

## Litro por litro: automação e digitalização do processo de recepção na indústria de laticínios Sertão Seridó

Liter by liter: automation and digitization of the milk reception process in the Sertão Seridó dairy industry

Alesangela Bezerra da Fonseca<sup>1</sup>  
Anderson Nascimento Dantas<sup>2</sup>  
Eldio Luiz Cortez Neto<sup>3</sup>  
Lucas Eduardo Silva de Medeiros<sup>4</sup>  
Marlon da Silva Dantas<sup>5</sup>  
Pedro Iuri Soares de Souza<sup>6</sup>  
Gabriell John Medeiros de Araujo<sup>7</sup>  
Andouglas Gonçalves da Silva Júnior<sup>8</sup>

### Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a validação de um sistema embarcado integrado a uma plataforma digital de gestão de dados para a automação do processo de recepção de leite na indústria de laticínios Sertão Seridó, localizada no Seridó potiguar. A proposta surge da necessidade de substituir o registro manual e declaratório do volume de leite recebido por um método instrumental confiável, aliado à digitalização dos dados operacionais. A metodologia adotada caracteriza-se como aplicada e exploratória, envolvendo a construção de uma bancada hidráulica de testes, a calibração de um sensor de vazão do tipo efeito Hall (YF-S201) e o desenvolvimento de um sistema web full stack para armazenamento e visualização das informações. Os testes experimentais foram realizados com volumes variando de 2,5 a 100 litros, em diferentes condições de escoamento. Os resultados

<sup>1</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: fONSECA.a@escolar.ifrn.edu.br

<sup>2</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: andersonnascimentodantas@gmail.com

<sup>3</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: cortezneto@live.com

<sup>4</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: lucas.eduardo2@academico.ifrn.edu.br

<sup>5</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: marlonsilva840@gmail.com

<sup>6</sup> Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail:

<sup>7</sup> Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: gabriell.araujo@ifrn.edu.br

<sup>8</sup> Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: andouglas.silva@ifrn.edu.br

demonstraram que o sistema apresenta boa precisão, além de funcionamento estável na integração entre hardware e software via protocolo MQTT. Conclui-se que a solução proposta é tecnicamente viável, de baixo custo e capaz de reduzir significativamente erros de medição e falhas associadas ao registro manual, contribuindo para maior confiabilidade, rastreabilidade e apoio à tomada de decisão no contexto da indústria de laticínios.

**Palavras-chave:** Indústria de laticínios. Automação industrial. Sensor de vazão. Gestão de dados.

## **Abstract**

This article presents the development and validation of an embedded system integrated with a digital data management platform for the automation of the milk reception process at the Sertão Seridó dairy industry, located in the Seridó region of Rio Grande do Norte, Brazil. The proposal emerged from the need to replace the manual and declaratory recording of received milk volume with a reliable instrumental method, combined with the digitalization of operational data. The adopted methodology is characterized as applied and exploratory, involving the construction of a hydraulic test bench, the calibration of a Hall-effect flow sensor (YF-S201), and the development of a full-stack web system for data storage and visualization. Experimental tests were conducted with volumes ranging from 2.5 to 100 liters under different flow conditions. The results demonstrated that the system provides good accuracy, as well as stable operation in the integration between hardware and software through the MQTT protocol. It is concluded that the proposed solution is technically feasible, low-cost, and capable of significantly reducing measurement errors and failures associated with manual recording, contributing to greater reliability, traceability, and support for decision-making in the dairy industry context.

**Keywords:** Dairy industry. Industrial automation. Flow sensor. Data management.

## **1 INTRODUÇÃO**

A evolução tecnológica observada nos últimos anos tem provocado mudanças significativas nos processos produtivos industriais, especialmente a partir da incorporação de sistemas digitais, sensores e dispositivos de automação. Esse movimento, amplamente associado ao conceito de Indústria 4.0, tem como foco a integração entre o ambiente físico e os sistemas computacionais, permitindo maior controle dos processos, rastreabilidade das informações e apoio à tomada de decisão em tempo real (KAGERMANN et al., 2013). Nesse

contexto, a automação de etapas tradicionalmente manuais passa a ser considerada um fator essencial para a eficiência operacional das indústrias.

O uso de sistemas embarcados destaca-se como um dos principais elementos desse processo de modernização, uma vez que possibilitam a aquisição direta de dados no ambiente produtivo, reduzindo a dependência de estimativas e registros informais. Sensores, microcontroladores e protocolos de comunicação têm sido amplamente empregados para a medição e o monitoramento de variáveis físicas em diferentes segmentos industriais, contribuindo para a melhoria da confiabilidade dos dados coletados e para a modernização dos processos (LEE, BAGHERI & KAO, 2015).

No setor agroindustrial, em especial na indústria de laticínios, a adoção dessas tecnologias ainda ocorre de forma gradual, principalmente em empresas de pequeno e médio porte localizadas em regiões interioranas. Em muitos casos, processos essenciais como a recepção da matéria-prima, o controle de qualidade e o registro das informações operacionais continuam sendo realizados de forma manual, com uso de formulários em papel e baseados na confiança entre produtores e indústria. Essa prática pode resultar em inconsistências nos dados, dificuldades de rastreabilidade e limitações na gestão do estoque e da produção (SILVA & COSTA, 2019).

A empresa Sertão Seridó, situada na região do Seridó potiguar, insere-se nesse contexto produtivo. A empresa atua no recebimento de leite proveniente de produtores locais e desempenha papel relevante no desenvolvimento econômico regional. Entretanto, durante o acompanhamento das rotinas operacionais, identificou-se a inexistência de um sistema automatizado para a medição do volume de leite recepcionado. Atualmente, a quantidade entregue é informada pelo próprio produtor no momento da descarga, não havendo instrumentos de medição que permitam validar esse volume de forma objetiva.

Além da ausência de medição volumétrica automatizada, os registros relacionados à quantidade e à qualidade do leite são realizados manualmente. Esse método dificulta a consulta histórica das informações, está sujeito a erros de transcrição e não oferece a agilidade necessária para a análise dos dados e para o controle efetivo do processo.

