alimentação de 2.5 – 3.6V, consumo médio de 80mA, temperatura de operação entre -40°C e 125°C, interface de comunicação serial e protocolo 802.11 b/g/n.

A segunda forma de envio pode ser realizada através do módulo de comunicação com a rede telefônica SIM800L da SimCOM (figura 6), operando em uma faixa de tensão de 3.7V a 4.2V, com picos de corrente de até 2A, suporte para micro SIM, envio de comandos via serial e comunicação com a internet através de GPRS. Tem como principal vantagem funcionar em praticamente qualquer lugar sem a necessidade de instalações de internet existente.

Figura 6 – Módulo *WiFi* ESP8266 e módulo SIM800L



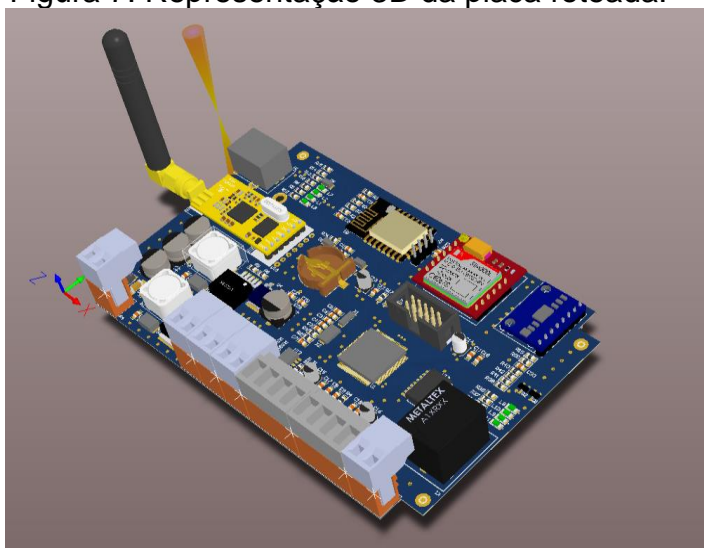
Fonte: Eletrogate (2019).

Qualquer um dos dois módulos consegue realizar o envio das medições para um servidor *online*, por meio do módulo de comunicação SIM800L, é possível ler e escrever informações (métodos HTTP GET e POST) através da rede de telefonia

### 3.3. ETAPA 3 – ROTEAMENTO DE PLACA

A placa (figura 7) foi desenvolvida no programa de roteamento Altium, disponibilizado para desenvolvimento deste projeto em uma versão comercial pela empresa EAP Engenharia. Buscou-se organizar os itens da melhor maneira possível, sempre garantindo o alinhamento dos componentes semelhantes e padronização das trilhas. Deixou-se todos os bornes acessíveis e manteve-se a placa preparada para receber os programas desenvolvidos. O tamanho da placa de 140x90mm foi feito para a caixa patola PB114.

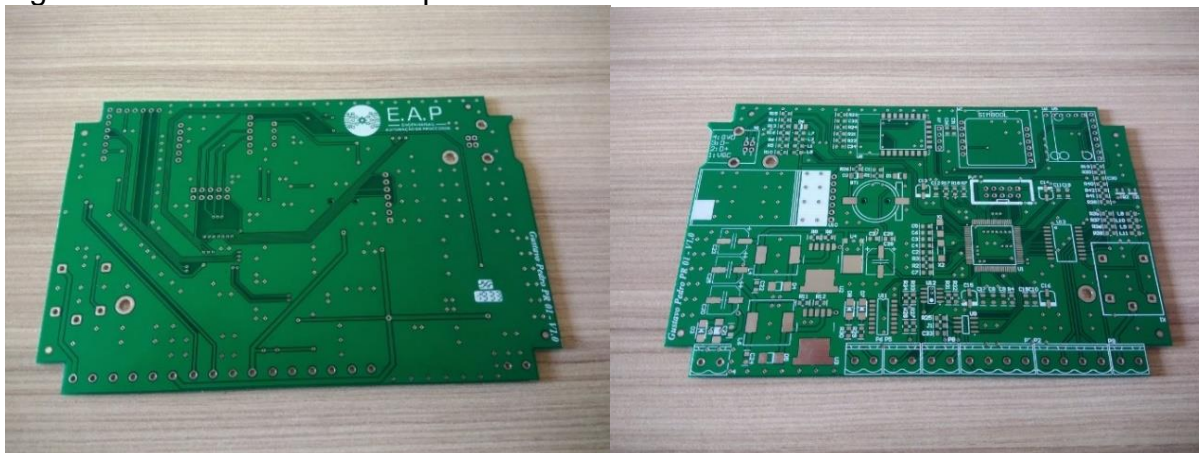
Figura 7: Representação 3D da placa roteada.



