

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS CÂMPUS
JATAÍ

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

IGOR ALMEIDA SANTANA

JOSÉ SILVA ARAÚJO FILHO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA PARA
ACIONAMENTO E MONITORAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS**

JATAÍ – GO

2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Local Jataí, 10/03/2025.
Data

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Local Jataí, 10/03/2025.
Data

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

IGOR ALMEIDA SANTANA

JOSÉ SILVA ARAÚJO FILHO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA PARA
ACIONAMENTO E MONITORAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás, Campus Jataí, para
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: André Luiz Silva Pereira

JATAÍ – GO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Araújo Filho, José Silva, Santana, Igor Almeida

Desenvolvimento de uma interface homem-máquina para acionamento e monitoramento de motores de indução trifásicos [manuscrito] / Igor Almeida Santana, José Silva Araújo Filho. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2025.

88 f.; il.

Orientador: Dr. André Luiz Silva Pereira

Bibliografias.

1. Aplicativo. 2. Arduino. 3. Automação. 4. Controle remoto. 5. Interface homem-máquina. I. Pereira, André Luiz Silva. II. IFG, Campus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária – Wilma Joaquim da Silva – CRB 1/1850 – Campus Jataí. Cód. F 028-2025/1



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

IGOR ALMEIDA SANTANA
JOSÉ SILVA ARAÚJO FILHO

DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA PARA ACIONAMENTO E MONITORAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 25 de fevereiro de 2025, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Luiz Silva Pereira
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. Fernando Silva Pereira
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. Marcelo Semensato
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Jataí – GO
2025

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcelo Semensato**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/03/2025 17:51:41.
- **Fernando Silva Pereira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/03/2025 16:21:32.
- **Andre Luiz Silva Pereira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/03/2025 16:05:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/03/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 624965

Código de Autenticação: a20ff4ab14



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9579 (ramal: 9579)

AGRADECIMENTOS

Nós, Igor Almeida Santana e José Silva Araújo Filho, queremos expressar nossa imensa gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho de conclusão de curso se tornasse realidade.

Primeiramente, agradecemos a Deus, por nos conceder saúde, força e sabedoria para enfrentar os desafios dessa caminhada acadêmica. Sem ele, nada disso teria sido possível.

Também somos profundamente gratos às nossas famílias, que sempre estiveram ao nosso lado com apoio, paciência e incentivo em cada etapa dessa jornada.

Nosso reconhecimento especial vai para todos os professores que passaram por nossa trajetória. Cada um, com sua dedicação e compromisso, contribuiu para nossa formação não apenas acadêmica, mas também pessoal. Foram suas aulas, orientações e conselhos que nos impulsionaram a chegar até aqui.

Aos amigos e colegas de curso, que compartilharam conosco desafios, trocas de conhecimento e momentos de aprendizado, nosso muito obrigado por fazerem essa caminhada mais leve e enriquecedora.

E, por fim, um agradecimento mútuo entre nós dois, pela parceria, pelo comprometimento e por todo esforço conjunto que resultou neste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para essa conquista, nosso sincero agradecimento!

RESUMO

A automação industrial tem se consolidado como um dos principais focos do desenvolvimento tecnológico nos últimos anos. Esse avanço decorre da crescente demanda produtiva para atender às necessidades da sociedade. Nesse contexto, alguns fatores são essenciais para a otimização da produtividade, como a automação de processos com mínima intervenção humana e a possibilidade de controle remoto de operações, reduzindo os riscos para os operadores. Com base nesses princípios, a aplicação de uma Interface Homem-Máquina (IHM) por meio de um aplicativo para *smartphone* surge como uma solução eficiente para operar equipamentos sem exposição a riscos. Esse sistema permitiu o acionamento de um motor elétrico trifásico e o monitoramento de sua corrente tanto na partida quanto no regime permanente. Além disso, apresenta-se como uma alternativa portátil e sem fio, demonstrando grande potencial para o monitoramento de processos industriais. A integração entre um *smartphone* e um microcontrolador Arduino, comunicando-se via protocolo TCP/IP, representa uma aplicação prática dos conceitos da Indústria 4.0. Nesse sentido, o uso de ferramentas didáticas como o *MIT App Inventor* mostrou-se altamente eficiente para o controle remoto. Contudo, não conseguiu superar completamente as limitações impostas pelo módulo Ethernet Shield. Entretanto, por meio de estratégias de programação, essas restrições foram reduzidas, tornando a ferramenta um dispositivo promissor para estudos e aplicações didáticas.

Palavras chave: Aplicativo, Arduino, automação, controle remoto, Interface homem-máquina.

ABSTRACT

Industrial automation has become one of the main focuses of technological development in recent years. This progress is driven by the increasing demand for productivity to meet society's needs. In this context, certain factors are essential for optimizing efficiency, such as process automation with minimal human intervention and the ability to remotely control operations, reducing risks for operators. Based on these principles, the implementation of a Human-Machine Interface (HMI) through a *smartphone* application emerges as an efficient solution for operating equipment without direct exposure to hazards. This system enabled the activation of a three-phase electric motor and the monitoring of its current both during startup and in steady-state operation. Furthermore, it presents itself as a portable and wireless alternative, demonstrating great potential for industrial process monitoring. The integration between a *smartphone* and a microcontroller, communicating via the TCP/IP protocol, represents a practical application of Industry 4.0 concepts. In this regard, the use of educational tools such as MIT App Inventor proved highly effective for remote control. However, it could not entirely overcome the limitations imposed by the Ethernet Shield module. Nevertheless, through programming strategies, these restrictions were mitigated, making the system a promising tool for study and educational applications.

Keywords: Industrial automation. HMI. Remote control. Microcontroller. Industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de força e comando para partida direta	19
Figura 2. Diagrama de ligação para partida estrela-triângulo.	20
Figura 3. Exemplo da tela da IDE com monitor serial ativo.	23
Figura 4. Arduino MEGA 2560	24
Figura 5. Arduino UNO.....	26
Figura 6. Ethernet Shield W5100 conectado em um arduino MEGA 2560.	27
Figura 7. Efeito Hall em um condutor elétrico.....	29
Figura 8. Sensor de Corrente ACS712-30A.	30
Figura 9. <i>Chip</i> ACS712.....	31
Figura 10. Exemplo de módulo relé de 8 canais.....	32
Figura 11. Nanoshield Zero Cross.	33
Figura 12. Nanoshield TRIAC.....	34
Figura 13. Interface do MIT App Inventor.	35
Figura 14. Interface de programação em blocos do MIT App Inventor.....	36
Figura 15. Vista superior do dispositivo de acionamento com alterações.	39
Figura 16. Código com a condicional definida para estrela - triângulo.....	40
Figura 17. Defasagem de tensão trifásica.....	41
Figura 18. Opções de conectividade na plataforma.	44
Figura 19. Blocos invisíveis inseridos no layout do app.....	45
Figura 20. Blocos necessários para a requisição na web.	45
Figura 21. Bloco de código para o acionamento da partida direta.	46
Figura 22. Trecho de código alterado para apresentar texto específico de acionamento.....	47
Figura 23. Bloco de recebimento de texto da web com a lógica de reconhecimento de acionamento implementada.....	47
Figura 24. Imagem de gráfico formado por um analisador de energia Fluke após uma partida direta de um motor trifásico de 0.5 cv, ligado em triângulo com tensão de 220V.....	48
Figura 25. Bloco de controle de requisições.	49
Figura 26. Implementação do código para imprimir a leitura de corrente na página HTML.	49
Figura 27. Implementação do bloco para percorrer a página web requisitada.	50
Figura 28. Implementação de um vetor para armazenar leituras.....	50
Figura 29. Implementação da tabela de corrente.	51

Figura 30. Página HTML com as implementações de corrente.....	52
Figura 31. Bloco de comandos do botão “reset”.	52
Figura 32. trecho de código em bloco para emissões de alerta de sobrecorrente.....	53
Figura 33. Bloco completo da componente “web_atualiza”.	54
Figura 34. Tela de acionamento individual.	55
Figura 35. Texto na IDE contendo funções de aprimoramento na comunicação.	57
Figura 36. Lógica do botão de seleção de funcionalidades.	57
Figura 37. Tela para análise de partida.....	58
Figura 38. Lógica dos botões de acionamento na tela de análise de partida.	59
Figura 39. Bloco incluído no componente temporizador, informando a mudança de acionamento para triângulo.	61
Figura 40. Tela inicial do app IHM.....	61
Figura 41. Gráfico de análise de partida direta obtido pelo app IHM.	62
Figura 42. Análise comparativa entre partida direta e partida em estrela.	63
Figura 43. Análise da partida suave em comparação com as demais partidas.	64
Figura 44. Acionamento da partida suave feita pela tela.	65
Figura 45. Comparativo da leitura de corrente do motor em regime permanente utilizando um amperímetro analógico.....	66
Figura 46. Leitura da partida estrela-triângulo.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela de rotações por minuto do eixo do motor de indução com base no número de pólos.	17
Tabela 2. Relação entre ângulo de disparo e potência.....	42
Tabela 3. Tabela de relação entre delay e ângulo de disparo.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – *Alternating Current*

CLP – Controlador Lógico Programável

COM – Comum

DC – *Direct Current*

EEPROM – *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*

GND – *Ground*

HTTP – *Hypertext Transfer Protocol*

HTML – *Hypertext Markup Language*

IDE – *Arduino Integrated Development Environment*

IHM – Interface Homem-Máquina

IP – *Internet Protocol*

ISO – Organização Internacional de Normalização

IoT – *Internet of Things*

LAN – *Local Area Network*

NA – Normalmente Aberto

NF – Normalmente Fechado

OSI – *Open System Interconnection*

OUT – Saída analógica

PWM – *Pulse With Modulation*

RFC – *Request for Comments*

SRAM – *Static Random Access Memory*

SMD – *Surface Mount Device*

USB – *Universal Serial Bus*

UDP – *User Datagram Protocol*

URL – *Uniform Resource Locator*

VCC – *Voltagem de Corrente Contínua*

Vin – Tensão de Entrada

TRIAC – Tríodo de Corrente Alternada

TCP – *Transmission Control Protocol*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo Geral	13
1.2	Justificativa	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3	ELEMENTOS FÍSICOS E VIRTUAIS DO PROJETO	17
3.1	Motores de Indução trifásicos	17
3.1.1	Funcionamento do moto de indução trifásico	17
3.1.2	Análise da partida de um motor de indução trifásico	21
3.2	Plataforma Arduino	22
3.2.1	Introdução a Microcontroladores	22
3.2.2	Ambiente de Programação IDE	23
3.2.3	Arduino MEGA 2560	24
3.2.4	Arduino UNO	25
3.2.5	Ethernet Shield W5100	26
3.3	Protocolo de comunicação TCP/IP	27
3.3.1	Ethernet TCP/IP	28
3.4	Periférico do Arduino	29
3.4.1	Sensor de Corrente ACS712-30 ^a	29
3.4.2	Módulo relés	31
3.4.3	Nanoshield Zero Cross	33
3.4.4	Nanoshield TRIAC	34
3.5	Plataforma MIT App Inventor	34
4	METODOLOGIA	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
6	CONCLUSÃO	68

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE A - CIRCUITO DE ACIONAMENTO DE CONTADORES.....	73
APÊNDICE B: BLOCO DA WEB PARA PLOTAR OS GRÁFICOS DE CORRENTE DE PARTIDA	74

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, novas tecnologias são implementadas diariamente na área da automação, em especial nas indústrias. A necessidade de novos meios de medição e comunicação entre máquinas e operadores, a fim de tornar o ambiente de trabalho otimizado, são uma constante crescente. Em paralelo ao exposto acima, o uso dos *smartphones* é uma realidade em quase toda a população.

O uso do *smartphone*, especialmente para soluções do dia a dia, trouxe grandes avanços. Alguns benefícios como redução de filas em bancos, a comunicação imediata entre pessoas e maior eficiência no encaminhamento de dados em ambientes de trabalho, entre outros serviços. O impacto do uso de canais digitais, incluindo os *smartphones*, é evidente, com um crescimento significativo no número de transações bancárias realizadas por esses dispositivos, que hoje correspondem a mais da metade do total de operações realizadas no Brasil (FEBRABAN, 2022).

No âmbito industrial, o uso de *smartphones* ainda está em constante ascensão, com aplicações práticas e cada vez mais difundidas. Tecnologias como o ponto eletrônico por reconhecimento facial, que elimina falhas e fraudes nos registros de presença (SISTEM PONTO, 2025) ou o uso de *smartphones* integrados a sistemas IoT, permitindo *checklists* de equipamentos, monitoramento remoto e maior eficiência na gestão de processos industriais (GRYFO, 2024) vem sendo cada dia mais comum em meios de produção. Nesse contexto, a criação de novas aplicações é fundamental para o constante avanço tecnológico.

Nesse cenário, empresas como ABB, WEG e SIEMENS iniciaram o desenvolvimento de aplicativos para controle e monitoramento de máquinas, conforme apresentado pela ABB em soluções como o DriveMonitor (ABB, 2025) e o Zenon (ABB, 2025). Atualmente, esses aplicativos utilizam protocolos de comunicação como Modbus ou Profinet, permitindo controles e ajustes em inversores de frequência. De acordo com a WEG, soluções como o WEGscan 100 e o WEGscan 4000 são exemplos que trazem agilidade e conforto nas operações de máquinas industriais (WEG, 2025). No entanto, a implementação ainda é novidade, embora eles já tenham sido criados, ainda não se tem uma real dimensão das inúmeras aplicações do *smartphone* na indústria.

A criação de um aplicativo de IHM (Interface Homem-Máquina) é proposta com base nas demandas do mercado atual. Utilizando um dispositivo de baixo custo controlado por Arduino, capaz de acionar motores e estabelecer conexões via TCP/IP, o projeto oferece uma plataforma para exploração e aprendizado nessa área. Este aplicativo abre um vasto leque de possibilidades, abrangendo tanto aplicações comerciais quanto educacionais, promovendo inovação e acessibilidade.

1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento e implementação de um aplicativo IHM para controlar um protótipo de multi acionamentos distintos controlados por arduino. O aplicativo conta com acionamento, aviso de sobrecorrente, gráfico de corrente e leitura em tempo real.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver um aplicativo com interface intuitiva para interação com um dispositivo de acionamento microcontrolado.
- Implementar um sistema de armazenamento de dados para análise comparativa de diferentes tipos de acionamento.
- Desenvolver um sistema que possibilite o monitoramento remoto do funcionamento de um motor, permitindo acesso a dados operacionais em tempo real por meio de um aplicativo para *smartphone*.

1.2 Justificativa

O avanço tecnológico representa uma grande mudança para as indústrias. Constantemente novas tecnologias são criadas, os meios de produção se tornam mais eficientes e atendem com destreza às demandas da sociedade. No entanto, as produções em larga escala sempre trouxeram riscos para os operadores, principalmente em máquinas que possuem pouca autonomia.

Com essa necessidade de evolução com segurança, as indústrias investiram e ainda investem em pesquisas e em novas tecnologias para tornarem as máquinas mais autônomas e reduzirem a necessidade de exposição de operadores aos riscos do chão de fábrica. Entre essas novas tecnologias, destacam-se o uso de controladores lógicos programáveis, sistemas supervisórios e a IoT (UNIFOA, 2025). No entanto, problemas como alto custo de implementação, mão de obra qualificada e dificuldade de integração de sistemas antigos a tecnologia recente ainda são um tabu.

