

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Vinícius Octávio Martins Moura

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA O
MONITORAMENTO DA HIGIENIZAÇÃO DAS MÃOS**

Betim
2025

VINÍCIUS OCTÁVIO MARTINS MOURA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA O
MONITORAMENTO DA HIGIENIZAÇÃO DAS MÃOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

Betim
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

M929d Moura, Vinícius Octávio Martins

Desenvolvimento de um dispositivo inteligente para o monitoramento da higienização das mãos / Vinícius Octávio Martins Moura. – 2025.

68 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2025.

Orientação: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

1. Tecnologia em Saúde. 2. Dispositivos inteligentes. 3. Controle de Infecções hospitalares. 4. Tecnologias vestíveis. 5. Engenharia de Controle e Automação. I. Moura, Vinícius Octávio Martins. II. Título.

CDU: 681.5



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Automação Industrial e Tecnologia da Informação
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 19 dias do mês de Agosto do ano de 2025, às dezoito horas, nas dependências do IFMG - *Campus* Betim, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Virgil Del Duca Almeida e demais membros, Deliene Costa Guimarães Barros e Mauricio Monteiro da Silva. Nesta ocasião o discente **VINÍCIUS OCTÁVIO MARTINS MOURA** do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, com registro acadêmico de número 0024854 do IFMG - *Campus* Betim, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA O MONITORAMENTO DA HIGIENIZAÇÃO DAS MÃOS” e foi **APROVADO**, com 90 (**Noventa**) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação da discente e seu orientador no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o consequente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pós-defesa devem ser finalizados dentro do prazo limite de 5 dias, a contar da data desta ata. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e consequente reprovação.

A sessão foi encerrada às dezenove horas. Para constar, eu, Virgil Del Duca Almeida, redigi a presente ata, foi aprovada e assinada pelos membros da banca examinadora.

Betim, 19 de agosto de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Virgil Del Duca Almeida, Professor**, em 19/08/2025, às 19:29, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Monteiro da Silva, Professor**, em 25/08/2025, às 17:10, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Deliene Costa Guimaraes Barros, Testemunha**, em 26/08/2025, às 09:29, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2424065** e o código CRC **BDDF8E2C**.

23792.000396/2024-05

2424065v1

À minha família e à minha noiva, por estarem ao meu lado.

A mim mesmo, por continuar.

Ao professor Virgil, por me lembrar que era possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Edilson e Darlene, que independente de qualquer coisa sempre me apoiaram e me ajudaram durante toda a minha trajetória. Agradeço também à minha amada Clarice e a nossa filha Estrela, que me deram forças e motivação para continuar e chegar até aqui. Agradeço também a todos os amigos que fiz nesse caminho, que celebraram as conquistas comigo e também estiveram presentes nos momentos de frustração. Finalmente agradeço também a todos os funcionários e docentes que estiveram ao meu lado, e sempre me trataram com muito carinho neste longo tempo, e que fizeram do IFMG a minha segunda casa, e às vezes até mesmo a primeira. Obrigado a todos por acreditarem em mim, mesmo nos momentos difíceis! Agradeço também especialmente aos meus companheiros do Projeto Avisa, que deram asas para a ideia que levou ao tema do meu trabalho de conclusão de curso, a vida nos separou mas vocês estarão sempre comigo. E, com todo o respeito e admiração, deixo aqui minha gratidão ao professor e orientador Virgil, que sempre considerei um dos grandes mestres do IFMG, pois as conversas e aulas sempre me fizeram florescer com novas ideias e esperança de que eu iria concluir o curso. De coração, o meu muito obrigado!

“Caminante, son tus huellas el camino y nada más;
Caminante, no hay camino, se hace camino al andar.” -
Antonio Machado

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um dispositivo inteligente para o monitoramento da higienização das mãos, visando reduzir a incidência de Infecções Relacionadas à Assistência em Saúde (IRAS) em ambientes hospitalares. A metodologia adotada envolveu a criação de um protótipo funcional composto por um Módulo Vestível (no formato de porta-crachá) e um Módulo Fixo (integrado ao dispensador de álcool em gel), com comunicação via rádio frequência (433 MHz) e sinalização visual para indicar a necessidade de higienização. Foram utilizados microcontroladores baseados na plataforma Arduino, além de baterias para alimentação dos dispositivos. Embora uma avaliação quantitativa abrangente da eficácia do dispositivo não tenha ocorrido, especialmente quanto ao aumento da adesão à higienização, visto que tal avaliação não compôs o escopo central deste trabalho, a literatura aponta que dispositivos similares são eficazes em aumentar a adesão à higienização das mãos entre os profissionais de saúde, devido ao Efeito Hawthorne, onde as pessoas tendem a melhorar seu comportamento quando sabem que estão sendo observadas. Além disso, a análise comparativa indicou que o dispositivo desenvolvido apresenta um custo-benefício favorável, destacando-se não apenas pelo baixo custo de prototipagem, mas também por sua menor complexidade de implementação e manutenção em relação a sistemas comerciais baseados em nuvem. O resultado foi um protótipo funcional que validou o conceito proposto em testes de bancada, executando com sucesso o ciclo operacional: o alerta visual é ativado no Módulo Vestível após um tempo predefinido e desativado ao receber o sinal de confirmação do Módulo Fixo. Conclui-se que a principal contribuição deste trabalho está na validação de uma arquitetura de monitoramento eficiente e economicamente acessível, capaz de contribuir para a prevenção de infecções hospitalares, a segurança dos pacientes e a eficiência nos serviços de saúde. Trabalhos futuros podem explorar a integração do dispositivo com sistemas de Internet das Coisas (*IoT*) para monitoramento em tempo real e a aplicação em outros ambientes além do hospitalar. Com isso, o projeto demonstra-se como uma solução promissora, reforçando o papel da engenharia no enfrentamento de desafios críticos da saúde pública.

Palavras-chave: Controle de Infecções hospitalares. Dispositivo inteligente. Efeito Hawthorne. Higienização das mãos. Tecnologia em Saúde. *wearable*.

ABSTRACT

The main objective of this academic work was to develop an intelligent and low-cost device capable of continuously monitoring and encouraging proper hand hygiene practices, aiming to reduce the incidence of Healthcare-Associated Infections in hospital settings. Although a comprehensive evaluation of the prototype's effectiveness in increasing hand hygiene adherence among healthcare professionals, particularly considering the Hawthorne effect (where individuals tend to improve their behavior when observed), is planned for future work, existing literature suggests significant potential for behavioral improvement when individuals are aware of being monitored, comparative analysis with other available solutions indicated that the developed device offers a favorable cost-benefit ratio, ease of implementation, and low maintenance requirements. The result was a fully functional prototype that validated the proposed concept through bench tests. It was confirmed that the system successfully performs its intended operational cycle: the visual alert is triggered on the Wearable Module after a preset time and is deactivated upon receiving a confirmation signal from the Fixed Module. The main contribution of this work is the validation of a monitoring architecture that is both functionally effective and economically viable. The proposed intelligent device can serve as a valuable tool for preventing hospital-acquired infections and contributing to patient safety and healthcare efficiency. Moreover, the solution is both functionally effective and economically viable. Despite being limited to a proof-of-concept, the project highlights the potential of Control and Automation Engineering to deliver pragmatic, low-cost technological solutions to critical public health challenges. Future work may explore the integration of the device with Internet of Things (IoT) systems for real-time monitoring and its application in environments beyond hospitals.

Keywords: Hawthorne effect. Hand hygiene; Health Technology. Infection Control. Intelligent device. Wearable.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Funcionamento e interação dos dispositivos.	22
Figura 2 – Sistema para detecção de presença via RFID.	23
Figura 3 – Representação de utilização do crachá de distanciamento social.	24
Figura 4 – Parte do Formulário de Observação.	25
Figura 5 – Identificação por colaborador.	26
Figura 6 – Cartaz do Sistema Único de Saúde (SUS) para a promoção da higienização das mãos.	27
Figura 7 – Fluxograma do funcionamento do dispositivo.	30
Figura 8 – Microcontroladores alternativos considerados para o projeto.	33
Figura 9 – Arduino Pro Mini, microcontrolador escolhido para o MV.	34
Figura 10 – Componentes e alternativas para a fonte de alimentação do MV.	36
Figura 11 – Módulos de comunicação sem fio considerados para o projeto.	37
Figura 12 – Opções de indicadores luminosos avaliadas para o projeto.	38
Figura 13 – Esquemático do MV.	41
Figura 14 – Esquemático do MF.	42
Figura 15 – Protótipo do dispensador de álcool em gel.	44
Figura 16 – Protótipo do MV.	45
Figura 17 – Diagrama do funcionamento do dispositivo.	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estratégias para a promoção da higienização das mãos.	28
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre os microcontroladores avaliados.	34
Tabela 2 – Análise comparativa das configurações para o MV.	35
Tabela 3 – Estimativa de custo para a montagem do protótipo.	50
Tabela 4 – Análise comparativa de complexidade da arquitetura.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANS	Agência Nacional de Saúde Suplementar
AMB	Associação Médica Brasileira
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CCIH	Centros de Controle de Infecções Hospitalares
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> (Entrada/Saída de Propósito Geral)
IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IRAS	Infecção Relacionada à Assistência em Saúde
MF	Módulo Fixo
MV	Módulo Vestível
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
NFC	<i>Near Field Communication</i> (Comunicação por Campo de Proximidade)
OMS	Organização Mundial da Saúde
RF	Radiofrequência
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i> (Identificação por Radiofrequência)
RTLS	<i>Real-Time Locating Systems</i> (Sistemas de Localização em Tempo Real)
SUS	Sistema Único de Saúde

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	17
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>17</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>17</i>
1.2	Colocação do Problema	17
1.3	Justificativa	17
1.4	Organização do Texto	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS)	19
2.2	O Fator Comportamental na Adesão: O Efeito Hawthorne	19
2.3	Estado da Arte e Abordagens Tecnológicas no Monitoramento	20
<i>2.3.1</i>	<i>Categorias de Sistemas de Monitoramento</i>	<i>20</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Abordagens Focadas na Qualidade da Higienização</i>	<i>20</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Sistemas Similares e Tecnologias Aplicadas</i>	<i>21</i>
2.4	Metodologias de Avaliação da Conformidade	25
2.5	O Projeto AVISA: Ponto de Partida	26
3	METODOLOGIA	29
3.1	Princípio de Funcionamento	29
3.2	Definição dos Requisitos	30
<i>3.2.1</i>	<i>Requisitos Funcionais</i>	<i>31</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Requisitos Não-Funcionais</i>	<i>31</i>
<i>3.2.3</i>	<i>Requisitos Desejáveis para Trabalhos Futuros</i>	<i>31</i>
3.3	Análise e Seleção dos Componentes de Hardware	32
<i>3.3.1</i>	<i>Análise de Hardware do MV (Porta-Crachá)</i>	<i>32</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Análise de Hardware do MF (dispensador Higienizador)</i>	<i>38</i>
3.4	Configuração Final e Esquemáticos	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	Apresentação e Funcionamento do Protótipo	43
<i>4.1.1</i>	<i>Implementação do MF (dispensador)</i>	<i>43</i>

4.1.2	<i>Implementação do MV (Porta-Crachá)</i>	44
4.2	Testes Funcionais	46
4.2.1	<i>Cenários de Teste Funcional</i>	46
4.2.2	<i>Análise Teórica de Autonomia da Bateria</i>	47
4.2.3	<i>Proposta de Testes de Desempenho Futuros</i>	48
4.3	Discussão e Limitações	49
4.3.1	<i>Análise de Custo, Benefício e Complexidade</i>	50
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	52
5.1	Trabalhos Futuros	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES	58
	APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE DO PROTÓTIPO	59
A.0.1	<i>Firmware do MV (Porta-Crachá)</i>	59
A.0.2	<i>Firmware do MF (Dispensador)</i>	60
	ANEXOS	62
	ANEXO A – INFORMAÇÕES PARA COMPLEMENTAR O TEXTO.	63
A.0.1	<i>Sistemas Similares e Tecnologias Aplicadas</i>	63

1 INTRODUÇÃO

As patologias causadas por microrganismos representam uma das mais comuns ameaças à saúde humana. A Organização Mundial da Saúde (OMS) reitera que a maioria desses eventos infecciosos é evitável, sendo a higienização (das mãos, de alimentos e de ambientes) a principal e mais eficaz medida para a prevenção e o controle de infecções (World Health Organization, 2016).

Em ambientes hospitalares, essa questão se manifesta de forma crítica através da Infecção Relacionada à Assistência em Saúde (IRAS). Definida como qualquer infecção adquirida durante a internação, a IRAS aproveita-se da baixa imunidade do paciente e pode estar associada tanto aos procedimentos assistenciais quanto ao uso de dispositivos invasivos (Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2021).

Apesar de ser a medida isolada mais importante para a redução da transmissão de microrganismos, a adesão à correta higienização das mãos permanece um desafio global. Revisões sistemáticas da literatura indicam que as taxas de conformidade entre os profissionais de saúde frequentemente permanecem abaixo de 50%, um dado alarmante que é corroborado por relatórios da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) para o cenário brasileiro, que apontam uma média de adesão em torno de 40% (SRIGLEY *et al.*, 2014; Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2009). A consequência direta dessa baixa adesão é um cenário de alta mortalidade: estimativas indicam que as IRAS são responsáveis por até 100 mil óbitos anuais no Brasil (MONZANI, 2016).

O monitoramento eficaz dessa prática, por sua vez, enfrenta desafios significativos. Em um hospital de médio porte, com mais de 10.000 oportunidades de higiene das mãos por dia, a metodologia tradicional de observação direta, embora considerada o padrão-ouro, é um processo caro e demorado. Além disso, seus resultados são diretamente influenciados pelo Efeito Hawthorne, que pode inflar artificialmente as taxas de conformidade, mascarando o real cenário do problema (SRIGLEY *et al.*, 2014; WARD *et al.*, 2021).

As abordagens tradicionais, como campanhas de conscientização promovidas pelos Centros de Controle de Infecções Hospitalares (CCIH), demonstram um impacto positivo apenas temporário, com os índices de higienização decaindo com o passar do tempo. A recente pandemia de COVID-19, contudo, reforçou de maneira drástica a importância da higiene das mãos, trazendo essa pauta para o cotidiano de toda a população.

Diante desse contexto, a solução proposta neste trabalho consiste na criação de um dispositivo inteligente que sinalize a necessidade de higienização das mãos. Ao criar uma sensação de vigilância constante, o dispositivo visa tornar os profissionais menos propensos a negligenciar o procedimento, alavancando o mesmo fenômeno comportamental, o Efeito Hawthorne, que limita os métodos de observação tradicionais, mas que aqui é utilizado como ferramenta para incentivar a adesão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um dispositivo inteligente que auxilie na monitorização da higienização das mãos.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Elaborar um protótipo do Módulo Vestível (MV) baseado em um suporte de crachá ou acessório similar.
- Integrar circuitos nos dispensadores de álcool em gel para comunicação com o dispositivo, elaborando assim um Módulo Fixo (MF).
- Implementar um indicador no dispositivo para sinalizar a necessidade de higienização das mãos.
- Realizar uma análise comparativa de custo e complexidade da solução proposta em relação a outras tecnologias de monitoramento disponíveis.

1.2 Colocação do Problema

Como desenvolver um protótipo eficaz que não apenas monitore, mas também incentive ativamente a higienização das mãos? Adicionalmente, como alertar os profissionais e as pessoas ao seu redor sobre a necessidade de uma nova higienização?