Fonte: do autor (2019).

Com o roteamento da placa finalizado pode-se dar continuidade ao processo de fabricação desse equipamento, assim, foi realizado orçamentos com diferentes empresas que executam a fabricação de placas de circuito impresso, pois com a miniaturização dos componentes (tecnologia SMD) e trilhas não é possível garantir qualidade no processo de fabricação manual da placa. Inicialmente o custo de produção por PCI (figura 8) foi de R\$ 46,46. Custo alto devido ao fato de a produção ainda ser em pequena escala.

Figura 8: Placa de Circuito impresso desenvolvida.



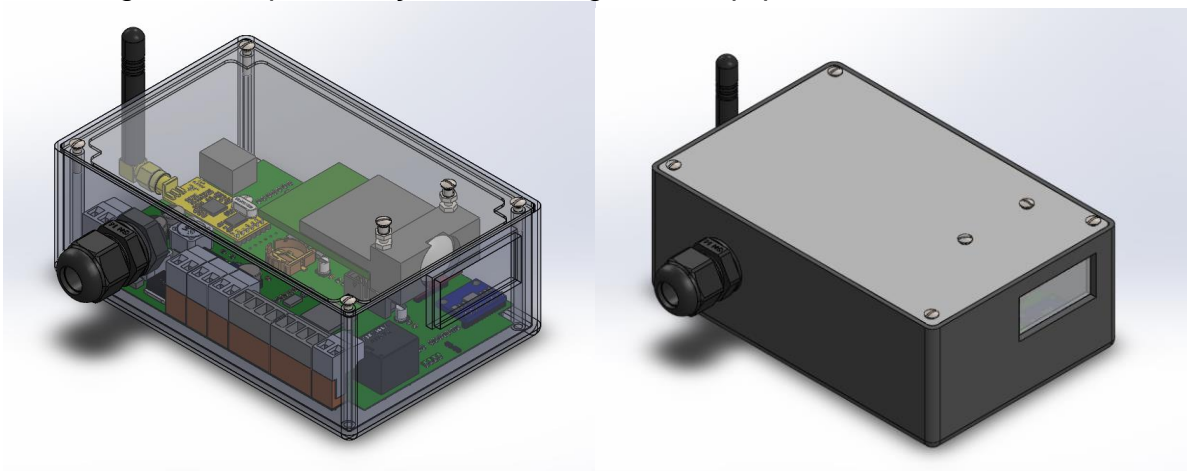
Fonte: do autor (2019).

### 3.4. ETAPA 4 – DESENVOLVIMENTO CAIXA: SOLIDWORKS E PRÁTICA

Com o objetivo de planejar a montagem do equipamento, a partir da placa desenvolvida no *software* de roteamento, elaborou-se uma representação em 3D com a utilização do *software* de modelagem SolidWorks, disponibilizado em uma versão educacional pela Faculdade SATC.

Além da representação da caixa plástica PB114 da marca patola, foi previsto nessa montagem uma furação para colocação do prensa cabos PG a fim de organizar as conexões, uma abertura para passagem do sensor a *laser*, montagem da antena do sensor de rádio frequência, e todos os pontos de fixação que serão necessários para prender a placa. Na figura 9 mostra-se a montagem da caixa.

Figura 9: Representação da montagem do equipamento desenvolvido.



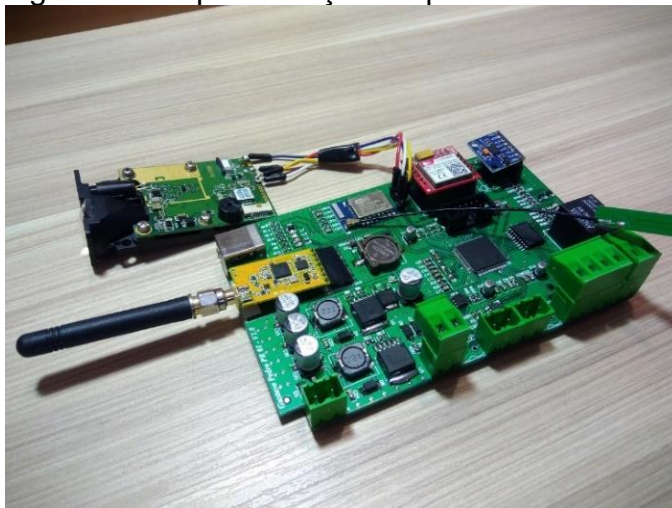
Fonte: do autor (2019).