Diante desse cenário, observa-se a necessidade de desenvolver uma solução que permita a medição precisa do volume de leite recepcionado, associada à digitalização dos registros operacionais. A problemática que norteia este trabalho consiste em identificar como um sistema embarcado pode ser aplicado para automatizar a medição do volume de leite durante o processo de recepção, garantindo maior confiabilidade dos dados e integrando essas informações a um sistema digital de gestão do estoque de leite com parâmetros de quantidade

e qualidade. Trata-se de um problema delimitado, com aplicabilidade prática e extrema relevância social, trazendo inovação tecnológica a uma indústria local e entregando confiabilidade, transparência e exatidão ao produtor e à empresa.

Estudos anteriores demonstram a viabilidade do uso de sensores de vazão baseados no efeito Hall para a medição de líquidos em processos industriais, desde que sejam observados critérios adequados de calibração e validação experimental (HORIGOSHI, 2016). Entretanto, ainda são limitadas as aplicações documentadas dessas tecnologias em contextos agroindustriais regionais, especialmente quando associadas à integração com sistemas de gestão digital e à realidade operacional de pequenas indústrias de laticínios.

Dessa forma, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver e validar uma solução tecnológica integrada de hardware e software para a automação do processo de recepção de leite na indústria Sertão Seridó. Como objetivos específicos, busca-se validar experimentalmente o uso de sensores de vazão para a medição volumétrica, desenvolver o *firmware* embarcado para processamento e envio dos dados, estruturar um sistema *web* para armazenamento e visualização das informações e analisar a viabilidade de integração futura com equipamentos de análise da qualidade do leite (*EkoMilk*<sup>2</sup>).

A realização desta pesquisa justifica-se pela necessidade de modernização dos processos de recepção e controle na indústria de laticínios, especialmente em contextos onde a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 ainda é limitada. Os resultados obtidos contribuem para a melhoria da precisão das medições, a redução da dependência de registros manuais e o aumento da confiabilidade das informações operacionais. Além disso, o trabalho oferece uma solução de baixo custo e adaptável à realidade da empresa estudada, podendo servir como referência para aplicações semelhantes em outras indústrias do setor.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A atualização dos métodos de medição na indústria de laticínios exige a implementação de hardwares e softwares de monitoramento que possam interagir uns com os outros. Para fundamentar a solução em desenvolvimento para o laticínio Sertão Seridó, esta seção descreve os conceitos do hardware de medição, software de gestão, protocolos de comunicação e do analisador de leite ultrassônico. A combinação dos tópicos mencionados

---

<sup>2</sup> É um analisador de leite ultrassônico portátil projetado para análises precisas e rápidas de parâmetros físico-químicos como gordura, sólidos não gordurosos (SNG), densidade, proteínas e ponto de congelamento, sem a necessidade de reagentes químicos complexos.

torna mais fácil visualizar e analisar dados estratégicos que ajudarão na tomada de decisões da empresa.

## **2.1 Hardware de medição**

Em sistemas automatizados, hardware de medição consiste, como o próprio nome sugere, em componentes físicos que podem ser sensores, controladores, atuadores e circuitos integrados que se inter-relacionam a fim de colher e tratar dados do ambiente. Esses dispositivos são necessários para que dados reais sejam transformados em uma linguagem que a máquina entenda e assim possam ser monitorados e controlados (MORAES, 2016).

Entre os diversos tipos de sensores para a medição do fluxo de entrada do leite, destacam-se os medidores de vazão onde são considerados os seguintes tipos: turbina, ultrassônico, placa de orifício e coriolis (Bezerra, 2025). Cada tipo possui suas próprias peculiaridades, em relação ao funcionamento, custo e precisão, cada um apresenta-se como ideal a depender da demanda proposta. Para o desafio proposto, o sensor do tipo turbina se enquadra como o mais recomendável, por apresentar um custo acessível, precisão relevante e demandar pouca manutenção em relação aos demais tipos.

### **2.1.1 Tipos de sensores de medição de fluxo**

Para medir o fluxo de um fluido, é possível usar vários princípios físicos, e a escolha do melhor depende do tipo de fluido no cano e das condições do ambiente: os mais comuns são os sensores eletromagnéticos, ultrassônicos e os mecânicos.

Os sensores eletromagnéticos são superprecisos e não atrapalham o fluxo – perda de carga bem baixa –, mas só funcionam com fluidos que conduzem eletricidade e são caros, o que nem sempre é possível em projetos menores (VALVANO, 2017). Já os sensores ultrassônicos são perfeitos para o setor de alimentos porque não invadem o tubo, porém o grande empecilho é o ar na tubulação, que atrapalha o processo (RASPERRY PI FOUNDATION, 2021).

Medidores mecânicos de vazão, como os de turbina e rotâmetros, funcionam com peças móveis que são impulsionadas pelo fluxo do fluido. Eles são muito comuns na indústria por causa disso. As vantagens incluem precisão alta, repetibilidade ótima, faixa de medição bem ampla, estrutura simples e saída linear perfeita para totalizar o fluxo (CEFET-MG, 2023).

Além disso, costumam ser mais baratos no início e fáceis de instalar direto na tubulação. Por outro lado, eles possuem como desvantagem o desgaste mecânico: as partes em movimento sofrem com atrito e fadiga, o que exige manutenção regular para não perder a

precisão (CEFET-MG, 2023). Eles também são sensíveis a impurezas no fluido, como partículas sólidas ou bolhas de ar, que atrapalham a rotação das peças e diminuem a confiabilidade da medição. Além disso, precisam de trechos retos na tubulação para o fluxo ficar estável, o que complica o uso em sistemas com geometria mais elaborada (TEST-AND-MEASUREMENT-WORLD, 2025).

### 2.1.2 Medição de fluxo (efeito hall)

O efeito Hall tem esse nome por causa do físico Edwin Hall, que em 1879 descobriu o fenômeno. Essa manifestação baseia-se na força de Lorentz, que retrata o desvio da trajetória de elétrons em um condutor quando exposto a um campo magnético perpendicular (HORIGOSHI, 2016; SANTOS, et. al, 2022). Segundo Moraes (2016), o desvio da trajetória dos elétrons gera uma diferença de potencial conhecida como tensão de Hall.