1.3 Justificativa

No âmbito hospitalar, as IRAS destacam-se como um problema de alta relevância. A importância da higienização das mãos como medida crucial para mitigar a disseminação de microrganismos é amplamente reconhecida, mas a adesão a essa prática por parte dos profissionais de saúde permanece criticamente baixa. Essa falha se manifesta até mesmo em procedimentos de alto risco, como demonstrado por Girardi *et al.* (2020), cujo estudo em uma unidade de hemodiálise identificou baixa conformidade na higiene das mãos antes e depois da manipulação de cateteres, uma falha diretamente associada ao risco de infecções da corrente sanguínea.

Diante deste cenário, intervenções que vão além das campanhas de conscientização se tornam essenciais, e a literatura demonstra que o uso de tecnologia é um caminho promissor. O estudo de Morgan *et al.* (2022), por exemplo, evidenciou este cenário ao registrar que, após a implementação de um sistema eletrônico de monitoramento em uma Unidade de Terapia Intensiva

(UTI), a taxa de adesão completa à higienização mais do que dobrou, passando de apenas 8,4% para 20,5%.

Diante desses desafios e da evidência do potencial de sistemas de monitoramento, este trabalho propõe a criação de um dispositivo inteligente como ferramenta para incentivar e verificar a higienização das mãos. A abordagem vai ao encontro das recomendações de movimentos globais, como a *Patient Safety Movement Foundation* (Patient Safety Movement Foundation, 2019), que defende a higiene das mãos como um pilar para a construção de uma "cultura de segurança". Ao fornecer um *feedback* visual imediato, o dispositivo proposto não só lembra o profissional de sua responsabilidade, mas também torna a conformidade visível a todos no ambiente, incluindo pacientes e familiares, engajando a comunidade hospitalar na promoção de um ambiente mais seguro.

1.4 Organização do Texto

Este trabalho está organizado da seguinte forma: O **Capítulo 1**, Introdução, apresenta os conceitos que norteiam o trabalho, como a definição de IRAS, suas causas e consequências; as características esperadas para o protótipo; a relevância do tema; os objetivos e a organização do texto. No **Capítulo 2**, Fundamentação Teórica, é apresentada a revisão bibliográfica acerca de trabalhos anteriores, estudos sobre IRAS, métodos de prototipagem e análise de dados. No **Capítulo 3**, Metodologia, são detalhados os componentes analisados para a construção do protótipo e as metodologias para a sua construção e testes funcionais. No **Capítulo 4**, Resultados e Discussões, serão apresentados os resultados alcançados, incluindo a construção final do protótipo e seus testes de funcionamento. No **Capítulo 5**, Conclusão, há uma síntese do trabalho, as conclusões e uma subseção detalhando trabalhos futuros. E, por fim, as **Referências**, que apresentam a lista de toda a bibliografia consultada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS)

A Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS) tem constantemente alertado sobre o controle de infecções hospitalares. A prática da lavagem adequada das mãos, essencial por exemplo, para conter a disseminação do COVID-19, foi introduzida há mais de 170 anos pelo médico húngaro Ignaz Semmelweis. Ele tornou a lavagem das mãos obrigatória para enfermeiros e médicos em seu hospital, o que resultou em uma significativa redução nas taxas de mortalidade dos pacientes. Em homenagem a esse feito, foi instituído pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) o Dia Nacional de Controle da Infecção Hospitalar em 15 de maio, estabelecido pela Lei nº 11.723/2008 (BRASIL, 2008).

Essa data tem como propósito conscientizar autoridades de saúde, diretores de hospitais e profissionais da área sobre a importância de prevenir infecções hospitalares, que podem ocorrer durante ou após a internação e representam um sério problema de saúde pública devido ao aumento na morbidade e mortalidade. De acordo com a AMB, mais de 45 mil brasileiros morrem anualmente devido a infecções hospitalares, e a OMS estima que esse número pode chegar a até 100 mil por ano (MONZANI, 2016).

Com o propósito de melhorar a adesão à higienização das mãos, a OMS implementou a estratégia multimodal, que ressalta a participação do paciente nos serviços de saúde, a fim de incentivar os profissionais a higienizar as mãos. Segundo Silva *et al.* (2021) intervenções educativas com a participação e envolvimento do paciente se mostraram eficazes para adesão à higienização das mãos pelos profissionais de saúde.

Também de acordo com Paula *et al.* (2017) a disponibilidade de melhores recursos e a utilização de uma única estratégia, por vezes, não foi suficiente para aumentar a adesão, sendo muitas vezes necessária a aplicação de várias estratégias em conjunto com os profissionais de saúde. Sendo assim, seria importante combinar estratégias.

2.2 O Fator Comportamental na Adesão: O Efeito Hawthorne

O Efeito Hawthorne é um fenômeno comportamental no qual indivíduos alteram seu comportamento ou desempenho em resposta à consciência de que estão sendo observados. No contexto da saúde, este efeito é frequentemente invocado para explicar o aumento da adesão a protocolos quando os profissionais sabem que estão sob avaliação.

Kozerski (2017) avaliou a adesão à higiene das mãos em um hospital universitário. A pesquisa utilizou dois métodos distintos: a observação fechada (onde o observador não era conhecido pelos profissionais) e a observação aberta (onde a presença do avaliador era explícita). Os resultados demonstraram um aumento significativo na conformidade durante a observação aberta, evidenciando o impacto direto da percepção de vigilância. Segundo o estudo, o Efeito

Hawthorne foi responsável por um aumento de 48,27% na adesão à higiene das mãos, validando a premissa de que a observação direta é uma poderosa ferramenta de incentivo.

2.3 Estado da Arte e Abordagens Tecnológicas no Monitoramento

2.3.1 Categorias de Sistemas de Monitoramento

A crescente necessidade de sistemas de monitoramento mais eficazes impulsionou uma vasta pesquisa na área, resultando em diversas abordagens tecnológicas. Uma revisão sistemática recente da literatura, conduzida por Leal *et al.* (2021), categoriza os sistemas eletrônicos de monitoramento em quatro tipos principais:

1. Observação direta assistida por eletrônicos: Uso de dispositivos como tablets para registro de dados por um observador humano.
2. Monitoramento por vídeo: Análise de gravações de vídeo, seja por humanos ou por algoritmos de visão computacional.
3. Contadores eletrônicos em dispensadores: Sensores que apenas contam o número de ativações do dispensador, sem identificar o usuário.
4. Redes de monitoramento automatizado: A categoria mais completa, que utiliza tecnologias como *RFID*, Bluetooth ou Sistemas de Localização em Tempo Real (*Real-Time Locating Systems* - RTLS) para identificar o profissional, sua localização e a interação com os pontos de higienização.

O projeto AVISA, desenvolvido neste trabalho, insere-se na quarta categoria, buscando implementar uma rede de monitoramento automatizado com foco em baixo custo e *feedback* imediato ao usuário através de RF e sinalização visual.

2.3.2 Abordagens Focadas na Qualidade da Higienização

Além de monitorar a frequência, uma fronteira da pesquisa atual é a avaliação da qualidade do procedimento de higienização. Wang *et al.* (2021), por exemplo, propõe o sistema iWash, que utiliza um *smartwatch* com acelerômetro e uma rede neural para avaliar a qualidade dos gestos da lavagem das mãos, provendo *feedback* em tempo real. Uma característica notável é a otimização para processamento no próprio dispositivo (*on-device*), visando a economia de energia. Em uma linha ainda mais inovadora, Li *et al.* (2023) demonstra um método que utiliza câmeras térmicas para detectar a cobertura do álcool em gel na pele, alcançando uma acurácia de 93,5% na medição da qualidade da higiene. Tais abordagens, embora complexas, indicam a tendência de se aprofundar na eficácia do procedimento, e não apenas em sua ocorrência.

2.3.3 Sistemas Similares e Tecnologias Aplicadas

Para contextualizar o projeto AVISA no cenário tecnológico e de propriedade intelectual, foi conduzido um estudo de anterioridade em bases de patentes (Anexo A), que revelou diversas abordagens para o monitoramento de conformidade. A análise desses documentos foi fundamental para diferenciar a proposta deste trabalho, focando em uma arquitetura de baixo custo com *feedback* visual direto ao usuário.

Alinhado a essa prospecção, outros trabalhos recentes na literatura acadêmica apresentam soluções completas baseadas em Internet das Coisas (*IoT*). O sistema desenvolvido por Park *et al.* (2024) é um exemplo relevante, utilizando posicionamento por *Bluetooth Low Energy (BLE)*, sensores ultrassônicos para medir a duração da lavagem com água e sensores de pressão para detectar o uso de álcool em gel. A existência de trabalhos como este valida a abordagem baseada em *IoT* e serve como um importante parâmetro para comparação de tecnologias e resultados.

A pesquisa realizada revelou trabalhos e patentes que servem como um importante referencial teórico para este projeto.

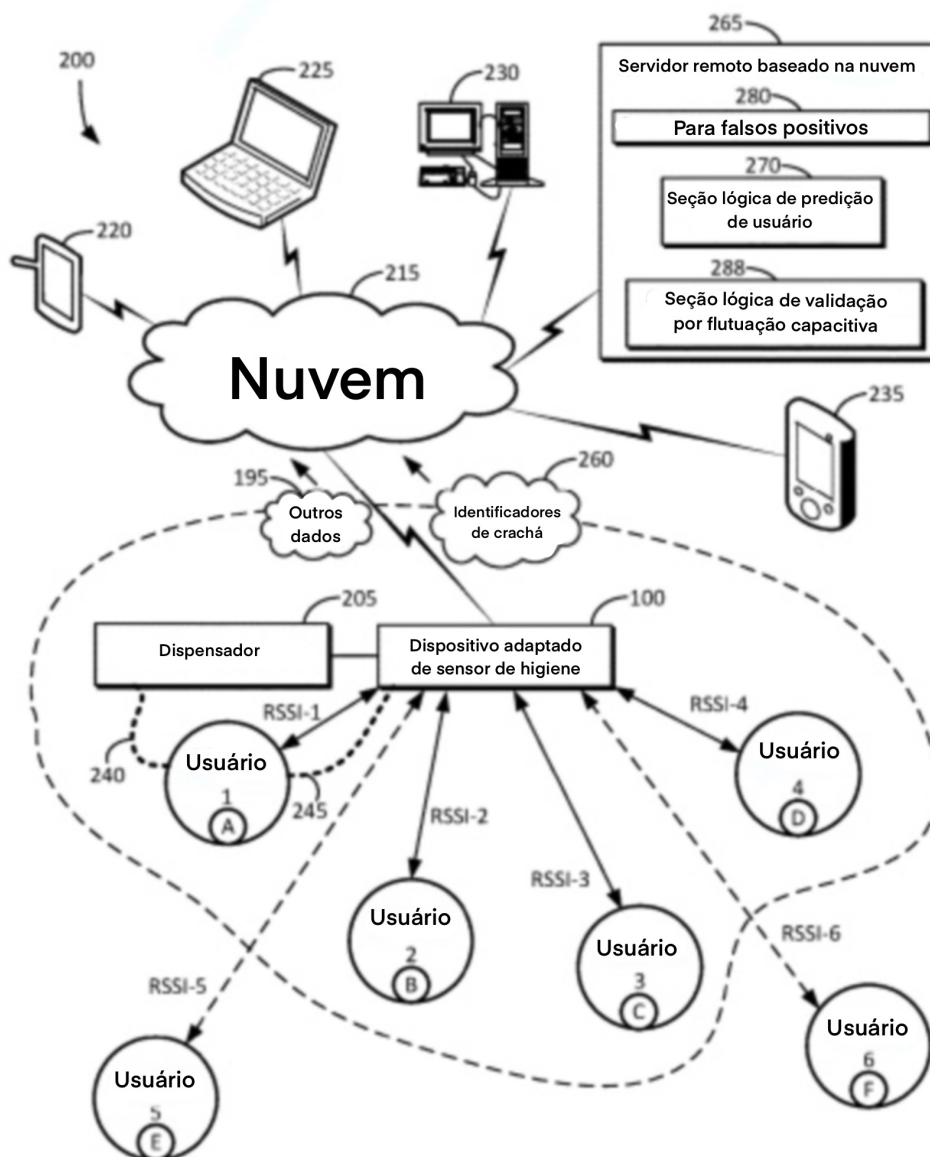
Mota (2021) realizou a construção de um Higienizador Biométrico de Mãos. Em seu trabalho, o autor citou que a fiscalização da adesão é dificultada por métodos manuais e intermitentes, que geram dados inconsistentes. Seguindo esta premissa, seu projeto propôs a criação de um sistema de reconhecimento para o controle da higienização, capaz de identificar o profissional e registrar o uso. Foram criados dois protótipos baseados em QR Code e biometria para avaliar a viabilidade do produto. Embora os protótipos tenham apresentado desafios, o estudo concluiu que as soluções eram promissoras para aprimoramentos futuros. Em contraste, o presente trabalho busca não apenas o registro, mas também utilizar o indicador luminoso como um mecanismo ativo de incentivo à conformidade.

Já a patente de Swipesense, INC. (2019) apresenta um dispositivo, sistema e método que podem ser usados para monitorar o uso e a conformidade de dispensadores de higiene. Um dispositivo adaptador de sensor higiênico é colocado próximo ao dispensador. O dispositivo adaptador de sensor higiênico detecta a presença de uma mão humana dentro de uma área de ativação do dispensador. O dispositivo adaptador de sensor higiênico inclui um sensor para detectar crachás usados por sujeitos humanos correspondentes, como demonstrado na Figura 1.

O seu diferencial está no fato de possuir um servidor remoto baseado na nuvem que pode determinar um sujeito humano específico entre os sujeitos humanos aos quais a mão pertence. Nele, crachás que são exclusivamente atribuídos a indivíduos se comunicam sem fio com todos os outros dispositivos para registrar eventos de higiene das mãos.

É notório que existem várias tecnologias que podem ajudar no desenvolvimento e aprimoramento do dispositivo, como também é o caso da patente de Almeida, Costa *et al.* (2012), que desenvolveu um sistema inovador para acompanhar a presença dos alunos nas escolas, utilizando etiquetas do tipo *RFID* inseridas nos uniformes dos alunos para identificá-los de forma única,

Figura 1 – Funcionamento e interação dos dispositivos.



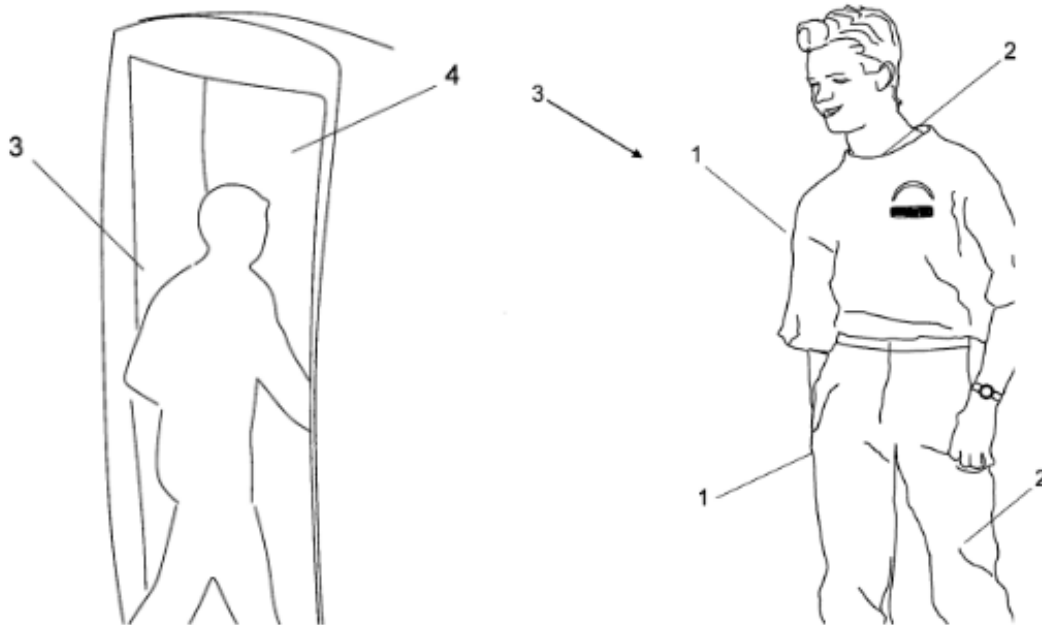
Fonte: Adaptado de Swipesense, INC., 2019.

como demonstra a Figura 2. Após a aquisição das etiquetas, elas são vinculadas aos respectivos alunos no sistema e a identificação é feita por portais, leitores e antenas estrategicamente posicionados nas instalações da escola.