### 3.5. ETAPA 5 – PROCESSO DE SOLDA E MONTAGEM

Sabe-se que a solda automatizada por meio de máquinas é mais precisa e agride menos os componentes por garantir um aquecimento uniforme de toda a área de placa. Porém, para isso seria necessário adquirir o serviço de uma empresa especializada em solda e montagem de equipamentos, além de comprar um *stencil*, que é um produto utilizado na aplicação da pasta de solda. Em levantamento de orçamentos, o custo de aquisição de um *stencil* para a placa proposta é de R\$ 965,00 e a montagem dos componentes automatizada irá custar aproximadamente R\$ 27,34 para produção em escala.

Apesar das inúmeras vantagens da solda automatizada e da garantia de qualidade ofertada pelas empresas especializadas, o desenvolvimento desse projeto se apresenta em forma de prototipagem, por isso o processo de solda realizado nos componentes foi manual, através da utilização de ferramentas específicas para o processo. Nesse caso deve-se tomar algumas medidas preventivas com o intuito de não danificar os componentes, como por exemplo, a utilização de pinça e luvas antiestética e o cuidado para não aquecer a placa em excesso. Na imagem abaixo é possível verificar os resultados do processo de solda (figura 10).

Figura 10: Representação da placa física soldada.



Fonte: do autor (2019).

Com a placa soldada pode-se avançar na montagem da caixa. Conforme a representação da figura 9 foram realizados os cortes e furações necessários para a fixação do hardware dentro da caixa. A altura do sensor é regulada por meio de porca



e contra porca a partir do parafuso fixado na tampa. Além disso, um adesivo foi elaborado a fim de identificar o protótipo como um desenvolvimento SATC. O resultado pode ser observado na figura 11.

Figura 11: Primeira versão do equipamento montada.



Fonte: do autor (2019).

Nessa etapa já se tem conhecimento de todos os componentes que foram utilizados para montagem do produto final, eletrônicos e mecânicos, além dos preços para terceirização de serviços como: fabricação da placa de circuito impresso e do adesivo. Também se fez o orçamento da montagem automatizada e do *stencil* se fossem aplicadas. Na tabela 3 listou-se resumidamente esses custos para um único equipamento, as despesas para venda e instalação e serviços afins, sem considerações relacionadas a imposto sobre o produto. O custo final pode ser comparado aos produtos comerciais listados no capítulo 2.4.

Tabela 3 – Detalhamento de preços do equipamento.

<b>Custos</b>	<b>Valores</b>
Componentes eletrônicos	R\$ 1257,98
Soldagem automatizada	R\$ 213,80
Caixa e componentes mecânicos	R\$ 250,00
Montagem do equipamento	R\$ 400,00
Teste	R\$ 300,00
Desenvolvimento do software	R\$ 1000,00
Instalação	R\$ 400,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 3821,78</b>

Fonte: do autor (2019).

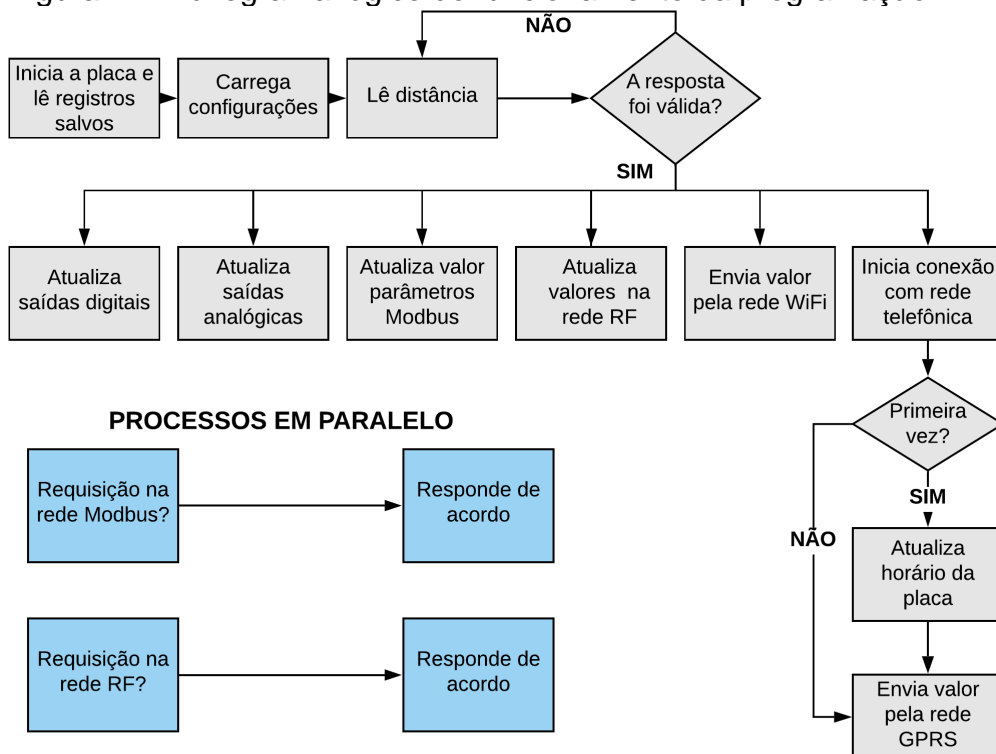
### 3.6. ETAPA 6 – PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ARM