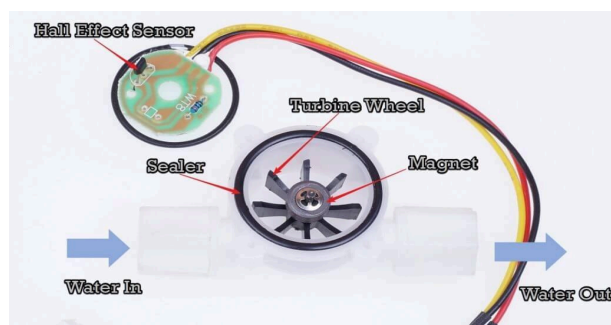
No funcionamento dos sensores de fluxo, como o modelo YF-S201 usado neste projeto, esse princípio é aplicado junto de um conjunto de hélices, o enquadrando assim como sendo do tipo turbina. O sensor possui um rotor interno com palhetas que contém um ou mais ímãs permanentes. Quando o leite passa pelo sensor, ele faz as palhetas girarem; a cada vez que o ímã passa perto do circuito integrado de Efeito Hall fixo na carcaça, ocorre uma mudança no campo magnético, gerando um pulso elétrico em forma de onda quadrada. A frequência desses pulsos é proporcional à velocidade do leite, o que permite ao microcontrolador calcular a vazão e o volume total acumulado usando uma constante de conversão (fator K). Essa constante é ajustada dentro do código do microcontrolador, de modo a melhorar a precisão da medição.

**Figura 1** – Sensor de fluxo YF-S201 utilizado no projeto para medição de vazão.



Fonte: Electrónica Made (2024).

Figura 2 – Funcionamento do sensor de fluxo YF-S201.



Fonte: Seeed Studio (2020).

No desenvolvimento deste projeto, foram identificados problemas na medição de volume ao utilizar o sensor de fluxo TF-S201, sendo o principal deles relacionado à presença de ar na tubulação: O ar, ao passar pelo sensor, pode ser interpretado como fluxo do fluido, que, neste caso, é o leite, ocasionando erros na contabilização do volume final medido.

Buscando resolver esse problema, testamos algumas alternativas: Primeiro, tentamos o bloqueador comercial Aquamax; ele até barrou o ar, mas também não deixava o leite fluir, o que travou a operação. Depois, desenhamos uma peça em 'U' que só deixava o leite fluir após encher uma certa quantidade, o que reduzia muito a quantidade de ar no sistema, mas gerou um gargalo que derrubou a vazão do sistema. Diante disso, fica claro que o desafio persiste e que o próximo passo exige repensar não só a tubulação, mas talvez o próprio tipo de sensor que estamos usando.

### 2.1.2 Microcontrolador

Para o desenvolvimento deste projeto, foi escolhido o Raspberry Pi Pico, baseado no microcontrolador RP2040, cujo principal diferencial é a presença de dois núcleos ARM Cortex-M0+, capazes de operar em frequências de até 133 MHz, permitindo a execução paralela de tarefas de processamento e controle (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2021).

O Raspberry Pi Pico apresenta uma ótima performance de processamento, resultado, principalmente, da divisão de sua memória de 264kB de SRAM em seis blocos totalmente independentes. Essa arquitetura elimina assim o gargalo de acesso à memória, situação em que o processador fica esperando o hardware liberar o acesso. Como não há conflito de barramento, toda largura de banda é aproveitada ao máximo, fazendo com que o sistema se

torne mais ágil e responsivo, mesmo quando o hardware é mais exigido (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2021).

A integração com o hardware é viabilizada pelo ambiente de desenvolvimento (SDK) da Raspberry Pi, que oferece suporte nativo para as linguagens C e C++. Esse kit de desenvolvimento inclui ferramentas de compilação baseadas em GCC e CMake, permitindo que o desenvolvedor tenha controle detalhado sobre o consumo de memória e a velocidade de execução, fatores importantes para aplicações de sistemas embarcados que demandam tempo real (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2021).

## **2.2 Analisador de leite ultrassônico**

O controle de qualidade do leite na indústria de laticínios exige precisão na determinação de parâmetros físico-químicos essenciais, como teor de gordura, proteínas e densidade, entre outros parâmetros. (BULTEH 2000, 2024).

Para a realização dessas análises, foram desenvolvidos analisadores eletrônicos, que consistem em equipamentos modernos capazes de realizar medições automáticas e rápidas dos parâmetros do leite sem a modificação da amostra.

Dessa forma, esses analisadores contribuem para a manutenção dos padrões de qualidade, facilitando o desenvolvimento de produtos com maior confiabilidade e qualidade final (BULTEH 2000, 2024).

### **2.2.1 Ekomilk**

O Ekomilk é um equipamento projetado para a análise rápida e precisa da composição físico-química do leite de diferentes espécies, como bovinos e caprinos (Figura 3A). Sua aplicação abrange prioritariamente laboratórios, indústrias de laticínios e propriedades rurais (BULTEH 2000, 2024). Para a obtenção dos resultados, o dispositivo utiliza as tecnologias de condutividade e ultrassom, permitindo a verificação automática de parâmetros como teores de gordura e proteínas, densidade e ponto de congelamento (BULTEH 2000, 2024).

Adicionalmente, o aparelho integra-se ao software Milk Data, desenvolvido pela empresa Bulteh 2000, que realiza a coleta e o gerenciamento de dados provenientes dos diversos modelos da linha por meio da interface serial RS-232, localizada na parte posterior do dispositivo (Figura 3B).



**Figura 3** – Analisador de leite Ekomilk M: (A) Vista frontal; (B) Vista posterior com interface RS-232



Fonte: Cap-Lab (2026). Adaptado pelo autor.