Com a pandemia de Covid-19 também surgiram soluções acerca de promover e controlar o distanciamento social, como é o caso do *Smart Proximity* (ThinkIn, 2021), que é uma plataforma integrada que monitora comportamento no local de trabalho, tomando medidas em tempo real ao enviar mensagens de aviso aos operadores que ultrapassam as distâncias de segurança apropriadas. Nele cada operador é equipado com um Sensor de Proximidade vestível que se comunica com um ou mais sensores próximos ao enviar e receber informações, como demonstra a Figura 3. Quando dois sensores observam que a distância de segurança entre dois operadores é desrespeitada

dentro de um intervalo de tempo específico, eles imediatamente os alertam "Mensagens de Proximidade" por meio de vibração, LED ou som.

Figura 2 – Sistema para detecção de presença via RFID.



Fonte: ALMEIDA; COSTA *et al.*, 2012.

Soluções vestíveis como essas são um ótimo referencial, pois abrem um leque de possibilidades além do porta-crachá.

Outro fator importante que deve ser considerado para o desenvolvimento deste trabalho é a eficiência energética; construir um circuito que gaste pouca energia e seja viável para funcionar como um portátil é de suma importância. Onibonoje (2019) avaliou exatamente isso em seu estudo: a restrição de energia é um desafio importante na implantação e aplicações de redes de sensores sem fio, e a otimização da energia disponível é crucial para consideração. Três medidas diferentes foram introduzidas para garantir a redução no consumo de energia dentro da rede. Houve uma redução de 10% no consumo de energia e uma extensão da vida útil dos nós de 26 horas para 132 dias, e foram usados um Arduino Mini Pro e um módulo XBee para a realização dos testes. De toda maneira, é necessário um estudo um pouco mais aprofundado de como utilizar os modos do Arduino e de outros possíveis microcontroladores, para definir com clareza qual o mais eficiente.

A prospecção tecnológica revela um campo vasto e em contínua evolução. Além das patentes já citadas, outros documentos reforçam a diversidade de abordagens, como o sistema de Oman, Sahni e Dempsey (2016), que também utiliza crachás e sensores, e o de Barnhill e Furness (2008), um dos primeiros a propor a integração com dispensadores. Mais recentemente, a patente da Hygreen Inc (2021) foca em aumentar a acurácia do monitoramento utilizando triangulação de

Figura 3 – Representação de utilização do crachá de distanciamento social.



Fonte: ThinkIn, 2021.

sinais. No campo acadêmico, propostas como a de Singh *et al.* (2020) exploram arquiteturas de baixo custo baseadas em *IoT*, enquanto o trabalho de Tartari *et al.* (2012) demonstra a viabilidade de se utilizar tecnologias de código aberto para criar sistemas de monitoramento eficazes. Essa diversidade de soluções evidencia a relevância do tema e a constante busca por um sistema que equilibre eficácia, custo e usabilidade.

2.4 Metodologias de Avaliação da Conformidade

A validação da eficácia de dispositivos de monitoramento é um passo complexo e fundamental no ciclo de desenvolvimento de tecnologias para a saúde. A literatura apresenta diversas abordagens para medir o impacto de intervenções na adesão dos profissionais à higienização das mãos, combinando métodos quantitativos e observacionais.

Mota (2014), por exemplo, aplicou uma abordagem de campo observacional e quantitativa. Durante duas semanas, foram utilizados instrumentos validados para registrar tanto o número de oportunidades de higienização quanto a técnica correta empregada pelos profissionais. Uma das conclusões do estudo foi que a equipe de saúde tende a higienizar as mãos mais por necessidade própria do que nos momentos protocolados. Sua metodologia, alinhada a documentos da ANVISA como o "FORMULÁRIO DE OBSERVAÇÃO DIRETA DE ADESÃO À HIGIENE DE MÃOS", Figura 4, representa um padrão-ouro para a coleta de dados de conformidade em ambiente real.

Figura 4 – Parte do Formulário de Observação.

ANEXO 34

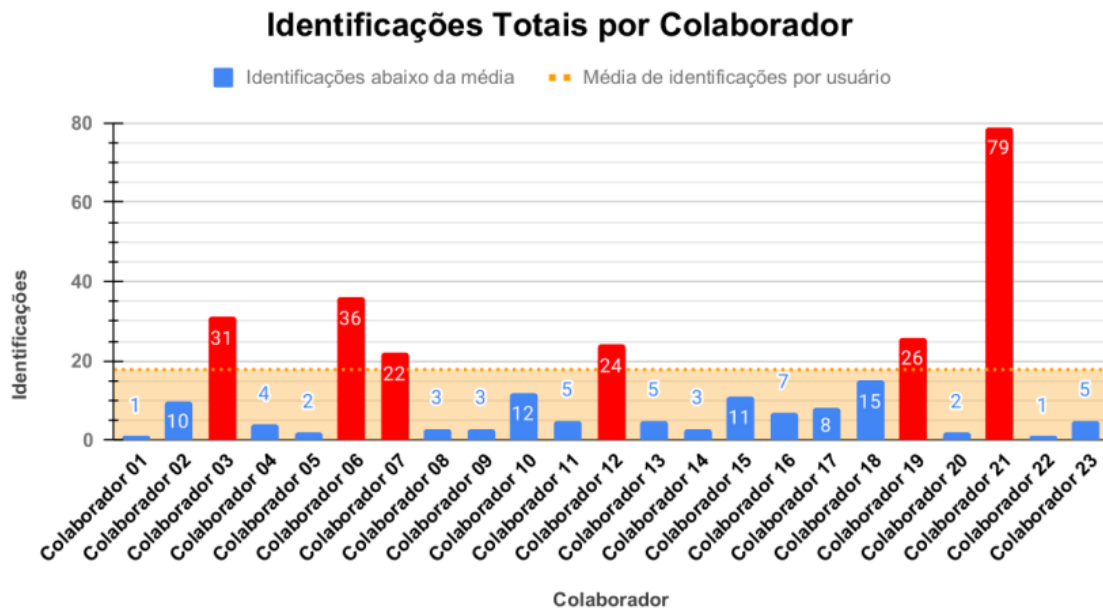
FORMULÁRIO DE OBSERVAÇÃO

Pais	Cidade	Instituição	Identificação do local																								
Observador (iniciais) <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Nº. do Período <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>																									
Data (dd.mm.aaaa) <input type="text"/> <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> . <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Departamento/Clinica <input type="text"/>																									
Início/Fim (h:min) <input type="text"/> : <input type="text"/> / <input type="text"/> : <input type="text"/>		Nome do Serviço <input type="text"/>																									
Duração da Sessão (min) <input type="text"/>		Nome da Unidade <input type="text"/>																									
Cat. Prof. <input type="text"/> Código <input type="text"/> Número <input type="text"/>	Cat. Prof. <input type="text"/> Código <input type="text"/> Número <input type="text"/>	Cat. Prof. <input type="text"/> Código <input type="text"/> Número <input type="text"/>	Cat. Prof. <input type="text"/> Código <input type="text"/> Número <input type="text"/>																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">Op</th> <th style="width: 40%;">Indicação</th> <th style="width: 50%;">Ação</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td> <input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim. </td> <td> <input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada </td> </tr> </table>	Op	Indicação	Ação	1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">Op</th> <th style="width: 40%;">Indicação</th> <th style="width: 50%;">Ação</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td> <input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim. </td> <td> <input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada </td> </tr> </table>	Op	Indicação	Ação	1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">Op</th> <th style="width: 40%;">Indicação</th> <th style="width: 50%;">Ação</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td> <input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim. </td> <td> <input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada </td> </tr> </table>	Op	Indicação	Ação	1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">Op</th> <th style="width: 40%;">Indicação</th> <th style="width: 50%;">Ação</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td> <input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim. </td> <td> <input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada </td> </tr> </table>	Op	Indicação	Ação	1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada
Op	Indicação	Ação																									
1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada																									
Op	Indicação	Ação																									
1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada																									
Op	Indicação	Ação																									
1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada																									
Op	Indicação	Ação																									
1	<input type="checkbox"/> ant. pacte. <input type="checkbox"/> ant. proc. assep. <input type="checkbox"/> ap. fluidos corp. <input type="checkbox"/> ap. pacte. <input type="checkbox"/> ap. proxim.	<input type="checkbox"/> fricção com álcool <input type="checkbox"/> água e sabonete <input type="radio"/> não realizada																									

Fonte: ANVISA, 2013.

Em um trabalho com finalidade semelhante, Mota (2021) desenvolveu um protótipo que permitia a identificação individual de cada usuário. Conforme ilustrado na Figura 5, o sistema registrava o número de higienizações por colaborador, possibilitando uma análise quantitativa da adesão que poderia ser comparada com a observação manual. Esta abordagem de registro individual automatizado é essencial para estudos comparativos de larga escala.

Figura 5 – Identificação por colaborador.



Fonte: MOTA, 2021.

2.5 O Projeto AVISA: Ponto de Partida

O presente trabalho de conclusão de curso é uma evolução da ideia original do projeto AVISA, que foi idealizado em 2018 e sagrou-se vencedor da III Olimpíada de Inovação do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), promovida pelo Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) do IFMG (IFMG Play, 2021). Embora não existam publicações formais como artigos científicos sobre o projeto, sua concepção foi divulgada nos canais oficiais do IFMG, onde foi destacada sua relevância, especialmente no contexto da pandemia de COVID-19 (Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), 2020).

A proposta original do AVISA consiste em um sistema inteligente composto por um crachá eletrônico (MV) e sensores nos pontos de higienização (MF). O objetivo é monitorar a frequência de higienização das mãos e emitir um sinal luminoso caso a rotina não seja cumprida, criando um mecanismo de verificação social. A criação de novas estratégias para o incentivo à higiene é fundamental, conforme detalhado pela Anvisa no Quadro 1. Posteriormente, o projeto também foi submetido ao Programa Centelha (Programa Centelha, 2024), uma iniciativa de fomento ao empreendedorismo inovador, buscando validar seu potencial de mercado.

O projeto é uma solução simples para um problema complexo, já que a higienização das mãos é considerada a ação isolada mais importante no controle de infecções. A conscientização sobre o tema é frequentemente promovida por meio de campanhas visuais, como o cartaz do Sistema Único de Saúde (SUS) apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Cartaz do Sistema Único de Saúde (SUS) para a promoção da higienização das mãos.



Fonte: Instituto Nacional de Câncer (INCA), 2021.

Quadro 1 – Estratégias para a promoção da higienização das mãos.

Estratégias
1. Educação
2. Observação/auditoria e <i>feedback</i>
3. Medidas administrativas <ul style="list-style-type: none">• Tornar a higienização das mãos possível, conveniente e fácil• Disponibilizar preparações alcoólicas
4. Educação do paciente
5. Lembretes no local de trabalho
6. Sanções administrativas e premiações
7. Troca do produto utilizado para a higienização das mãos
8. Promoção do cuidado da pele dos profissionais de saúde
9. Participação ativa no nível individual e institucional
10. Melhora do clima de segurança institucional
11. Reforço da eficácia individual e institucional
12. Evitar superlotação dos hospitais, sobrecarga de trabalho e número reduzido de profissionais
13. Combinação de várias estratégias

Fonte: Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2009.

3 METODOLOGIA

3.1 Princípio de Funcionamento

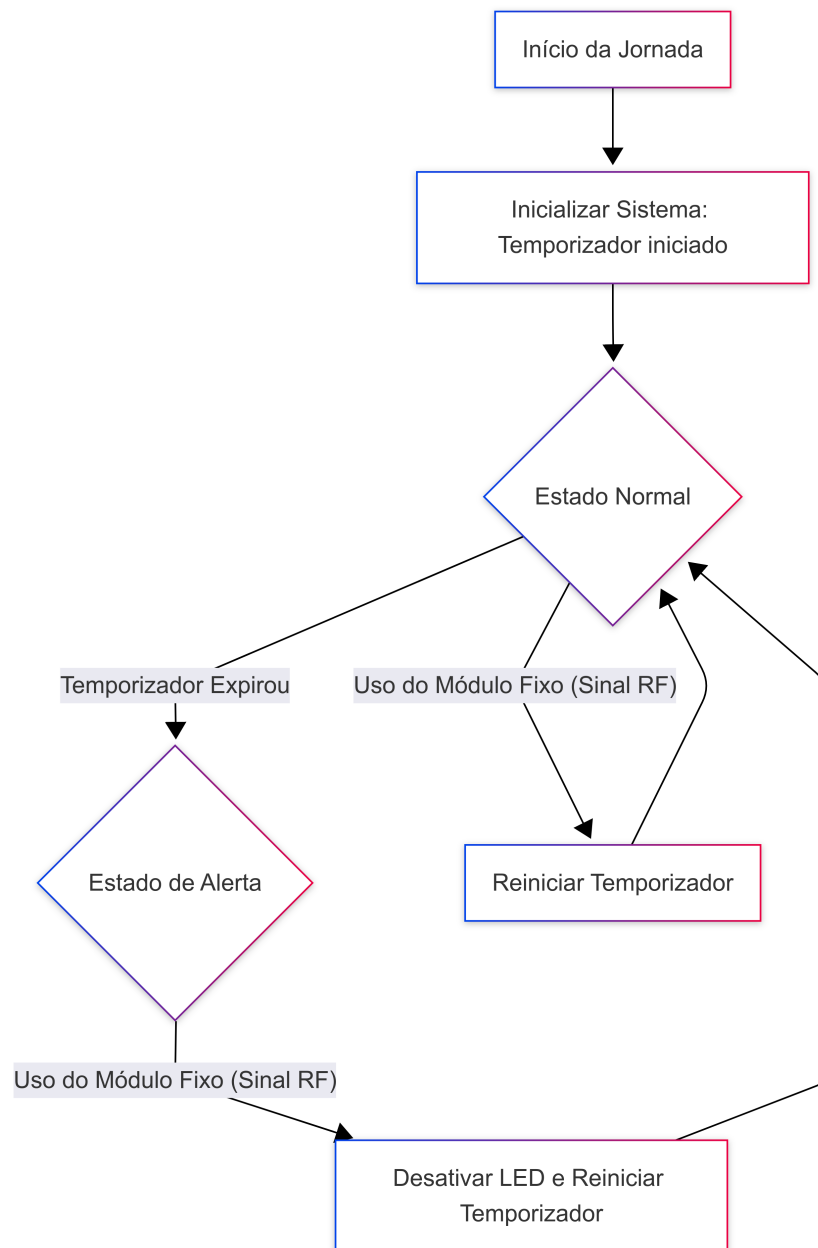
Partindo do conceito do projeto AVISA, introduzido na seção 2.5, o sistema proposto para este trabalho foi dividido em dois subsistemas principais que interagem entre si: o MV), acoplado ao crachá do profissional de saúde, e o MF, instalado no dispensador de álcool em gel.