À face do exposto, o trabalho explora a ideia de uma implementação de uma tecnologia de baixo custo e em paralelo traz um recurso para aprendizado e qualificação. A interação entre homem e máquina, através de uma interface via *smartphone* é um conceito novo, conceituado na indústria 4.0. A contribuição deste trabalho vai de trabalhos acadêmicos voltados para a nova revolução industrial até adaptação e integração em meios de produção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com o artigo de Marques *et al.* (2022), as tecnologias oriundas do conceito de indústria 4.0 são capazes de reduzir erros e otimizar o processo industrial. No entanto, é destacada a dificuldade de uma implementação abrupta e total de todos os recursos. O estudo sugere que essa implementação seja feita de forma gradual e visando ao longo prazo, para que cada tecnologia implantada possa trazer novas soluções e adaptações para os recursos seguintes, otimizando a automação industrial.

As atualizações devem ser feitas de tal forma que não conflitem com os sistemas que estão em vigor. Portanto, além da introdução gradual dos recursos, faz-se necessário um conhecimento amplo sobre os recursos já existentes na automação. Em paralelo a isso, a implementação deve ser feita de forma cautelosa e bem estruturada.

Para Bayer *et al.* (2021), existem pilares na implementação da automação. Os pilares são necessários para estruturar as fases de implantação de um novo sistema sobre um sistema já existente. Basicamente, é proposto que se faça uma especificação do sistema, para então elaborar um projeto, que inclua soluções específicas para cada caso, implementação seguida de instalação e testes.

As linhas de produção de uma indústria, seja para manejo ou produção, são compostas por máquinas, sensores, atuadores e a própria mão de obra humana, que vêm sendo substituída por robôs. Para que as máquinas entrem em funcionamento, é necessário o uso de motores para gerar trabalho e transformar energia em movimento. Em especial, os motores elétricos são utilizados, devido à baixa manutenção e à alta eficiência energética (FREITAS JÚNIOR; SILVA, 2018).

Os motores elétricos utilizados no chão de fábrica geralmente são motores trifásicos, pois são menores, não necessitam de capacitores para auxiliar na partida e sua estrutura permite a construção de motores de alta potência (KOSOW, 1984). O funcionamento desses motores depende da tensão de alimentação que chega a seus terminais e da forma como estão ligados.

Para o acionamento desses motores, é necessário o uso de dispositivos específicos. De acordo com Oliveira (2015), os dispositivos essenciais para o acionamento são classificados em proteção, comando, sinalização e medição. Dentre os principais meios de acionamento, destacam-se a partida direta, a partida estrela-triângulo, o acionamento por *soft-starter* e o controle de velocidade por inversores de frequência.

Ademais, cada tipo de acionamento traz comportamentos específicos no motor, fato que é de extrema relevância no meio industrial, o que pode causar estresse mecânico tanto nas máquinas

acopladas quanto no próprio motor elétrico. Segundo Franchi (2008, p.153), o momento de partida de motores elétricos é crítico devido ao fato de que, nessa etapa, os motores demandam uma corrente muito superior àquela usada em operação contínua, resultando da necessidade de superar o estado de inércia do motor. Durante a energização, a corrente inicial se eleva rapidamente até atingir o pico, que geralmente varia entre seis e oito vezes a corrente nominal do motor.

Os danos causados por uma corrente de pico vão além do conjunto da máquina, podendo interferir na rede de alimentação. De acordo com Segundo e Rodrigues (2015, p.31), esse aumento pode causar quedas significativas de tensão no sistema de alimentação, resultando em falhas ou perturbações em outros dispositivos conectados ao mesmo sistema. Por essa razão, além de questões de segurança e dimensionamento de equipamentos de proteção, foram desenvolvidas normas e métodos específicos de partida para motores de indução elétrica. Essas normas podem ser de âmbito internacional, nacional ou definidas pelas concessionárias de energia locais.

Mamede Filho (2011, p.238) enfatiza que: "A escolha do método de partida mais adequado deve considerar aspectos como a capacidade da instalação elétrica, os requisitos da carga e as limitações do sistema gerador."

Outrossim, a modernização dos sistemas de acionamento e controle de máquinas, exige dispositivos de acionamento mais modernos e capazes de interagir com o software. Todavia, devido aos altos custos e infortúnios de projeto, que possam dificultar o processo de atualização da estrutura de dispositivos, uma saída pode ser a adaptação dos dispositivos mais antigos para possibilitar uma mínima interação com esses novos sistemas de controle.

Para isso, pode-se utilizar o conceito de *retrofit*. De acordo com Lima (2021), o *retrofit* consiste na atualização de máquinas e equipamentos industriais, visando aprimorar um dispositivo ou máquina com a adição de novas funcionalidades. Aplicando esse conceito a dispositivos de acionamento, é possível modernizar equipamentos simples, como contadores e botoeiras, tornando-os mais eficientes e compatíveis com tecnologias atuais.

Com a adoção do *retrofit*, a instalação de uma IHM em estruturas mais antigas passa a ser viável. A Interface Homem-Máquina pode substituir uma série de botões, medidores e mostradores analógicos, além de alarmes e sinalizadores, consolidando todas as funções em uma única tela. Com isso, o processo de controle de máquinas se torna mais funcional e moderno.

Para a criação de um IHM, existem recomendações interessantes a serem seguidas. A norma ISA 101 recomenda que o *layout* seja simples, bem organizado e sem abuso de cores. Além disso,

recomenda-se a organização de tela com hierarquia de navegação e fluxo de informação, bem como cores bem definidas apenas para indicar estados do sistema e informações de leituras.

Com o conceito de indústria 4.0, inovações a respeito de cada estrutura de um sistema de acionamento surgem com frequência a fim de facilitar o trabalho do operador. As IHMs tradicionais são fixas e obrigam o operador a se encontrar em um local específico para operá-las. A ideia de implementar uma IHM móvel traz para o operador segurança e comodidade.

Neste contexto, surge a ideia de criar uma nova IHM via *app*. Embora seja um artifício novo, a ideia está ganhando espaço no mercado, devido à facilidade de operação atrelada à alta capacidade de processamento dos *smartphones* atuais. Além disso, a mobilidade proporcionada por esse tipo de interface permite que os operadores monitorem e controlem sistemas industriais de forma remota, aumentando a eficiência e reduzindo custos operacionais. Com a crescente digitalização da indústria, a adoção de IHMs móveis tende a se tornar uma solução cada vez mais viável e estratégica para a automação e a gestão de processos.

Para o desenvolvimento do aplicativo utilizado neste trabalho, optou-se pelo *MIT App Inventor*, uma plataforma de desenvolvimento baseada em blocos voltada para criação de aplicativos móveis no sistema *Android*. Essa ferramenta permite a construção de aplicações sem a necessidade de conhecimento avançado em linguagens de programação tradicionais, utilizando uma abordagem visual baseada em blocos gráficos para definir comportamentos e funcionalidades. Sua interface intuitiva e a facilidade de integração com *hardware* externo justificam sua escolha para este projeto (MIT, 2025).

3 ELEMENTOS FÍSICOS E VIRTUAIS DO PROJETO

3.1 Motores de Indução trifásicos

Os motores de indução são amplamente aplicados no setor industrial, para diversas funções. Devido às altas demandas industriais e processos cada vez mais pesados e mecanizados, os motores de indução desempenham um importante papel na produção. Em especial, os mais adotados são os motores de indução trifásicos, seguidos de motores monofásicos, sendo este último voltado para atividades mais leves (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2024).

Conforme Gerin (2003, p.4): “Os motores são máquinas que recebem energia elétrica da rede caracterizada por tensão, corrente e fator de potência e fornecem energia mecânica no seu eixo caracterizada pela rotação e conjugado”.

Segundo Oliveira (2015), os motores de indução trifásicos são mais comuns em especial do tipo gaiola de esquilo, devido à sua robustez. Os motores de indução trifásicos do tipo gaiola possuem rotação diretamente proporcional à frequência de alimentação e inversamente proporcional ao número de polos (FRANCHI, 2008).

Tabela 1. Tabela de rotações por minuto do eixo do motor de indução com base no número de pólos.

Número de pólos	Rotações por minuto
2 Pólos	3600
4 Pólos	1800
6 Pólos	1200
8 Pólos	900
10 Pólos	720

Fonte: FRANCHI (2008, p. 70).

3.1.1 Funcionamento do motor de indução trifásico

De acordo com Oliveira (2015), ao aplicar uma tensão CA aos enrolamentos do estator, produz-se um campo magnético rotativo, corriqueiramente chamado de campo girante. O estator é composto por um conjunto de enrolamentos que formam 3 bobinas, defasadas em 120°.

Os três enrolamentos do motor possuem correntes defasadas em 120° , resultando na formação de um campo magnético giratório que provoca o movimento do motor. As principais especificações de um motor de indução trifásico incluem potência nominal, fator de serviço, tensão, corrente, frequência, escorregamento, torque e conjugado de partida (MOTOR ELÉTRICO, 2009).

Para este trabalho, foi utilizado um motor de pequeno porte, cujo estator possui 6 terminais. Em (MOTOR ELÉTRICO, 2009) deixa claro os diagramas de ligação para essa estrutura de motor, podendo ser utilizada a ligação delta para 220V e estrela para 380V. Para ligar em delta, devem ser curto-circuitados os terminais 1 e 6, 2 e 4, e 3 e 5, e conectados na rede posteriormente, ao passo que, na ligação estrela, os terminais 4, 5 e 6 são curto-circuitados, enquanto os terminais 1, 2 e 3 são ligados na rede.

Ao conectar na rede, tanto o motor de indução quanto qualquer outro equipamento, podem estar sujeitos a falhas elétricas. Esses infortúnios podem ser danosos tanto para a rede quanto para o próprio dispositivo. Havendo a necessidade de estipular meios de evitar certos problemas, a ABNT, por meio da NBR 5410 traz normas para instalações elétricas de baixa tensão, incluindo os motores elétricos (OLIVEIRA, 2015).

A NBR 5410 prevê que motores elétricos até 1,5kW, em instalações residenciais, podem seguir os padrões normais de instalação, mas para motores maiores e motores usados em instalações industriais, devem seguir normas específicas. As normas se referem a meios de seccionamento, proteção e alimentação. Deve-se dimensionar os condutores, relés térmicos capazes de identificar sobreaquecimento e dispositivos de proteção contra curto.

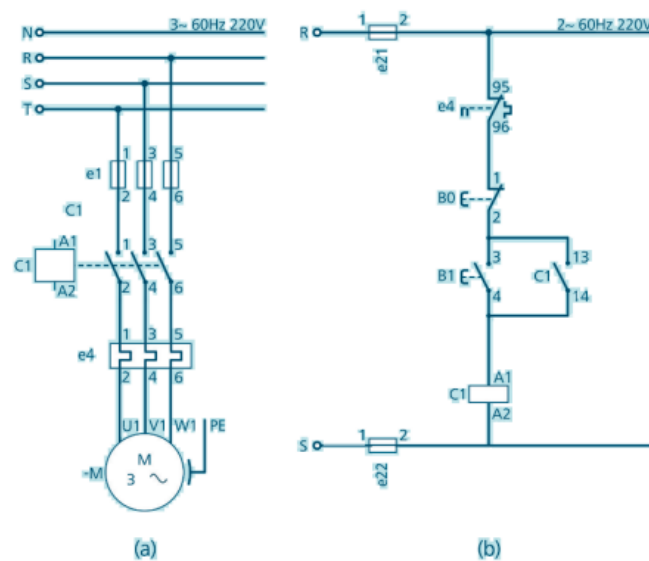
Além disso, para acionar um motor elétrico, deve-se levar em consideração sua potência e o impacto na rede à qual será ligada. Na abordagem de Oliveira (2015), fica evidente o comportamento do mesmo motor em diferentes tipos de acionamento. Nas indústrias, alguns métodos de acionamento são bastante utilizados, em destaque, os métodos de estrela-triângulo e *soft-starter*, além de inversores de frequência, que permitem o controle de rotação do eixo do rotor, e, por fim, a partida direta.

Para a partida direta, são utilizados elementos de proteção contra sobrecorrente, proteção contra curto, dispositivos de acoplamento como os contadores e dispositivos de comando como as botoeiras e contatos auxiliares dos contadores. Um exemplo básico de acionamento, as fases passam pelo dispositivo de proteção contra curto-circuito, depois pelo dispositivo de acoplamento, em seguida pelo relé de sobrecorrente e por fim chega ao motor. Para controlar esse acionamento, usa-se

um contato auxiliar do relé de sobrecarga, pois ele mantém a parte de comando do dispositivo alimentada, desativando o circuito se o relé de sobrecorrente entrar em ação.

Posteriormente, as botoeiras realizam a lógica, juntamente com o contato auxiliar do contator, que possibilita o funcionamento contínuo do dispositivo após o mesmo ser acionado. No entanto, esse artifício só deve ser utilizado em casos de motores de baixa corrente nominal e que estejam com pouca carga acoplada a ele (GERIN *et al.*, 2003).

Figura 1. Diagrama de força e comando para partida direta



Fonte: SEGUNDO, RODRIGUES (2015, p.33).

O grande problema da partida da figura 1 é a corrente de pico. Por meio desta, surgiu a partida estrela-triângulo, um método utilizado para suavizar a corrente de partida dos motores elétricos trifásicos. Esse processo pode ser aplicado apenas a motores que possuam seis terminais acessíveis e operem com dupla tensão nominal, como 220/380V ou 380/660V (GERIN *et al.*, 2003, p.11; MAMEDE FILHO, 2011, p.238). Para que esse tipo de partida seja possível, é necessário que a tensão de operação do motor na configuração triângulo coincida com a tensão nominal da rede elétrica.

O funcionamento baseia-se em iniciar o motor com os enrolamentos conectados em estrela, reduzindo a corrente de partida para 1/3 do valor que seria consumido na partida direta. Após atingir uma velocidade próxima à nominal, o sistema comuta automaticamente para a ligação triângulo, permitindo que o motor opere com seu torque e potência máximos (MAMEDE FILHO, 2011, p.238).

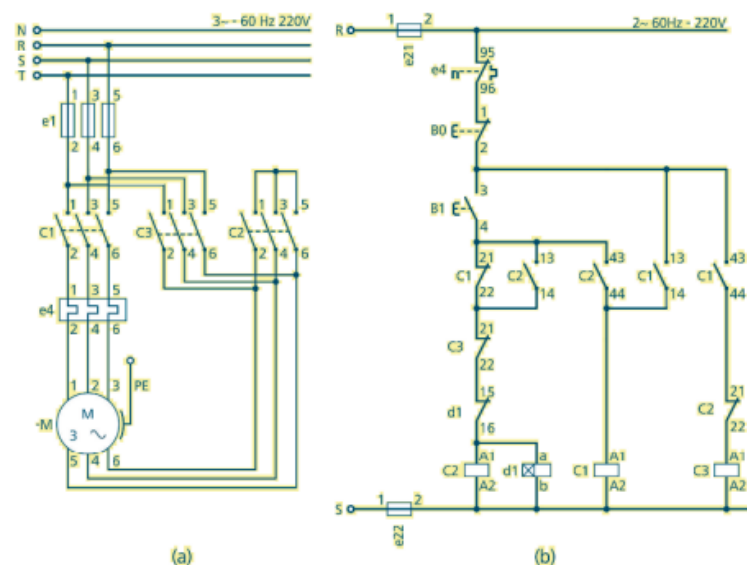
Durante a fase de partida em estrela, a tensão aplicada aos enrolamentos é reduzida para $1/\sqrt{3}$ da tensão nominal.