### 2.3 Software de gestão das análises do leite

O software de gestão das análises do leite atua como uma maneira de facilitar o armazenamento, organização, análise e visualização de dados coletados por hardware, auxiliando principalmente na tomada de decisões mais rápidas por parte dos gestores das empresas. O software proposto para o Laticínio Sertão Seridó tem como objetivos monitorar os padrões de qualidade do leite, identificar variações na qualidade do leite coletado e melhorar o controle da quantidade de leite recebido durante o processo de recepção.

Ferramentas de desenvolvimento como o Android Studio (para aplicativos móveis) e Visual Studio (para sistemas supervisórios) permitem o desenvolvimento de soluções capazes de auxiliar de forma precisa várias áreas da empresa. Além disso, o uso de bancos de dados locais, como o MySQL, viabiliza o gerenciamento das informações mesmo em ambientes com acesso limitado ou sem acesso à internet (MORAES, 2016; MOROSINI et al., 2022).

## **2.4 Protocolos de comunicação**

Protocolo de comunicação consiste em um conjunto de regras e procedimentos os quais facilitam a troca de informações entre sistemas e/ou computadores. São eles que estabelecem como os pacotes de dados serão endereçados, encaminhados e entregues na rede.

No que se refere à Internet das Coisas (IOT), os protocolos de comunicação são essenciais para permitir a troca entre dispositivos de fabricantes diferentes (ALBUQUERQUE, et. al., 2003; ROTTA, et. al., 2017).

### **2.4.1 Protocolo MQTT**

O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de mensagens leve que utiliza o modelo publicador/assinante (publish/subscribe), usado principalmente em dispositivos com limitações e em redes de baixa largura de banda (ROTTA, et. al, 2017). Ele necessita de um broker central o qual tem a função de gerenciar e transmitir as mensagens entre os dispositivos. Na indústria de laticínios, o MQTT é usado principalmente na transmissão remota de dados de sensores (como de vazão e temperatura de tanques) diretamente para servidores em nuvem, permitindo o monitoramento em tempo real da produção e a automação de alertas (ROTTA, et. al, 2017; MOROSINI, et. al, 2022).

## **2.5 Indústria de laticínios: caso Sertão Seridó**

No Brasil, a indústria de laticínios vem apresentando crescimento nos últimos anos e, em 2024, alcançou a marca de aproximadamente 35,7 bilhões de litros de leite produzidos, segundo dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

A indústria, visando melhorar a qualidade dos produtos, realiza diversas análises, dentre elas composição de leite (gordura e proteína), a contagem de células somáticas (CCS) e a acidez, estes são fatores essenciais para a boa qualidade dos derivados. O controle de temperatura nos resfriadores é crucial, visto que, se estiver fora dos parâmetros pode facilitar a reprodução de bactérias e diminuir a vida útil dos produtos. Nesse sentido, a tecnologia desempenha um papel importante para o setor, visto que facilita a rotina diária e permite o acompanhamento e análise de um grande volume de informações, possibilitando ainda uma padronização tanto da produção como dos laticínios.

A empresa Sertão Seridó, denominada juridicamente A2L Laticínios Indústria e Comércio Ltda, está localizada no município de Currais Novos, na região do Seridó potiguar, e atua no beneficiamento de leite e na produção de diversos derivados lácteos, como leite pasteurizado, queijos, manteiga, requeijão e bebidas lácteas. Conforme estudo técnico

desenvolvido pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), a unidade industrial conta com aproximadamente 62 funcionários diretos, exercendo papel relevante na geração de empregos e no fortalecimento da cadeia produtiva do leite na região (IFRN, 2025).

Atualmente, a empresa não possui medição automática do volume de leite na recepção. A quantidade de leite é informada pelos próprios produtores, gerando, assim, dificuldades no controle real do estoque e inconsistência nos dados. Com o propósito de auxiliar a empresa, está sendo desenvolvido um sistema embarcado que automatiza a medição do volume recebido, possibilitando maior precisão no controle de estoque, além de padronizar e melhorar a confiabilidade dos dados coletados.

Além disso, visando aprimorar o armazenamento e o gerenciamento das informações relacionadas às análises da qualidade do leite, está em desenvolvimento um sistema de gestão integrado, no qual serão registrados tanto os dados das análises quanto as medições da quantidade de leite coletado. O sistema também possibilitará melhor visualização, organização e filtragem das informações, por meio de dashboards e mecanismos de filtragem, favorecendo análises mais eficientes e a tomada de decisões gerenciais.

Na próxima seção serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para desenvolvimento do projeto.

### **3 METODOLOGIA**

A presente pesquisa classifica-se como aplicada e exploratória, com abordagem experimental e quantitativa. O trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver e validar uma solução tecnológica integrada de hardware e software para auxiliar no processo de recepção do leite pela indústria Laticínio Sertão Seridó LTDA. A metodologia se baseou, inicialmente, no levantamento de requisitos operacionais junto aos funcionários da Empresa, seguida de etapas de projeto, testes de soluções, até a validação.

O desafio apresentado envolve a construção de um software para gerência, junto aos fornecedores, do insumo base da Empresa, o leite, constando, no sistema, dados diversos do leite, como acidez, quantidade de água, gordura e proteína. O desafio também busca uma solução eletromecânica para medição do volume entregue por cada fornecedor.

Os desafios tratados na residência tecnológica do Programa EmbarcaTech trazem complexidade de execução em função da necessidade de integração entre diferentes áreas (eletrônica, desenvolvimento *web* e banco de dados). A gestão dos projetos se baseia nos princípios de metodologias ágeis. A equipe técnica foi organizada com papéis definidos,

permitindo a execução paralela de tarefas críticas. O fluxo de trabalho foi dividido em ciclos iterativos (*sprints*), compreendendo fases de imersão e requisitos; prototipagem rápida e desenvolvimento modular.