O funcionamento do sistema é regido por uma lógica de eventos baseada em um temporizador e na comunicação sem fio, conforme detalhado no fluxograma da Figura 7. O ciclo pode ser descrito da seguinte forma:

1. Inicialização e Contagem de Tempo: Ao ser ligado (início da jornada de trabalho), o MV inicia um temporizador interno, configurado com o intervalo de tempo máximo permitido entre higienizações. Neste estado inicial, o indicador luminoso (LED) permanece apagado.
2. Alerta de Higienização: Caso o temporizador expire sem que uma higienização seja detectada, o microcontrolador do MV ativa o LED, sinalizando de forma ostensiva a necessidade do procedimento.
3. Detecção e Comunicação: Ao utilizar qualquer dispensador equipado com um MF, o acionamento (seja por sensor infravermelho ou mecânico) comanda o transmissor de radiofrequência (RF) do MF a enviar um sinal de confirmação.
4. Desativação do Alerta e Reinício do Ciclo: O módulo receptor no MV está em constante escuta por este sinal. Ao recebê-lo, o microcontrolador do MV executa imediatamente duas ações: desativa o LED (caso esteja aceso) e reinicia o temporizador para um novo ciclo de contagem.

É importante notar que o reinício do temporizador ocorre a qualquer momento em que o dispensador é utilizado, independentemente do estado do LED. Isso significa que uma higienização adiantada (ou proativa), realizada antes do acionamento do alerta visual, é igualmente registrada pelo sistema e posterga o próximo alerta. Essa característica garante que o profissional seja recompensado pela proatividade, mantendo seu indicador sempre inativo enquanto cumpre a frequência de higiene, e não apenas quando reage a um alerta. A arquitetura desta interação alinha-se com a categoria de redes de monitoramento automatizado (LEAL *et al.*, 2021).

Figura 7 – Fluxograma do funcionamento do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.2 Definição dos Requisitos

Para guiar o desenvolvimento de um protótipo que seja ao mesmo tempo funcional e viável, foi realizado o levantamento de seus requisitos essenciais. Adotando uma prática fundamental da Engenharia de Software, estes requisitos foram divididos em duas categorias principais: Funcionais e Não-Funcionais (SOMMERVILLE, 2016). Os Requisitos Funcionais descrevem o que o sistema deve fazer (suas funcionalidades), enquanto os Requisitos Não-Funcionais definem as restrições e os critérios de qualidade do projeto, como desempenho, usabilidade e custo.

3.2.1 Requisitos Funcionais

Os Requisitos Funcionais definem as operações e funcionalidades primordiais que o protótipo deve executar.

- RF01 - Comunicação entre Módulos: O MV (porta-crachá) deve se comunicar com o MF (dispensador) para desativar o indicador luminoso quando a higienização é realizada.
- RF02 - Sinalização de Alerta: O indicador luminoso no MV deve ser ostensivo e claramente identificável a uma distância social comum.
- RF03 - Configurabilidade do Temporizador: O sistema deve permitir que o intervalo de tempo entre as higienizações necessárias seja configurável, para se adaptar a diferentes protocolos hospitalares.

3.2.2 Requisitos Não-Funcionais

Os Requisitos Não-Funcionais estabelecem as restrições e os padrões de qualidade que guiarão o design e a escolha dos componentes do protótipo.

- RNF01 - Ergonomia e Portabilidade: O MV deve ser leve, compacto e projetado para uso confortável junto à vestimenta de trabalho, sem atrapalhar as atividades do profissional.
- RNF02 - Autonomia Energética: O dispositivo deve ser alimentado por bateria com autonomia suficiente para, no mínimo, um turno de trabalho completo (8 a 12 horas).
- RNF03 - Higiene e Segurança: O design do dispositivo, especialmente do MV, deve ser concebido para ser higiênico, evitando o risco de contaminação cruzada.
- RNF04 - Manutenibilidade e Instalação: O sistema deve ser de fácil instalação nos dispensadores existentes e permitir manutenções corretivas simples, com acesso facilitado aos componentes internos.
- RNF05 - Conformidade com Normas: O projeto deve levar em consideração as boas práticas e regulamentações de segurança para dispositivos eletrônicos em ambientes hospitalares.
- RNF06 - Baixo Custo: A solução deve ser desenvolvida com componentes de baixo custo e amplamente disponíveis, visando a viabilidade econômica para implementação em larga escala.

3.2.3 Requisitos Desejáveis para Trabalhos Futuros

Adicionalmente, foram levantados requisitos para futuras evoluções do sistema. Embora não implementados no escopo deste trabalho, eles influenciaram a escolha de componentes com maior capacidade de processamento e memória, visando facilitar futuras expansões.

- RD01 - Registro de Eventos (Log): Capacidade de registrar a data e a hora de cada higienização realizada.
- RD02 - Identificação de Usuário: Associar os registros de higienização a um identificador único para cada profissional.
- RD03 - Monitoramento de Insumos: Detecção do nível de álcool em gel no dispensador para alertar sobre a necessidade de reabastecimento.

3.3 Análise e Seleção dos Componentes de *Hardware*

Esta seção detalha o processo de análise e seleção dos componentes para o MV e o MF. A avaliação de cada componente foi pautada nos requisitos funcionais e não-funcionais definidos anteriormente, buscando um balanço otimizado entre funcionalidade, custo e adequação ao projeto.

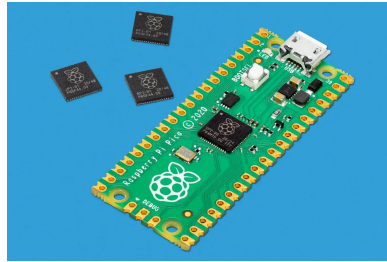
3.3.1 Análise de *Hardware* do MV (Porta-Crachá)

A seleção de componentes para o MV é a mais crítica do projeto, pois impacta diretamente os requisitos de ergonomia (RNF01), autonomia energética (RNF02) e baixo custo (RNF06).

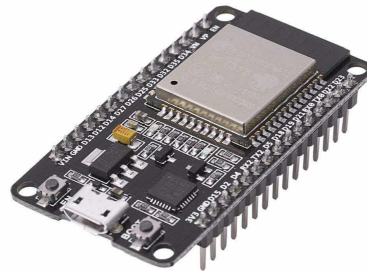
Dispositivo Controlador

A escolha do controlador para o MV foi uma decisão crítica, guiada pelos requisitos de dimensões compactas (RNF01), baixo consumo de energia (RNF02) e custo acessível (RNF06). Foram avaliadas as plataformas mais relevantes do mercado para prototipagem, incluindo o Raspberry Pi Pico, o ESP32 e as versões compactas da família Arduino, como o LilyTiny e o Pro Mini. As alternativas mais potentes são ilustradas na Figura 8.

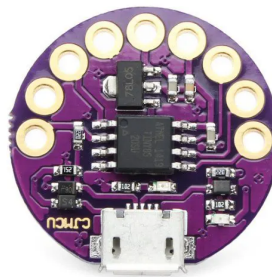
Figura 8 – Microcontroladores alternativos considerados para o projeto.



(a) Raspberry Pi Pico.



(b) ESP32.



(c) Arduino LilyTiny.

Fonte: Raspberry Pi Foundation (2021); Espressif Systems (2024); ARDUINO Lilypad (2024).

A Tabela 1 resume a análise comparativa entre as principais opções. Embora placas como o ESP32 e o Raspberry Pi Pico ofereçam recursos avançados como múltiplos núcleos e conectividade Wi-Fi, essas características não eram necessárias para os requisitos funcionais do protótipo e implicariam em maior complexidade e consumo de energia.

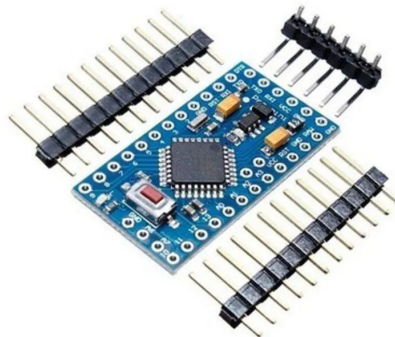
Tabela 1 – Comparativo entre os microcontroladores avaliados.

Atributos	Pi Pico	ESP32	LilyPad	Pro Mini
Processador	RP2040	Dual-core	ATmega328P	ATmega328P
Consumo	Eficiente	Variável	Baixo	Baixo
Conectividade	USB	Wi-Fi, BT	-	-
Custo (média)	R\$ 40	R\$ 40	R\$ 40	R\$ 30
Tamanho	Compacto	Variável	Circular	Muito Pequeno

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Decisão e Justificativa: Com base na análise, o Arduino Pro Mini (Figura 9) foi o microcontrolador selecionado para o MV. Ele apresentou a melhor combinação de atributos para os requisitos essenciais do projeto: seu tamanho extremamente reduzido (33mm x 18mm) é ideal para a portabilidade (RNF01), seu baixo consumo de energia é fundamental para a autonomia da bateria (RNF02), e seu custo foi o menor entre as opções (RNF06). Adicionalmente, sua total compatibilidade com o ecossistema Arduino garantiu a facilidade de programação e desenvolvimento.

Figura 9 – Arduino Pro Mini, microcontrolador escolhido para o MV.



Fonte: ARDUINO Pro Mini (2024).

Análise Quantitativa de Consumo e Otimização.

Para validar a superioridade do Pro Mini em eficiência energética, foi realizada uma análise de consumo comparando-o com o Arduino LilyTiny, outra opção minimalista. A análise considerou um circuito de carga comum composto por um receptor de RF de 433MHz (~4 mA) e um LED de sinalização (~20 mA).

O LilyTiny, por operar a 5V, exige um conversor *Step-Up* que introduz perdas de eficiência, resultando em um consumo ativo estimado de ~29 mA. Já o Arduino Pro Mini, especialmente na versão de 3.3V, oferece um vasto potencial de otimização:

- Via Software: A utilização da biblioteca `<avr/sleep.h>` permite colocar o microcontrolador no modo `SLEEP_MODE_PWR_DOWN`, reduzindo seu consumo a poucos microampères (μA) durante a maior parte do tempo.
- Via Hardware: A remoção de componentes parasitas, como o LED de energia e o regulador de tensão (alimentando a placa diretamente com a bateria LiPo), aumenta drasticamente a eficiência energética.

A Tabela 2 resume essa análise, confirmando que a configuração com o Arduino Pro Mini de 3.3V Otimizado é a que apresenta o maior potencial de otimização, sendo a única capaz de atender de forma robusta ao requisito de autonomia (RNF02).

Tabela 2 – Análise comparativa das configurações para o MV.

Configuração	Uso Ideal	Consumo (Est.)	Potencial de Otimização	Vant.	Desvant.
LilyTiny	<i>Wearables</i>	29 mA	Baixo	Compacto e leve.	Requer <i>Step-Up</i> .
Pro Mini (5V)	Prototipagem	46 mA	Médio	Versátil.	Alto consumo padrão.
Pro Mini (3.3V)	Projetos a Bateria	28 mA	Muito Alto	Alta flexibilidade.	Requer modificação de <i>hardware</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Fonte de Alimentação

A escolha da fonte de alimentação para o MV foi um fator determinante para o sucesso do protótipo, impactando diretamente a autonomia (RNF02), a portabilidade (RNF01) e o custo do dispositivo (RNF06). Os critérios de seleção foram a compatibilidade de tensão, capacidade de carga (mAh) suficiente para um turno de trabalho, dimensões e peso mínimos, e a preferência por soluções recarregáveis.

Foram consideradas três principais tecnologias: pilhas alcalinas, baterias tipo "moeda"(CR2032) e a família de baterias de Lítio-Polímero (LiPo), conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Componentes e alternativas para a fonte de alimentação do MV.



(a) Bateria LiPo.

(b) Módulo Carregador TP4056.

(c) Bateria CR2032.

Fonte: MOTOMA Power (2025); Baú da Eletrônica (2024); Eletrogate (2024).

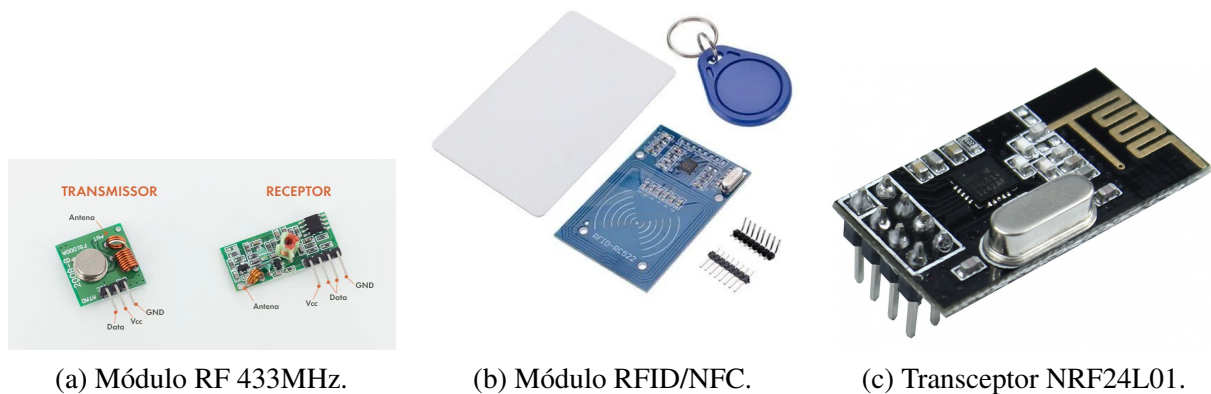
Decisão e Justificativa: A solução escolhida foi a combinação de uma bateria de Lítio-Polímero (LiPo) com um módulo de recarga TP4056. As pilhas alcalinas foram descartadas por não serem recarregáveis e por seu volume e peso excessivos, o que comprometeria a ergonomia (RNF01). A bateria tipo "moeda" (CR2032), embora extremamente compacta, foi descartada devido à sua baixa capacidade de carga e corrente, representando um risco significativo para a autonomia mínima de um turno de trabalho (RNF02). A bateria LiPo, por sua vez, oferece o melhor balanço entre alta densidade energética, formato achatado e baixo peso, atendendo simultaneamente aos requisitos de portabilidade (RNF01) e autonomia (RNF02). A inclusão do módulo TP4056 garante um processo de recarga seguro e prático, alinhando-se à preferência por soluções sustentáveis e de menor custo a longo prazo.

Módulo de Comunicação Sem Fio

A comunicação sem fio entre o MF e o MV é a espinha dorsal do sistema, responsável por efetivar o reinício do ciclo de monitoramento (RF01). A escolha da tecnologia foi guiada por critérios de simplicidade (RNF04), baixo custo (RNF06) e baixo consumo de energia (RNF02). Além disso, buscou-se uma solução que não exigisse uma ação deliberada do usuário, como a aproximação do crachá, para minimizar o atrito no uso diário, uma preocupação validada pela literatura (MOTA, 2021).

Foram avaliadas três principais tecnologias, ilustradas na Figura 11: sistemas de identificação por proximidade (RFID/NFC), transceptores de 2.4GHz e módulos de rádio frequência (RF) simples.

Figura 11 – Módulos de comunicação sem fio considerados para o projeto.



Fonte: Eletrogate³ (2024); Baú da Eletrônica² (2024); Robocore² (2024).

