

SIGHA: SISTEMA INTELIGENTE PARA GERENCIAMENTO REMOTO DE HORÁRIOS E ALARMES ESCOLARES BASEADO EM ESP₃₂

SIGHA: AN INTELLIGENT SYSTEM FOR REMOTE MANAGEMENT OF SCHOOL SCHEDULES AND BELL ALARMS BASED ON ESP₃₂

SIGHA: SISTEMA INTELIGENTE PARA LA GESTIÓN REMOTA DE HORARIOS Y ALARMAS ESCOLARES BASADO EN ESP₃₂

Francisco de Paula Cunha¹
Paulo Pereira do Nascimento²
Gleisson Amaral Mendes³

RESUMO: A automação do acionamento de campanhas escolares constitui uma alternativa para reduzir falhas decorrentes da operação manual, aumentar a pontualidade das atividades acadêmicas e otimizar a gestão dos horários em instituições de ensino. Nesse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação do Sistema Inteligente de Gerenciamento de Horários e Alarmes Escolares (SIGHA), uma solução baseada no microcontrolador ESP₃₂, integrada aos módulos RTC DS3231, display LCD 16×2 e relé de estado sólido, com interface web responsiva para configuração e monitoramento remoto. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e natureza experimental, envolvendo o levantamento de requisitos, o desenvolvimento do sistema, a validação funcional e uma avaliação preliminar de usabilidade. Os resultados demonstraram o correto funcionamento da integração entre hardware e software, assegurando o acionamento automático da campanha, sincronização temporal por NTP, armazenamento permanente das configurações e gerenciamento remoto dos horários escolares. A avaliação preliminar de usabilidade evidenciou percepção favorável quanto à facilidade de uso, funcionalidades, interface e utilidade do sistema, além de indicar potencial de aplicação em ambientes escolares. Conclui-se que o SIGHA constitui uma solução de baixo custo, confiável e de fácil utilização para a automação do gerenciamento de horários escolares, reunindo recursos de conectividade e usabilidade que ampliam sua aplicabilidade em instituições de ensino.

Palavras-chave: Automação escolar. ESP₃₂. Internet das Coisas. Sistemas embarcados. Gerenciamento de horários. Interface web.

¹Graduando em Engenharia de Software, Universidade do Estado do Pará (UEPA).

²Graduando em Engenharia de Software, Universidade do Estado do Pará (UEPA).

³Doutorando em Ciências Ambientais – Universidade do Estado do Pará (UEPA).

ABSTRACT: The automation of school bell systems is an effective alternative for reducing human errors, improving punctuality, and optimizing schedule management in educational institutions. In this context, this study presents the development and evaluation of the Intelligent School Schedule and Alarm Management System (SIGHA), an embedded solution based on the ESP32 microcontroller, integrated with an RTC DS3231 module, a 16×2 LCD display, and a solid-state relay (SSR), featuring a responsive web interface for remote configuration and monitoring. The research is characterized as applied, qualitative, and experimental, encompassing requirements analysis, system development, functional validation, and a preliminary usability evaluation. The results demonstrated the successful integration of hardware and software components, enabling automatic bell activation, Network Time Protocol (NTP) synchronization, persistent storage of schedules, and remote management of school timetables. The preliminary usability evaluation indicated positive perceptions regarding ease of use, functionality, interface design, and overall usefulness, highlighting the system's potential for application in educational environments. It is concluded that SIGHA represents a reliable, low-cost, and user-friendly solution for automating school schedule management by combining embedded systems, wireless connectivity, and remote management features into a single platform.

Keywords: School Automation. ESP32. Internet of Things. Embedded Systems. Schedule Management. Web Interface.

RESUMEN: La automatización del accionamiento de timbres escolares constituye una alternativa para reducir errores derivados de la operación manual, mejorar la puntualidad de las actividades académicas y optimizar la gestión de horarios en las instituciones educativas. En este contexto, este trabajo presenta el desarrollo y la evaluación del Sistema Inteligente de Gestión de Horarios y Alarmas Escolares (SIGHA), una solución basada en el microcontrolador ESP32, integrada con el módulo RTC DS3231, una pantalla LCD 16×2 y un relé de estado sólido (SSR), además de una interfaz web responsiva para la configuración y el monitoreo remoto. La investigación se caracteriza por ser aplicada, de enfoque cualitativo y naturaleza experimental, e incluye el levantamiento de requisitos, el desarrollo del sistema, la validación funcional y una evaluación preliminar de usabilidad. Los resultados demostraron la correcta integración entre los componentes de hardware y software, garantizando la activación automática del timbre escolar, la sincronización horaria mediante el protocolo NTP, el almacenamiento permanente de la programación y la gestión remota de los horarios escolares. La evaluación preliminar de usabilidad evidenció una percepción favorable en cuanto a la facilidad de uso, la funcionalidad, la interfaz y la utilidad del sistema, destacando su potencial de aplicación en instituciones educativas. Se concluye que el SIGHA constituye una solución confiable, de bajo costo y fácil de utilizar para la automatización de la gestión de horarios escolares, integrando sistemas embebidos, conectividad inalámbrica y administración remota en una única plataforma.

Palabras clave: Automatización Escolar. ESP32. Internet de Las Cosas. Sistemas Embebidos. Gestión de Horarios. Interfaz Web.

1 INTRODUÇÃO

A organização dos horários escolares é uma atividade essencial para o bom funcionamento das instituições de ensino, pois influencia diretamente a rotina de professores, estudantes, servidores e demais profissionais envolvidos no ambiente escolar. A definição e o cumprimento adequado dos horários contribuem para a pontualidade das aulas, intervalos, trocas de turno e demais atividades acadêmicas, garantindo maior organização no cotidiano da escola.

Em muitas instituições de ensino, o acionamento da campainha ainda é realizado de forma manual, dependendo da atenção de servidores ou colaboradores responsáveis por controlar os horários ao longo do dia. Embora essa prática seja comum, ela pode ocasionar atrasos, antecipações, esquecimentos e inconsistências na rotina escolar, além de exigir supervisão humana constante. Estudos recentes sobre sistemas automáticos de campainha destacam que a operação manual pode gerar falhas de pontualidade e aumentar a dependência de funcionários para uma tarefa repetitiva (Vaggoli et al., 2026; Zaghlool Mahmood, 2022).

Diante desse contexto, a automação de processos escolares surge como uma alternativa viável para melhorar a organização interna das instituições de ensino. Com o avanço dos sistemas embarcados e da Internet das Coisas, tornou-se possível desenvolver soluções tecnológicas de baixo custo, capazes de executar tarefas de forma autônoma, reduzir a dependência de ações manuais e oferecer maior confiabilidade às rotinas administrativas e pedagógicas. Nesse sentido, a IoT permite conectar dispositivos à Internet para coletar dados e controlar processos remotamente, contribuindo para otimizar tempo, reduzir custos e facilitar atividades humanas (Mazon-Olivo; Pan, 2022).