### **3.1 Imersão e requisitos**

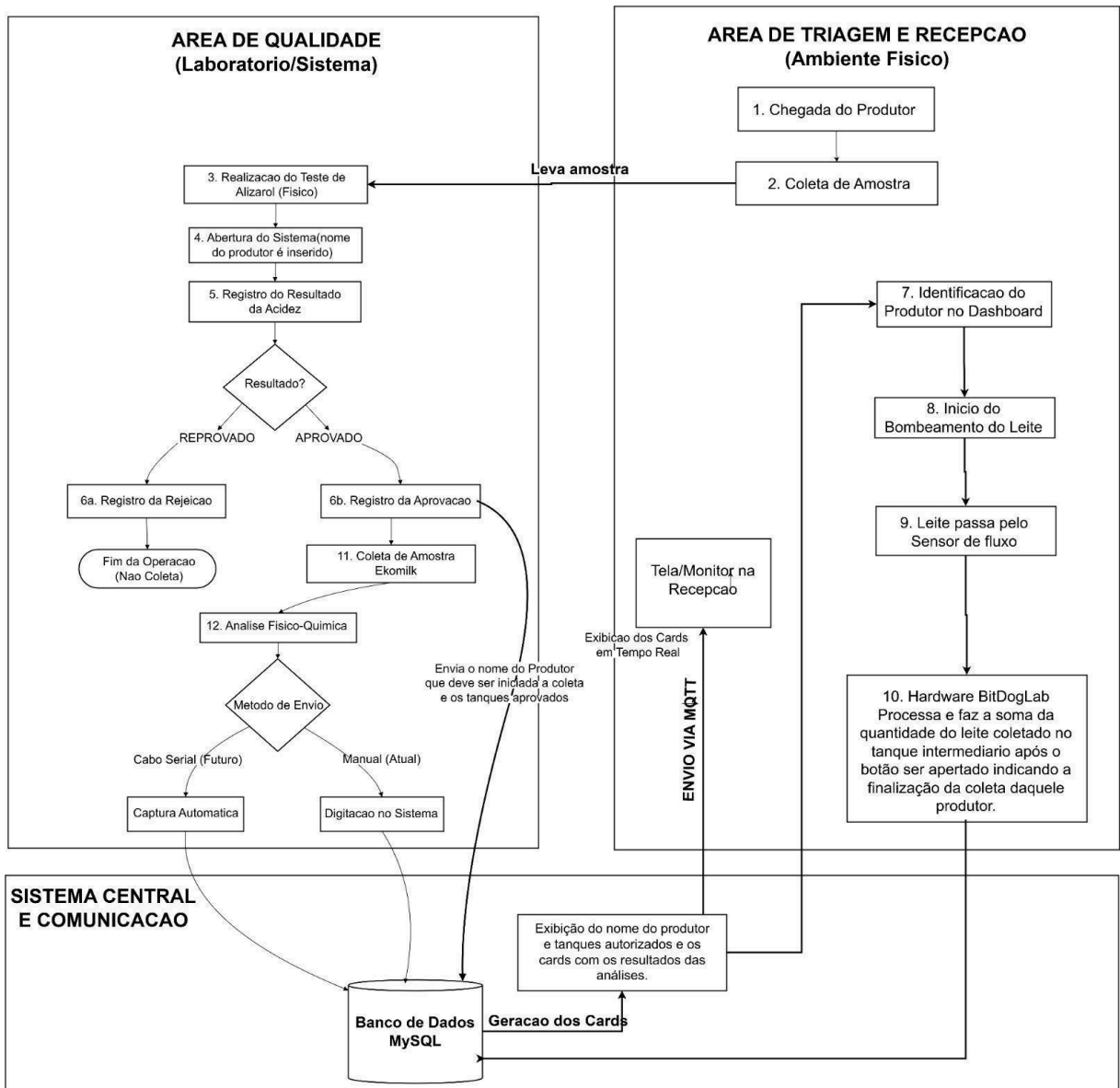
A fase de imersão e requisitos foi marcada por constantes reuniões com o *Product Owner* (representante da empresa), com objetivo principal de compreender o fluxo de recepção do leite adotado pela Empresa. Além das reuniões, os residentes acompanharam o processo de recepção nos dias mais críticos (maior fluxo de fornecedores), com objetivo de entender os possíveis gargalos do processo.

Alguns pontos importantes surgiram da observação: a falta de padronização nos recipientes dos fornecedores, a velocidade necessária à aquisição, a ausência de métodos de medição do leite recebido. Os anseios da Empresa concentravam, principalmente, na medição do leite recebido e na construção de um sistema de gerência, enquanto os fornecedores desejavam mais rapidez e transparência nos dados obtidos a partir da análise do leite dentro do laboratório.

O processo de recebimento do leite envolve duas áreas principais da Empresa: a Área de Triagem e Recepção e a Área de Qualidade. A triagem e recepção do leite são realizadas em uma plataforma elevada de alvenaria, onde um funcionário recolhe e enumera amostras de todos os recipientes trazidos pelo produtor. As amostras são enviadas ao laboratório, situado ao lado da recepção, para o teste de Alizarol (análise da acidez). Após a análise, o laboratório encaminha o resultado, indicando quais reservatórios devem ser recebidos. O leite dos reservatórios aprovados é aspirado, por meio de bomba, e direcionado aos tanques refrigerados de armazenamento.

A imersão e a análise de requisitos resultaram no fluxograma apresentado na Figura 4, que descreve o processo de recepção e indica ações realizadas na Área de Triagem e Recepção, na Área de Qualidade (Laboratório) e dentro do sistema de gerenciamento (software).

**Figura 4 - Fluxograma de funcionamento do sistema.**



**Fonte:** Autoria própria.

O fluxograma desenvolvido orientou a construção do software, bem como, a construção de um protocolo para a recepção do leite, considerando, inclusive, a adoção de um sistema para medição do volume de leite recebido.

### 3.2 Medição do volume de leite

Faz parte do desafio a construção de um sistema capaz de medir o volume de leite entregue por cada fornecedor. O projeto do sistema de medição deparou-se com inúmeros desafios, o principal deles sendo o fato de a entrada do leite na Empresa ser realizada por

meio de bomba de sucção, que traz grande quantidade de ar, principalmente no intervalo entre a sucção de dois reservatórios (tonéis) do fornecedor.