O microcontrolador escolhido para utilização neste trabalho foi o ARM STM32F407VG, devido a sua capacidade de processamento, quantidade de entradas e saídas, conversores DAC e ADC, relógio interno, tolerância para trabalho com 5 Volts e seis portas de comunicação serial. Além de ser barato, era uma das opções que a empresa EAP já utiliza e disponibilizou para o uso.

A partir das recomendações da fabricante do ARM, foi utilizado o programa STM32CubeIDE para programação do microcontrolador, pois este é um *software* que integra uma inicialização gráfica que permite configurar de maneira visual todos os pinos, gerando sem erros o código em C para o programa. É uma plataforma avançada de desenvolvimento C/C++ baseado no *framework* do ECLIPSE™/CDT.

Na figura 12 abaixo está representado o fluxograma de funcionamento lógico do equipamento desenvolvido, onde todas as rotinas envolvendo leitura e envio de dados são tratadas. Basicamente o programa deixa disponível a distância, bem como outras configurações, a todas as comunicações da placa. O relógio interno do ARM é atualizado automaticamente quando em comunicação com a rede telefônica.

Figura 12: Fluxograma lógico do funcionamento da programação.



Fonte: do autor (2019).



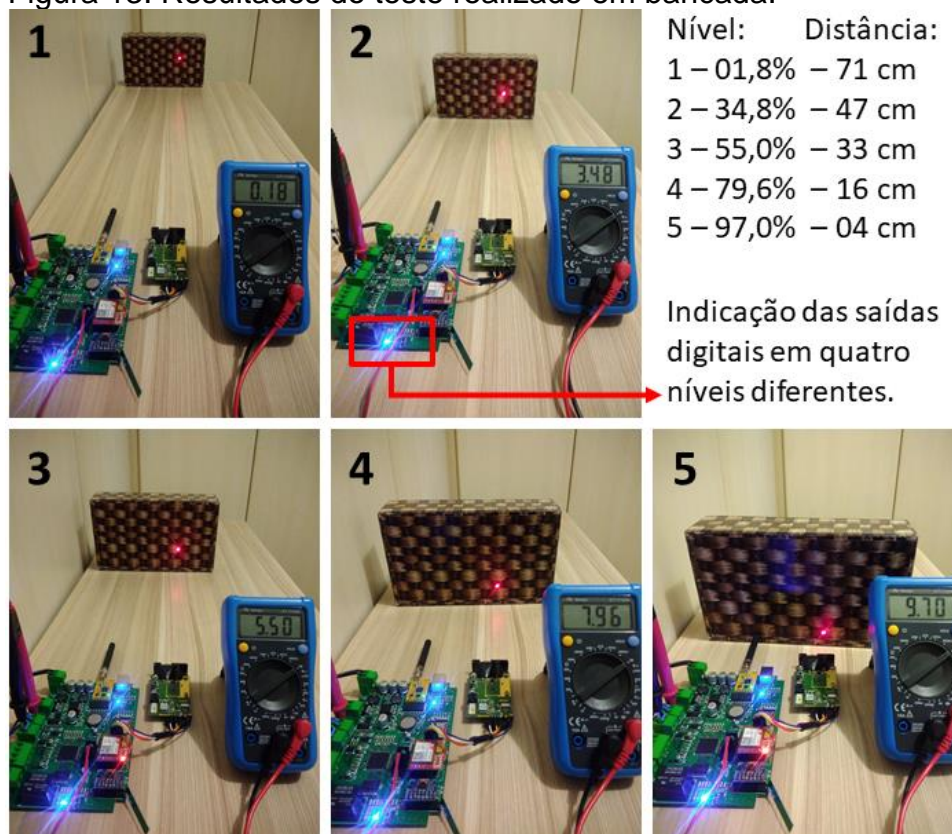
## 4. RESULTADOS

Com o intuito de validar a aplicação do produto, primeiramente todos os testes necessários foram feitos em bancada, garantindo que as funcionalidades oferecidas estejam prontas para quando aplicadas em campo. Segue nas descrições a seguir um breve resumo dos testes realizados.