Nesse cenário, o microcontrolador ESP32 apresenta-se como uma plataforma adequada para o desenvolvimento de sistemas automatizados, devido à sua conectividade Wi-Fi integrada, capacidade de processamento, baixo custo e compatibilidade com diferentes módulos eletrônicos. Hercog et al. (2023) destacam que dispositivos IoT podem atuar em camadas físicas, de rede e de aplicação, integrando sensores, atuadores, comunicação e interação com usuários. Essas características favorecem o uso do ESP32 em projetos que exigem controle de dispositivos, comunicação em rede e automação de tarefas.

Com base nessa necessidade, foi desenvolvido o SIGHA, Sistema Inteligente de Gerenciamento de Horários e Alarmes Escolares, uma solução voltada à automação do acionamento de campanhas em instituições de ensino. O sistema utiliza o ESP32 como unidade principal de processamento, integrado a um módulo RTC DS3231 para manutenção precisa da data e da hora, display LCD para exibição local das informações e módulo relé para acionamento da campanha. A utilização de RTC em sistemas de campanha automática é recorrente em propostas semelhantes, pois permite maior precisão no controle dos horários e contribui para o acionamento do sinal conforme a programação estabelecida (Ahire et al., 2025; Zaghlool Mahmood, 2022).

Além do acionamento automático, o SIGHA conta com uma interface web responsiva, acessível por computadores, tablets e smartphones conectados à mesma rede local. Por meio dessa interface, é possível cadastrar, editar e excluir horários, visualizar o próximo evento programado, acompanhar o estado da conexão Wi-Fi, verificar a última sincronização do relógio e ativar ou desativar temporariamente a campanha. A adoção de servidores web embarcados em ESP32 também é observada em aplicações IoT, nas quais o próprio microcontrolador disponibiliza páginas acessíveis por navegadores para monitoramento e interação com o sistema (Macheso et al., 2021).

4

A proposta do SIGHA busca oferecer uma alternativa de baixo custo, fácil implantação e operação intuitiva para instituições de ensino que desejam modernizar o controle de seus horários escolares. Ao reunir recursos de automação, conectividade, sincronização temporal e gerenciamento remoto, o sistema contribui para tornar a rotina escolar mais organizada, prática e confiável. Essa proposta dialoga com estudos que apontam a automação de campanhas como uma forma de reduzir intervenção humana, melhorar a pontualidade e ampliar a eficiência em ambientes educacionais (Kazi; Ashit; Rahmot, 2024; Vaggoli et al., 2026).

Dessa forma, este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento do SIGHA, descrevendo sua arquitetura, os componentes utilizados, as etapas de implementação, a evolução do protótipo inicial baseado em Arduino Uno para a versão final com ESP32, bem como os testes realizados e os resultados obtidos durante a validação do sistema.

2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza tecnológica e abordagem experimental, voltada ao desenvolvimento e à validação de um sistema inteligente para o gerenciamento de horários e alarmes escolares. A pesquisa é classificada como aplicada por buscar solucionar um problema prático observado em instituições de ensino, relacionado ao acionamento manual da campainha escolar, atividade que pode ocasionar atrasos, esquecimentos e falhas operacionais.

Quanto aos objetivos, o estudo possui caráter descritivo e de desenvolvimento tecnológico, uma vez que compreende a concepção, implementação e avaliação de uma solução baseada em sistemas embarcados para automatizar o controle dos horários escolares. O sistema foi desenvolvido utilizando o microcontrolador ESP32 como unidade principal de processamento, integrado a componentes eletrônicos responsáveis pelo controle temporal, acionamento da campainha e gerenciamento remoto por meio de interface web.

A estratégia metodológica adotada consistiu no desenvolvimento incremental de protótipos, permitindo que novas funcionalidades fossem incorporadas e avaliadas ao longo do projeto. Inicialmente, foi construída uma versão baseada em Arduino Uno para validação da lógica de funcionamento. Posteriormente, o sistema evoluiu para uma arquitetura baseada em ESP32, possibilitando a integração de conectividade Wi-Fi, sincronização automática da data e hora por meio do protocolo NTP, interface web responsiva, armazenamento permanente das configurações e suporte à instalação como Progressive Web App (PWA).

A validação do sistema foi realizada em três etapas complementares. A primeira consistiu em testes funcionais dos componentes eletrônicos e das funcionalidades implementadas. A segunda compreendeu testes operacionais para verificar o comportamento do sistema em ambiente de utilização, incluindo o gerenciamento remoto por dispositivos conectados à mesma rede local. Por fim, foi conduzida uma avaliação de usabilidade e aceitação junto a um potencial usuário do ambiente escolar, utilizando um questionário estruturado em escala Likert de cinco pontos, com o objetivo de analisar aspectos relacionados à facilidade de uso, funcionalidade, interface e utilidade do sistema.

2.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O desenvolvimento do SIGHA foi conduzido de forma incremental, permitindo a implementação e a validação progressiva das funcionalidades propostas. Essa abordagem possibilitou a construção de protótipos sucessivos, nos quais cada etapa serviu como base para a incorporação de novos recursos e para o aprimoramento da solução desenvolvida.

A primeira etapa consistiu na implementação de um protótipo utilizando a plataforma Arduino Uno, com a finalidade de validar a lógica de acionamento automático da campanha escolar. Nessa versão inicial, foram integrados um módulo RTC DS3231 para controle da data e hora, um display LCD 16×2 para exibição das informações do sistema e um módulo relé responsável pelo acionamento da campanha. Essa fase permitiu verificar o funcionamento da lógica de programação, a comunicação entre os componentes eletrônicos e a execução dos eventos programados.

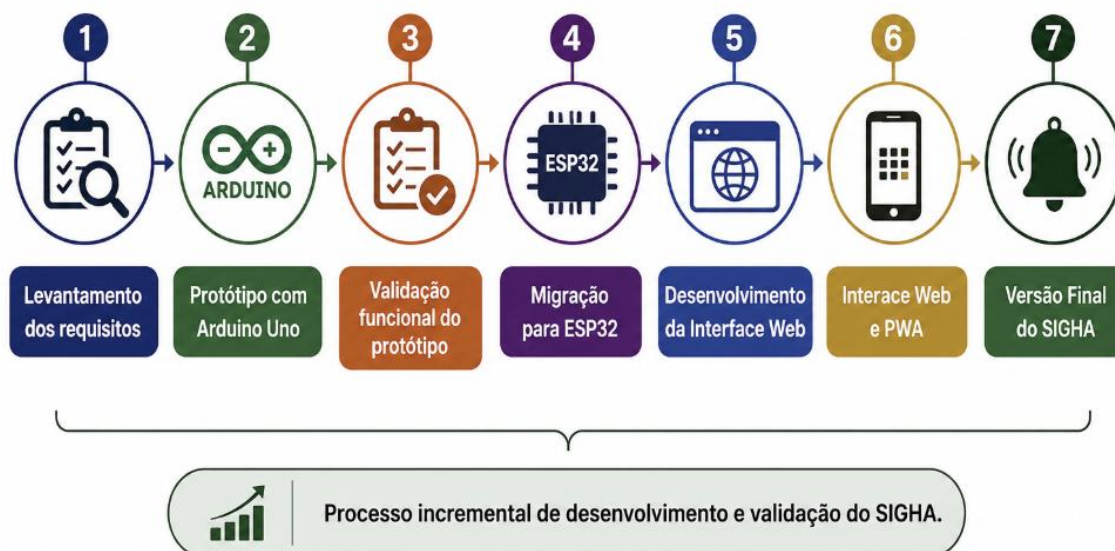
Após a validação do protótipo inicial, foi realizada a migração da solução para a plataforma ESP32. Essa mudança ampliou a capacidade de processamento do sistema e possibilitou a incorporação de recursos de conectividade, incluindo comunicação Wi-Fi, sincronização automática da data e hora por meio do protocolo NTP, armazenamento