Nessa etapa, a equipe discutiu sobre soluções e construiu “Provas de Conceitos” (PoC). Uma planta foi montada no IFRN para realizar ensaios de medição. A planta era constituída por dois aquários de vidro com capacidade superior a cem litros. Um dos aquários foi colocado num nível superior, de forma que fosse possível realizar ensaios de transferência por gravidade. A maioria dos ensaios, contudo, se concentrou no bombeamento forçado de água entre os dois reservatórios, com medição por meio de sensor de fluxo (vazão) YF-S201 instalado em duto de PVC de ½”.

O sensor YF-S201 é apropriado para medições entre um e trinta litros por minuto. Os testes foram realizados sobre volumes variados para provar a linearidade nas medições. A bomba utilizada nos testes tinha vazão praticamente fixa de dez litros por minuto. Os ensaios se basearam na passagem de volumes conhecidos de água pelo sensor, no registro do número de pulsos contados pelo microcontrolador a cada segundo, no cálculo da vazão a partir do número de pulso gerado pelo sensor a cada segundo e no somatório dos fluxos medidos durante o tempo dos ensaios.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Esta seção apresenta e analisa criticamente os resultados obtidos no desenvolvimento do sistema proposto. A discussão integra os resultados do hardware de medição e do sistema de gestão *web*, avaliando sua relevância técnica, limitações e impactos potenciais no contexto industrial.

### **4.1 Resultados da Medição de Vazão**

Antes da construção da planta de medição volumétrica com os aquários, os testes foram realizados em um pequeno recipiente (dez litros), com escoamento por meio da gravidade em duto de PVC de ½”. O cálculo do volume foi realizado utilizando o valor constante 450 como parâmetro de calibração recomendado pelo fabricante do YF-S201. Contudo, foram observadas discrepâncias significativas entre os volumes medidos pelo sistema e os valores reais, previamente conhecidos. Os erros ultrapassaram margens aceitáveis para aplicação industrial, cerca de 15%. Assim, o parâmetro foi ajustado proporcionalmente ao erro obtido. Os testes posteriores mostraram erros menores e que não eram cumulativos. A Tabela 1 resume os testes realizados nesse primeiro cenário, correlacionando o parâmetro constante utilizado no cálculo com o erro observado para medições entre 2,5 e 10 litros.

**Tabela 1** - Primeiro cenário de testes para medição volumétrica.

<b>DATA</b>	<b>PARÂMETRO</b>	<b>VOLUME DESEJADO (L)</b>	<b>VOLUME MEDIDO (L)</b>
07/10/2025	450	10,0	8,48
07/10/2025	450	10,0	8,55
07/10/2025	450	10,0	8,64
08/10/2025	377	2,50	2,48
08/10/2025	377	5,00	4,85
08/10/2025	377	7,50	7,49
08/10/2025	377	10,0	9,93

**Fonte:** Autoria própria.

Os testes experimentais realizados com o sensor de vazão YF-S201 demonstraram que a calibração do parâmetro de conversão de pulsos é um fator determinante para a precisão do sistema. A partir do ajuste empírico do parâmetro para 377, os resultados apresentaram melhora substancial, com aproximações consistentes entre os volumes reais e os volumes medidos.

Era necessário extrapolar os volumes medidos para verificar se a linearidade obtida em ensaios de até dez litros se estendia para medições maiores ou haveria necessidade de ajustes do parâmetro de calibração, o que descaracterizaria o sistema de medição por meio do sensor de fluxo. Por isso, foi montada a planta de medição volumétrica, com bombeamento, que permitia elevar as medições para até cem litros. Os ensaios realizados foram consistentes. A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para ensaios com 30 e 100 litros, com parâmetro de calibração fixa em 377.

**Tabela 2** - Segundo cenário de testes.

<b>DATA</b>	<b>PARÂMETRO</b>	<b>VOLUME DESEJADO (L)</b>	<b>VOLUME MEDIDO (L)</b>	<b>TEMPO</b>
19/11/2025	377	30,0	31,18	03:02
19/11/2025	377	100,0	99,95	09:23

**Fonte:** Autoria própria.

Apesar de o sensor suportar medições de até 30 litros por minuto, a bomba submersível de 12V utilizada nos testes só conseguiu bombear a uma taxa aproximada de 10 litros por minuto. As medições obtidas, especialmente de cem litros, na qual o erro observado

foi de 50 ml, evidenciaram o potencial do sensor de vazão com solução para medição volumétrica, desde que adequadamente calibrado.

## 4.2 Desenvolvimento do Sistema de Gestão (Software)

Paralelamente à validação do hardware, o sistema *web* desenvolvido apresentou funcionamento estável e aderente aos requisitos propostos. O sistema conta com as seguintes interfaces funcionais:

- **Tela principal de cadastro de coleta:** Tela desenvolvida para a digitação dos parâmetros de qualidade (Gordura, Densidade, etc.) extraídos da máquina. Esses dados são salvos junto ao registro do produtor, eliminando a necessidade de planilhas de papel paralelas, possuindo ainda a opção de filtrar dados e gerar PDF. A Figura 5 mostra a tela de cadastro de coleta.

Figura 5 - Tela de cadastro de coleta.

Ações	NOME	TANQUE	DATA	ACIDEZ	DENSIDADE	GORDURA	ESD	EST	PROTEINA	CRIOSCOPIA	LACTOSE	ALIZAROL	ANALISTA
	Vivaldo	-	30/07/2025	16	1035.3	2.86	9.11	12.22	3.57	0.00		Normal	kelvia
	Helton	-	30/07/2025	18	1032.7	4.80	9.40	12.29	3.70	0.00		Normal	kelvia
	Moacir	07	30/07/2025	18	1030.8	4.41	8.83	12.28	3.48	0.00		Normal	kelvia
	Moacir	06	30/07/2025	17	1031.3	4.58	9.00	12.30	3.55	0.00		Normal	kelvia
	Moacir	05	30/07/2025	18	1031.6	4.47	8.93	12.29	3.52	0.00		Normal	kelvia
	Moacir	04	30/07/2025	15	1027.9	3.58	7.93	12.40	3.14	7.39		Normal	kelvia
	Moacir	03	30/07/2025	17	1030.4	4.71	8.80	12.14	3.48	1.24		Normal	kelvia
	Moacir	02	30/07/2025	16	1030.0	3.61	8.47	12.20	3.34	1.24		Normal	kelvia
	Moacir	01	30/07/2025	16	1030.0	3.59	8.44	12.14	3.34	1.24		Normal	kelvia

Fonte: Autoria própria.