Contudo, a NBR 5410:2004 estabelece critérios específicos para a proteção de motores elétricos, garantindo segurança e confiabilidade na operação industrial. Entre os requisitos fundamentais, estão a proteção contra sobrecarga, realizada por dispositivos térmicos integrados ao motor ou relés térmicos externos, e a proteção contra curto-circuito, que utiliza disjuntores dimensionados conforme a corrente nominal do motor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Além disso, os dispositivos de seccionamento e comando devem ser projetados para permitir a desenergização segura do motor em situações de emergência.

A utilização do sistema estrela-triângulo é indicada para motores que partem a vazio ou com cargas leves, pois, para garantir o funcionamento adequado, o torque disponível na configuração estrela deve ser maior que o torque exigido pela carga no eixo do motor (MAMEDE FILHO, 2011, p.238). Se essa condição não for atendida, a partida poderá ser insuficiente para vencer a inércia da carga, resultando em falha na aceleração do motor.

Dessa forma, a escolha do método de partida deve considerar as características do motor, da carga e da instalação elétrica, garantindo conformidade com as normas vigentes e prevenindo sobrecargas desnecessárias na rede elétrica.

Figura 2. Diagrama de ligação para partida estrela-triângulo.



Fonte: SEGUNDO, RODRIGUES (2015, p.37).

Embora a partida vista na figura 2 seja uma solução eficaz para reduzir a corrente de pico, ela possui algumas limitações. Esse método não permite um controle preciso da corrente e do torque durante a aceleração e, em alguns casos, pode causar oscilações elétricas e mecânicas ao alternar de estrela para triângulo. Além disso, sua aplicação é restrita a motores com seis terminais acessíveis e dupla tensão nominal, o que nem sempre está disponível nas instalações industriais. Para superar essas limitações, foi desenvolvida a partida eletrônica com *Soft-Starter*, que permite um controle progressivo da tensão aplicada ao motor, reduzindo o impacto na rede elétrica e garantindo uma aceleração mais suave.

Em Oliveira (2015), é citado dados referentes a comparações entre a partida direta, estrela-triângulo e a partida suave. Nota-se que a corrente de partida na partida suave pode ser reduzida a até 25% da corrente de partida direta, enquanto que, a partida estrela-triângulo apresenta um pico de 33% em relação a partida direta. Portanto, a partida suave traz menos estresse para componentes elétricos, contribuindo para a longevidade dos motores de indução trifásicos.

3.1.2 Análise da partida de um motor de indução trifásico

A corrente de partida dos motores elétricos de indução trifásicos ocorre devido a um fenômeno transitório, podendo atingir valores de 6 a 8 vezes a corrente nominal, impactando a rede elétrica e os componentes do sistema de acionamento. Segundo Semensato (2007), no instante inicial da partida, a corrente atinge um pico significativo devido à ausência de força contraeletromotriz (CEM) no rotor e à baixa impedância dos enrolamentos do estator. Em sua pesquisa, o autor analisou o comportamento da corrente durante a partida de um motor trifásico sob carga, verificando que a estabilização ocorre aproximadamente após o transitório eletromecânico do motor, momento em que o regime senoidal da corrente se estabelece.

Kosow (1988) também relata sobre a ausência da CEM no rotor. Com isso, ele explica que a tensão aplicada ao motor influencia diretamente a corrente de partida, sendo possível reduzi-la por meio de métodos como a partida estrela-triângulo ou o uso de autotransformadores, popularmente conhecido como partida compensada. Entretanto, a redução da tensão pode comprometer o torque de partida, dificultando a aceleração do motor, especialmente quando há carga significativa no eixo.

Portanto, o valor de corrente de pico de um motor de indução trifásico está diretamente relacionado com a tensão aplicada. No entanto, o conjugado de partida é inversamente proporcional ao escorregamento é diretamente proporcional à tensão (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2006). Dessa forma, cada situação deve ser analisada para definir o tipo de partida mais adequada.

O aplicativo IHM, desenvolvido para interagir com um dispositivo de acionamento de baixo custo, busca captar, de forma sucinta, porém precisa, as correntes de transitórias que surgem com diferentes acionamentos. A aplicação permite o acionamento através de um *smartphone* e leituras logo ao início e posteriormente leituras em regime permanente. Mas para que isso seja possível, é necessário a interação com os microcontroladores responsáveis pelo controle do dispositivo.

3.2 Plataforma Arduino

3.2.1 Introdução a Microcontroladores

Os microcontroladores têm se consolidado como elementos indispensáveis em diversos setores devido à sua ampla aplicabilidade. Seu uso crescente no setor industrial ocorre devido à sua capacidade de aprimorar processos produtivos, aumentar a eficiência, reduzir custos operacionais e otimizar o tempo de execução das atividades.

Ainda há certa confusão em relação ao conceito de microcontrolador, especialmente quando comparado ao microprocessador, o que torna necessário esclarecer as diferenças fundamentais entre ambos. Segundo Oki e Mantovani (2013, p.1):

Os Microcontroladores surgiram no princípio dos anos 80. Trata-se de um circuito integrado programável que contém toda a estrutura (arquitetura) de um microcomputador, isto é, dentro de um microcontrolador podemos encontrar uma CPU (Unidade Central de Processamento), memória RAM, memória EEPROM (Memória de leitura e escrita não volátil); portas de entrada/saída (Pinos de E/S).

De maneira geral, o microcontrolador é um circuito integrado (CI) capaz de reunir, em um único dispositivo, diversos componentes essenciais para o funcionamento de sistemas digitais. Por outro lado, o microprocessador corresponde à unidade central de processamento (CPU) de um sistema eletrônico, desempenhando o papel de 'cérebro' ao executar tarefas relacionadas ao processamento de informações e à tomada de decisões (OLIVEIRA, 2015).

A principal diferença entre os dois dispositivos está no grau de integração dos componentes. Enquanto o microprocessador necessita de elementos externos, como memórias, circuitos de entrada/saída e dispositivos de interface para operar adequadamente, o microcontrolador integra esses

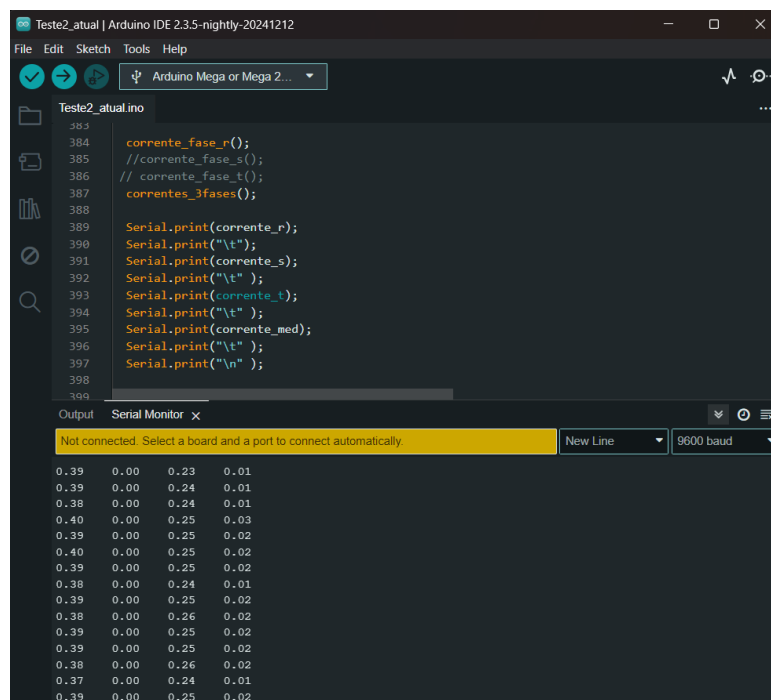
periféricos em um único *chip*, eliminando, na maior parte das aplicações, a necessidade de módulos adicionais para seu funcionamento básico.

3.2.2 Ambiente de Programação IDE

Para a programação do Arduino é necessário a utilização de uma plataforma chamada *Arduino Integrated Development Environment*, popularmente conhecida como IDE. Essa plataforma possibilita que o usuário interaja com o microcontrolador Arduino, designando funções programadas com linguagem de programação C/C++. A IDE decodifica o código e grava dentro do microcontrolador. O programa está disponível de forma gratuita para os principais sistemas operacionais encontrados em computadores, como *Windows*, *Linux* e *Mac OS X* (ARDUINO.CC, 2016).

Além da programação, o Arduino possibilita interação em tempo real do dispositivo com um computador. Para esse propósito, basta estar conectado via cabo USB tipo B e utilizar os códigos disponíveis no Arduino para imprimir os dados no monitor serial da IDE. Dessa forma, qualquer leitura de sensores e atuadores conectados no Arduino, pode ser monitorada em tempo real através do monitor serial.

Figura 3. Exemplo da tela da IDE com monitor serial ativo.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

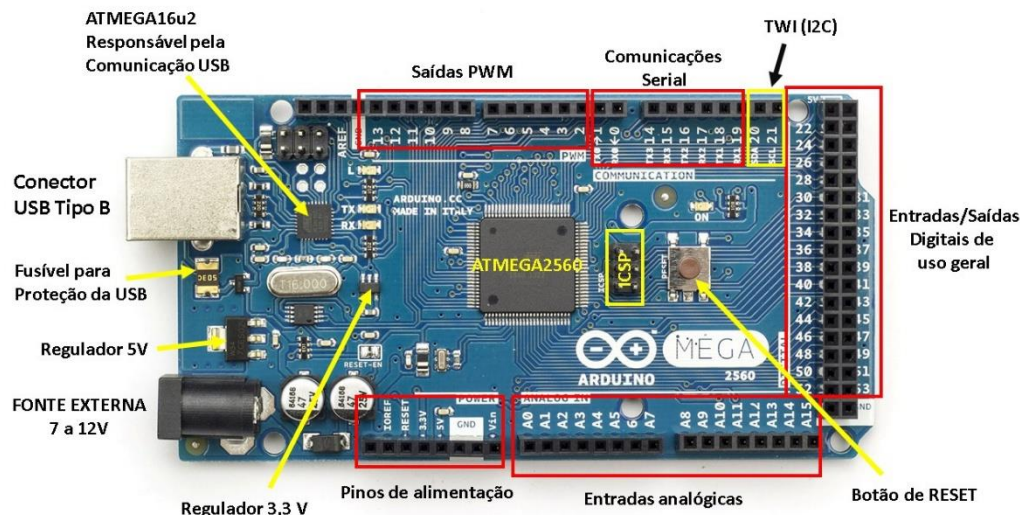
Os valores de corrente captados pelo monitor são atualizados em tempo real a uma taxa de 5ms conforme a programação deste código. No entanto, o Arduino pode ir além devido à alta capacidade de leitura de suas portas analógicas. A velocidade de processamento de dados depende de fatores como a capacidade do sensor de enviar informações, o tipo de dado transmitido, se os dados são do tipo 0 ou 1 ou se são dados com variação de tensão e da placa Arduino utilizada (ARDUINO FORUM, 2022).

3.2.3 Arduino MEGA 2560

O Arduino MEGA 2560 é uma das placas mais comercializadas da família Arduino, sendo amplamente utilizado para prototipagem e projetos mais elaborados. Baseia-se no microcontrolador Atmel ATmega2560, que se destaca por suas características avançadas em relação a outras placas da mesma família, como o Arduino UNO (OLIVEIRA, 2015).

Dentre as principais características do microcontrolador ATmega2560, destacam-se seus 54 pinos de entrada e saída digitais, dos quais 15 podem ser utilizados como saídas de modulação por largura de pulso (PWM), permitindo o controle da intensidade média de um sinal elétrico pela variação da largura dos pulsos. A placa também conta com 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial e pinos de alimentação, incluindo 5V, 3.3V, Vin e GND (SOUZA, 2014).

Figura 4. Arduino MEGA 2560



Fonte: SOUZA (2014).

A tensão de operação da placa apresentada na figura 4, é de 5V, com uma tensão de entrada recomendada entre 7V e 12V, podendo operar dentro de um limite de 6V a 20V. Para garantir a

segurança da alimentação externa, a entrada da fonte possui um regulador de tensão que ajusta a voltagem para 5V. Além disso, cada pino de entrada e saída suporta uma corrente contínua de até 20 mA, enquanto o pino de 3.3V suporta até 50 mA. A memória *Flash* disponível é de 256 KB, dos quais 8 KB são utilizados pelo *bootloader*, além de possuir 8 KB de SRAM e 4 KB de EEPROM. A velocidade de *clock* do microcontrolador é de 16 MHz (ARDUINO.CC, 2016).

Um diferencial do Arduino MEGA 2560 é a flexibilidade de programação, permitindo ao usuário adaptá-lo conforme suas necessidades específicas, possibilitando a criação de uma ampla gama de aplicações e sistemas eletrônicos. Além do microcontrolador ATmega2560, a placa conta com um segundo microcontrolador, o ATmega16u2, que atua como interface USB para comunicação com o computador (SOUZA, 2014).

3.2.4 Arduino UNO

O Arduino UNO é uma das placas mais populares e comercializadas da família Arduino, sendo amplamente reconhecido como a plataforma de entrada para iniciantes em projetos de eletrônica e automação. Baseia-se no microcontrolador Atmel ATmega328P, oferecendo flexibilidade e aplicabilidade que permitem sua adaptação às necessidades do usuário ao escrever códigos para diversas aplicações.

A placa Arduino UNO dispõe de 14 pinos digitais que podem ser utilizados tanto como entradas quanto como saídas, permitindo operações em níveis *HIGH* e *LOW*. Dentre esses pinos, 6 suportam modulação por largura de pulso (PWM), possibilitando o controle da intensidade média de sinais elétricos. Além disso, a placa conta com 6 pinos de entrada analógica que viabilizam a leitura de valores contínuos. Também estão disponíveis pinos de alimentação, incluindo 5V, 3.3V, Vin e GND, bem como pinos de comunicação serial para a transferência de dados entre dispositivos eletrônicos (SOUZA, 2013).