6

permanente das configurações, interface web responsiva para gerenciamento remoto dos horários e suporte à instalação como Progressive Web App (PWA).
Ao longo do desenvolvimento, foram realizadas sucessivas etapas de implementação, testes e refinamentos, permitindo corrigir falhas identificadas durante a construção do sistema e incorporar novas funcionalidades de acordo com os requisitos estabelecidos. Esse processo resultou em uma solução capaz de automatizar o gerenciamento dos horários escolares, reduzindo a necessidade de intervenção manual e proporcionando maior flexibilidade para configuração e monitoramento do sistema.

A Figura 1 apresenta as principais etapas do desenvolvimento do SIGHA, desde o protótipo inicial baseado em Arduino Uno até a versão final implementada com ESP32.

Figura 1 - Etapas do desenvolvimento do SIGHA



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

2.3 ARQUITETURA E COMPONENTES DO SISTEMA

A arquitetura do SIGHA foi concebida de forma modular, integrando componentes de hardware e software responsáveis pelo gerenciamento automático dos horários escolares e pelo acionamento da campainha. A solução é composta pelo microcontrolador ESP32, que atua como unidade central de processamento, pelo módulo RTC DS3231 para manutenção da data e hora, por um display LCD 16×2 destinado à exibição local das informações, por um módulo relé de estado sólido (SSR) responsável pelo acionamento da campainha e por uma interface web responsiva para configuração e monitoramento remoto do sistema.

A comunicação entre os componentes ocorre por meio das interfaces disponibilizadas pelo ESP32. O módulo RTC fornece a referência temporal utilizada na programação dos eventos, enquanto a interface web permite o cadastro e a alteração dos horários, além da visualização das informações operacionais do sistema. A sincronização automática da data e hora é realizada por meio do protocolo Network Time Protocol (NTP), quando disponível conexão com a Internet, garantindo maior precisão temporal durante a operação.

A Tabela 1 apresenta os principais componentes empregados na implementação do SIGHA e suas respectivas funções.

Tabela 1 - Componentes utilizados no desenvolvimento do SIGHA

COMPONENTE	FUNÇÃO
ESP32 DEVKIT	Unidade central de processamento e comunicação Wi-Fi
RTC DS3231	Manutenção da data e hora em tempo real
DISPLAY LCD 16×2	Exibição local da data, hora e informações do sistema
RELÉ DE ESTADO SÓLIDO (SSR)	Acionamento elétrico da campanha escolar
INTERFACE WEB RESPONSIVA	Configuração, monitoramento e gerenciamento remoto
REDE WI-FI	Comunicação entre o sistema e os dispositivos clientes
PROTOCOLO NTP	Sincronização automática da data e hora

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

2.4 ESTRATÉGIA DE VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A validação do SIGHA foi planejada para verificar o desempenho da solução sob diferentes perspectivas, contemplando aspectos técnicos, operacionais e de usabilidade. Para isso, foi adotada uma estratégia composta por três etapas complementares, permitindo avaliar tanto o funcionamento do sistema quanto sua adequação ao contexto de utilização em instituições de ensino.

Na primeira etapa, foram realizados testes funcionais em bancada, com o objetivo de verificar a integração entre os componentes de hardware e software do sistema. Nesses testes, foram avaliados o funcionamento do microcontrolador ESP32, a comunicação com o módulo RTC DS3231, a exibição das informações no display LCD 16×2, o acionamento do módulo relé, a sincronização automática da data e hora por meio do protocolo NTP, o armazenamento permanente das configurações e a operação da interface web.

A segunda etapa correspondeu à validação operacional da solução, realizada durante a utilização do sistema em ambiente de testes. Nessa fase, foram verificados o gerenciamento remoto dos horários escolares, a atualização das informações em tempo real, o monitoramento da conexão Wi-Fi, a execução dos eventos programados e o comportamento da interface web em dispositivos móveis e computadores conectados à mesma rede local do ESP32.

Por fim, foi realizada uma avaliação preliminar de usabilidade e aceitação do SIGHA com uma profissional atuante no ambiente escolar, utilizando um questionário estruturado em

escala Likert de cinco pontos. O instrumento foi organizado em quatro dimensões: Facilidade de Uso, Funcionalidade, Interface e Utilidade, sendo complementado por questões abertas destinadas à identificação de pontos positivos, sugestões de melhoria e intenção de adoção da solução. Essa etapa teve como objetivo obter evidências iniciais sobre a usabilidade do sistema e identificar oportunidades de aprimoramento antes de sua aplicação em um contexto mais amplo.

Dessa forma, a combinação entre testes funcionais, validação operacional e avaliação de usabilidade permitiu analisar o SIGHA de maneira abrangente, fornecendo evidências sobre seu funcionamento, sua estabilidade e sua aplicabilidade no contexto da gestão dos horários escolares.

3 DESENVOLVIMENTO DO SIGHA

3.1 LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS

O desenvolvimento do SIGHA teve início com o levantamento dos requisitos necessários para atender às demandas relacionadas ao gerenciamento dos horários escolares e ao acionamento automático da campanha. Essa etapa buscou identificar as funcionalidades essenciais do sistema e os requisitos de qualidade necessários para garantir sua operação de forma confiável e intuitiva no ambiente escolar.

A análise dos requisitos foi orientada pelas necessidades observadas na rotina das instituições de ensino, nas quais o acionamento da campanha é frequentemente realizado de forma manual, tornando o processo suscetível a atrasos, esquecimentos e inconsistências na execução dos horários. A partir dessa análise, definiu-se que o sistema deveria automatizar o acionamento da campanha, permitir o gerenciamento remoto dos horários e disponibilizar informações operacionais em tempo real aos usuários.

Com base nessas necessidades, foram definidos os requisitos funcionais apresentados na (Tabela 2). Assim, foram estabelecidos requisitos não funcionais relacionados ao desempenho, usabilidade e confiabilidade da solução, apresentados na (Tabela 3).