### 4.1. SAÍDAS DIGITAIS E ANALÓGICAS

Para a comprovação do funcionamento das saídas digitais e analógicas, foi estabelecido uma distância máxima de trabalho de aproximadamente 710 mm, representando o fundo silo. O nível de material foi alterado através de uma caixa movimentada ao longo da bancada. Nas imagens abaixo pode-se verificar o acionamento dessas saídas em quatro estágios de distância lida, da situação mais crítica a situação mais favorável, bem como acompanhar exatamente o nível do silo por meio do multímetro colocado em escala de tensão na saída analógica da placa.

Figura 13: Resultados do teste realizado em bancada.



Fonte: do autor (2019).

## 4.2. COMUNICAÇÃO POR REDE MODBUS

Na tabela 4 é possível observar os resultados obtidos através da comunicação com o equipamento via protocolo Modbus. Os testes foram executados em bancada em paralelo com as aquisições registradas na figura 13 e representam também as mesmas cinco situações simuladas.

Tabela 4: Resultados obtidos através da comunicação via Modbus RTU.

Parâmetro	Descrição	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4	Situação 5
0x0000	Distância	71 cm	47 cm	33 cm	16 cm	4 cm
0x0001	Nível	0 cm	24 cm	38 cm	55 cm	67 cm
0x0002	Offset	71 cm	71 cm	71 cm	71 cm	71 cm
0x0003	BaudRate	19200 bps	19200 bps	19200 bps	19200 bps	19200 bps
0x0004	ID Slave	1	1	1	1	1

Fonte: do autor (2019).

## 4.3. COMUNICAÇÃO POR RÁDIO FREQUÊNCIA

O teste da comunicação através do módulo de rádio frequência foi feito em paralelo aos anteriores, e para obtenção de respostas do equipamento foi usado um conversor de rádio frequência para USB e um *software* gratuito que permanece “escutando” a porta serial. As mensagens são recebidas no formato hexadecimal, que podem ser facilmente interpretadas por qualquer *software*. Essas mensagens foram tratadas e seu conteúdo foi interpretado na tabela abaixo.

Tabela 5: Respostas obtidas após requisição via serial rádio frequência.

Descrição	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4	Situação 5
Data/Hora	22/09/19 22:07	22/09/19 22:09	22/09/19 22:16	22/09/19 22:23	22/09/19 22:32
Distância	71 cm	47 cm	33 cm	16 cm	4 cm
Nível	0 cm	24 cm	38 cm	55 cm	67 cm
Offset	71 cm	71 cm	71 cm	71 cm	71 cm

Fonte: do autor (2019).

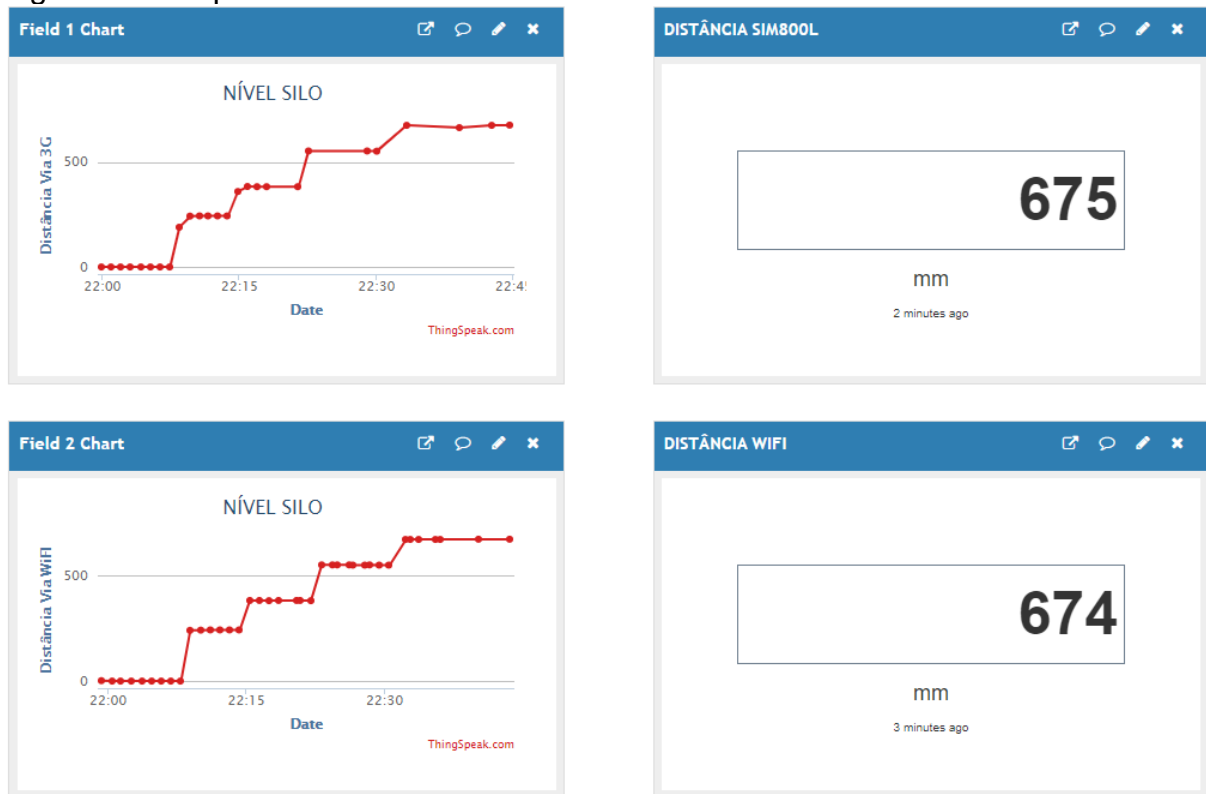
## 4.4. TRANSMISSÃO DE DADOS PARA O SERVIDOR ONLINE