- **Gestão de Produtores:** Página para cadastro, edição e listagem de todos os fornecedores rurais da região. A Figura 6 mostra a tela de cadastro dos produtores.



**Figura 6 - Tela de cadastro de produtores (fornecedores).**

Ações	Nome	CPF/CNPJ	Telefone	Localidade
	Vivaldo	876.543.210-98	(84) 95555-1111	Currais Novos-RN
	Viturno	543.210.987-65	(84) 95555-2222	Acaí-RN
	Heitor	210.987.654-32	(84) 95555-3333	São Vicente -RN
	Moacir	987.654.321-09	(84) 95555-4444	Acaí-RN
	Benga	654.321.098-76	(84) 95555-5555	São Vicente -RN
	Artan	321.098.765-43	(84) 95555-6666	Currais Novos-RN
	Dona Maria	098.765.432-10	(84) 95555-7777	Cerro Corá-RN
	Douglas	765.432.109-87	(84) 95555-4596	Tenente Laurentino -RN
	Chicão	432.109.876-54	(84) 91525-4596	Acaí-RN

**Fonte:** Autoria própria.

- **Recepção do leite diário:** Exibe em tempo real o volume total de leite recebido no dia, alimentado automaticamente pelo sensor, com opções como filtrar por data, por produtor e a opção de gerar PDF. A Figura 7 mostra a tela de recepção do leite diário.

**Figura 7 - Tela de recepção do leite diário.**

Data	Total Leite Bom	Total Leite Ácido
08/12/2025	2000.00 L	0.00 L

CPF	Produtor	Leite Bom (L)	Leite Ácido (L)
543.210.987-65	Viturno	1000.00	0.00
543.210.987-65	Viturno	1000.00	0.00

**Fonte:** Autoria própria.

- **Dashboard Principal:** Exibe em tempo real alguns parâmetros principais do leite coletado e gráficos gerados de acordo com o pedido da empresa para melhorar a visualização dos mesmos. A Figura 8 mostra o dashboard principal.

Figura 8 - Tela do dashboard principal.



Fonte: Autoria própria.

- **Dashboard dos dados da recepção do leite dos produtores:** Exibe, em tempo real, os indicadores fundamentais do leite coletado. Projetado para ser visualizado em monitores no local de descarga, o sistema utiliza *cards* informativos para oferecer aos produtores transparência imediata sobre os resultados de cada entrega. A Figura 9 mostra a tela apresentada aos produtores durante a coleta.

Figura 9 - Tela dos dados da recepção do leite dos produtores.



Fonte: Autoria própria.

As interfaces de cadastro de produtores, registro de coletas, visualização de dados diários e dashboards gráficos permitiram a centralização das informações anteriormente registradas em papel, reduzindo riscos de perda de dados e erros de transcrição

A integração entre o sistema embarcado e o software de gestão, via protocolo MQTT, demonstrou a viabilidade de atualização automática e em tempo real dos volumes recebidos. Além disso, a possibilidade de filtragem por produtor, data e geração de relatórios em PDF atende diretamente às demandas operacionais da empresa, contribuindo para maior transparência e rastreabilidade das informações.

Observou-se ainda que, mesmo com o sistema de captura automática dos dados de qualidade não estando plenamente integrado, a funcionalidade de inserção manual garante a continuidade operacional, evidenciando a robustez da arquitetura modular adotada.

### 4.3 Análise Crítica e Impacto dos Resultados

De forma geral, os resultados obtidos demonstram que o sistema proposto é capaz de reduzir significativamente erros de medição que, no cenário atual da empresa, podem chegar a dezenas ou centenas de litros. A redução desse erro para valores da ordem de centenas de mililitros em volumes de até 100 litros representa um ganho econômico e operacional relevante.

Além disso, a solução apresentada mostra potencial de aplicação em outros segmentos industriais que enfrentam problemas semelhantes de medição e rastreabilidade de fluidos.

Embora existam limitações estruturais nos testes realizados, como restrições na planta de testes e na potência da bomba utilizada, os resultados indicam que, com investimentos adicionais em infraestrutura e sensores de maior robustez, o sistema pode alcançar níveis ainda mais elevados de confiabilidade.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo cumpre os objetivos propostos ao validar o hardware de medição e estruturar o sistema de gestão digital em ambiente de bancada. A pesquisa demonstra que a integração entre o hardware e o sistema *web full stack* é funcional, o que garante a precisão na coleta de dados e a operacionalidade de cadastros e dashboards. Este avanço técnico viabiliza a eliminação de registros manuais em papel e mitiga falhas baseadas na subjetividade, enquanto o hardware de medição de vazão atinge níveis de precisão satisfatórios, comprovando a viabilidade técnica do sensor utilizado.

As considerações sobre a execução experimental apontam limitações na infraestrutura física da planta de testes e a necessidade de refinamento hidráulico para a eliminação de ar nas tubulações, fator que influencia a estabilidade da medição de vazão. Tais restrições delimitam o escopo da validação atual ao ambiente controlado, evidenciando os pontos de ajuste necessários para a transição do protótipo para o ambiente industrial.

Como contribuição prática, o trabalho propicia a modernização do setor por meio do monitoramento digital automatizado. Sugere-se, para estudos futuros, a instalação do sistema piloto em ambiente real com fluido biológico, a implementação de servidores remotos e a integração da captura automática de dados via equipamentos Ekomilk. Essas etapas são fundamentais para consolidar o diferencial tecnológico e a escalabilidade da solução proposta.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Anderson Alves de *et al.* **Tópicos sobre protocolos de Comunicação**. [S. l.], 2003. Disponível em:

[https://cbpfindex.cbpf.br/publication\\_pdfs/NT00603.2010\\_12\\_22\\_11\\_03\\_41.pdf](https://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/NT00603.2010_12_22_11_03_41.pdf). Acesso em: 15 jan. 2026.