Tabela 2 - Requisitos funcionais do SIGHA

CÓDIGO	REQUISITO FUNCIONAL
RF01	Cadastrar horários de acionamento da campanha
RF02	Editar horários cadastrados
RF03	Excluir horários cadastrados
RF04	Acionar automaticamente a campanha conforme a programação
RF05	Exibir data e hora no display LCD
RF06	Exibir o próximo evento programado
RF07	Gerenciar o sistema por meio de interface web
RF08	Sincronizar automaticamente a data e hora via NTP
RF09	Armazenar permanentemente os horários cadastrados
RF10	Permitir testes manuais da campanha
RF11	Ativar e desativar temporariamente a campanha
RF12	Disponibilizar acesso por Progressive Web App (PWA)

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Tabela 3 - Requisitos não funcionais do SIGHA

CÓDIGO	REQUISITO NÃO FUNCIONAL
RNF01	Interface intuitiva e de fácil utilização
RNF02	Compatibilidade com computadores e dispositivos móveis
RNF03	Funcionamento contínuo do sistema
RNF04	Operação mesmo na ausência temporária de conexão com a Internet
RNF05	Baixo custo de implementação
RNF06	Facilidade de manutenção e expansão

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Os requisitos definidos serviram como base para o desenvolvimento da arquitetura do sistema e para a implementação das funcionalidades descritas nas seções seguintes, orientando tanto a construção do hardware quanto o desenvolvimento da interface web e dos mecanismos de gerenciamento remoto.

3.2 ARQUITETURA DO SISTEMA

O SIGHA foi desenvolvido com uma arquitetura modular, integrando componentes de hardware e software responsáveis pelo gerenciamento automático dos horários escolares e pelo acionamento da campainha. Essa organização facilita a comunicação entre os módulos do sistema, permitindo que cada componente desempenhe uma função específica, contribuindo para a confiabilidade, a manutenção e a expansão da solução.

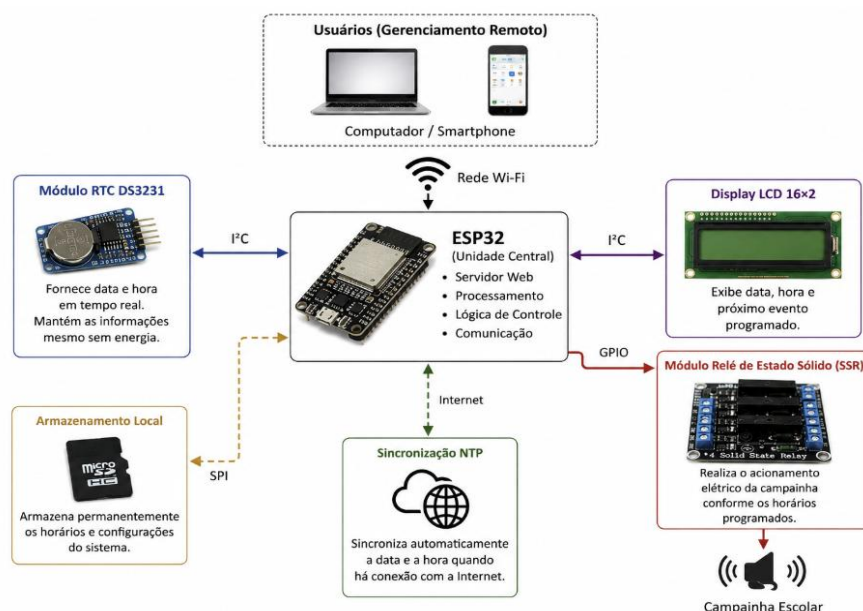
O núcleo do sistema é o microcontrolador ESP32, responsável pelo processamento das informações, execução da lógica de controle e comunicação com os demais módulos. O ESP32 realiza a leitura da data e hora fornecidas pelo módulo RTC DS3231, verifica os horários programados e aciona o módulo relé sempre que ocorre correspondência entre o horário atual e um evento previamente cadastrado. Além disso, o microcontrolador hospeda a interface web utilizada para o gerenciamento remoto do sistema, permitindo que as configurações sejam acessadas por computadores ou dispositivos móveis conectados à mesma rede local.

O módulo RTC DS3231 fornece a referência temporal utilizada pelo sistema, mantendo a data e a hora mesmo em situações de desligamento do equipamento. O display LCD 16×2 apresenta informações operacionais, como data, hora e próximo evento programado, enquanto o módulo relé realiza o acionamento elétrico da campainha conforme os horários definidos pelo usuário.

A interface web constitui o principal meio de interação com o sistema, permitindo cadastrar, editar e excluir horários, visualizar informações operacionais, monitorar a conexão Wi-Fi e executar funções administrativas sem necessidade de acesso físico ao equipamento. Quando disponível conexão com a Internet, o SIGHA realiza a sincronização automática da data e hora utilizando o protocolo Network Time Protocol (NTP), garantindo maior precisão temporal durante a operação.

A Figura 2 apresenta a arquitetura geral do SIGHA, evidenciando a integração entre os principais componentes do sistema e o fluxo de comunicação estabelecido entre os módulos de hardware e software.

Figura 2 - Arquitetura geral do SIGHA



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

12

A implementação do SIGHA foi realizada de forma incremental, permitindo a validação progressiva das funcionalidades desenvolvidas e a evolução da solução ao longo do projeto. Inicialmente, foi construído um protótipo utilizando a plataforma Arduino Uno, empregado para validar a lógica de acionamento automático da campanha, a comunicação com o módulo RTC DS3231, a exibição das informações no display LCD e o acionamento do módulo relé.

Após a validação dessa etapa, o sistema foi migrado para a plataforma ESP32, possibilitando a incorporação de recursos de conectividade e processamento mais avançados. Essa migração permitiu o desenvolvimento de uma interface web embarcada, o gerenciamento remoto dos horários escolares, a sincronização automática da data e hora por meio do protocolo NTP, o armazenamento permanente das configurações e o suporte à instalação como Progressive Web App (PWA).

A utilização do ESP32 também proporcionou maior flexibilidade para futuras expansões do sistema, permitindo integrar novas funcionalidades sem alterações significativas na arquitetura de hardware. A Figura 3 apresenta a evolução do hardware empregado durante o

desenvolvimento do SIGHA, evidenciando a transição do protótipo inicial baseado em Arduino Uno para a versão final implementada com ESP32.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

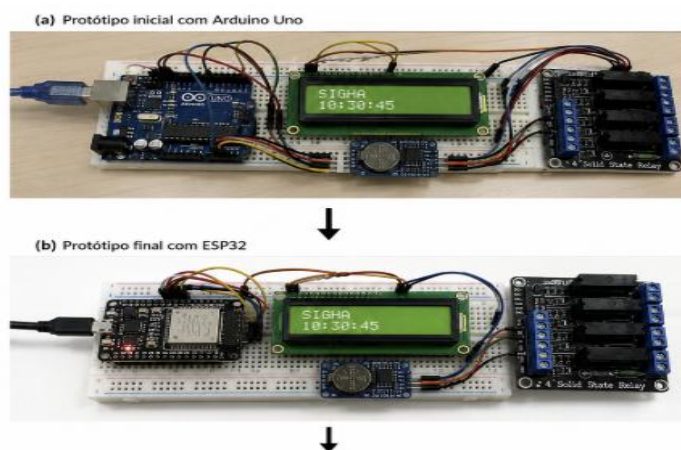
A implementação do SIGHA foi realizada de forma incremental, permitindo a validação progressiva das funcionalidades desenvolvidas e a evolução da solução ao longo do projeto. Inicialmente, foi construído um protótipo utilizando a plataforma Arduino Uno, empregado para validar a lógica de acionamento automático da campainha, a comunicação com o módulo RTC DS3231, a exibição das informações no display LCD e o acionamento do módulo relé.