O foco desse desenvolvimento está no produto físico, completo e dinâmico com suporte a integrações a diversos sistemas, por isso, com o intuito de facilitar a visualização dos dados *online*, foi utilizado uma aplicação *web* gratuita do servidor

ThingSpeak para receber a variável de distância. Na imagem 14 é possível analisar o gráfico formado durante os testes realizados, onde as distâncias apresentadas em milímetros são equivalentes as informações recebidas pelas outras portas de comunicações descritas anteriormente.

O gráfico superior representa o envio de dados através do módulo SIM800L e o gráfico inferior o envio com rede *Wi-Fi*. É possível notar uma nítida diferença onde o ESP8266 consegue garantir um certo grau de constância maior nos dados. Porém pelos dois métodos a confiabilidade está adequada, já que normalmente o nível de um silo altera-se lentamente.

Figura 14: Respostas enviadas ao servidor externo.



Fonte: do autor (2019).

#### 4.5. DESENVOLVIMENTO WEB

Após os testes comprobatórios do Thingspeak foi desenvolvido uma aplicação *web* hospedada no site Heroku, escolhido por ser um servidor que disponibiliza um serviço de hospedagem gratuita e ser uma plataforma em nuvem que roda como um serviço capaz de suportar diversas linguagens de programação. Em desenvolvimento desde 2007 suporta aplicações em Node.js, PHP, Python, Java, etc.

A linguagem utilizada para elaboração do site foi o JavaScript, no qual é uma programação de alto nível caracterizada por ser dinâmica e multiplataforma. A interpretação entre o cliente e o servidor e a renderização das páginas é feita com base na ferramenta *node/express*, que trabalha com as requisições realizadas a fim de gerar respostas visuais para o usuário.

As telas foram desenvolvidas em HTML com a utilização do *framework web* Bootstrap, que é um conjunto de código aberto que facilita o desenvolvimento de componentes para um site amigável e responsivo. Todos os dados recebidos devem ficar salvos para que possam ser acessados de qualquer local e a qualquer momento, para isso, como ferramenta integrada ao servidor que mantém o site *online*, utilizou-se o banco de dados PostgreSQL para a criação de uma tabela.

O site pode ser acessado inicialmente por uma *homepage* (figura 15) que traz como informações o nome do trabalho desenvolvido, as logos das empresas envolvidas e dois botões de acesso as próximas páginas.

Figura 15: HOME PAGE.



Fonte: do autor (2019).

Todos os valores lidos são registrados de hora em hora em uma tabela, e podem ser acessados por uma página onde os dados são organizados em ordem cronológica de acordo com o recebimento. As variáveis mais importantes estão colocadas na coluna distância e *offset*, onde o nível pode ser deduzido como resultante da subtração desses dados.

A página principal (figura 16) traz como informação o nível atual, e conta com apenas uma linha da tabela, sempre mostrando o último dado recebido. Pela

barra de progresso e com a porcentagem mostrada logo abaixo, rapidamente têm-se monitoramento da quantidade de material de dentro do silo.

Figura 16: *WEB PAGE* – Nível atual.



Fonte: do autor (2019).