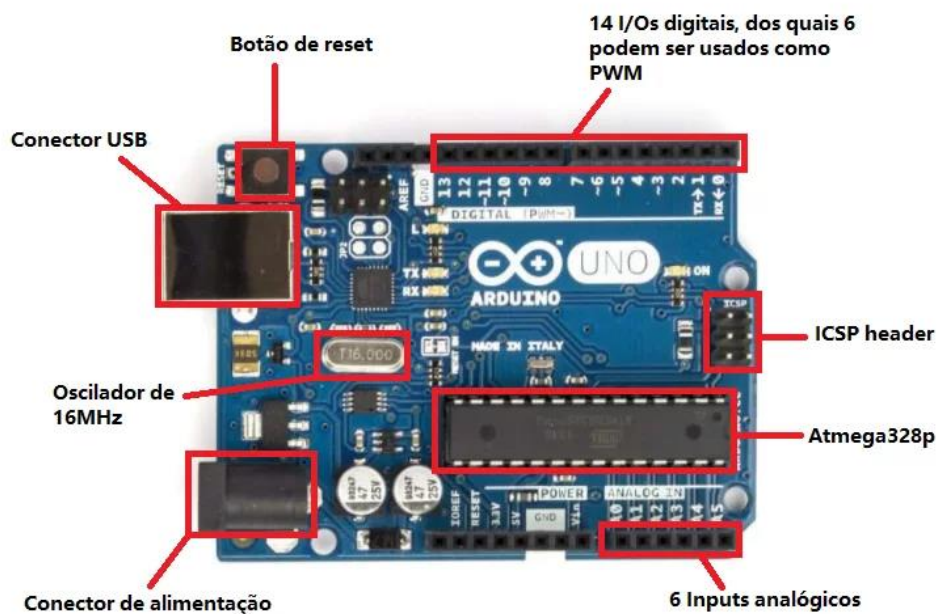
A tensão de operação do Arduino UNO é de 5V, sendo a voltagem de entrada recomendada entre 7V e 12V, com um limite operacional de 6V a 20V. Cada pino de entrada e saída suporta uma corrente contínua de até 20 mA, enquanto o pino de 3.3V suporta até 50 mA. A memória disponível no microcontrolador ATmega328P é de 32 KB de *Flash*, 2 KB de SRAM e 1 KB de EEPROM. A placa opera com uma velocidade de *clock* de 16 MHz.

Comparado ao Arduino MEGA 2560, o Arduino UNO se destaca por sua simplicidade, portabilidade e tamanho compacto, características que o tornam uma opção viável para projetos que

demandam eficiência energética e espaço reduzido. Enquanto o Arduino MEGA 2560 oferece uma quantidade superior de pinos de entrada e saída e uma memória de programação expandida, ambos os modelos compartilham a mesma velocidade de clock de 16 MHz, além de possuírem uma arquitetura de alimentação semelhante entre si.

Outro aspecto relevante do Arduino UNO está na evolução do seu sistema de comunicação USB-serial. Enquanto sua antecessora, a placa Arduino Duemilanove, utilizava um conversor USB-serial dedicado, o Arduino UNO integrou um microcontrolador específico para essa função. As primeiras versões utilizavam o ATmega8u2, mas, a partir da revisão 3, a placa passou a utilizar o ATmega16u2, o mesmo microcontrolador empregado no Arduino MEGA 2560 (ARDUINO.CC, 2016).

Figura 5. Arduino UNO.



Fonte: ELETROGATE (2022).

3.2.5 Ethernet Shield W5100

A Ethernet Shield é um módulo para Arduino que utiliza o *chip* Wiznet W5100 para proporcionar conectividade de rede. Funciona como um periférico para placas Arduino, servindo como uma extensão da plataforma e operando em conjunto com modelos como o Arduino UNO e o MEGA2560.

Sua principal função é possibilitar a conexão com uma rede local chamada *local area network*, conhecida como LAN, além da própria internet. Dessa forma é possível ter acesso remoto, transferência de dados, verificação de status de sensores, entre outros. Para possibilitar esse acesso, é necessário conectar a placa Ethernet Shield a um roteador por meio de um cabo RJ45 e configurar os parâmetros para haver comunicação entre o módulo e a rede local conectada (OLIVEIRA, 2015).

Através do *chip* Wiznet W5100 e dos parâmetros configurados, obtém-se um IP capaz de se comunicar pelos protocolos TCP e UDP. Uma observação importante é a necessidade da adição da biblioteca <Ethernet.h> no IDE do Arduino, para que possa ser reconhecido o módulo Ethernet Shield no Arduino (OLIVEIRA, 2015).

A conexão física do Shield na placa Arduino é bem simples e intuitiva.

Figura 6. Ethernet Shield W5100 conectado em um Arduino MEGA 2560.



Fonte: Oliveira (2015).

Em Oliveira (2015), são apresentadas algumas funcionalidades da biblioteca, que facilita o trabalho para o programador, não há razões significativas para prenoção em relação a adaptação de lógica. Além da biblioteca, o próprio Shield possui LEDs em seu corpo, indicando algumas informações, como se o Arduino e o Shield estão corretamente conectados, o sinal da rede de transmissão e recepção de dados, entre outros.

3.3 Protocolo de comunicação TCP/IP

A arquitetura de comunicação TCP/IP, também chamada de pilha de protocolos TCP/IP, define um conjunto de regras para a troca de informações entre computadores em uma rede. O protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*) é responsável pelo controle da transmissão dos dados, enquanto o IP (*Internet Protocol*) gerencia o endereçamento e a entrega dos pacotes na rede.

As especificações desses protocolos são documentadas nas chamadas RFCs (Request for Comments), garantindo que dispositivos que utilizam TCP/IP possam se comunicar corretamente (ODOM, 2008). Para estabelecer uma conexão entre o Ethernet Shield W5100 e outros dispositivos como computadores, tablets ou *smartphones* dentro de uma rede, é necessário seguir essa estrutura de comunicação baseada na pilha de protocolos TCP/IP, que pode ser mapeada em relação ao modelo OSI de sete camadas.

O modelo OSI (Open System Interconnection) foi desenvolvido pela Organização Internacional de Normalização (ISO) como um padrão para possibilitar a comunicação entre sistemas de diferentes fabricantes. Ele é composto por sete camadas, organizadas para permitir a interconectividade entre redes de curta, média ou longa distância, assegurando um fluxo de dados organizado e eficiente para a comunicação entre diferentes redes e dispositivos (OLIVEIRA, 2015).

3.3.1 Ethernet TCP/IP

A crescente adoção, desempenho e acessibilidade da arquitetura TCP/IP têm despertado grande interesse no setor industrial, impulsionando investimentos em protocolos específicos para essa aplicação. Diferentemente das redes domésticas ou de escritório, os sistemas industriais exigem infraestruturas mais robustas, projetadas para operar em ambientes adversos e minimizar os impactos de interferências eletromagnéticas, comuns em instalações fabris (OLIVEIRA, 2015).

Diversas organizações desenvolvem soluções de comunicação baseadas em TCP/IP, como o *Modbus/TCP*, amplamente utilizado para integração entre CLPs e sensores; o *Foundation Fieldbus High-Speed Ethernet*, voltado para automação de processos; e o PROFINET, que oferece alta velocidade e confiabilidade para redes industriais. Essas tecnologias são fundamentais para garantir uma troca de dados eficiente, estável e segura entre máquinas, dispositivos e sistemas de controle, possibilitando maior automação e otimização da produção (OLIVEIRA, 2015).

Apesar de sua flexibilidade e custo reduzido, a plataforma Arduino ainda enfrenta desafios no ambiente industrial, principalmente devido às limitações de seus microcontroladores, que podem apresentar falhas diante de condições extremas, vibrações mecânicas e ruídos eletromagnéticos. Por isso, controladores lógicos programáveis (CLPs) continuam sendo amplamente utilizados em aplicações críticas que exigem maior resistência e confiabilidade.

No entanto, avanços recentes, como o uso de *Shields* industriais, filtros eletromagnéticos, alimentação isolada e a implementação de protocolos mais sofisticados, têm ampliado a viabilidade

do Arduino em sistemas industriais. Além disso, algumas empresas já começaram a adotar o Arduino em processos secundários, como monitoramento de equipamentos e coleta de dados, demonstrando seu potencial para se expandir nesse setor.

3.4 Periférico do Arduino

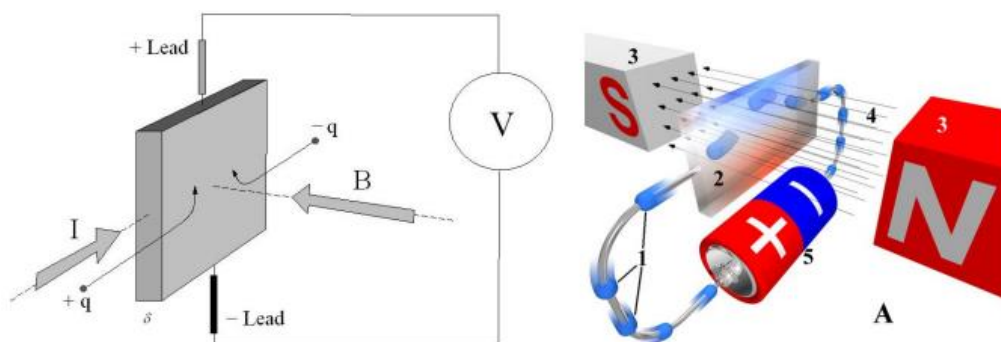
No protótipo de acionamento, foram utilizados, juntamente com o Arduino, dispositivos para controle e monitoramento de motores. Esses periféricos são projetados para operar com microcontroladores, como o Arduino, e funcionam na mesma faixa de tensão operacional, o que os torna ideais para esse tipo de aplicação. Além disso, contam com circuitos que isolam a parte de força do Arduino, o que traz segurança em suas aplicações, como visto ao longo do desenvolvimento deste trabalho, onde, apesar de problemas de curto-circuito, o microcontrolador não foi danificado.

No entanto, para maior segurança e aplicabilidade, o uso dos periféricos não descarta a necessidade de adotar meios comuns de acionamento e proteção de motores. A utilização de disjuntores termomagnéticos, contadores e, se possível, relés termomagnéticos e fusíveis, são essenciais para completa proteção de todo o sistema e da própria carga.

3.4.1 Sensor de Corrente ACS712-30^a

O Sensor de Corrente ACS712-30A é um dispositivo amplamente utilizado para medições precisas de corrente elétrica em aplicações que exigem monitoramento e controle de consumo. Baseado no Efeito *Hall*, este sensor permite medições sem a necessidade de contato direto com o condutor, garantindo segurança e confiabilidade. Suas aplicações incluem monitoramento de consumo elétrico, podendo auxiliar os microcontroladores no controle de motores e proteção contra sobrecorrentes em sistemas residenciais, comerciais e industriais.

Figura 7. Efeito Hall em um condutor elétrico.



Fonte: Oliveira (2015).

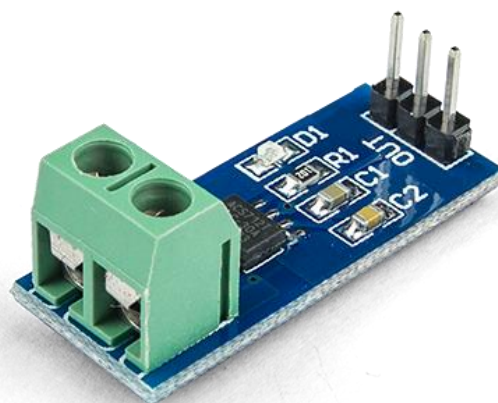
Esse sensor é capaz de medir tanto corrente contínua (DC) quanto corrente alternada (AC), apresentando uma sensibilidade de 66 mV/A e uma resposta de frequência de até 80 kHz, dependendo do modelo. O sensor está disponível em versões com capacidade de medição de 5A, 20A e 30A, e a escolha do modelo depende da demanda de corrente do sistema. No projeto desenvolvido, optou-se pelo modelo de 30A devido à sua ampla disponibilidade no mercado, baixo custo e compatibilidade com aplicações de maior consumo elétrico (ARDUINO.CC, 2016).

O ACS712-30A opera detectando o campo magnético gerado pela corrente elétrica que circula pelo seu condutor interno. Esse campo magnético é captado por um sensor de efeito *Hall*, que converte a informação em um sinal elétrico proporcional à corrente medida. Esse sinal é posteriormente amplificado e processado, permitindo a obtenção de leituras precisas e estáveis.

Além disso, o sensor possui baixo consumo em estado de repouso (*quiescent current*), reduzindo interferências no circuito e tornando-o mais eficiente para aplicações de medição contínua. Alguns modelos também oferecem isolamento galvânica, um recurso fundamental para aumentar a segurança em sistemas de medição conectados diretamente à rede elétrica (OLIVEIRA, 2015).

Fisicamente, o sensor é compacto e de fácil integração com microcontroladores, possuindo três pinos de conexão: VCC (5V), GND (terra) e OUT (saída analógica), permitindo a interface direta com Arduino, ESP32 e ESP8266. Sua construção utiliza tecnologia SMD (Surface Mount Device), o que reduz o tamanho da placa e a torna mais eficiente para aplicações de monitoramento de corrente em sistemas de baixa e alta potência (ARDUINO.CC, 2016).

Figura 8. Sensor de Corrente ACS712-30A.



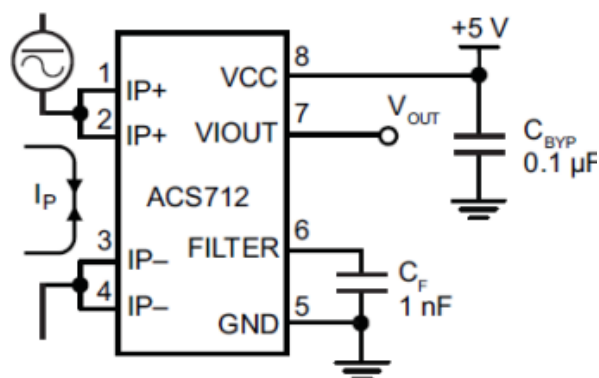
Fonte: Robocore (2025).

Dessa forma, o Sensor de Corrente ACS712-30A se destaca como uma solução confiável e acessível para projetos que exigem medições precisas de corrente, sendo amplamente empregado em sistemas de proteção contra sobrecarga e curto-circuito, monitoramento de baterias em veículos elétricos e sistemas de energia solar, além de sua integração em sistemas de automação industrial, permitindo o controle eficiente do consumo de corrente em máquinas e processos.

O ACS712-30A possui uma taxa de variação de tensão precisa para medição de corrente de motores, variando 66 mV por cada 1 A. Sendo o sinal de 0A equivalente a 2,5 V, onde ocorre a variação entre 0 e 5V, o sensor faz leituras entre -30 A e 30A. Além disso, o sensor é capaz de suportar transitórios de 100A em um intervalo de 100 ms (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2016).

O *chip* ACS712 possui os pinos 1 e 2 eletricamente conectados (curto-circuitados), servindo como entrada para a corrente a ser medida. Ele pode operar tanto com corrente alternada (AC) quanto com corrente contínua (DC). Como é um sensor linear, deve ser inserido em série no circuito para que a corrente passe por seus pinos de entrada. Da mesma forma, os pinos 3 e 4 estão interligados internamente e funcionam como a saída do circuito de medição. O sensor gera um sinal de tensão analógico proporcional à corrente detectada, disponibilizado no pino 7, permitindo que um microcontrolador intérprete e processe os valores medidos. A Figura 9 ilustra sua estrutura e funcionamento.

Figura 9. *Chip* ACS712.



Fonte: (Oliveira, 2015).