Após a validação dessa etapa, o sistema foi migrado para a plataforma ESP32, possibilitando a incorporação de recursos de conectividade e processamento mais avançados. Essa migração permitiu o desenvolvimento de uma interface web embarcada, o gerenciamento remoto dos horários escolares, a sincronização automática da data e hora por meio do protocolo NTP, o armazenamento permanente das configurações e o suporte à instalação como Progressive Web App (PWA).

A utilização do ESP32 também proporcionou maior flexibilidade para futuras expansões do sistema, permitindo integrar novas funcionalidades sem alterações significativas na arquitetura de hardware. A Figura 3 apresenta a evolução do hardware empregado durante o desenvolvimento do SIGHA, evidenciando a transição do protótipo inicial baseado em Arduino Uno para a versão final implementada com ESP32.

13

Figura 3 - Evolução do hardware desenvolvido para o SIGHA. (a) Protótipo inicial baseado em Arduino Uno; (b) protótipo final implementado com ESP32; (c) sistema em funcionamento durante os testes experimentais.





Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conforme observado na Figura 3, a evolução da plataforma de hardware permitiu ampliar as funcionalidades originalmente implementadas no protótipo inicial. A substituição do Arduino Uno pelo ESP32 tornou possível incorporar recursos de comunicação sem fio, gerenciamento remoto e sincronização automática do horário, mantendo a integração com os módulos RTC, display LCD e relé responsáveis pela operação da campanha escolar.

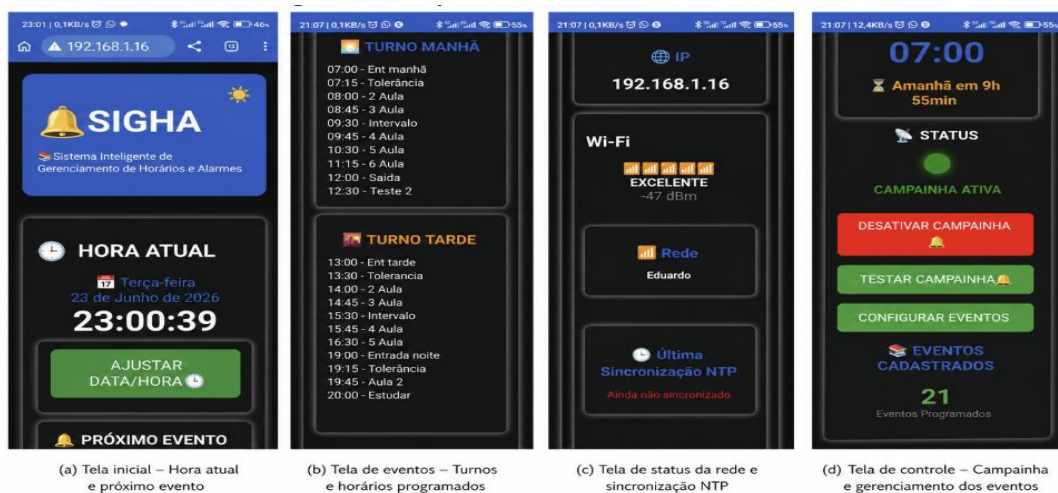
3.4 INTERFACE WEB DO SIGHA

A interface web do SIGHA foi desenvolvida para possibilitar o gerenciamento remoto do sistema por meio de navegadores de computadores, tablets e smartphones conectados à mesma rede local do ESP32. Essa interface permite realizar todas as configurações necessárias para o funcionamento do sistema, dispensando a necessidade de programação ou de acesso físico ao hardware.

Entre as principais funcionalidades disponibilizadas estão a visualização da data e hora atuais, o monitoramento do próximo evento programado, o gerenciamento dos horários da campanha, o acompanhamento do estado da conexão Wi-Fi, a sincronização automática da data e hora via NTP, o acionamento manual da campanha para fins de teste e a ativação ou desativação temporária do sistema.

A interface foi desenvolvida com princípios de responsividade, permitindo sua adaptação a diferentes resoluções de tela. Também foi implementado suporte à tecnologia Progressive Web App (PWA), possibilitando a instalação da aplicação diretamente em dispositivos móveis, proporcionando acesso rápido às funcionalidades do sistema sem a necessidade de instalação por meio de lojas de aplicativos. A Figura 4 apresenta as principais telas da interface web desenvolvida para o SIGHA.

Figura 4 - Principais telas da interface web do SIGHA. (a) Tela inicial com data, hora e próximo evento; (b) tela de eventos programados; (c) tela de monitoramento da rede Wi-Fi e sincronização NTP; (d) tela de controle da campanha e gerenciamento dos eventos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conforme ilustrado na Figura 4, a interface web concentra as principais funcionalidades do SIGHA em uma única aplicação, permitindo ao usuário acompanhar o funcionamento do sistema, configurar os horários programados e monitorar informações operacionais de forma intuitiva e acessível por diferentes dispositivos.

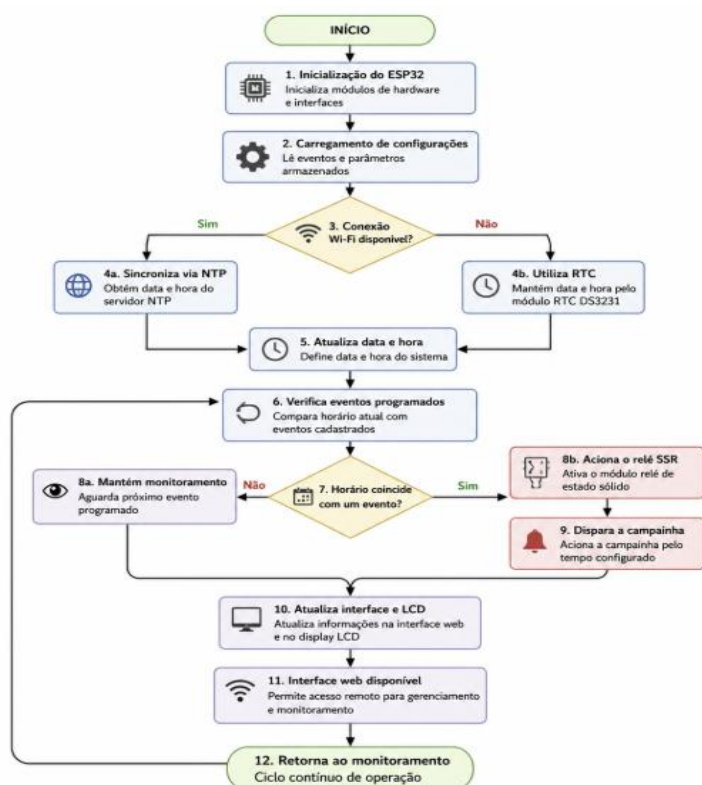
3.5 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O funcionamento do SIGHA inicia-se com a energização do ESP32, responsável pela inicialização dos módulos de hardware e pela leitura das configurações previamente armazenadas. Após essa etapa, o sistema estabelece a conexão com a rede Wi-Fi, quando disponível, e realiza a sincronização automática da data e hora utilizando o protocolo Network Time Protocol (NTP). Na ausência de conexão com a Internet, o controle temporal é mantido pelo módulo RTC DS3231, assegurando a continuidade da operação.