#### 4.6. RESPOSTA EM SOLUÇÕES LÍQUIDAS

Normalmente esse sistema será aplicado em silos de armazenagem de materiais sólidos, porém para efeito de validação, também foram realizados testes para medição de nível de líquidos. Na figura 17 é possível observar os testes práticos que foram feitos em três momentos, com um balde vazio, cheio de água limpa e cheio de água com barro.

Figura 17: Teste prático quanto a medições de líquidos.



Fonte: do autor (2019).



As distâncias e nível foram analisados na aplicação *WEB* desenvolvida e verificou-se que, quando adicionado água o feixe luminoso atinge o fundo do balde com certa deformação, e ao contrário do que se esperava a distância lida aumentou ao invés de indicar corretamente o nível. Já quando adicionado o barro na água, a reflexão da luz ocorreu na superfície, garantindo que o nível real do líquido fosse lido. Os resultados podem ser vistos na tabela 6.

Tabela 6: Respostas obtidas no teste com líquidos.

Descrição	Balde vazio	Água translúcida	Água opaca
Distância (Medida)	1417 mm	1488 mm	1189 mm
Distância (Real)	1418 mm	1187 mm	1187 mm
Nível	0.91%	0 %	16.85%
Offset	1430 mm	1430 mm	1430 mm

Fonte: do autor (2019).

#### 4.7. INSTALAÇÃO NO SILO DE MASSA DE CERÂMICA

Conforme a proposta deste trabalho, o equipamento foi instalado em um dos silos de massa atomizada da empresa Cerâmica CEUSA. Conforme a figura 18 o equipamento ficou suspenso em uma base adaptada sobre um tubo que dá acesso ao silo, assim o *laser* pode ser direcionado para essa abertura.

Figura 18: Instalação do equipamento na empresa CEUSA.



Fonte: do autor (2019).

Um dos problemas que se verificou na instalação é que o equipamento não atendeu as expectativas durante o processo de carga devido ao excesso de poeira



densa suspensa no ar, fazendo com que o mesmo apresentasse marcações erradas no momento desse processo. Nessa aplicação, primeiramente os silos são carregados até que fiquem totalmente cheios, e somente após concluído essa etapa é que se torna necessário o acompanhamento do nível. A aplicação deverá ser revista e uma possibilidade será realizar a aquisição de um sinal externo que indique quando o silo está sendo carregado. Outra maneira é desenvolver um algoritmo que detecte variações inconsistentes.

## **5. CONCLUSÃO**

No desenvolvimento deste produto foram utilizadas diversas tecnologias atuais que foram indispensáveis para o funcionamento do projeto. Com isso ficou evidente que o microcontrolador ARM utilizado é extremamente eficaz e confiável, podendo executar diversas funções em paralelo, e por se tratar de um dispositivo embarcado pode garantir bons resultados mesmo se o projeto for expandido.

A partir dos resultados obtidos verificou-se que o cliente terá um leque variado de opções de comunicação com o equipamento, e que, independentemente do tipo de comunicação escolhido a resposta será adequada, pois o sensor de distância utilizado conta com uma resolução de um milímetro, entretanto, quando o trabalho for realizado com líquidos, é necessário ter em mente que a medição só poderá ser utilizada se o mesmo for opaco.

Em relação ao âmbito financeiro, demonstrou-se que o produto proposto tem um ótimo custo benefício quando comparado aos orçamentos das empresas que utilizam tecnologias semelhantes para o mesmo propósito, tendo o menor valor de mercado quando baseado nas possibilidades de integração que o mesmo pode proporcionar para o cliente final.

Essa versão de equipamento foi instalada em um ambiente interno pois a caixa não é completamente vedada contra os intemperes da natureza. Dentre as melhorias para os próximos trabalhos estão a elaboração de uma caixa oficial com IP65, proteção contra raios UV e uma customização sob medida com um adesivo de policarbonato para maior identidade visual.

Com o intuito de dar continuidade no desenvolvimento desse trabalho a intenção é coletar mais resultados que demonstrem a validade e segurança do produto,

bem como elaborar um site mais profissional e único para visualização dos dados. Esse site deverá ser alocado em um servidor seguro, com requisição de login e senha individual por cliente, além de que, dentro de uma mesma plataforma, será possível selecionar um silo e expandir o histórico de nível de material, atentando-se a cargas e descargas.