3.4.2 Módulo relés

Os relés surgiram há quase dois séculos, desenvolvidos a partir de estudos sobre eletroímãs e campos eletromagnéticos. A maioria desses dispositivos é eletromecânica, embora atualmente

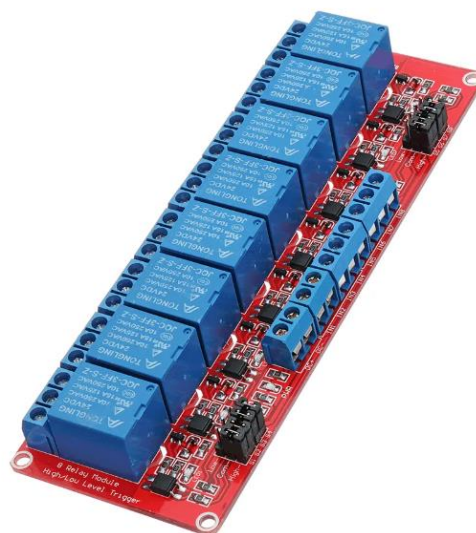
existem diversas variações, como relés temporizadores, térmicos, de estado sólido e eletrônicos. Embora seu princípio de funcionamento – baseado na operação por força magnética tenha se mantido, os relés evoluíram significativamente, tornando-se mais compactos e com maior capacidade de suportar tensões e correntes (Oliveira, 2015).

Os relés eletromecânicos são amplamente empregados no setor industrial devido à sua capacidade de controlar o fluxo de corrente em um circuito. Eles operam por meio de três terminais principais: o terminal comum (COM), que estabelece a conexão móvel, o terminal normalmente aberto (NA), que só permite a passagem de corrente quando o relé é ativado, e o terminal normalmente fechado (NF), que mantém a corrente fluindo até que o relé seja acionado.

Os módulos de relé apresentam vantagens significativas em sua construção, especialmente no que diz respeito à segurança e isolamento elétrico. Cada relé é acompanhado por um optoacoplador, um componente essencial que separa eletricamente o circuito de potência dos terminais do relé do circuito de controle de 5V. Essa separação reduz o risco de danos ao microcontrolador em caso de falhas ou sobrecargas no relé, garantindo maior proteção e confiabilidade ao sistema.

Cada modelo de módulo relé pode ter comportamentos distintos no que diz respeito ao sinal de entrada. Alguns modelos são orientados para acoplarem ao receber o sinal alto na entrada, equivalente a 5V, enquanto outros, são orientados para acoplarem ao receber o sinal baixo na entrada (0V). Se atentando a isso, o programador não terá problema em nenhum dos modelos.

Figura 10. Exemplo de módulo relé de 8 canais.



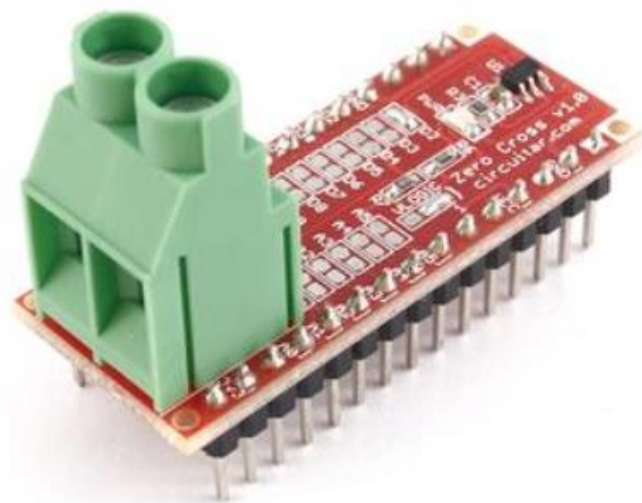
Fonte: (MARINO STORE, 2025).

3.4.3 Nanoshield Zero Cross

O Nanoshield Zero Cross, cujo nome traduzido significa "cruzamento por zero", é um sensor de tensão projetado para detectar o instante em que a tensão alternada da rede elétrica cruza a linha de zero volts, ou seja, o momento em que a polaridade da tensão se inverte. Ao identificar essa transição, o sensor gera um pulso de saída de 5V com duração de 1 milissegundo, permitindo que o microcontrolador interprete e sincronize operações com precisão. Para garantir segurança e isolamento elétrico, sua saída é optoacoplada, separando a tensão alternada da rede elétrica da tensão contínua utilizada na comunicação com o microcontrolador. Além disso, o Nanoshield Zero Cross é compatível com redes de 127V e 220V, tornando-se uma solução versátil para aplicações que exigem monitoramento preciso da tensão elétrica (OLIVEIRA, 2015).

O Nanoshield Zero Cross opera de forma simples e eficiente, convertendo a tensão alternada da rede elétrica em um sinal processável por meio de um optoacoplador fotoelétrico 4N35, que isola eletricamente o circuito e protege a placa. Esse sinal é então enviado a uma porta lógica *NOT*, responsável por inverter sua interpretação. Quando a porta lógica não recebe tensão, interpreta o estado como 0 e, conseqüentemente, envia um sinal ao microcontrolador. Por outro lado, ao detectar a presença de tensão, o estado é 1, e nenhum sinal é transmitido ao microcontrolador. Esse processo garante precisão na detecção dos cruzamentos por zero da tensão alternada, permitindo que o sistema sincronize suas operações com segurança e confiabilidade (OLIVEIRA, 2015).

Figura 11. Nanoshield Zero Cross.



Fonte: Circuitar, Zero Cross (2018).

3.4.4 Nanoshield TRIAC

O Nanoshield TRIAC é um módulo projetado para o acionamento de cargas que operam em corrente alternada, funcionando em uma faixa de tensão que varia entre 127V e 220V. O componente central desse módulo é o TRIAC BTA08-600, cuja capacidade elétrica, conforme especificado em seu *datasheet*, permite suportar correntes de até 8A e tensões de até 600V. Para que o TRIAC entre em condução e permita a passagem de corrente, é necessário o recebimento de um pulso de tensão de aproximadamente 20 microssegundos em seu terminal de disparo (*gate*). Essa característica torna o Nanoshield TRIAC uma solução eficiente e segura para o controle de dispositivos elétricos em circuitos de corrente alternada.

Figura 12. Nanoshield TRIAC.



Fonte: Circuitar, TRIAC (2018).

3.5 Plataforma MIT App Inventor

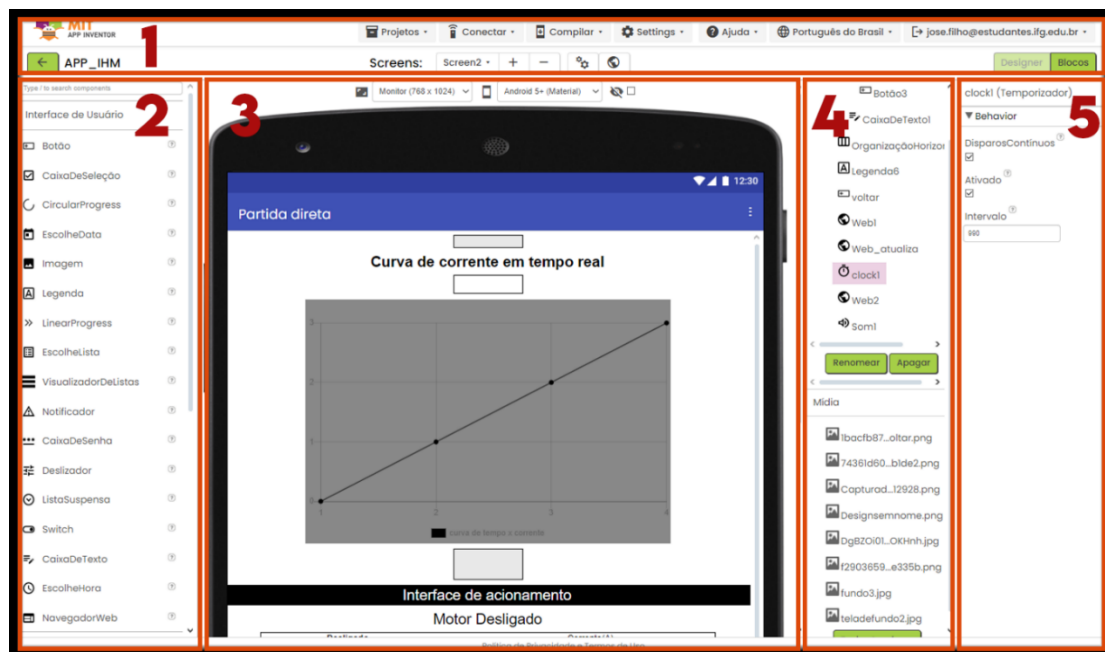
O *MIT App Inventor* é um ambiente de programação visual e intuitivo que possibilita a criação de aplicativos sem a necessidade de digitação de códigos complexos, tornando o desenvolvimento mais acessível a diversos perfis de usuários. Sua interface acessível permite que projetos sejam desenvolvidos com facilidade, tornando-o uma excelente ferramenta para iniciantes.

Uma de suas principais vantagens é a execução na nuvem, o que possibilita o desenvolvimento direto no navegador, sem a necessidade de instalações adicionais. Os aplicativos criados podem ser baixados e executados em dispositivos móveis ou testados no emulador integrado à plataforma.

A interface do *MIT App Inventor* é dividida em duas partes: o *Designer* e o *Blocks Editor*. No *Designer*, a construção do aplicativo ocorre de forma visual, permitindo a adição de elementos como botões, imagens e textos. Já no *Blocks Editor*, a lógica de programação é estruturada por meio de blocos visuais que se encaixam entre si, tornando o processo mais intuitivo. Para utilizar a ferramenta de forma eficiente, é necessário apenas um bom planejamento, habilidades básicas de raciocínio lógico e disposição para explorar e aprender (AMORIM, 2016).

No modo *Designer*, os usuários podem adicionar, personalizar e gerenciar componentes da interface gráfica, organizados em diferentes áreas. Cada uma dessas seções desempenha um papel essencial no desenvolvimento do aplicativo, garantindo um fluxo de trabalho eficiente. Na Fig. 13, são apresentadas as principais áreas do *layout* do *MIT App Inventor* e suas funcionalidades.

Figura 13. Interface do MIT App Inventor.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Área 1 - Barra de Menu: A barra de menu está localizada na parte superior da interface e contém opções essenciais para a criação e gerenciamento de projetos. Nela, os usuários podem criar novos projetos, abrir projetos existentes, salvar modificações e acessar configurações adicionais do ambiente de desenvolvimento.

Área 2 - Barra de Paleta: A barra de paleta contém os componentes básicos disponíveis para a construção da interface do aplicativo. Esses componentes incluem botões, caixas de texto, rótulos, imagens e outros elementos interativos que podem ser arrastados e soltos na tela do aplicativo.

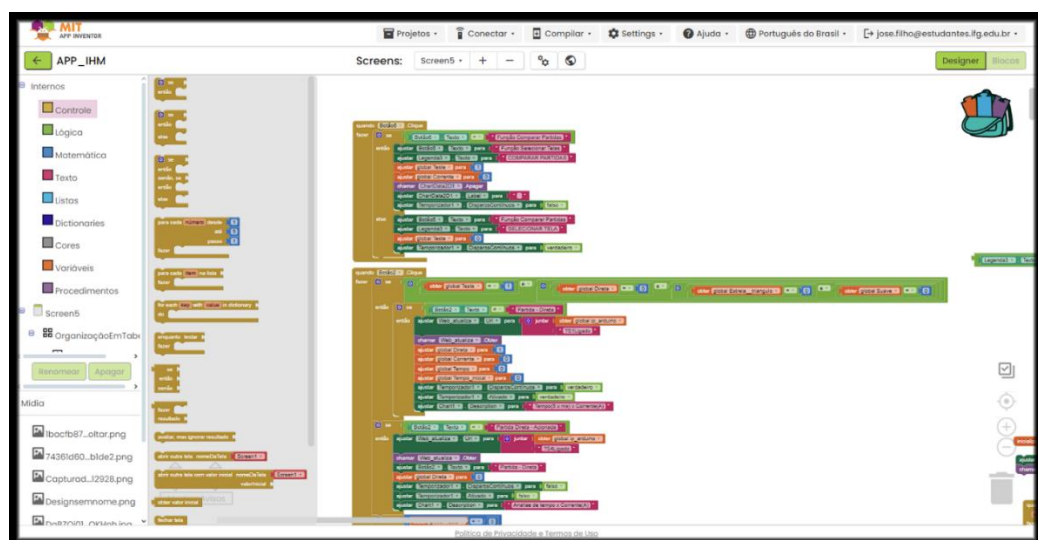
Área 3 - Tela do *App*: A tela do *app* representa a interface gráfica do aplicativo em desenvolvimento. É nessa área que os componentes adicionados são organizados e posicionados conforme o design desejado. A visualização é semelhante à forma como o aplicativo será exibido em um dispositivo móvel.

Área 4 - Paleta de Componentes: A paleta de componentes exibe todos os elementos adicionados à tela do app. Essa área facilita a organização dos componentes, permitindo que o usuário veja e selecione os itens inseridos para realizar ajustes e modificações.

Área 5 - Paleta de Propriedades: A paleta de propriedades permite personalizar os componentes selecionados. Nessa área, o usuário pode modificar características como tamanho, cor, fonte e comportamento dos elementos, tornando a interface do aplicativo mais personalizada e funcional.

No modo *Blocks Editor* da interface de programação, os usuários têm acesso a blocos organizados em várias categorias: controle, lógica, matemática, texto, lista, cores, variáveis e procedimentos. Cada categoria oferece funções específicas que facilitam a construção de programas de forma prática. Na Fig. 14, é apresentado o *layout* da interface de programação.

Figura 14. Interface de programação em blocos do MIT App Inventor.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Controle: Gerencia as ações a serem executadas em cada situação, como abrir ou fechar uma tela e encerrar a aplicação.

Lógica: Engloba operadores lógicos, como verdadeiro e falso, exigindo atenção especial, pois é onde toda a lógica de funcionamento será estruturada.

Matemática: Inclui operações como conversão de números, raiz quadrada, multiplicação, adição, subtração e divisão, entre outras.

Texto: Permite a realização de operações como concatenação de strings, comparação de textos e outras funções relacionadas.

Lista: Fornece diversas funcionalidades para manipulação de listas, como criação, inserção e remoção de itens em posições específicas.

Cores: Disponibiliza uma paleta de cores padrão do sistema e a opção de criar novas cores utilizando valores RGB.

Variáveis: Possibilita a criação de variáveis globais, além do uso de get para recuperar valores, set para atribuição e a criação de variáveis temporárias.

Procedimentos: Define ações a serem aplicadas a procedimentos específicos e os resultados obtidos a partir deles.

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto, primeiramente foi necessário adquirir conhecimentos relacionados a automação e desenvolvimento de aplicativos com a plataforma utilizada. Para o exposto, as pesquisas relatadas na fundamentação teórica foram de suma importância para progredir para a próxima etapa do desenvolvimento do aplicativo. Entender conceitos básicos como interface esperada em um IHM, ou simplesmente a programação em blocos, foi fundamental para o objetivo.

Por conseguinte, se fez necessário conhecimento intermediário sobre o dispositivo de acionamento no qual o aplicativo faria a comunicação. Para essa etapa, o acesso aos códigos fonte do Arduino primário e do Arduino secundário foram essenciais para o entendimento do funcionamento do projeto. No entanto, foram notadas algumas inconsistências quanto ao funcionamento.