Durante a execução, o ESP32 monitora continuamente a data e a hora atuais, comparando essas informações com os eventos previamente cadastrados pelo usuário. Quando ocorre correspondência entre o horário corrente e um evento programado, o sistema aciona automaticamente o módulo relé de estado sólido (SSR), responsável pelo disparo da campanha escolar durante o tempo configurado.

A interface web permanece disponível para acesso remoto por dispositivos conectados à mesma rede local. Por meio dessa interface, o usuário pode cadastrar, editar ou remover eventos, realizar testes de acionamento da campanha, ativar ou desativar temporariamente o sistema e acompanhar informações operacionais, como a qualidade da conexão Wi-Fi, o endereço IP do dispositivo, o próximo evento programado e o status da sincronização da data e hora. A Figura 5 apresenta o fluxo geral de funcionamento do SIGHA, desde a inicialização do sistema até o acionamento automático da campanha e o retorno ao ciclo contínuo de monitoramento.

Figura 5 - Fluxo de funcionamento do SIGHA



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VALIDAÇÃO FUNCIONAL DO SIGHA

A validação funcional do SIGHA foi realizada com o objetivo de verificar o correto funcionamento da solução desenvolvida, abrangendo a integração entre os componentes de hardware e software, bem como a execução das funcionalidades implementadas para o

gerenciamento automatizado dos horários escolares. Os testes permitiram avaliar a integração entre os módulos eletrônicos, a execução dos eventos programados e a comunicação entre o sistema embarcado e a aplicação web.

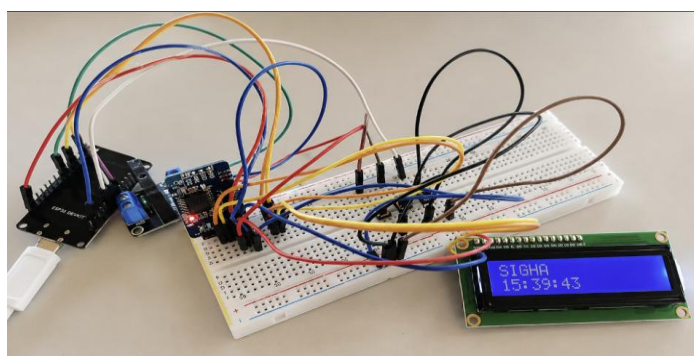
Durante os ensaios, foram verificados o funcionamento do microcontrolador ESP32, a comunicação com o módulo RTC DS3231, a atualização das informações exibidas no display LCD, o acionamento do módulo relé de estado sólido (SSR), a sincronização automática da data e hora por meio do protocolo NTP e o armazenamento das configurações realizadas pelo usuário.

Os resultados demonstraram que o sistema executou corretamente todas as funcionalidades previstas durante o desenvolvimento. O acionamento automático da campanha ocorreu nos horários programados, as alterações realizadas por meio da interface web foram refletidas imediatamente na operação do sistema e as informações apresentadas ao usuário permaneceram consistentes durante os testes.

Observou-se ainda que, quando disponível conexão com a Internet, a sincronização automática da data e hora foi realizada por meio do protocolo NTP. Na ausência dessa conexão, o módulo RTC DS3231 manteve a precisão temporal necessária para garantir a continuidade do funcionamento do sistema, assegurando a execução dos eventos programados. A Figura 6 apresenta o protótipo final do SIGHA durante a realização dos testes de validação funcional, evidenciando a integração entre os principais componentes responsáveis pela operação do sistema.

17

Figura 6 - Protótipo final do SIGHA em funcionamento durante os testes de validação funcional.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conforme ilustrado na Figura 6, o protótipo apresentou funcionamento estável durante os testes, evidenciando a correta integração entre o ESP32, o módulo RTC DS3231, o display LCD e o relé de estado sólido utilizados no acionamento automático da campainha. Os resultados obtidos confirmam que o SIGHA executou adequadamente as funcionalidades previstas durante o desenvolvimento, demonstrando estabilidade operacional e confiabilidade para aplicação no gerenciamento automatizado dos horários escolares.

4.2 AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DO SIGHA

A avaliação preliminar de usabilidade permitiu analisar a percepção da avaliadora quanto aos diferentes aspectos relacionados à utilização do SIGHA. De maneira geral, observou-se uma avaliação favorável em todas as dimensões investigadas, evidenciando que a solução apresenta características adequadas para sua utilização no ambiente escolar.

4.2.1 Resultados da avaliação

Inicialmente, foram analisados os resultados da dimensão Facilidade de Uso, que compreende aspectos relacionados à compreensão da interface, organização dos menus, clareza das informações e facilidade de aprendizagem do sistema. O Quadro 4 apresenta as respostas obtidas nessa dimensão.

Quadro 4 - Síntese das respostas da dimensão Facilidade de Uso

ITEM AVALIADO	RESPOSTA
A INTERFACE É FÁCIL DE COMPREENDER.	Concordo
OS BOTÕES SÃO INTUITIVOS.	Concordo
OS MENUS SÃO ORGANIZADOS.	Concordo
FOI FÁCIL APRENDER A UTILIZAR O SISTEMA.	Concordo
AS INFORMAÇÕES EXIBIDAS SÃO CLARAS.	Concordo

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conforme apresentado no Quadro 4, todos os itens relacionados à dimensão Facilidade de Uso receberam avaliação positiva. A avaliadora considerou que a interface é de fácil compreensão, apresenta botões intuitivos, menus organizados e informações claras, além de possibilitar rápida aprendizagem das funcionalidades disponibilizadas pelo sistema. Esses

resultados indicam que o SIGHA possui características favoráveis de usabilidade, reduzindo a necessidade de treinamento para sua utilização no ambiente escolar.

Em seguida, foram analisados os resultados da dimensão Funcionalidade, que avaliou aspectos relacionados ao atendimento das necessidades da escola, à facilidade de configuração dos horários, ao gerenciamento remoto, à utilidade das informações apresentadas no display LCD e à confiabilidade do sistema. O Quadro 5 apresenta os resultados obtidos nessa dimensão.

Quadro 5 - Síntese das respostas da dimensão Funcionalidade

ITEM AVALIADO	RESPOSTA
O SISTEMA ATENDE ÀS NECESSIDADES DA ESCOLA.	Concordo totalmente
OS HORÁRIOS PODEM SER CONFIGURADOS FACILMENTE.	Concordo totalmente
O GERENCIAMENTO REMOTO FACILITA O TRABALHO.	Concordo totalmente
O DISPLAY LCD APRESENTA INFORMAÇÕES ÚTEIS.	Concordo totalmente
O SISTEMA PARECE CONFIÁVEL.	Concordo

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conforme apresentado no Quadro 5, a avaliadora atribuiu avaliações predominantemente de "Concordo totalmente" aos aspectos relacionados à funcionalidade do SIGHA. Os resultados demonstram que o sistema atende às necessidades do ambiente escolar, permite configurar os horários de forma simples, facilita o gerenciamento remoto e disponibiliza informações úteis por meio do display LCD. Assim, a avaliação positiva quanto à confiabilidade reforça a estabilidade observada durante os testes funcionais, indicando que a solução apresenta potencial para aplicação prática no gerenciamento automatizado dos horários escolares.