## **Agradecimentos**

Esse projeto foi desenvolvido com a colaboração do professor orientador Fernando Guessi Plácido. Agradecimentos ao suporte fornecido pelas empresas EAP Engenharia Automação de Processos, PROCER Automação e Sistemas e pela própria faculdade SATC.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica -. **INFORMAÇÕES TÉCNICAS - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**. Disponível em: <<https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

AGRAWAL, Tarun; QADEER, Mohamaad Abdul. Tracing Path with Arduino Uno using GPS and GPRS/GSM. **2018 International Conference On Computing, Power And Communication Technologies (gucon)**. Galgotias University, Greater Noida, Up, India, p. 1203-1208. set. 2018.

AHUJA, Prashant; BHAVSAR, Prof. Ketan. Microcontroller based Smart Helmet using GSM & GPRS. **2nd International Conference On Trends In Electronics And Informatics (icoei 2018)**. Tirunelveli, India, p. 1-6. maio 2018.

BECOÑA, Juan Pablo et al. A battery powered RTU: GPRS vs 3G Comparison. **IEEE Urucon**. Universidad Católica del Uruguay, p. 1-4. 2017.

E., Manavalan; K., Jayakrishna. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. **Computers & Industrial Engineering**. Elsevier, p. 925-943. 17 nov. 2018.

E.YIGIT et al. CS-BASED RADAR MEASUREMENT OF SILOS LEVEL. **IEEE Geoscience And Remote Sensing Society**. p. 3746-3749. jan. 2015.

ELETROGATE. **Módulos de comunicação**. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal Of Production Economics**. Elsevier, p. 15-26. 09 jan. 2019.

GAO, Huijun et al. A Line-Based-Clustering Approach for Ball Grid Array Component Inspection in Surface-Mount Technology. **IEEE Transactions On Industrial Electronics**. National Natural Science Foundation Of China, p. 3030-3038. abr. 2017.

GÖKALP, Mert Onuralp et al. BIG DATA FOR INDUSTRY 4.0: A CONCEPTUAL FRAMEWORK. **2016 International Conference On Computational Science And Computational Intelligence**. Informatics Institute, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, p. 1-4. 2016.

IBGE. **Capacidade de armazenagem agrícola sobe 3,5%, ficando em 175,5 milhões toneladas no 1º semestre de 2019**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

JRT Meter Technology. **Laser Distance Sensors**. Disponível em: <<https://jrtmeasure.manufacturer.globalsources.com/>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

KROHNE, M. Vogt. Radar Sensors (24 and 80 GHz Range) for Level Measurement in Industrial Processes. **2018 IEEE MTT-S: International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM)**. Detroit, Mi, Usa, p. 1-4. abr. 2018

LIU, Lijun; JIANG, Wei. Design of Vegetable Greenhouse Monitoring System Based on ZigBee and GPRS. **Iccar 2018: International Conference on Control, Automation and Robotics**. At Auckland University Of Technology, New Zealand, p. 1-4. abr. 2018.

MODBUS. **Modbus protocol** Disponível em: <<https://modbus.org>>. Acesso em: 29 set. 2019.

MUHURI, Pranab K.; SHUKLA, Amit K.; ABRAHAM, Ajith. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications Of Artificial Intelligence: The International Journal of Intelligent Real-Time Automation**. Elsevier, p. 218-235. dez. 2018.

NASARUDDIN, Fariza et al. Big IoT Data Analytics: Architecture, Opportunities, and Open Research Challenges. **IEEE Access**. University Malaya Research Grant (umrg), p. 5247-5261. 17 maio 2017.

PETRASCH, Roland; HENTSCHE, Roman. Cloud Storage Hub: Data Management for IoT and Industry 4.0 Applications. **The 2016 Management And Innovation Technology International Conference (miticon-2016)**. Bangkok, Thailand, p. 1-4. jan. 2016

SEUBERT, Curtis. **How Do Laser Distance Meters Work?** 2017. Disponível em: <<https://sciencing.com/do-laser-distance-meters-work-6332366.html>>. Acesso em: 13 abr. 2019.

VOGT, Michael; GERDING, Michael. Silo and Tank Vision: Applications, Challenges, and Technical Solutions for Radar Measurement of Liquids and Bulk Solids in Tanks and Silos. **Ieee Microwave Magazine**, [s.l.], v. 18, n. 6, p.38-51, set. 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).  
<http://dx.doi.org/10.1109/mmm.2017.2711978>.

WOJTKOWSKI, Wojciech; ZANKIEWICZ, Andrzej. Data acquisition system with GPRS transmission for monitoring temperature of RF Power Amplifiers. **26th Telecommunications Forum Telfor 2018**. Serbia, Belgrade, p. 1-4. nov. 2018.

YANG, Fengting et al. A cost-effective non-orthogonal 3D measurement system. **Measurement**. Elsevier, p. 264-270. jun. 2018.