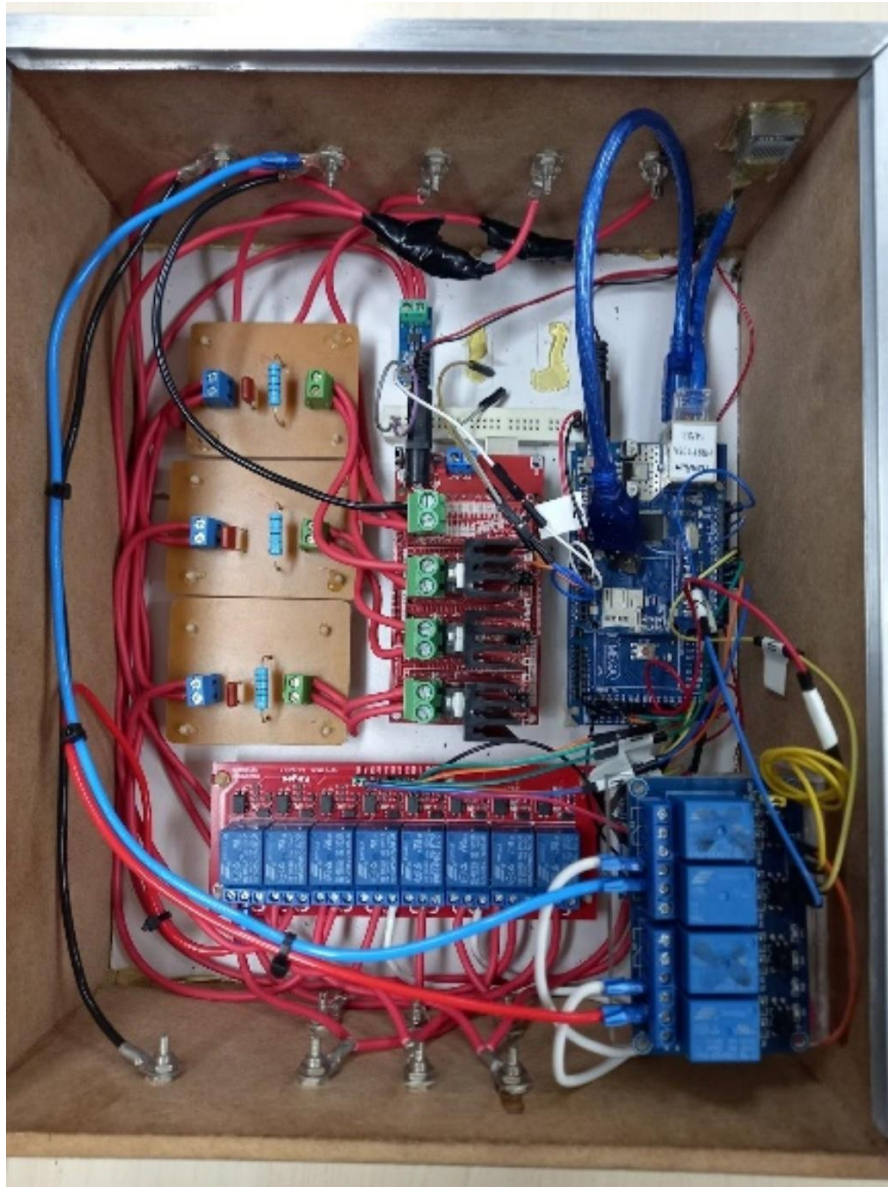
O protótipo traz 3 tipos de acionamentos distintos em um só dispositivo e a possibilidade de comunicação por uma página HTML. Esta ideia traz a possibilidade de comparação entre os 3 métodos de acionamentos de forma econômica e eficiente. Todavia o método traz certos riscos ao dispositivo comprometendo a vida útil de forma prematura.

No método de partida estrela-triângulo, é necessário usar terminais em curto para partir em estrela. Porém, cada módulo relé age de forma independente, dependendo do sinal do Arduino e da resposta de seus componentes, sem influência do módulo ao lado. No protótipo, os pólos 4, 5 e 6 estavam conectados no contato comum de seus respectivos módulos relés enquanto que, o curto se encontrava no contato fechado destes relés. Ao passo que um comutava, aumentava a chance de arco elétrico na comutação dos demais, degradando o relé com o uso.

Para uma partida estrela-triângulo mais segura, foram utilizados contadores externos, ficando o protótipo responsável pelo controle e alimentação. O circuito para um acionamento seguro desses contadores está disponível no Apêndice A. Dessa forma, a inclusão da proteção externa reduz o risco de falhas e preserva a integridade do dispositivo microcontrolado.

Além dos contatores, foi necessário a substituição de 3 relés dentre os 9 que estavam no dispositivo. O motivo da substituição foi devido a inatividade dos mesmos, que estavam danificados. Ao substituir, outros 2 relés foram danificados em decorrência da partida estrela - triângulo.

Figura 15. Vista superior do dispositivo de acionamento com alterações.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Foram necessárias pequenas alterações no código. Devido ao comportamento do módulo, as lógicas de acionamento destes relés foram modificadas para sinal baixo. Além disso, pelo fato de a coleta de dados de corrente demorar mais de um minuto no aplicativo, foi adicionado uma variável booleana para bloquear a condição verdadeira de acionamento em estrela após 60 segundos e

adicionado *delays* entre comutações, criando um tempo morto para aumentar a segurança da manobra.

Figura 16. Código com a condicional definida para estrela - triângulo.

```
if (partida_estrela_triângulo_1) {

  //File dataFile = SD.open("partida2.txt", FILE_WRITE);
  tempo();

  if (second() == 6 && !desligar_estrela ) {
    digitalWrite(rele1, LOW); // tempo morto para evitar curto na comutação
    digitalWrite(rele2, LOW);
    digitalWrite(rele3, LOW);
    delay(125);
    digitalWrite(rele4, LOW); //IN 6
    //digitalWrite(rele5, HIGH);
    //digitalWrite(rele6, HIGH);
    desligar_estrela = true;

    delay(125); // tempo morto para evitar curto na comutação
    indice = 37;
  }
  if (second() > 6 || triângulo ) { // Usa triângulo porque o tempo zera a cada 60 segundos

    digitalWrite(rele1, HIGH);
    digitalWrite(rele2, HIGH);
    digitalWrite(rele3, HIGH);
    partida_triângulo();
    triângulo = true;
  }

  if (second() < 6 && !desligar_estrela) {
    partida_estrela();
  }
}
```

Fonte: Acervo dos autores (2025).

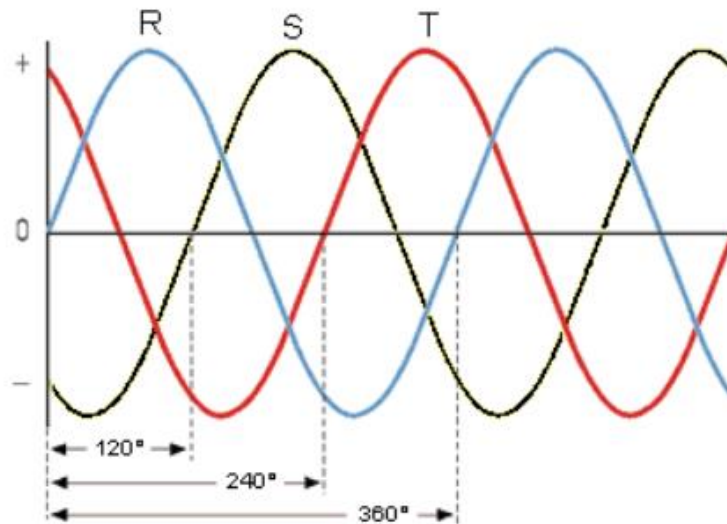
Outra dificuldade encontrada foi no acionamento da partida direta. Como alguns relés estavam com um falso acionamento, passava a falsa sensação de que estavam sendo atingidos corretamente. No entanto, os valores de pico para partida direta não correspondiam a teoria. Com a adição de contadores, o acionamento em partida direta também passou a ser executado corretamente.

Por fim, na partida suave também foram encontrados problemas. A rampa programada no Arduino secundário era bastante progressiva, onde serviria para um motor de baixa potência e em condições ideais de funcionamento. O ajuste de rampa exigiu conhecimento de eletrônica de potência e lógica de programação.

Além do alto ângulo de disparo inicial, a partida suave contava com apenas um detector de zero. O protótipo utiliza do comportamento do sistema trifásico para suprir a ausência dos outros dois

detectores de zero. Levando em consideração a defasagem de 120° de cada fase, é possível observar que cada passagem por zero é defasada em 60° .

Figura 17. Defasagem de tensão trifásica.



Fonte: Oliveira (2015).

A ausência de dois detectores de zero, faz com que os disparos sejam aproximados, o que traz um risco de perda de sincronismo das fases, comprometendo o acionamento. Outro problema é que, para manter uma boa aproximação de disparo em cada fase, é necessário a defasagem de 60° entre as fases. Contudo, essa defasagem não permite uma grande variação de disparo.

A solução encontrada por Oliveira (2015), foi a alteração da ordem de disparos. Para variar de 180° a 0° , as ordens de disparo são definidas em 3 etapas. A 1ª etapa, é definida como, TRIAC 3 (fase T), TRIAC 2 (fase S) e TRIAC 1 (fase R), garantindo disparos de 180° a 120° . Posteriormente, para variar de 120° a 60° , define-se a 2ª etapa como TRIAC 2, TRIAC 1 e TRIAC 3. Por fim, para variar de 60° a 0° , define-se a 3ª etapa como TRIAC 1, TRIAC 3 e TRIAC 2.

No entanto, para utilizar o detector de zero, se fez necessário o uso do neutro da rede conectado com o curto dos terminais em estrela. Mas a tensão de alimentação do protótipo é de 220V/127V enquanto que a nominal do motor em estrela é de 380V/220V. Para ter uma real orientação sobre a relação de tensão com o ângulo de disparo. De acordo com WENDLING (2017, p.104), a equação aproximada para relacionar o ângulo de disparo com a tensão em rms é:

$$V_{rms} = V_p \times \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{360} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}} \quad [V_{rms}]$$

Com base nesta equação, foi construída na tabela 2 a relação entre os ângulos de disparo e a tensão eficaz em porcentagem, em valores reais, em comparação com a rede e a porcentagem em relação à tensão nominal do motor para a ligação em estrela. Observa-se que ângulos de disparo muito altos podem tornar a tensão insuficiente para partir o motor.

Tabela 2. Relação entre ângulo de disparo e potência.

Ângulo	Tensão(%)	tensão eficaz(V) para 127V	% em relação a nominal em estrela
150°	16,97	21,55	9,80
140°	25,5	32,39	14,72
130°	34,8	44,20	20,09
120°	44,2	56,13	25,52
110°	53,5	67,95	30,88
100°	62,4	79,25	36,02
90°	70,7	89,79	40,81
80°	78,1	99,19	45,09
70°	84,4	107,23	48,74
60°	89,7	113,92	51,78
50°	93,7	119,00	54,09
40°	96,6	122,68	55,76
30°	98,5	125,10	56,86
20°	99,5	126,37	57,44

Fonte: Acervo dos autores (2025).

Uma solução encontrada para criar uma boa rampa foi um início com disparos de 80°, fornecendo metade da tensão esperada em um curto intervalo de 1 segundo. Desta forma, a tensão de partida é de aproximadamente 45% da tensão nominal, valor inferior à partida estrela-triângulo. Posteriormente, os ângulos sofrem variações, passam a ter 100° e, em seguida, subtrai-se 10° a cada meio segundo até chegar a 0°, onde, em seguida, ocorre o *bypass*. Desta forma, criou-se uma rampa progressiva que funciona mesmo em situações de pequenas cargas.

Com base na tabela 3, é possível observar 10 estágios de disparos distintos, ordenados do maior ângulo para o menor. Para satisfazer a demanda de cada projeto, basta observar atentamente a ordem de disparo e as defasagens de cada estágio. Diante do exposto, basta selecionar e ordenar os estágios para melhor satisfazer a necessidade do motor.

Tabela 3. Tabela de relação entre delay e ângulo de disparo.

Estágios	TRIAC'S	Tempo(ms)	Ângulo de disparo	Ângulo de ref "R"	Tempo de rampa(ms)
STAGE 0	TRIAC 3	0,920	140	20	500
	TRIAC 2	3,697	140	80	
	TRIAC 1	6,474	140	140	
STAGE 1	TRIAC 3	0,920	140	20	1000
	TRIAC 2	3,697	140	80	
	TRIAC 1	6,474	140	140	
STAGE 2	TRIAC 2	1,850	100	40	250
	TRIAC 1	4,627	100	100	
	TRIAC 3	7,404	100	160	
STAGE 3	TRIAC 2	1,400	90	30	250
	TRIAC 1	4,177	90	90	
	TRIAC 3	6,954	90	150	
STAGE 4	TRIAC 2	0,920	80	20	250
	TRIAC 1	3,697	80	80	
	TRIAC 3	6,474	80	140	
STAGE 5	TRIAC 1	2,400	52	52	500
	TRIAC 3	5,177	52	112	
	TRIAC 2	7,954	52	172	
STAGE 6	TRIAC 1	2,302	50	50	500
	TRIAC 3	5,079	50	110	
	TRIAC 2	7,856	50	170	
STAGE 7	TRIAC 1	1,850	40	40	500
	TRIAC 3	4,627	40	100	
	TRIAC 2	7,404	40	160	
STAGE 8	TRIAC 1	1,377	30	30	500
	TRIAC 3	4,154	30	90	
	TRIAC 2	6,931	30	150	
STAGE 9	TRIAC 1	-	-	-	750
	TRIAC 3	2,777	0	60	
	TRIAC 2	5,554	0	120	

Fonte: Acervo dos autores (2025).

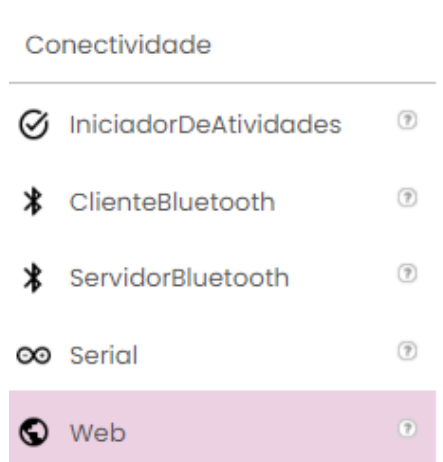
Uma importante observação é o tempo de disparo do detector de zero, que pode acontecer meio milissegundo antes do zero real e deve ser levado em consideração para a parametrização. Outra observação é que, até o momento, o protótipo ainda não realiza o acionamento de contadores para a partida suave. Portanto, para a partida suave, deve-se fechar o motor em estrela, conectar o ponto de curto ao neutro do dispositivo e os três cabos de alimentação devem ser levados diretamente ao protótipo.

Para a criação do aplicativo, alguns desafios foram determinantes no processo. Apesar da ampla aplicação do *App Inventor* em conjunto com o Arduino, a criação de um aplicativo para comunicação com um motor de indução trifásico utilizando esse microcontrolador foi pouco explorado.

Com os dispositivos disponíveis no protótipo de acionamento de motores elétricos, é possível desenvolver um aplicativo para controle remoto e monitoramento de corrente. No entanto, a transmissão de dados pode se tornar um fator limitante devido às restrições do Ethernet Shield, impactando a eficiência do sistema. Diante do exposto, foram necessários vários ensaios para garantir uma comunicação eficiente.