Foram analisados os resultados da dimensão Interface, que contemplou aspectos relacionados à organização visual da aplicação, à utilização do modo escuro, ao funcionamento em dispositivos móveis e à facilidade de acesso proporcionada pela tecnologia Progressive Web App (PWA). O Quadro 6 apresenta a síntese das respostas obtidas nessa dimensão.

Quadro 6 - Síntese das respostas da dimensão Interface

ITEM AVALIADO	RESPOSTA
O VISUAL DA PÁGINA É AGRAVÁVEL.	Concordo totalmente
O MODO ESCURO É ÚTIL.	Concordo totalmente
O SISTEMA FUNCIONA BEM NO CELULAR.	Concordo totalmente
O PWA FACILITA O ACESSO.	Concordo totalmente

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conforme apresentado no Quadro 6, todos os aspectos relacionados à interface receberam a avaliação "Concordo totalmente", evidenciando elevada aceitação quanto ao projeto visual e à experiência de utilização do sistema. A avaliadora destacou que a interface apresenta um visual agradável, funciona adequadamente em dispositivos móveis e que a utilização da tecnologia PWA facilita o acesso à aplicação. Esses resultados indicam que as decisões adotadas durante o desenvolvimento da interface contribuíram para tornar o SIGHA mais acessível e adequado à utilização no ambiente escolar.

Em seguida, foi analisada a dimensão Utilidade, destinada a verificar a percepção da avaliadora quanto ao potencial de aplicação do SIGHA no contexto escolar. Essa dimensão contemplou aspectos relacionados à redução de erros humanos, economia de tempo, intenção de utilização do sistema e recomendação da solução para outras instituições de ensino. O Quadro 7 apresenta a síntese das respostas obtidas.

20

Quadro 7 - Síntese das respostas da dimensão Utilidade

ITEM AVALIADO	RESPOSTA
O SIGHA REDUZIRÁ ERROS HUMANOS.	Concordo totalmente
O SIGHA ECONOMIZARÁ TEMPO.	Concordo totalmente
EU UTILIZARIA ESTE SISTEMA NA ESCOLA.	Concordo totalmente
EU RECOMENDARIA ESTE SISTEMA PARA OUTRAS ESCOLAS.	Concordo totalmente

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conforme apresentado no Quadro 7, todos os itens da dimensão Utilidade receberam a avaliação "Concordo totalmente", indicando uma percepção bastante positiva quanto ao

potencial de aplicação do SIGHA no ambiente escolar. A avaliadora reconheceu que o sistema pode contribuir para reduzir erros decorrentes do acionamento manual da campainha, otimizar o gerenciamento dos horários e apoiar a rotina administrativa da escola. Portanto, manifestou intenção de utilizar a solução em sua instituição e recomendá-la para outras escolas, reforçando a percepção de utilidade e aplicabilidade prática do sistema.

De forma geral, os resultados obtidos nas quatro dimensões evidenciam uma percepção favorável em relação ao SIGHA. A avaliação preliminar indicou que o sistema apresenta boa usabilidade, funcionalidades adequadas às necessidades do ambiente escolar, interface intuitiva e elevado potencial de aplicação prática. Esses resultados reforçam as evidências obtidas durante a validação funcional e demonstram que a solução desenvolvida atende aos objetivos propostos para o gerenciamento automatizado dos horários escolares.

4.2.2 Análise das respostas abertas

As respostas às questões abertas permitiram complementar a avaliação objetiva da usabilidade do SIGHA, fornecendo percepções qualitativas sobre os aspectos considerados mais relevantes pela avaliadora e identificando oportunidades de aprimoramento da solução.

21

Entre os pontos positivos destacados, a avaliadora ressaltou a automação do acionamento da campainha escolar, eliminando a necessidade de execução manual dessa atividade, bem como a facilidade de configuração dos horários por meio da interface desenvolvida. Esses aspectos reforçam o potencial do SIGHA para reduzir falhas decorrentes de esquecimentos e contribuir para a otimização da rotina administrativa da escola.

Como sugestões de melhoria, foi indicada a inclusão de botões físicos para configuração manual do sistema e a possibilidade de acesso à interface fora da rede local. Essas contribuições evidenciam oportunidades para futuras evoluções do SIGHA, ampliando sua flexibilidade de utilização e sua aplicabilidade em diferentes contextos escolares.

Quanto à intenção de adoção da solução, a avaliadora afirmou que implantaria o SIGHA em sua instituição, justificando que o sistema contribuiria para evitar atrasos recorrentes no acionamento da campainha ocasionados por esquecimentos humanos. Essa percepção reforça os resultados obtidos na avaliação objetiva e evidencia o potencial de aplicação prática da solução no ambiente escolar.

De forma geral, as respostas abertas corroboram os resultados da avaliação de usabilidade, demonstrando que o SIGHA foi percebido como uma solução útil, de fácil utilização e com potencial para contribuir com a organização da rotina escolar. Assim, as sugestões apresentadas fornecem direcionamentos importantes para o aperfeiçoamento da solução em versões futuras.

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3.1 Comparação com os trabalhos relacionados

Os resultados obtidos durante a validação funcional demonstram que o SIGHA atende ao propósito de automatizar o gerenciamento dos horários escolares por meio da integração entre hardware e software embarcado. Assim como as soluções propostas por Subedi e Chalise (2024), Vaggoli *et al.* (2026) e Nalini *et al.* (2020), o sistema utiliza microcontrolador, módulo RTC e dispositivo de acionamento para executar automaticamente a campainha nos horários programados, reduzindo a dependência da operação manual e minimizando a ocorrência de atrasos e falhas humanas.

Entretanto, diferentemente dessas soluções, o SIGHA amplia as possibilidades de gerenciamento ao incorporar uma interface web responsiva, sincronização automática da data e hora por meio do protocolo NTP, armazenamento permanente das configurações e suporte à instalação como Progressive Web App (PWA). Essas funcionalidades permitem que a administração dos horários seja realizada remotamente por meio de navegadores web, sem necessidade de reprogramação direta do hardware, proporcionando maior flexibilidade para a gestão escolar.

Quando comparado às propostas baseadas em ESP32, como as apresentadas por Zaghlool Mahmood (2022), Ahire *et al.* (2025) e Shahane *et al.* (2026), o SIGHA apresenta características convergentes quanto ao uso da conectividade sem fio e da atualização remota das configurações. Contudo, a solução proposta diferencia-se por reunir, em uma única plataforma, recursos de gerenciamento remoto, monitoramento da conexão Wi-Fi, visualização do próximo evento programado, sincronização temporal via NTP e armazenamento permanente dos horários, integrando funcionalidades que, nos trabalhos analisados, aparecem distribuídas em diferentes soluções.