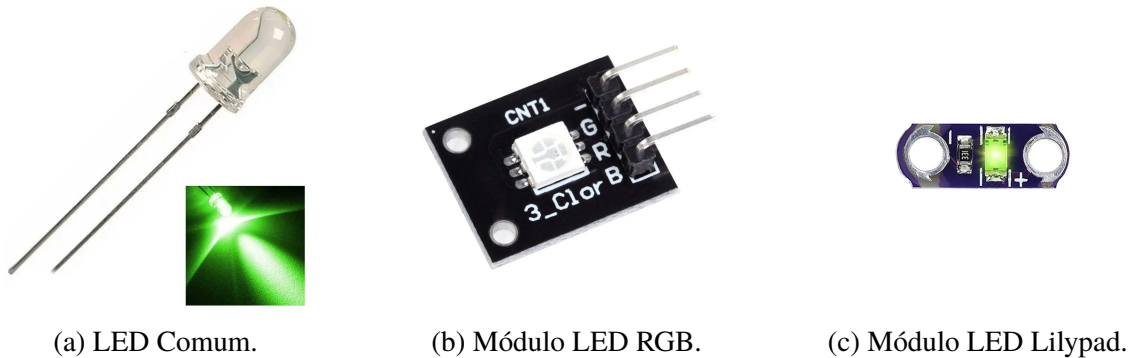
Decisão e Justificativa: A tecnologia selecionada foi o conjunto transmissor/receptor de RF 433MHz. Embora os sistemas RFID/NFC (Módulo MFRC522) sejam robustos para a identificação de usuários (RD02), eles foram descartados para esta prova de conceito por exigirem uma ação de aproximação do usuário, o que poderia prejudicar a adesão. Os transceptores de 2.4GHz (NRF24L01), por sua vez, foram considerados excessivamente complexos para a simples tarefa de enviar um sinal unidirecional de confirmação. O conjunto de RF 433MHz se destacou por ser a solução que melhor atende aos requisitos de simplicidade de implementação (RNF04) e baixíssimo custo (RNF06), permitindo uma comunicação passiva e eficaz para o ciclo de monitoramento do protótipo.

Indicador de Alerta

O indicador de alerta é o principal meio de comunicação entre o dispositivo e o ambiente, sendo crucial para atender ao requisito funcional de sinalização ostensiva (RF02). Foram consideradas diferentes formas de *feedback* ao usuário, mas a opção por um indicador luminoso foi rapidamente definida. Alertas sonoros foram descartados por serem disruptivos em um ambiente hospitalar, e alertas vibratórios, embora discretos, não cumprem o objetivo de criar uma sinalização socialmente visível, que é um dos pilares conceituais do projeto para potencializar o Efeito Hawthorne.

Dentro da categoria de indicadores luminosos, foram avaliadas as opções de um LED comum de alto brilho e módulos mais complexos, como os de LED RGB ou específicos para *wearables*, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Opções de indicadores luminosos avaliadas para o projeto.



Fonte: Eletrogate - LED (2025); Eletrogate² (2024); Robocore (2024).

Decisão e Justificativa: A solução selecionada foi o LED difuso de alto brilho. Embora módulos RGB ou específicos para *wearables* oferecessem mais funcionalidades, como a sinalização com cores diferentes, a simplicidade e o baixíssimo custo do LED comum foram decisivos. Ele atende plenamente ao requisito de sinalização ostensiva (RF02) com o menor consumo de energia e a mais simples integração ao circuito (necessitando apenas de um resistor), alinhando-se perfeitamente ao requisito de baixo custo (RNF06).

Invólucro (suporte) e Montagem Física

A construção do suporte para o MV é um passo fundamental para garantir a proteção do circuito e a usabilidade do dispositivo. A abordagem inicial considerou a modelagem e fabricação de uma peça exclusiva utilizando impressão 3D, que permitiria alta personalização do design.

Contudo, em uma reavaliação focada em otimizar o tempo de desenvolvimento e em alinhar-se estritamente ao requisito de baixo custo, optou-se por uma estratégia de adaptação de um produto comercial. Esta abordagem pragmática permitiu concentrar os esforços no desenvolvimento e integração do *hardware* e do *firmware*, que são o núcleo técnico deste trabalho.

Optou-se por utilizar, portanto, um porta-crachá rígido de plástico, amplamente disponível no mercado. Este invólucro pré-existente foi então modificado para abrigar os componentes eletrônicos: o microcontrolador, a bateria, o LED de alto brilho e o módulo receptor de RF. As modificações manuais incluíram a criação de aberturas para a exposição do indicador LED e a fixação interna do circuito, garantindo tanto a proteção dos componentes quanto a manutenção da ergonomia e portabilidade exigidas pelo requisito.

3.3.2 Análise de Hardware do MF (dispensador Higienizador)

O MF é o componente responsável por detectar a higienização e transmitir o sinal de confirmação. Seus requisitos de design são menos restritivos em termos de tamanho e consumo de

energia em comparação com o MV, mas priorizam a confiabilidade, o baixo custo e a versatilidade para se adaptar a diferentes tipos de dispensadores.

Dispositivo Controlador

A função do microcontrolador no MF é simples e direta: detectar um sinal do sensor de acionamento e comandar o transmissor de RF para enviar o sinal de confirmação. Diferentemente do MV, critérios como miniaturização (RNF01) e consumo ultra baixo de energia (RNF02) são secundários, pois o dispositivo é estacionário. A prioridade recai sobre a robustez, a facilidade de integração com sensores e, principalmente, a simplicidade de prototipagem e manutenção (RNF04).

Decisão e Justificativa: Com base nesses critérios, o Arduino Uno foi o microcontrolador selecionado para a montagem do protótipo do MF. Embora a Tabela 1 apresente opções de menor custo, o Arduino Uno foi escolhido por sua extrema facilidade de prototipagem, robustez e grande disponibilidade de portas, o que agilizou significativamente a fase de desenvolvimento e testes. Para uma versão final do produto, visando a otimização de custo (RNF06), ele seria substituído pelo Arduino Pro Mini, que possui a mesma capacidade de processamento em um formato mais barato, mantendo a mesma base de código.

Fonte de Alimentação

Diferentemente do MV, a fonte de alimentação do MF prioriza a confiabilidade e a baixa necessidade de manutenção (RNF04). A análise foi dividida em dois cenários de instalação, que representam as principais alternativas de implementação.

- Cenário 1: Dispensador Automático (Alimentação Integrada). Para dispensadores que já possuem fonte de energia própria (geralmente um conjunto de pilhas AA), a estratégia ideal é utilizar a mesma fonte. O consumo do circuito do MF é irrisório em comparação com o do motor do dispensador, tornando a abordagem altamente eficiente. Suas vantagens são a instalação simplificada e a manutenção unificada, alinhando-se aos requisitos de Manutenibilidade (RNF04) e Baixo Custo (RNF06).
- Cenário 2: Dispensador Manual (Alimentação Dedicada). Como dispensadores manuais não possuem energia, o MF necessitaria de uma fonte dedicada. As soluções viáveis seriam um *pack* de pilhas AA, que oferece longa autonomia com manutenção periódica, ou uma fonte externa via USB, que garante funcionamento contínuo mas depende da proximidade de uma tomada.

Decisão e Justificativa: A abordagem de alimentação integrada (Cenário 1) foi a selecionada e implementada no protótipo, conforme demonstrado no Capítulo de Resultados (Figura 15). Esta solução foi escolhida por ser a mais elegante e eficiente, eliminando a necessidade de

componentes de alimentação extras, o que simplifica a instalação, unifica a manutenção (troca de pilhas) e reduz o custo final do sistema (RNF06). A solução do Cenário 2 permanece como uma alternativa validada para garantir a versatilidade do projeto em dispensadores manuais.

Módulo de Comunicação (Transmissor)

A escolha da tecnologia de comunicação do MF foi guiada pela necessidade de enviar um sinal de confirmação ao MV (RF01) de forma simples (RNF04), barata (RNF06) e com potencial para futuras expansões, como a identificação de usuário (RD02). Foram analisadas três abordagens principais: identificação por proximidade (RFID/NFC), comunicação em rede (transceptores de 2.4GHz) e transmissão simples por RF (433MHz).

Decisão e Justificativa: A tecnologia selecionada foi a Transmissão Simples por RF utilizando um Módulo Transmissor de 433MHz. A abordagem com RFID/NFC, embora robusta para a identificação individual (RD02), foi descartada para este protótipo por exigir uma ação deliberada do usuário (aproximar o crachá), criando um ponto de atrito na usabilidade. Os transceptores de 2.4GHz (como o NRF24L01), por sua vez, foram considerados superdimensionados para a função primária do protótipo, pois sua complexidade de implementação de software para comunicação bidirecional não era necessária para um simples sinal de confirmação unidirecional. O transmissor de 433MHz destacou-se como a solução que melhor equilibra os requisitos: ele cumpre de forma eficaz e econômica o requisito funcional principal, sendo a opção de menor custo e maior simplicidade de integração.

Mecanismo de Acionamento (Sensor)

A detecção do uso do dispensador é o gatilho para o sistema de confirmação, e a metodologia de sensoriamento foi analisada para os dois tipos de dispensadores existentes no mercado:

- Para Dispensadores Automáticos: A solução mais eficaz é interceptar o sinal do sensor infravermelho (IR) nativo do aparelho. Quando o sensor detecta uma mão e aciona o motor, o mesmo sinal elétrico é lido pelo microcontrolador do MF, garantindo uma detecção precisa e sem a necessidade de componentes externos.
- Para Dispensadores Manuais: Como não possuem eletrônica embarcada, a detecção exige um sensor externo. Após analisar opções como sensores de vibração, a estratégia definida como mais robusta e de menor custo foi o uso de um sensor de fim de curso (*micro switch*). Este componente mecânico é posicionado para ser ativado pela alavanca do dispensador, enviando um sinal claro e confiável ao microcontrolador.

Decisão e Justificativa: Para a construção do protótipo, a abordagem com o dispensador automático foi a implementada. Esta escolha foi estratégica para a fase de prova de conceito por simplificar a montagem, uma vez que utiliza o sensor já existente e validado do próprio

equipamento. Isso não apenas reduziu a complexidade do *hardware* e o custo (RNF06), mas também resultou em uma instalação mais limpa e menos invasiva, alinhada ao requisito de manutenibilidade (RNF04). A solução com o *micro switch* permanece como a alternativa projetada para garantir a versatilidade do sistema em dispensadores manuais.

Invólucro e Montagem

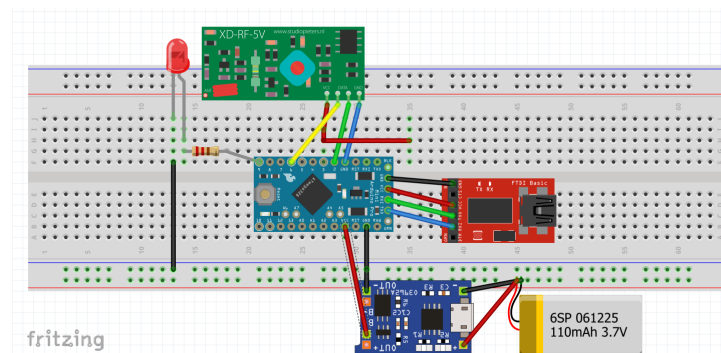
Para proteger o circuito do MF, o invólucro precisava atender aos critérios de resistência a danos, permitir um sistema de fixação seguro ao dispensador e garantir fácil acesso para manutenção (RNF04).

Decisão e Justificativa: Para a montagem do protótipo, foi utilizada uma caixa de montagem plástica padrão, amplamente disponível no mercado. Esta solução foi selecionada por seu baixo custo (RNF06), robustez para proteger os componentes eletrônicos e facilidade de modificação para a passagem dos fios e para a fixação no corpo do dispensador. Assim como no MV, a escolha de um componente comercial pragmático otimizou o tempo de desenvolvimento, permitindo focar os esforços na eletrônica e no *firmware*. A montagem final é apresentada em detalhe no Capítulo de Resultados (Figura 15).

3.4 Configuração Final e Esquemáticos

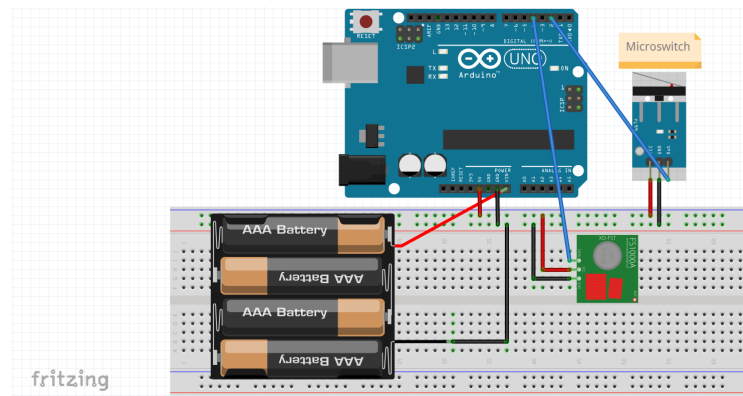
Com base nas decisões justificadas, as configurações finais dos protótipos foram definidas e montadas conforme os diagramas esquemáticos a seguir, Figura 13 e Figura 14.

Figura 13 – Esquemático do MV.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 14 – Esquemático do MF.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com esta seleção de componentes, o protótipo foi desenvolvido para a realização dos testes funcionais descritos no capítulo seguinte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento do protótipo, os testes funcionais realizados e uma discussão sobre o desempenho e as limitações do sistema.

4.1 Apresentação e Funcionamento do Protótipo

Seguindo a metodologia e a arquitetura definidas, foi desenvolvido um protótipo funcional do sistema AVISA. Esta montagem, concebida como uma prova de conceito, teve como objetivo principal validar na prática o ciclo de funcionamento proposto e a comunicação entre os módulos.

Para esta fase inicial, foram utilizados componentes de fácil prototipagem que, embora em alguns casos maiores que a configuração otimizada, permitiram uma montagem e testes mais ágeis. Para o MF, foi empregado o robusto Arduino Uno, enquanto para o MV utilizou-se o compacto Arduino Pro Mini, validando a escolha do microcontrolador principal da metodologia. A alimentação do MV foi realizada com uma bateria 18650, escolhida por sua grande capacidade e conveniência para a fase de desenvolvimento.

As montagens finais do MF (Figura 15) e do MV (Figura 16) são detalhadas nas subseções seguintes.