Na plataforma de desenvolvimento *MIT App Inventor*, diversos blocos de comunicação estão disponíveis, permitindo ao usuário escolher a opção mais adequada para sua aplicação. Para a comunicação com o Ethernet Shield, é necessário utilizar um bloco compatível com o protocolo TCP/IP. Nesse contexto, o bloco *Web* é a melhor escolha, pois permite enviar e receber dados entre o aplicativo e o microcontrolador por meio de requisições HTTP.

Figura 18. Opções de conectividade na plataforma.



Fonte: (MIT APP INVENTOR, 2025).

Uma das facilidades da plataforma utilizada é a linguagem de programação em blocos. Para essa programação, exige conhecimento de conceitos gerais de programação, como os estudados durante o curso, não havendo necessidade de especialização em uma linguagem específica. A componente *web* é inserida no *layout* do aplicativo, mas fica de forma invisível e é solicitada apenas mediante programação.

Figura 19. Blocos invisíveis inseridos no layout do app.

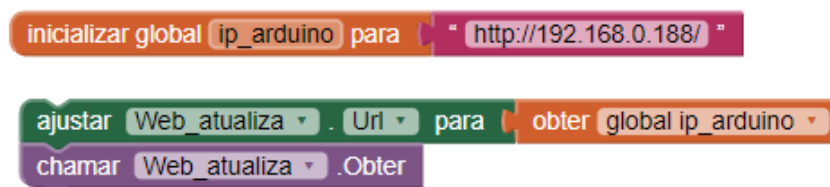


Fonte: Acervo dos autores (2025).

Sempre que for solicitada uma ação referente ao componente *Web*, ela deve ser chamada no código. Para definir qual URL deve ser acessada, optou-se por manter o IP predefinido no protótipo de acionamento (192.168.0.188), sendo necessário apenas a configuração do modem/roteador como 192.168.0.1. Essa configuração garante que o modem atue como *gateway* da rede, permitindo a comunicação entre o Ethernet Shield e os demais dispositivos conectados. Como o Ethernet Shield precisa de um *gateway* para rotear pacotes de dados, definir o modem como 192.168.0.1 assegura que todos os dispositivos da mesma rede possam se comunicar corretamente.

Na figura a seguir, o IP é configurado como uma variável. Quando usa a opção ajustar web, o componente de conectividade irá receber o valor da variável. Em seguida, a função “chamar” irá ser responsável por fazer a requisição e consequentemente a comunicação do aplicativo com o Ethernet Shield.

Figura 20. Blocos necessários para a requisição na web.



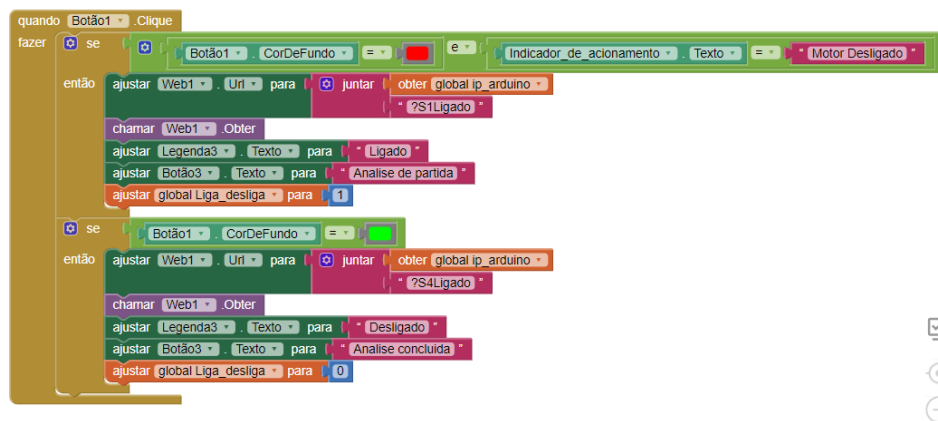
Fonte: Acervo dos autores (2025).

A criação da variável ip Arduino é de extrema importância para todas as requisições feitas para o Arduino. Todas as requisições possuem a estrutura http://192.168.0.188/ seguido de “?” que define o início do parâmetro que irá ser solicitado.

O protótipo possui 4 solicitações básicas, cujo as funções são a partida direta, partida estrela-triângulo, partida suave e desligar. Para o objetivo de acionamento de motores, basta adicionar um botão e adicionar a nomenclatura de solicitação após a variável ip Arduino. No entanto, isso irá interferir na lógica de proteção da página inicial já criada para o protótipo.

Uma simples lógica de acionamento dos botões tornaria possível selecionar 2 acionamentos distintos sem ter efetuado o desligamento do motor. Essa prática não é recomendada principalmente devido ao uso da partida suave. Portanto, se fez necessário a criação de lógicas para evitar duplo acionamento.

Figura 21. Bloco de código para o acionamento da partida direta.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Com o intuito de criar uma interface de fácil entendimento, foram criadas telas exclusivas para cada tipo de acionamento, cujo cada tela executa uma única partida. No entanto, essa prática não impede que possa executar dois acionamentos distintos sem ter desligado o motor. Para os óbices em questão, utilizou-se um artifício disponível na componente *web*, que tornou a IHM bem poderosa em termos de fornecimento de dados para quem está operando.

Dentre os blocos disponíveis no elemento *web*, destacam-se as funcionalidades de recebimento de texto e de arquivo. Como o objetivo do aplicativo é um monitoramento próximo de um tempo real, o foco foi em recebimento de texto. Quando a *web* faz uma requisição, ela irá receber um texto, algo semelhante com o que vemos em uma página de navegação.

Dito isso, ao receber o texto, o aplicativo pode fazer uma varredura nesta página e identificar elementos escritos nela. A página HTML inicialmente programada no protótipo fazia com que, os botões de acionamento ficassem omitidos ao ser acionado um motor, independente da partida

utilizada e por seguinte mostrava a mensagem “motor acionado”. No entanto, a mensagem por si só não indicava o acionamento escolhido.

Como solução, para cada acionamento específico, a mensagem na página HTML iria disponibilizar como mensagem, com a escrita distinta da escrita da página inicial apresentada na figura 30. Dessa forma, com o trecho descrito na figura 22, foi possível monitorar qual foi o acionamento selecionado independente da página utilizada.

Figura 22. Trecho de código alterado para apresentar texto específico de acionamento.

```
//Configurações dos Botões na Página HTML

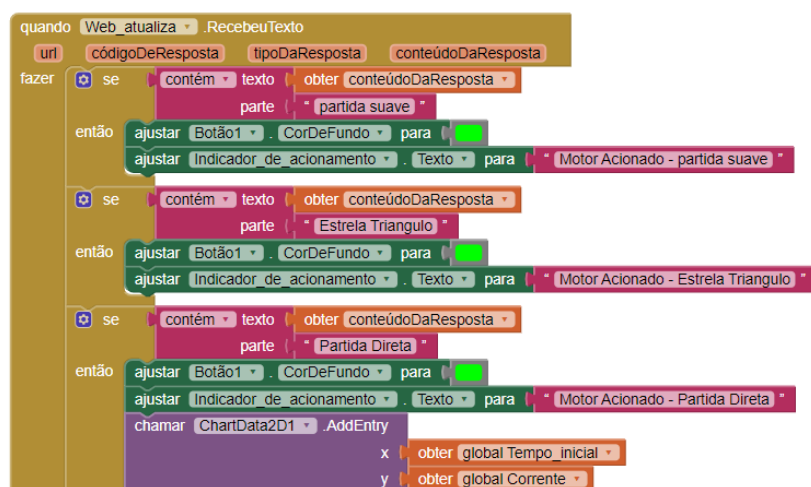
//BOTAO_1
client.println(F("<tr><td width=400px><center><b>PARTIDA DIRETA ");
if (partida_direta_1 == true)
{
  client.println(F("</td><td>"));
  client.println(F("<a class='btn btn-danger btn-lg' >Motor Acionado - Partida Direta</buttLigado>"));
}

else if (partida_estrela_triangulo_1 == false && partida_soft_starter_1 == false)
{
  client.println(F("</td><td>"));
  client.println(F("<a class='btn btn-success btn-lg' href='?S1Ligado'>Acionar o Motor</buttLigado>"));
}
client.println(F("</td></tr>"));
```

Fonte: Acervo dos autores (2025)

Com isso, foi possível orientar as buscas no texto recebido após a requisição da *web*, sempre se atentando com as letras maiúsculas e a escrita no geral. Para as demais partidas, as mudanças foram feitas de maneira análoga. Dessa forma, em uma única tela, pode se obter a informação de qual acionamento foi utilizado.

Figura 23. Bloco de recebimento de texto da web com a lógica de reconhecimento de acionamento implementada.

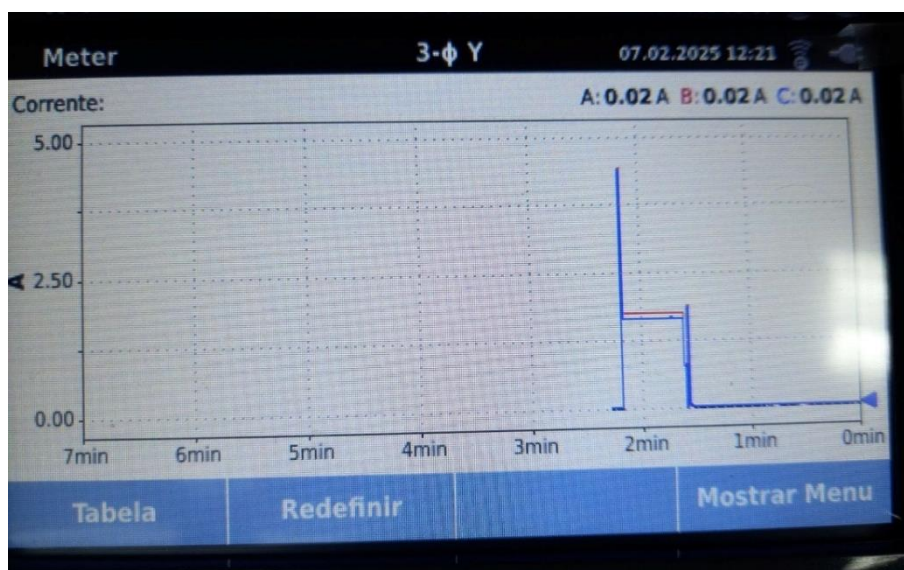


Fonte: Acervo dos autores (2025).

Desta forma, o botão de acionamento indicará que o motor está ligado, independentemente do modo de acionamento escolhido, e a caixa de texto exibirá essa informação. Como cada tela foi desenvolvida para um tipo específico de partida, a projeção de gráfico ocorre apenas quando a partida é realizada pelo modo de acionamento correspondente àquela tela.

Um dos objetivos do aplicativo é explorar a possibilidade de diferentes tipos de acionamento e mostrar o comportamento da corrente de partida de cada um deles. Contudo, a corrente de pico real em uma partida acontece de forma rápida, não sendo possível detectá-la em medidores de corrente. Os autores encontraram dificuldades de detectar a corrente de pico em partida direta com o motor a vazio, mesmo utilizando analisadores de energia, conforme a imagem abaixo, o que contraria a teoria.

Figura 24. Imagem de gráfico formado por um analisador de energia Fluke após uma partida direta de um motor trifásico de 0.5 cv, ligado em triângulo com tensão de 220V.



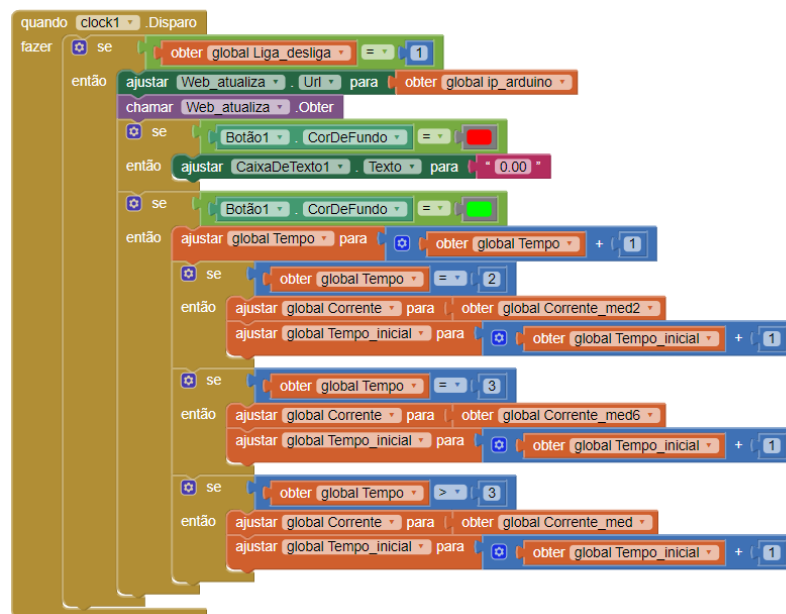
Fonte: Acervo dos autores (2025).

Por outro lado, o microcontrolador Arduino se mostrou extremamente eficaz para detectar esses picos de corrente. As portas analógicas são capazes de detectar variações de sinal em um intervalo de 100 microsegundos. O código de leitura de corrente coleta 50 amostras para calcular a média de corrente eficaz, ou seja, os dados são obtidos em um intervalo de 5 milissegundos, tempo inferior ao tempo de duração de meia onda em um sistema de 60 Hz.

No entanto, a transmissão de dados do Ethernet Shield não acompanha essa taxa de atualização. Nos ensaios, o módulo de comunicação tende a ficar instável à medida que o número de

requisições por segundo aumenta. As requisições são controladas por um elemento funcional de controle de tempo.

Figura 25. Bloco de controle de requisições.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Nota-se que as requisições só serão enviadas após a variável global (Liga_desliga) receber valor 1. Neste caso específico, as requisições são feitas periodicamente em um intervalo de aproximadamente 1 segundo, e as demais lógicas implementadas serão explicadas ao longo do texto. Dessa forma, a função *web* receberá novos textos a cada requisição.

Para imprimir a leitura de corrente em tempo real, a solução mais clara durante o desenvolvimento do projeto foi incluir o valor de corrente na página HTML.

Figura 26. Implementação do código para imprimir a leitura de corrente na página HTML.

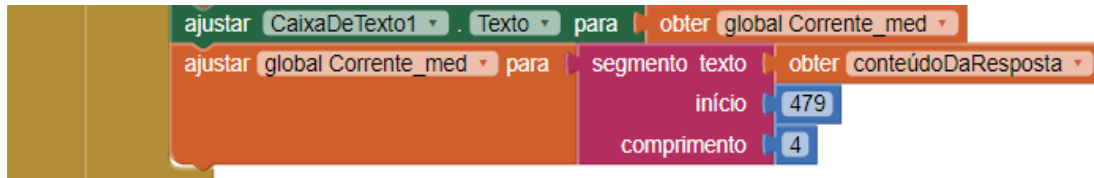
```
//Impressão de corrente na pagina HTML
client.print("<P>");
client.print("Corrente : ");
client.print(corrente_med);
client.println(F("<tbody>"));
```

Fonte: Acervo dos autores (2025).

No entanto, a leitura de corrente não é um valor estático, portanto, uma simples busca na página utilizando a função de leitura de conteúdo da página não retornará o valor de corrente. A

solução foi percorrer os caracteres da página para localizar o valor da leitura de corrente, onde o início da leitura ocorre após um número pré-determinado de caracteres, e o comprimento define quantos caracteres serão considerados a partir desse ponto.