Embora a proposta de Kazi, Ashit e Rahmot (2024) também enfatize o desenvolvimento de uma solução de baixo custo para automação da campanha escolar, o SIGHA incorpora recursos adicionais de conectividade e usabilidade que ampliam sua aplicabilidade em ambientes educacionais, especialmente pela possibilidade de gerenciamento remoto por meio da interface web.

4.3.2 Discussão dos resultados da validação

Os resultados obtidos durante a validação funcional evidenciaram o correto funcionamento da integração entre o ESP32, o módulo RTC DS3231, o display LCD e o módulo relé, garantindo a execução automática dos eventos programados e a estabilidade da solução durante os testes realizados. A sincronização automática por NTP e a manutenção da referência temporal pelo RTC demonstraram contribuir para a confiabilidade do sistema, assegurando a continuidade da operação mesmo em situações de indisponibilidade temporária da conexão com a Internet.

A avaliação preliminar de usabilidade também apresentou resultados favoráveis, indicando que a solução foi percebida como intuitiva, funcional e adequada ao contexto escolar. A facilidade de utilização da interface, a organização das informações e a percepção de utilidade reforçam que o SIGHA pode ser utilizado por profissionais da educação sem necessidade de treinamento especializado. Além disso, as sugestões apresentadas pela avaliadora, como a inclusão de botões físicos para configuração manual e a possibilidade de acesso externo à rede local, fornecem direcionamentos importantes para o aperfeiçoamento da solução em versões futuras.

23

4.3.3 Contribuições, limitações e perspectivas futuras

Os resultados obtidos indicam que o SIGHA constitui uma alternativa tecnológica viável para automatizar o gerenciamento dos horários escolares, reunindo recursos de automação, conectividade e gerenciamento remoto em uma solução de baixo custo. A integração entre hardware embarcado e interface web amplia a flexibilidade de utilização do sistema e contribui para reduzir falhas associadas ao acionamento manual da campanha.

Como limitação deste estudo, destaca-se que a avaliação de usabilidade foi conduzida em caráter preliminar com uma única profissional do ambiente escolar, fornecendo evidências iniciais sobre a aceitação da solução, mas não permitindo generalizações para diferentes perfis de usuários. Novos estudos poderão ampliar essa avaliação, envolvendo gestores, professores e demais profissionais da educação em diferentes instituições de ensino.

Como perspectivas futuras, pretende-se incorporar funcionalidades como autenticação de usuários, acesso remoto externo à rede local, notificações em tempo real, integração com outros sistemas de gestão escolar e mecanismos alternativos de configuração, ampliando a aplicabilidade do SIGHA em diferentes contextos educacionais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a validação do Sistema Inteligente de Gerenciamento de Horários e Alarmes Escolares (SIGHA), uma solução embarcada destinada à automação do acionamento da campainha escolar por meio da integração entre hardware e software. O sistema foi concebido com o objetivo de reduzir a dependência de processos manuais, minimizar erros humanos e oferecer maior flexibilidade para o gerenciamento dos horários escolares.

24

Os resultados obtidos durante a validação funcional demonstraram que o SIGHA executou adequadamente as funcionalidades previstas, integrando o microcontrolador ESP32, o módulo RTC DS3231, o display LCD, o módulo relé e a interface web para o gerenciamento remoto dos eventos programados. Além disso, a avaliação preliminar de usabilidade evidenciou uma percepção favorável quanto à facilidade de utilização, às funcionalidades implementadas, à interface desenvolvida e à utilidade da solução no contexto escolar, indicando seu potencial de aplicação em instituições de ensino.

Quando comparado às soluções identificadas na literatura, o SIGHA diferencia-se por reunir, em uma única plataforma, recursos de automação, conectividade sem fio, sincronização automática da data e hora via NTP, armazenamento permanente das configurações, interface web responsiva e suporte à tecnologia Progressive Web App (PWA). Essa integração amplia as possibilidades de gerenciamento remoto e contribui para tornar a solução mais flexível e acessível para diferentes contextos educacionais.

Como limitação deste estudo, destaca-se que a avaliação de usabilidade foi realizada em caráter preliminar com uma única profissional do ambiente escolar, fornecendo evidências iniciais sobre a aceitação da solução, mas sem permitir generalizações para outros contextos de aplicação. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros ampliem a validação do sistema, envolvendo um número maior de participantes e diferentes instituições de ensino.

Como perspectivas futuras, pretende-se incorporar novas funcionalidades, como autenticação de usuários, acesso remoto externo à rede local, envio de notificações em tempo real, integração com sistemas de gestão escolar e mecanismos alternativos de configuração, contribuindo para ampliar a aplicabilidade e a robustez do SIGHA.

Por fim, conclui-se que o SIGHA constitui uma alternativa tecnológica viável para a automação do gerenciamento dos horários escolares, reunindo baixo custo, facilidade de utilização e recursos de conectividade que favorecem sua adoção em instituições de ensino. Espera-se que a solução contribua para otimizar a rotina administrativa escolar e sirva como base para o desenvolvimento de novas aplicações voltadas à automação de processos educacionais.

REFERÊNCIAS

AHIRE, Chetana et al. School Bell Ring with Digital Timetable Display. **International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology**, 2025.

HERCOG, Darko et al. Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. **Sensors**, v. 23, n. 15, p. 6739, 27 jul. 2023.

KAZI, Wohiduzzaman; ASHIT, Sharkar; RAHMOT, Ullah. Design and Development of a Low Cost Smart Electronic School Bell. **International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science**, 2024.

MACHESO, Paul et al. Design of Standalone Asynchronous ESP32 Web-Server for Temperature and Humidity Monitoring. In: 2021 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPUTING AND COMMUNICATION SYSTEMS (ICACCS). 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). Coimbatore, India: IEEE, 19 mar. 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9441845/>>. Acesso em: 30 jun. 2026

MAZON-OLIVO, Bertha; PAN, Alberto. Internet of Things: State-of-the-art, Computing Paradigms and Reference Architectures. **IEEE Latin America Transactions**, v. 20, n. 1, p. 49–63, jan. 2022.

NALINI et al. IOT BASED WIRELESS AUTOMATED BELL RINGING SYSTEM IN AN INSTITUTION. v. 8, n. 3, 2020.

SHAHANE et al. IoT Based Smart Digital College Bell with Time Table Display. **International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology**, 2026.

SUBEDI, Siddhartha; CHALISE, Ajay Raj. Arduino-Based Automatic School Bell System: A Simple and Cost-Effective Solution. **International Journal of Research and Review**, v. 11, n. 11, p. 314-320, 22 nov. 2024.

VAGGOLI, Renuka G. et al. Automatic College Bell System Using Arduino. **International Journal of Engineering Research**, v. 15, n. 02, 2026.

ZAGHLOOL MAHMOOD, Riyadh. High Accurate Automatic School Bell Controller Based On ESP-32 Wi-Fi. **Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology**, v. 4, n. 10, p. 126-144, 8 dez. 2022.

ZARPELLON, Bruno Oliveira et al. Design and Implementation of a Smart Campus Flexible Internet of Things Architecture on a Brazilian University. **IEEE Access**, v. 12, p. 113705-113725, 2024.