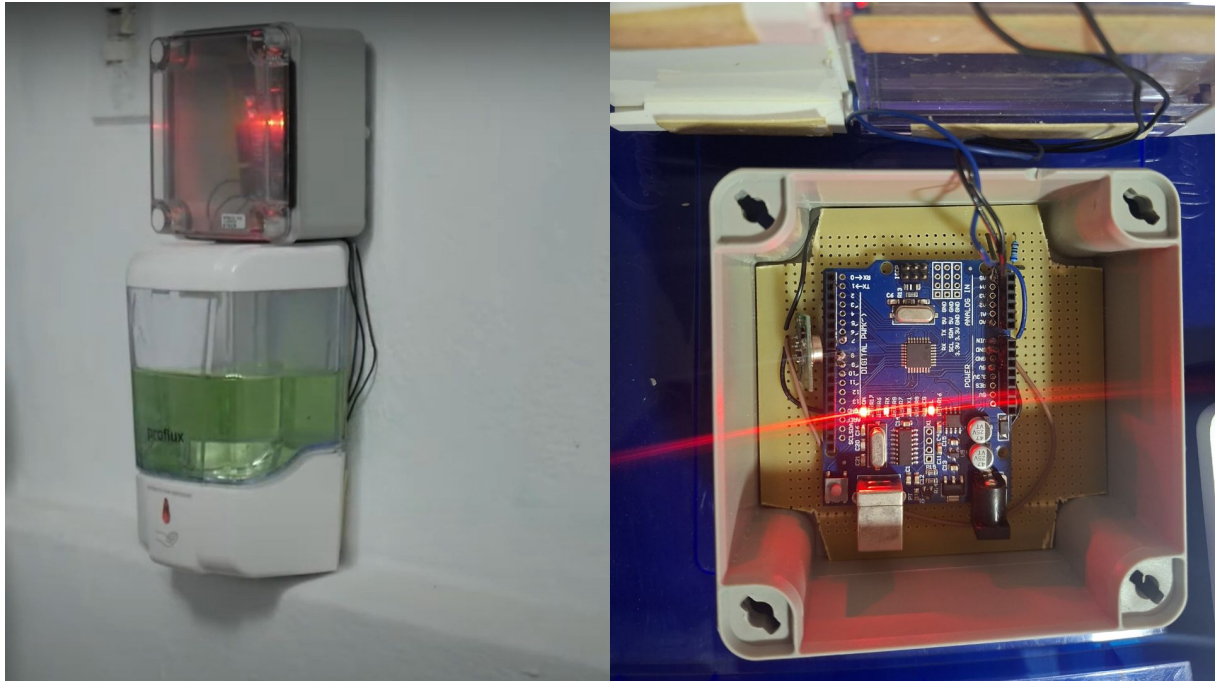
4.1.1 Implementação do MF (dispensador)

O MF foi implementado utilizando um dispensador de álcool em gel automático comercial. A eletrônica de controle foi integrada da seguinte forma:

- Controlador: Um microcontrolador Arduino Uno foi utilizado para gerenciar a lógica de detecção e transmissão.
- Sensor de Acionamento: O sistema utiliza o sensor infravermelho nativo do dispensador. Ao detectar a presença de uma mão, um sinal é enviado ao Arduino.
- Transmissor de RF: Ao receber o sinal do sensor, o Arduino comanda um Módulo Transmissor RF de 433MHz para enviar o sinal de confirmação de uso.
- Alimentação: De forma integrada, o Arduino Uno é alimentado pelo mesmo conjunto de 4 pilhas AA que opera o dispensador, otimizando a instalação.

O *firmware* completo desenvolvido para este módulo pode ser consultado no Apêndice A.0.2.

Figura 15 – Protótipo do dispensador de álcool em gel.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

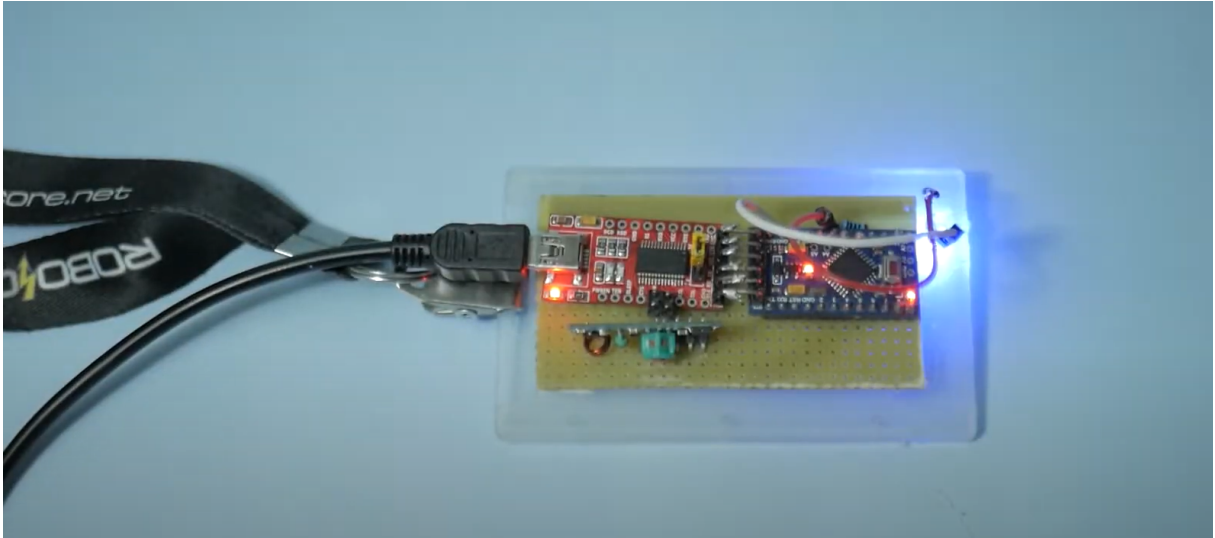
4.1.2 Implementação do MV (Porta-Crachá)

O MV foi desenvolvido para validar a escolha dos componentes chave definidos na metodologia, com foco na funcionalidade do circuito. A montagem foi realizada da seguinte forma:

- **Estrutura:** Os componentes foram soldados em uma placa de circuito impresso perfurada, servindo como base para o porta-crachá.
- **Controlador:** Um microcontrolador Arduino Pro Mini foi escolhido por seu tamanho reduzido. Para sua programação e depuração, foi utilizado um conversor USB-Serial (FT232).
- **Receptor de RF:** Um Módulo Receptor RF de 433MHz fica em escuta contínua pelo sinal de confirmação vindo do MF.
- **Indicador Visual:** Um LED de alto brilho serve como o principal alerta ao usuário.
- **Alimentação:** Para a fase de testes, que exigia longos períodos de operação e múltiplas reprogramações, o módulo foi alimentado por uma bateria de íon de lítio modelo 18650. Esta bateria foi escolhida por sua grande capacidade e conveniência para a bancada de desenvolvimento.

O *firmware* responsável por gerenciar a lógica de temporização e alertas deste módulo está detalhado no Apêndice A.0.1.

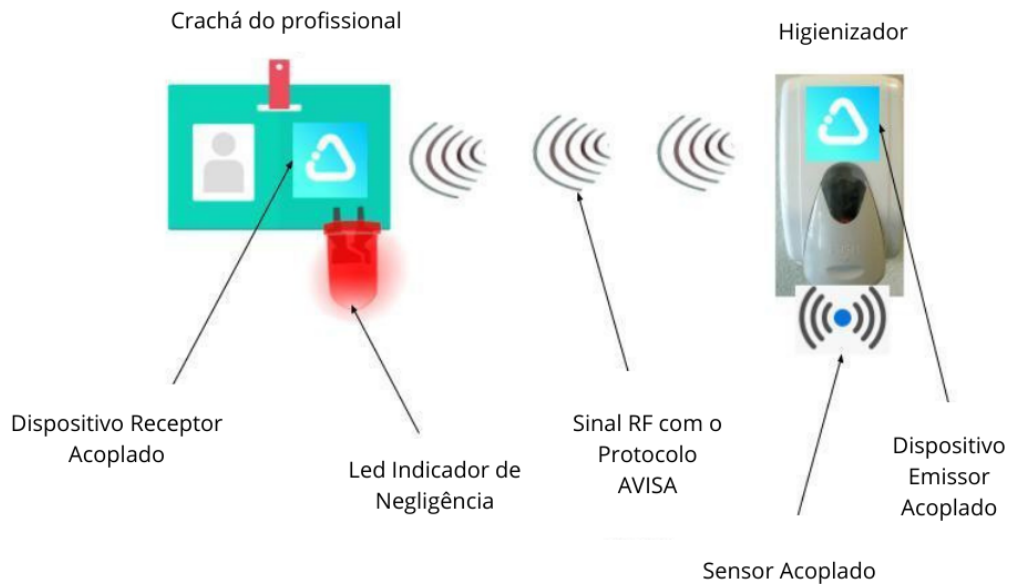
Figura 16 – Protótipo do MV.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O princípio de funcionamento do sistema, detalhado no diagrama da Figura 17 e no fluxograma da Figura 7, ocorre em um ciclo contínuo. Inicialmente, o MV aciona um indicador luminoso, sinalizando ao usuário a necessidade de realizar a higienização. Ao utilizar o dispensador, um sensor no MF detecta o acionamento e comanda a transmissão de um sinal de confirmação. Este sinal é recebido pelo MV, que por sua vez desliga o indicador luminoso e reinicia um temporizador interno. Ao final do tempo estipulado no *firmware*, o ciclo recomeça, incentivando uma frequência regular de higienização.

Figura 17 – Diagrama do funcionamento do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.2 Testes Funcionais

Para validar a prova de conceito e a correta implementação do *firmware*, foram realizados testes funcionais em bancada. O objetivo desta etapa foi submeter o protótipo a cenários de uso que simulam a sua operação em um ambiente real, permitindo observar o comportamento do sistema e validar a arquitetura proposta.

4.2.1 Cenários de Teste Funcional

Os testes foram estruturados em três casos de uso principais para verificar cada etapa do ciclo operacional do dispositivo, utilizando um tempo de alerta configurado em 10 segundos para agilizar as observações.

- Caso de Teste 1: Ciclo de Alerta por Tempo Expirado. O MV foi ligado e o sistema foi observado sem qualquer interação com o MF. Após os 10 segundos pré-configurados no *firmware*, o indicador luminoso (LED) foi acionado com sucesso, validando a lógica do temporizador e o correto acionamento da saída digital.

- Caso de Teste 2: Ciclo de Reset Reativo. Com o LED do MV já aceso (após a conclusão do Caso de Teste 1), o sensor de acionamento do MF foi ativado. Observou-se que o transmissor de RF enviou o sinal de confirmação e, instantaneamente, o LED do MV foi desativado e seu temporizador reiniciado. Este teste validou com sucesso a comunicação RF entre os módulos e a lógica de reinício do ciclo em resposta a um alerta.
- Caso de Teste 3: Ciclo de Reset Proativo (Higienização Adiantada). Em um novo ciclo, com o MV recém-ligado e o LED apagado, o MF foi acionado antes de o temporizador de 10 segundos expirar. O resultado foi o reinício imediato do temporizador do MV, que permaneceu com o LED apagado durante todo o processo. Este cenário validou a lógica de recompensa pela proatividade do usuário, conforme detalhado no fluxograma da Figura 7.

A execução bem-sucedida destes três cenários confirmou que a comunicação sem fio entre os módulos e a lógica de controle implementada operam conforme o esperado, validando a arquitetura básica do projeto.

4.2.2 Análise Teórica de Autonomia da Bateria

Um dos requisitos não-funcionais críticos para o MV é a autonomia da bateria (RNF02). Com base nos dados de consumo levantados na seção 3.3 e na capacidade da bateria selecionada na metodologia (LiPo de 500 mAh), foi realizado um cálculo teórico para estimar a duração do dispositivo sob um cenário de uso intensivo.

Parâmetros e Premissas:

- Capacidade da Bateria (C): 500 mAh.
- Consumo em Modo Ativo (I_{ativo}): 28 mA (quando o LED está aceso).
- Consumo em Modo de Repouso ($I_{repouso}$): 0.01 mA (10 μ A, com o microcontrolador em *sleep mode*).
- Cenário de Uso: Um turno de 12 horas, com 4 higienizações por hora (totalizando 48 eventos).
- Tempo Médio de Alerta: Assume-se que, quando o LED acende, o profissional leva em média 1 minuto (1/60 de hora) para realizar a higienização e reiniciar o ciclo.

Cálculo de Consumo por Turno: O tempo total em modo ativo por turno de 12 horas seria de 48 eventos \times 1 min/evento = 48 minutos, ou 0,8 horas. O tempo restante, 11,2 horas, seria em modo de repouso.

$$Consumo_{turno} = (I_{ativo} \times T_{ativo}) + (I_{repouso} \times T_{repouso})$$

$$\text{Consumo}_{\text{turno}} = (28 \text{ mA} \times 0,8 \text{ h}) + (0,01 \text{ mA} \times 11,2 \text{ h})$$

$$\text{Consumo}_{\text{turno}} = 22,4 \text{ mAh} + 0,112 \text{ mAh} \approx 22,51 \text{ mAh}$$

Estimativa de Autonomia Total:

$$\text{Autonomia} = \frac{\text{Capacidade da Bateria}}{\text{Consumo por Turno}} = \frac{500 \text{ mAh}}{22,51 \text{ mAh/turno}} \approx 22,2 \text{ turnos}$$

O cálculo teórico indica que, mesmo em um cenário de uso intensivo, a bateria de 500 mAh poderia alimentar o MV por aproximadamente 22 turnos de 12 horas, o que equivale a mais de três semanas de trabalho para um profissional com um turno diário. É importante ressaltar, contudo, que este valor representa uma estimativa teórica ideal. Fatores do mundo real, como a auto-descarga da bateria, a degradação de sua capacidade ao longo dos ciclos de uso e variações no comportamento do usuário, influenciariam a autonomia efetiva, que tenderia a ser inferior ao valor calculado. Um teste experimental, conforme sugerido na seção de trabalhos futuros, seria necessário para validar este desempenho na prática.

4.2.3 Proposta de Testes de Desempenho Futuros

Para uma validação mais robusta do protótipo, para além dos testes funcionais, uma próxima etapa de desenvolvimento envolveria os seguintes testes de desempenho:

- Teste de Alcance e Confiabilidade de RF: Medir o alcance máximo da comunicação entre os módulos em um ambiente hospitalar real, com paredes e fontes de interferência, e realizar testes de estresse com centenas de acionamentos para verificar a taxa de sucesso da comunicação.
- Teste de Latência: Utilizar um analisador lógico para medir o tempo exato entre o acionamento do sensor no MF e a desativação do LED no MV, garantindo que a resposta do sistema seja instantânea do ponto de vista do usuário.
- Teste de Autonomia Experimental: Realizar um teste de descarga completa da bateria com o protótipo em operação contínua para validar experimentalmente o cálculo teórico de autonomia.
- Teste de Seletividade em Múltiplos Dispositivos (*Crosstalk*): Avaliar o comportamento do sistema em um cenário com múltiplos MVs e MFs operando em proximidade. O teste consistiria em verificar se o acionamento de um MF por um Profissional A causa um "falso positivo" no MV de um Profissional B que esteja dentro do raio de alcance do sinal de RF.
 - Solução Proposta: Para mitigar este efeito, uma evolução do protocolo de comunicação seria necessária, implementando um sistema de identificação única, conforme o requisito desejável RD02. Desta forma, apenas o dispositivo correto processaria o sinal, garantindo a seletividade do sistema.

4.3 Discussão e Limitações

O protótipo, embora funcional para a demonstração do conceito, apresenta limitações inerentes à fase atual de desenvolvimento que necessitariam de aprimoramentos para um uso ativo em ambiente real. A discussão a seguir detalha esses pontos.

Primeiramente, a configuração atual do protótipo, utilizando Arduino Uno/Pro Mini e uma bateria 18650, embora tenha sido bem-sucedida para validar o conceito funcional, esbarra nos requisitos não-funcionais de ergonomia e portabilidade (RNF01). A montagem em placa perfurada e o volume da bateria são adequados para uma prova de conceito, mas não para o uso contínuo em um ambiente real. Esta constatação direciona, portanto, uma clara oportunidade para focar na miniaturização do *hardware*, como por exemplo, a substituição da bateria usada para testes em outras menores, visando alcançar um design final mais compacto, leve e discreto,.

Em segundo lugar, não foram realizados testes exaustivos de desempenho, como a medição da autonomia da bateria sob uso contínuo ou a análise de robustez da comunicação RF em ambientes com alta interferência eletromagnética, ou até mesmo testes de acurácia em ambiente clínico para quantificar a precisão do sistema, mas é importante ressaltar que o presente trabalho está focado no desenvolvimento e não na validação do dispositivo. O protótipo, embora funcional para a demonstração do conceito, necessitaria de aprimoramentos no design da *suporte* e na otimização do *firmware* para ser considerado para um uso ativo em ambiente real. Para futuras iterações, é crucial estabelecer um *benchmark* de desempenho; a literatura reporta taxas de acurácia em torno de 72% para sistemas baseados em *IoT* com propósitos similares e validados em hospitais (PARK *et al.*, 2024), o que serve como uma meta inicial para a validação do AVISA.