BARBOSA, Célia Maria Dantas *et al.* Automação de um processo alternativo da pasteurização do leite utilizando ação de controle ON-OFF. **Revista de engenharia e Tecnologia**, [s. l.], v. 10, ed. 1, p. 41-52, 2018. Disponível em:

<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11971>. Acesso em: 15 jan. 2026.

BEZERRA, Afrannia Rafaella da Costa Freitas. **Estudo comparativo de medidores de vazão: características e aplicações**. 2025. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, 2025.

BULTEH 2000. **Ekomilk Bond: ULTRASONIC MILK ANALYZER OPERATING INSTRUCTIONS**. Stara Zagora, Bulgária: Bulteh 2000 Ltd, 2024. Disponível em:

<https://bulteh.com/pdf/user-manual-ekomilk-bond-total-en.pdf>. Acesso em: 17 janeiro. 2026.

CEFET-MG. **Instrumentação Industrial: medição de vazão – medidores mecânicos**. [Belo Horizonte], 2023. Disponível em:

[https://sig-arquivos.cefetmg.br/arquivos/202302408428e64647277abf8d4fdcec9/Aula9\\_2023\\_Vazao.pdf](https://sig-arquivos.cefetmg.br/arquivos/202302408428e64647277abf8d4fdcec9/Aula9_2023_Vazao.pdf). Acesso em: 30 jan. 2026.

ELECTRÓNICA MADE. **Caudalímetro con Arduino (sensor de flujo YF-S201)**.

Disponível em: <https://electronicamade.com/caudalimetro-con-arduino/>. Acesso em: 25 jan. 2026.

HORIGOSHI, Francis Massashi. **Uso de sensor efeito Hall para medição da vazão de fluidos no processo de produção de palatabilizantes a base de proteína animal em escala piloto**. 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado Profissional Gestão e Inovação na Indústria Animal) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo, 2016. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74134/tde-28112016-135201/pt-br.php>. Acesso em: 15 jan. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Valor da produção da pecuária e da aquicultura chega a R\$ 132,8 bilhões em 2024, com recorde nas produções de leite, ovos de galinha e mel**. Agência de Notícias IBGE, 18 set. 2025.

Disponível em:

<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/44534-valor-da-producao-da-pecuaria-e-da-aquicultura-chega-a-r-132-8-bilhoes-em-2024-com-recorde-nas-producoes-de-leite-ovos-de-galinha-e-mel>. Acesso em: 22 jan.2026.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE – IFRN. **Identificação de pontos de controle e pontos críticos de controle no processamento da bebida láctea no Laticínios Sertão Seridó**. Currais Novos/RN, 2025.

Disponível em:

<https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/822/IDENTIFICA%C3%87%C3%83O%2>

0DE%20PONTOS%20DE%20CONTROLE%20E%20PONTOS%20CR%C3%8DTICOS%20DE%20CONTROLE%20NO%20PROCESSAMENTO%20DA%20BEBIDA%20L%C3%81CTEA%20NO%20LATIC%C3%8DNIOS%20SERT%C3%83O%20SERID%C3%93.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Acesso em: 30 jan. 2026.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Frankfurt: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. **A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. *Manufacturing Letters*, Amsterdam, v. 3, p. 18-23, 2015.

LIAO, Y. et al. **Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal**. *International Journal of Production Research*, London, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

MORAES, Diogo Luis de. **Desenvolvimento de um Sistema de Controle e Medição de Vazão para Bombas Peristálticas**. 2016. 74 f. Monografia (Graduação Engenharia de Controle Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em:  
[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/277/1/MONOGRRAFIA\\_Desenvolvime](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/277/1/MONOGRRAFIA_Desenvolvime%20ndoSistemaControle.pdf)  
[ndoSistemaControle.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/277/1/MONOGRRAFIA_Desenvolvime%20ndoSistemaControle.pdf). Acesso em: 15 jan. 2026.

MOROSINI, João Antonio Stachak *et al.* Grex-Bov.: Aplicativo open source para o controle do gado leiteiro e monitoramento remoto da temperatura dos resfriadores de leite. **Anais do Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (Latinoware)**, Porto Alegre/RS, 2022. Disponível em:  
<https://sol.sbc.org.br/index.php/latinoware/article/view/22988>. Acesso em: 15 jan. 2026.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **RP2040 Datasheet**. [S. l.], 2021. Disponível em:  
<https://datasheets.raspberrypi.com/rp2040/rp2040-datasheet.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2026.

ROTTA, Giovanni *et al.* Um Estudo sobre Protocolos de Comunicação para Ambientes de Internet das Coisas. **Anais da Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul (ERAD-RS)**, Porto Alegre/RS, p. 387-390, 2017. Disponível em:  
<https://sol.sbc.org.br/index.php/eradrs/article/view/2984>. Acesso em: 15 jan. 2026.

SILVA, J. R.; COSTA, L. F. **Desafios da automação e da gestão de dados na indústria de laticínios de pequeno porte**. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, p. 231-245, 2019.

SEED STUDIO. How to use water flow sensor with Arduino. 2020. Disponível em:  
<https://www.seeedstudio.com/blog/2020/05/11/how-to-use-water-flow-sensor-with-arduino/>. Acesso em: 25 jan. 2026.

SANTOS, Renan Bispo *et al.* Calibração, automação e controle de um sensor de vazão efeito Hall para uma coluna de destilação. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, ed. 12, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/34359/29006>. Acesso em: 15 jan. 2026.

TEST-AND-MEASUREMENT-WORLD. **Turbine Flowmeter**: Advantages and Disadvantages. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.test-and-measurement-world.com/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

VALVANO, Jonathan W. **Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://users.ece.utexas.edu/~valvano/Volume1/>. Acesso em: 29 jan. 2026.