Uma das principais direções para a evolução deste projeto, conforme apontado nos Requisitos Desejáveis (3.2.3), é a implementação da identificação individual do profissional. A limitação do protótipo atual em não registrar dados por usuário impede uma análise mais granular da conformidade. A literatura reforça o valor dessa funcionalidade, uma vez que estudos que implementam sistemas eletrônicos não apenas mostram uma melhoria na adesão geral, mas também identificam "variações significativas entre profissionais individuais" (MARRA *et al.*, 2022). Isso sugere que o potencial de registrar dados por usuário permitiria futuras intervenções educacionais focadas nos profissionais com menor adesão, agregando grande valor à ferramenta. Por fim, do ponto de vista de propriedade intelectual, é relevante notar que a análise de anterioridade conduzida durante a concepção do projeto (Anexo A) indicou que a arquitetura geral do protótipo apresenta sobreposição com tecnologias já existentes, notavelmente a patente de Swipesense, INC. (2019). Esta constatação reforça o caráter do presente trabalho como uma prova de conceito focada na validação de uma arquitetura de baixo custo. Tal análise é crucial, pois direciona os trabalhos futuros para a busca de inovações incrementais, seja no método de detecção, no processamento de dados ou até mesmo na interação com o usuário, que possam conferir ao sistema um diferencial inventivo e, conseqüentemente a possibilidade de proteção intelectual.

4.3.1 Análise de Custo, Benefício e Complexidade

Para atender ao objetivo específico de comparar a solução proposta com outras disponíveis, esta seção apresenta uma análise quantitativa do custo de prototipagem e uma análise qualitativa dos benefícios relacionados à simplicidade de implementação e manutenção, em contraste com sistemas comerciais mais complexos.

Análise de Custo do Protótipo

Uma das principais diretrizes do projeto foi o desenvolvimento de uma solução de baixo custo (RNF06). A Tabela 3 detalha a estimativa de custo para a montagem de um sistema funcional, utilizando componentes eletrônicos adquiridos no varejo nacional. Sem considerar o preço do próprio dispensador, pois seria adaptado um já existente.

Tabela 3 – Estimativa de custo para a montagem do protótipo.

Módulo	Componente Principal	Custo Estimado (R\$)
<i>Módulo Vestível</i>	Arduino Pro Mini 3.3V	30,00
	Receptor RF 433MHz	8,00
	Bateria LiPo (500mAh)	25,00
	Módulo Carregador TP4056	7,00
	LED, Resistor, Porta-Crachá	20,00
	Subtotal por Módulo Vestível	R\$ 90,00
<i>Módulo Fixo</i>	Arduino Pro Mini 3.3V	30,00
	Transmissor RF 433MHz	5,00
	Sensor de Fim de Curso	3,00
	Caixa de Montagem Plástica	20,00
	Subtotal por Módulo Fixo	R\$ 58,00
Custo Total do Sistema (1 para 1)		R\$ 148,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

É importante ressaltar que estes valores representam o custo de prototipagem. Em uma produção em escala, com a otimização do circuito em uma placa dedicada (placa de circuito impresso) e a aquisição de componentes por atacado, o custo unitário poderia até ser reduzido. A análise demonstra a viabilidade econômica da solução, especialmente ao considerar a implementação para múltiplos usuários (um MV atendendo a diversos MFs).

Análise Comparativa de Complexidade

Além do custo financeiro, o principal benefício da arquitetura proposta é sua baixa complexidade. A Tabela 4 contrasta a abordagem deste trabalho com soluções comerciais mais avançadas, como a explorada pela patente de (Swipesense, INC., 2019), que depende de uma robusta infraestrutura em nuvem.

Tabela 4 – Análise comparativa de complexidade da arquitetura.

Critério	Protótipo AVISA (Proposta)	Soluções Comerciais Avançadas (Swipesense, INC., 2019)
Arquitetura	Local e Descentralizada. A lógica de temporização reside em cada crachá. A comunicação é unidirecional e simples.	Centralizada e Baseada em Nuvem. Requer um servidor remoto para processamento complexo de dados, como predição de usuário e análise de falsos positivos.
Infraestrutura	Nenhuma infraestrutura de rede prévia é necessária. Os módulos são autônomos.	Alta dependência de infraestrutura de TI, como rede Wi-Fi estável, acesso à internet e configuração de servidores/banco de dados.
Instalação	Simple e de baixo impacto. O Módulo Fixo é acoplado ao dispensador com mínima intervenção, podendo utilizar a própria fonte de energia do aparelho.	Complexa. Exige integração com a rede do hospital, configuração de software no servidor e um processo de implantação mais longo.
Manutenção	Baixa complexidade. Manutenção de <i>hardware</i> (recarregar baterias) e <i>firmware</i> simples. Componentes de prateleira facilmente substituíveis.	Alta complexidade. Exige manutenção de <i>hardware</i> , software de servidor, banco de dados e segurança, geralmente associada a um contrato de serviço.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A simplicidade da arquitetura desenvolvida representa, portanto, um benefício estratégico, reduzindo a barreira de entrada para a adoção da tecnologia e os custos operacionais de longo prazo.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este Trabalho de Conclusão de Curso partiu do desafio crítico representado pelas IRAS, um problema persistente no sistema de saúde global, cuja principal medida de prevenção ainda apresenta baixos índices de adesão. O objetivo principal, portanto, foi desenvolver um dispositivo inteligente de baixo custo capaz de monitorar e incentivar esta prática de forma contínua e ostensiva.

Para alcançar este objetivo, foi seguida uma metodologia de engenharia estruturada, que se iniciou com a definição de requisitos funcionais e não-funcionais, baseados em uma abordagem comum na engenharia de sistemas, e progrediu para uma análise aprofundada de tecnologias e componentes. Esta análise, culminou na seleção de uma arquitetura otimizada composta por um MF (no dispensador) e um MV (no crachá), baseados na plataforma Arduino e em comunicação por RF de 433MHz.

O resultado prático deste trabalho foi a construção de um protótipo funcional que validou, em testes de bancada, o conceito proposto. Foi comprovado que o sistema executa com sucesso seu ciclo operacional: o alerta visual é ativado no MV após um tempo pré-determinado, e desativado com sucesso após o recebimento do sinal de confirmação do MF.

A principal contribuição deste projeto reside na validação de uma arquitetura de monitoramento que é simultaneamente eficaz em seu propósito e economicamente acessível. Com um custo de prototipagem estimado em R\$ 150,00 para um sistema completo (um MF e um MV), a solução se posiciona como uma alternativa viável a sistemas mais complexos. Ao utilizar componentes de baixo custo e uma lógica de funcionamento descentralizada, o projeto reforça que é possível criar intervenções tecnológicas de impacto com foco na simplicidade e na praticidade, reduzindo as barreiras técnicas e financeiras para a adoção.

Reconhecem-se, contudo, as limitações inerentes a uma prova de conceito, como a ausência de testes de desempenho em ambiente clínico e a necessidade de miniaturização do *hardware* para o uso contínuo. Tais pontos, discutidos em detalhe no capítulo anterior, formam a base para as sugestões de investigações futuras.

Em suma, este trabalho não apenas cumpriu seu objetivo técnico, mas também reforçou o potencial da Engenharia de Controle e Automação em desenvolver soluções pragmáticas para desafios críticos da saúde pública. O projeto, como conceito, representa um passo em direção a um ambiente hospitalar mais seguro e transparente, onde a tecnologia atua como uma aliada constante na proteção de vidas.

5.1 Trabalhos Futuros

Com base nos resultados e nas limitações identificadas neste trabalho, diversas oportunidades para a continuação e o aprimoramento da pesquisa emergem. As principais sugestões para

trabalhos futuros são:

- **Estudo de Campo para Validação da Eficácia:** Conduzir um estudo de campo com uma equipe real da área da saúde para validar quantitativamente o impacto do dispositivo na adesão dos profissionais. Tal estudo poderia seguir metodologias consagradas na literatura, como a de Mota (2014), e utilizar instrumentos da ANVISA para comparar, de forma controlada, a frequência de higienização de grupos com e sem o uso do protótipo.
- **Evolução do Feedback ao Usuário:** Explorar outros mecanismos de alerta além do visual. A incorporação de um pequeno motor de vibração para fornecer um *feedback* háptico discreto poderia ser uma alternativa ou um complemento ao LED, notificando o profissional sem causar poluição visual ou sonora no ambiente clínico.
- **Integração com Plataforma de Dados (IoT):** Desenvolver a conectividade do sistema com uma plataforma de *dashboard* para monitoramento centralizado, em linha com os requisitos desejáveis de registro de eventos (RD01) e identificação de usuário (RD02). Isso permitiria aos gestores hospitalares visualizar dados de conformidade em tempo real, identificar padrões, gerenciar a necessidade de reabastecimento de insumos (RD03) e focar em treinamentos para setores ou profissionais específicos.
- **Incorporação de Sensores para Avaliação da Qualidade:** A literatura recente demonstra um forte movimento em direção à avaliação da qualidade da higienização. Trabalhos futuros poderiam incorporar sensores mais avançados ao protótipo, como acelerômetros para análise de gestos, inspirados em sistemas como o iWash (WANG *et al.*, 2021), ou câmeras térmicas (LI *et al.*, 2023), para verificar não só se a mão foi higienizada, mas como foi higienizada.
- **Adequação Regulatória para Uso Clínico:** Para que o protótipo evolua para um produto médico viável, um caminho indispensável seria o redesenho do projeto para cumprir com as diretrizes de normas técnicas internacionais, como a ISO 13485 (Sistema de Gestão da Qualidade) (International Organization for Standardization, 2016) e a ISO 14971 (Gerenciamento de Riscos) (ISO, 2019), garantindo a segurança e a confiabilidade do dispositivo.

REFERÊNCIAS

- José C. da C. Almeida, João P. C. L. Costa *et al.* **Sistema e método de monitoramento de frequência, localização e envio de mensagens para discentes**. 2012. BR102012013893A2. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/BR102012013893A2/pt>>. Acesso em: 01 jul. 2025.
- ANVISA. **Anexo 7: Formulário de observação para Higiene das mãos**. 2013. Parte integrante do "Protocolo para a Prática de Higiene das Mãos em Serviços de Saúde". Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/protocolo-de-higiene-das-maos>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- ARDUINO Lilypad. **LilyPad Arduino Main Board**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/hardware/lilypad-arduino-main-board>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- ARDUINO Pro Mini. **Arduino Pro Mini**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-pro-mini>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- Stephen Barnhill e Anthony Furness. **Hand hygiene compliance system**. 2008. WO2008119158A1. Disponível em: <<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008119158>>.
- Baú da Eletrônica. **Módulo Carregador de Bateria Lítio com Proteção TP4056 Micro USB**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-carregador-de-bateria-litio-com-protacao-tp4056-micro-usb.html>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- Baú da Eletrônica². **Módulo Leitor RFID MFRC522 13.56MHz**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-leitor-rfid-mfrc522-13-56mhz.html>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 11.723, de 23 de junho de 2008**. 2008. Institui o Dia Nacional de Controle das Infecções Hospitalares. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 jun. 2008. Seção 1, p. 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111723.htm>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Segurança do Paciente em Serviços de Saúde: Higienização das Mãos**. 1. ed. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/seguranca_paciente_servicos_saude_higienizacao_maos.pdf>.
- Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Programa Nacional de Prevenção e Controle de Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (PNPCIRAS) 2021-2025**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/pnpciras-2021-2025.pdf>>.
- Eletrogate. **Bateria Lítio 3V CR2032**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/bateria-litio-3v-cr2032>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- Eletrogate - LED. **Led Difuso 5mm Verde**. 2025. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/led-difuso-5mm-verde-pacote-10-unidades>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- Eletrogate². **Módulo LED RGB SMD 5050 - KY-009**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/modulo-led-rgb-smd-5050-ky-009>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Eletrogate³. **Módulo RF Transmissor + Receptor 433MHz**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Espressif Systems. **ESP32-DevKitC-32E**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp32-devkitc>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

GIRARDI, S. *et al.* Conformidade de higiene das mãos na manutenção do cateter para hemodiálise. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 73, n. suppl 5, 2020.

Hygreen Inc. **Systems and methods for increased accuracy for tracking hygiene compliance**. 2021. WO2021021611A1. Disponível em: <<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021021611>>.

IFMG Play. **3ª edição das Olimpíadas de Inovação - conheça os vencedores**. 2021. YouTube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eviaK2rA9A>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). **Tecnologia desenvolvida por alunos do IFMG pode auxiliar no combate à Covid-19**. 2020. Notícia do portal do IFMG. Disponível em: <<https://www.ifmg.edu.br/portal/noticias/tecnologia-desenvolvida-por-alunos-do-ifmg-pode-auxiliar-no-combate-a-covid-19>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Instituto Nacional de Câncer (INCA). **A proteção de todos está nas suas mãos**. 2021. Cartaz de campanha para promoção da higienização das mãos. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/seguranca-do-paciente>>. Acesso em: 23 jun. 2025.

International Organization for Standardization. **ISO 13485:2016 - Medical devices – Quality management systems – Requirements for regulatory purposes**. Geneva, CH, 2016. Norma Técnica Internacional.

ISO. **ISO 14971:2019 - Medical devices – Application of risk management to medical devices**. Geneva, CH, 2019. Norma Técnica Internacional.

KOZERSKI, D. **Adesão à higienização das mãos em um hospital universitário: o efeito Hawthorne**. Dissertação (Dissertação (Mestrado)) — Universidade Estadual de Maringá, 2017. Disponível em: <https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5141611>. Acesso em: 07 jul. 2025.

LEAL, S. S.; WOLTER, D. J.; KLINKER, K. P.; ABAD, C. L. Electronic Monitoring Systems for Hand Hygiene: Systematic Review of Technology. **Journal of Medical Internet Research**, v. 23, n. 12, p. e27263, 2021.

LI, Z.; GAO, Z.; WU, Y.; SUN, M.; CUI, T. **Using Thermal Imaging to Measure Hand Hygiene Quality**. 2023. ArXiv preprint arXiv:2302.02233. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2302.02233>>. Acesso em: 07 jul. 2025.

MARRA, A. R. *et al.* Implementing an electronic hand hygiene system improved compliance in the intensive care unit, but with a potential Hawthorne effect. **American Journal of Infection Control**, v. 50, n. 4, p. 378–383, 2022.

- MONZANI, A. **Mais de 100 mil brasileiros morrem, anualmente, vítimas de infecções hospitalares, diz ANBio**. 2016. Portal Segs. Disponível em: <<https://www.segs.com.br/saude/15929-mais-de-100-mil-brasileiros-morrem-anualmente-vitimas-de-infecoes-hospitalares-diz-anbio.html>>. Acesso em: 02 nov. 2018.
- MORGAN, D. J. *et al.* Implementing an electronic hand hygiene monitoring system improved compliance in the intensive care unit, but with a potential Hawthorne effect. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 43, n. 6, p. 753–758, 2022.
- MOTA, C. Higienização das mãos: uma avaliação da adesão e da prática dos profissionais de saúde no controle das infecções hospitalares. **Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção**, v. 4, n. 1, 2014.
- MOTA, F. H. B. **Higienizador biométrico de mãos: sistema de reconhecimento para o controle da higienização das mãos em ambientes hospitalares**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação)) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230226>>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- MOTOMA Power. **Bateria LiPo de alta densidade de 3.7V 1500mAh**. 2025. Página do Produto. Disponível em: <<https://motoma.com/pt/high-density-battery/3.7v-high-density-lipo-battery-1500mah.html>>. Acesso em: 05 ago. 2025.
- Craig Oman, H Sidhu Sahni e G Dempsey. **System and method for monitoring hand hygiene compliance**. 2016. US9478118B2. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US9478118B2>>.
- ONIBONOJE, O. **Energy Optimization in Wireless Sensor Networks**. Dissertação (MSc Thesis) — Dublin Business School, 2019. Disponível em: <<https://esource.dbs.ie/handle/10788/3820>>. Acesso em: 01 jul. 2025.
- PARK, J.-H. *et al.* IoT-Based Hand Hygiene Compliance Monitoring System and Validation of Its Effectiveness in Hospital Environments. **Sensors**, v. 24, n. 12, p. 3843, 2024.
- Patient Safety Movement Foundation. **Actionable Patient Safety Solutions (APSS)**. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://patientsafetymovement.org/wp-content/uploads/2019/03/APSS-Booklet-v4-FINAL.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2025.
- PAULA, A. d. C. d. *et al.* Adesão dos profissionais de saúde à higienização das mãos: uma revisão integrativa. **Revista de Enfermagem do Centro-Oeste Mineiro**, v. 7, 2017.
- Programa Centelha. **Programa Centelha: Transformando ideias em negócios**. 2024. Website Oficial. Disponível em: <<https://programacentelha.com.br/>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- Raspberry Pi Foundation. **Raspberry Pi Pico**. 2021. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico/>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- Robocore. **Lilypad - Módulo Led Branco**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.robocore.net/lilypad/lilypad-modulo-led-branco>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- Robocore². **Módulo Transceptor NRF24L01 2.4GHz com Antena**. 2024. Página do Produto. Disponível em: <<https://www.robocore.net/modulo-wireless/nrf24l01>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

- SILVA, A. C. A. d. *et al.* Estratégias para adesão à higienização das mãos na perspectiva de pacientes e acompanhantes. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 42, 2021.
- SINGH, A. K.; KUMAR, A.; SINGH, K.; KUMAR, S. An IoT Based System for Hand Hygiene Monitoring. In: **Innovations in Electrical and Electronic Engineering**. [S.l.]: Springer Singapore, 2020. p. 485–491.
- SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 10. ed. Boston: Pearson, 2016.
- SRIGLEY, J. A. *et al.* Automated Hand Hygiene Monitoring Systems: A Systematic Review. **Journal of Hospital Infection**, v. 88, n. 2, p. 57–66, 2014.
- Swipesense, INC. **Hygienic Sensor Device, System, And Method For Monitoring Hygienic Dispenser Usage and Compliance**. 2019. US10490057B1. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US10490057B1/en>>.
- TARTARI, E.; PIRES, D.; BELLISSIMO-RODRIGUES, F.; PITTET, D. A new hand hygiene-monitoring system based on open-source technology. **Journal of Translational Medicine**, v. 10, n. S2, p. A55, 2012.
- ThinkIn. **Smart Proximity: Social Distancing & Contact Tracing**. 2021. Página do produto. Disponível em: <<https://www.thinkin.io/smart-proximity>>. Acesso em: 01 jul. 2025.
- WANG, C. *et al.* iWash: A smartwatch handwashing quality assessment and reminder system with real-time feedback in the context of infectious disease. **Smart Health**, v. 21, p. 100201, 2021.
- WARD, D. *et al.* Global burden of healthcare-associated infections: the impact of hand hygiene. **Journal of Hospital Infection**, v. 111, p. 35–39, 2021.
- World Health Organization. **Guidelines on core components of infection prevention and control programmes at the national and acute health care facility level**. Geneva, 2016. Disponível em: <<https://iris.who.int/handle/10665/251730>>. Acesso em: 05 ago. 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE DO PROTÓTIPO

Este apêndice apresenta os códigos-fonte (*firmware*) completos desenvolvidos para os protótipos do sistema AVISA. Os códigos foram escritos em linguagem C/C++ sobre a plataforma Arduino e estão divididos de acordo com os dois subsistemas principais do projeto: o MF (DISPENSADOR) e o MV (SUPORTE).

A.0.1 Firmware do MV (Porta-Crachá)

```

1
2 // Controlador: Arduino Pro Mini
3 // Funcao: Gerenciar temporizador, controlar LED e receber sinal de
  RF.
4 // Otimizacao: Inclui modo de baixo consumo (sleep mode).
5
6 #include <RH_ASK.h>           // Biblioteca para comunicacao RF ASK
7 #include <avr/sleep.h>       // Biblioteca para o modo de baixo consumo
  (sleep)
8 #include <avr/power.h>       // Biblioteca para gerenciamento de
  energia
9
10 RH_ASK driver(2000, 8, 7, 0); // Velocidade: 2000 bps, RX: pino 8, TX
  : pino 7
11
12 const int ledPin = 4;
13 bool ledAtivo = false;
14 unsigned long ledLigadoDesde = 0;
15 const long duracaoLed = 10000; // 10 segundos
16
17 void setup() {
18     Serial.begin(9600);
19     pinMode(ledPin, OUTPUT);
20     if (!driver.init()) {
21         Serial.println("Falha na inicializacao do radio RF");
22     }
23     set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
24     sleep_enable();
25 }
26
27 void loop() {
28     uint8_t buf[12];
29     uint8_t buflen = sizeof(buf);

```

```
30
31     if (driver.recv(buf, &buflen)) {
32         buf[buflen] = '\0';
33         Serial.print("Mensagem recebida: ");
34         Serial.println((char*)buf);
35
36         ledAtivo = true;
37         ledLigadoDesde = millis();
38         digitalWrite(ledPin, HIGH);
39     }
40
41     if (ledAtivo && millis() - ledLigadoDesde >= duracaoLed) {
42         digitalWrite(ledPin, LOW);
43         ledAtivo = false;
44     }
45
46     delay(50); // pequeno atraso para economia de energia
47 }
```

Listing A.1 – Código-fonte do MV.

A.0.2 Firmware do MF (Dispensador)

```
1 // Controlador: Arduino Uno
2 // Funcao: Detectar acionamento e transmitir sinal de RF 433MHz.
3
4 #include <RH_ASK.h>
5
6 RH_ASK driver(2000, 11, 12, 0); // Velocidade: 2000 bps, RX: pino 11,
7     TX: pino 12
8
9 const int buttonPin = 2;
10 int lastButtonState = LOW;
11 unsigned long lastDebounceTime = 0;
12 unsigned long debounceDelay = 50;
13
14 void setup() {
15     Serial.begin(9600);
16     pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP); // Uso do pull-up interno
17     if (!driver.init()) {
18         Serial.println("Falha na inicializacao do radio RF");
19     }
20 }
```

```
19 }
20
21 void loop() {
22     int reading = digitalRead(buttonPin);
23
24     if (reading != lastButtonState) {
25         lastDebounceTime = millis();
26     }
27
28     if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
29         if (reading == LOW) { // bot o pressionado
30             const char *msg = "reset";
31             driver.send((uint8_t *)msg, strlen(msg));
32             driver.waitPacketSent();
33             Serial.println("Sinal enviado: reset");
34         }
35     }
36
37     lastButtonState = reading;
38 }
```

Listing A.2 – Código-fonte do MF.

ANEXOS

ANEXO A – INFORMAÇÕES PARA COMPLEMENTAR O TEXTO.

A.0.1 Sistemas Similares e Tecnologias Aplicadas

A seguir, é apresentado o Relatório de Busca de Anterioridade realizado para o projeto AVISA. O estudo foi conduzido pelo NIT do IFMG em bases de patentes como Espacenet, Patentscope e INPI.

A principal conclusão do relatório foi que a invenção, em sua concepção original, não apresentava novidade suficiente em relação a um dos documentos encontrados, representando um entrave ao processo de proteção intelectual. Esta constatação foi fundamental para direcionar o escopo deste TCC, como discutido nos Capítulos 2 e 4.

Longe de invalidar o projeto, esta constatação foi fundamental para direcionar e fortalecer o escopo deste TCC: validar, como uma prova de conceito, uma arquitetura de baixo custo e de fácil implementação.

RELATÓRIO DE BUSCA DE ANTERIORIDADE

TÍTULO DA INVENÇÃO: AVISA

BASES CONSULTADAS: Espacenet (<https://worldwide.espacenet.com/>); Patentscope (<https://patentscope.wipo.int/search/pt/search.jsf>) e INPI (www.inpi.gov.br)

1) DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO.

O sistema AVISA é composto principalmente por um crachá eletrônico que deverá ser utilizado pelos profissionais da área da saúde (ou pessoas que necessitam manter uma rotina de higienização em seu local de trabalho) e sensores capazes de identificar o ato da higienização. Assim que o profissional realiza a higienização das mãos (ou instrumento de trabalho), o sistema identifica e se comunica com o crachá deste colaborador sinalizando que a rotina foi cumprida. Caso o profissional ignore a rotina ou esteja com uma frequência de higienização irregular, o crachá emite um sinal luminoso intermitente indicando que o profissional não está apto para permanecer no local, visto que a sua higiene não está adequada.

O sistema é composto por um conjunto de módulos capazes de identificar a frequência de higienização dos profissionais em determinado estabelecimento.

2) ANÁLISE DA LITERATURA PATENTÁRIA RELACIONADA À PROPOSTA.

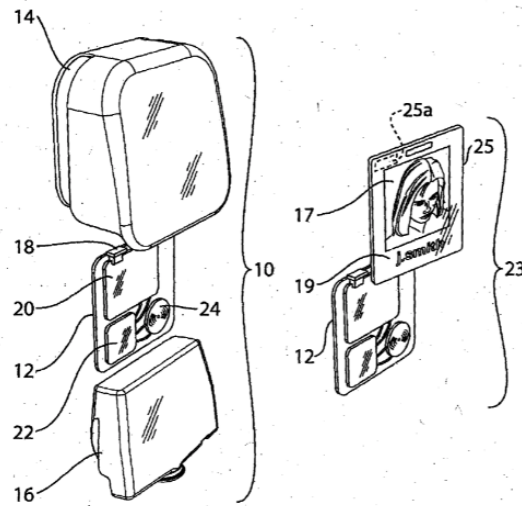
2.1 PI1102487-9A2 SISTEMA PARA MONITORAR A UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL POR PARTE DOS TRABALHADORES EM UM AMBIENTE DE TRABALHO.

Classificação IPC: G08B21/24

O referido sistema compreende um conjunto de módulos eletrônicos dependentes, cada um acoplado a um dispositivo de proteção individual correspondente. Um módulo eletrônico mestre está pareado a um trabalhador correspondente, na qual se forma uma rede de comunicação com o equipamento de proteção individual do respectivo trabalhador. Por meio de sensores instalados nos módulos dependentes, essa rede detecta se o trabalhador está utilizando corretamente o equipamento de proteção individual.

Além disso, o módulo eletrônico mestre pode obter e armazenar as informações dos módulos eletrônicos dependentes e um conjunto de dispositivos organizados em uma área

O sensor ligado ao dispenser é constituído por um microprocessador, um detector de sinal, um sensor do dispenser e um dispositivo de alerta que pode ser uma campainha ou uma lâmpada de LED. Esse sensor também pode ser ligado a um crachá.



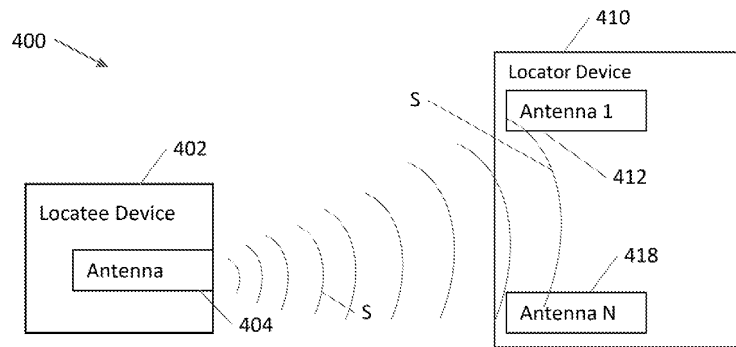
Essa patente se assemelha ao pedido de proteção.

2.3 WO2021021611A1 SYSTEMS AND METHODS FOR INCREASED ACCURACY FOR TRACKING HYGIENE COMPLIANCE

Classificação IPC: G01S3/46; G01S5/00; G01S5/02; G01S5/04; G07C11/00; G08B21/24;

O sistema consiste em um dispenser de sabão ou outro sanitizante integrado a um circuito de localização que inclui: um processador, uma memória, um sensor de presença, um circuito de comunicação wireless, um circuito de localização baseada em uma triangulação e duas ou mais antenas para recepção de sinais de um ou mais dispositivos de localização e determinar a localização dos mesmos. O dispositivo de localização inclui um pequeno circuito que detecta a presença de uma pessoa, objeto ou crachá que aciona o circuito de triangulação para determinar a localização de um ou mais dispositivos.

O sistema acima apresentado possui em comum ao pedido de proteção a presença de sensores que detectam a presença de uma pessoa no local de higienização, porém aquele utiliza o sistema de triangulação de sinais para determinar a localização e higienização das pessoas.

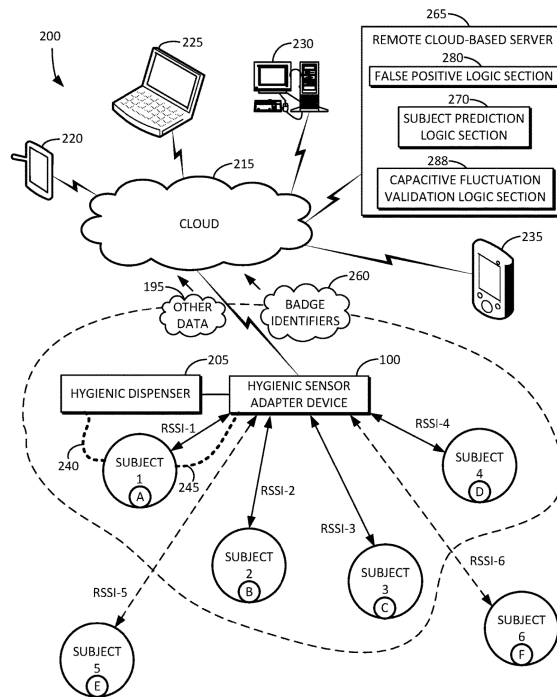


2.4 US10490057B1 HYGIENIC SENSOR DEVICE, SYSTEM, AND METHOD FOR MONITORING HYGIENIC DISPENSER USAGE AND COMPLIANCE

Classificação IPC: A47K5/12; G08B 21/24.

O presente documento descreve um dispositivo e método para monitoramento do uso de dispensers higiênicos. Nesse dispositivo, o sensor está localizado próximo ao dispenser e detecta a presença das mãos com a área de ativação do dispenser. Esse sensor, também, detecta os crachás dos respectivos trabalhadores. A identificação do trabalhador que utilizou o dispenser é realizada por um computador remoto.

O documento se assemelha ao pedido de proteção quanto ao sensor ligado ao dispenser que detecta o crachá do trabalhador. A diferença desse documento ao pedido de proteção está no método de identificação da higienização das mãos realizada pelo computador remoto.



3. CONCLUSÃO

De acordo com o Artº 8 e Artº 9 da Lei 9279/96, uma invenção ou modelo de utilidade deve dotar de novidade, atividade inventiva (ou ato inventivo) e aplicação industrial.

Após análise do pedido de proteção e sua comparação com os outros documentos encontrados no estado da técnica observa-se que o documento não apresenta novidade comparado ao documento listado no item 2.2, pois todas as suas partes caracterizantes, em conjunto, foram encontradas em um único documento.

Portanto, não é patenteável o pedido de invenção.

Uma vez que o modelo apresentado está na fase inicial de testes, sugere-se a consulta com o NIT caso o sistema seja modificado e apresente novidade ou melhoria funcional em relação aos documentos encontrados no estado da técnica.