Figura 27. Implementação do bloco para percorrer a página web requisitada.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Para inserir os valores de corrente em um gráfico de corrente por tempo, é necessário criar variáveis que recebam valores a cada pulso de tempo. Por isso, a cada disparo do temporizador, a variável “tempo” é incrementada em uma unidade, enquanto que a variável de corrente recebe o valor da variável “corrente_med”, cujo a qual recebeu o valor de leitura como visto anteriormente.

Observa-se que, na Fig.25, são definidas outras duas variáveis de corrente, são elas a “corrente_med2” e “corrente_med6”. Elas são utilizadas para pegar pontos particularmente importantes na partida direta. Para contextualizar o uso dessas variáveis, é necessário abordar a solução para a lentidão na comunicação para captar correntes de pico com o motor a vazio.

A taxa de atualização de dados mais adequada para o Ethernet Shield foi de aproximadamente 1 segundo. No entanto, isso significa que 1 segundo de dados é perdido ao longo da partida do motor, ao passo que, para a leitura de corrente em regime permanente, uma alta de atualização não é essencial. Como solução, foi criado um vetor no código do Arduino descrito na figura 28 para armazenar os dados de leitura de corrente sempre que o motor fosse acionado. O valor do índice é reinicializado sempre que o motor é acionado.

Figura 28. Implementação de um vetor para armazenar leituras.

```
// Armazena a leitura de corrente
if (millis() - tempoAnterior >= 1 ) { //
  tempoAnterior = millis();

  if (indice < NUM_LEITURAS) { // indice < NUM_LEITURAS limita a quantidade de dados armazenados
    leituras[indice] = corrente_med; // Função que retorna a leitura de corrente
    indice++; // Passa para o proximo índice
  }
}
else{leituras[indice] = 0;} //
```

Fonte: Acervo dos autores (2025)

Em seguida, foi implementada uma tabela para ser impressa na página do HTML. Dessa forma, uma simples solicitação poderá conter informações de corrente em momentos distintos durante a partida. Para montar a tabela, foram necessárias algumas observações importantes com relação ao comportamento do motor a vazio e do próprio motor.

Uma tabela excessivamente grande ocupa grande parte da memória do Arduino, podendo comprometer sua capacidade de processamento. Paralelamente ao exposto, pode-se notar que o tempo para um motor entrar em regime permanente é demasiadamente curto, principalmente se tratando de partida direta. Dito isso, um valor de índice que não afetou o comportamento do Arduino e capta com precisão a corrente de partida direta até a estabilização é de 50 unidades. Isto implica em dizer que são 50 amostras de corrente que foram calculadas desde o instante em que o motor é acionado. Cada unidade calculada corresponde a uma média com 50 amostras recolhidas do ACS 712 em um intervalo de 5 milissegundos. Portanto, o intervalo total coberto pela tabela, considerando 50 amostras é de 250 milissegundos.

Figura 29. Implementação da tabela de corrente.

```
// Corpo na página HTML
client.println(F("</td></tr>"));
client.println("<table>");
client.println("<h2>Leituras de Corrente </h2>");
//Exibe as leituras em uma tabela
client.println("<table border='1'><tr><th>Amostras .</th><th>Corrente (A)</th></tr>");

//for (int i = 0; i > indice; i++) {

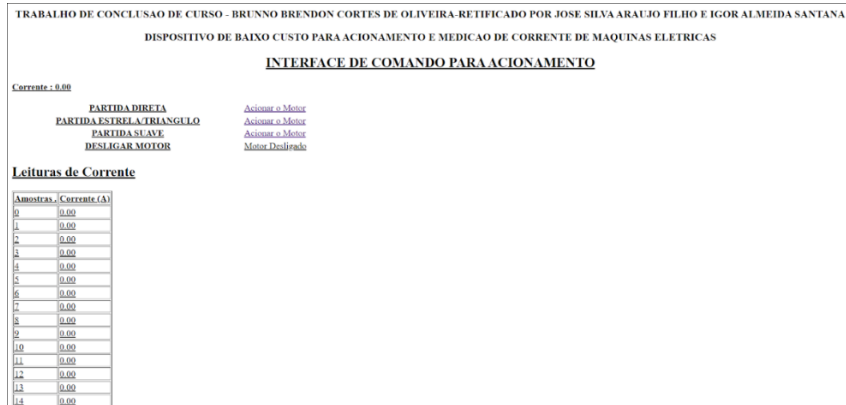
  for (int i = 0; i < indice ; i++){ //Percorre as leituras
    client.print("<tr><td>");
    client.print(i); //Numero da amostra de corrente média eficaz
    client.print("</td><td>");
    /*client.print(leituras[i]); // Valor da corrente
    client.println("</td></tr>");*/
    // Formata a corrente para exibir sempre duas casas decimais
    dtostrf(leituras[i], 5, 2, buffer); // Converte float para string com 2 casas decimais
    client.print(buffer); // Imprime o valor formatado
    client.println("</td></tr>");
  }

  client.println("</table>");
  client.println("</body></html>");
  //////////////////////////////////////
```

Fonte: Acervo dos autores (2025).

Desta forma, se torna possível armazenar valores de corrente de partida e facilita para o aplicativo acessar esses dados.

Figura 30. Página HTML com as implementações de corrente.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Para encontrar os valores da tabela, foi usada a mesma lógica para a variável “corrente_med”. Em cada acionamento, foram observadas quais amostras eram mais pertinentes e adicionadas às suas páginas individuais. Mais adiante todas as amostras serão discutidas em uma tela específica.

Além da função liga e desliga serem incluídas em um único botão, em cada tela individual há um botão de redefinição, apresentado como botão “reset”. Sua função é reiniciar o gráfico para possibilitar uma nova leitura. Para esse propósito, notou-se que é mais interessante para um bom funcionamento, o desligamento do motor em conjunto com esse reset, para que não haja uma releitura.

Figura 31. Bloco de comandos do botão “reset”.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Além desses comandos, foram inseridas algumas interações com o usuário, ampliando as funcionalidades da IHM. Acima do botão de acionar a partida, existe uma caixa de texto que informa o estado do acionamento conforme a seleção da tela, ou seja, ele informa se o acionamento no qual foi escolhido na página inicial foi utilizado pelo operador. Esta caixa de texto se difere da caixa de texto central, cujo objetivo é de indicar qual foi o acionamento executado.

Na caixa de texto superior ao botão de acionamento, além de informar o estado, ora ligado, ora desligado, pode informar se o motor está trabalhando com sobrecorrente. Para o motor utilizado, o valor de ajuste foi definido em 2 amperes, mas em melhorias futuras no aplicativo, poderiam facilmente admitir um ajuste manual conforme a necessidade do usuário. Ao atingir o estado de sobrecorrente, o *smartphone* emitirá uma vibração, alertando o usuário.

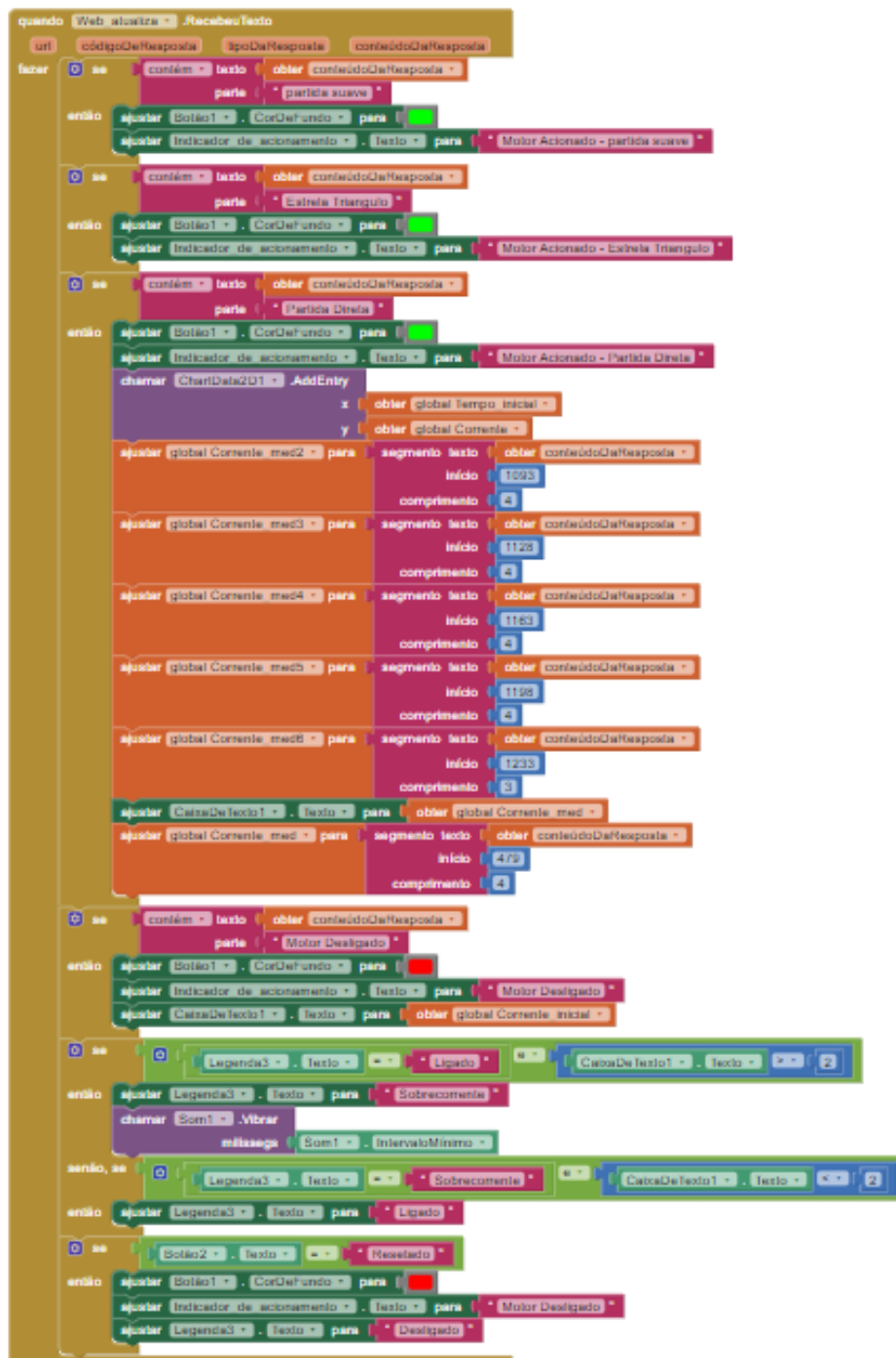
Figura 32. trecho de código em bloco para emissões de alerta de sobrecorrente.



Fonte: acervo dos autores (2025).

O bloco se encontra dentro do bloco de comando da web, portanto o comando é executado a cada requisição. Devido às limitações de comunicação, cabe à IHM apenas alertar o usuário da situação adversa, ficando a encargo do microcontrolador Arduino a proteção do motor em casos de sobrecorrente. Além disso, devido às limitações dos relés e do próprio ACS712, o uso de proteções convencionais, como disjuntores e relés térmicos, é indispensável para a correta aplicação do dispositivo.

Figura 33. Bloco completo da componente “web_atualiza”.



Fonte: Acervo dos autores (2025)

Outras funções importantes são as possibilidades de navegação entre telas. Caso o usuário utilize a tela individual de um acionamento específico, mas tenha interesse em analisar o comportamento da partida, há um botão para acessar a aba de análise. Após o acionamento do motor,

a tabela de leituras de corrente é formada e já estará disponível para que a interface do aplicativo possa acessá-la.

Figura 34. Tela de acionamento individual.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

As demais telas individuais foram feitas de forma análoga à tela de partida direta, contendo as mesmas informações e os mesmos recursos. As únicas mudanças quanto à lógica são em relação aos parâmetros de requisições, que são distintos, e os principais dados escolhidos da tabela de análise.

Recomenda-se que o motor seja desligado após a partida, mas é possível que a análise seja feita mesmo com o motor ligado. No entanto, uma grande discussão ao longo do desenvolvimento do

projeto era sobre a possibilidade de plotagem de curvas distintas de corrente por tempo em um mesmo gráfico. Isso implica em comparar as correntes de partida entre os acionamentos no modo de partida direta, partida estrela-triângulo e partida suave.

Para esse propósito, criou-se uma tela exclusiva para esta finalidade. Com o propósito de poupar tempo, foi utilizada a mesma tela de análise de partidas, pois a finalidade da tela continuará a mesma, diferenciando-se apenas pelo fato de comparar as partidas. Contudo, para cada leitura, exige uma programação distinta, devido a mudança de posição na página HTML.

O processo de construção dos gráficos foi marcado por ser um grande desafio. Os autores não encontraram, durante suas buscas, algum trabalho que tenha feito algo semelhante na plotagem de gráficos do app inventor. No entanto, alguns exemplos genéricos foram suficientes para que o projeto pudesse ser desenvolvido com êxito.

Outro grande problema foi quanto a não capacidade de vetorização dos dados na programação do app inventor. A solução encontrada foi a criação de uma variável para cada dado recolhido pela função de leitura do bloco da web e a criação de uma variável genérica que pudesse assumir o valor de uma variável por vez em cada disparo do bloco de tempo. O grande problema dessa solução é que não é nem um pouco funcional e demanda muito tempo para ser executada, mas, devido à falta de outra solução, foi o método implementado pelos autores.

Contudo, o método utilizado atrelado a um microcontrolador mais potente, poderia ser uma forte ferramenta para diagnosticar problemas no motor. Para esta finalidade, basta reiniciar o índice da tabela a cada intervalo de tempo e o gráfico plotado no IHM poderia servir de auxílio para um eventual diagnóstico, pois o *app inventor* é capaz de armazenar grandes quantidades de leituras sem problemas. Os blocos de códigos para formular os gráficos de cada acionamento no momento da partida estarão disponíveis no apêndice b.

Ademais, foi incluído um *delay* na programação da análise para garantir que a tabela esteja propriamente impressa no HTML para que o aplicativo possa fazer a leitura corretamente. Dessa forma, alguns erros de leituras foram minimizados. No entanto, o grande número de requisições para a plotagem do gráfico pode gerar alguns congestionamentos no microcontrolador Arduino.

Para minimização do congestionamento, foi incluído limite de tempo de solicitação do componente web, na paleta de propriedades. Além desse recurso, algumas otimizações foram implementadas no Arduino, como comentar partes desnecessárias e trocar algumas funções de

“delay” por “millis” e adicionar funções como “cliente.flush()”, que garante que o Arduino só irá receber uma requisição após finalizar a última solicitação recebida. Uma importante observação é que a função “flush” deve ser colocada antes da função “stop”, para funcionamento adequado.

Figura 35. Texto na IDE contendo funções de aprimoramento na comunicação.

```
//delay();

millis(); // 0 millis funciona muito bem no html, com respostas imediatas. |
client.flush();//para obrigar o arduino a transferir completamente os dados.

//stopping client
client.stop();
```

Fonte: Acervo dos autores (2025)

A fim de transformar a tela de análise em uma tela completa para o objetivo, foram incluídos botões com múltiplas funcionalidades. O usuário pode, por meio dela, navegar entre as telas de acionamento ou fazer o acionamento por ela mesmo. Para isso, basta selecionar no botão de seleção de funções qual a função desejada nos botões.

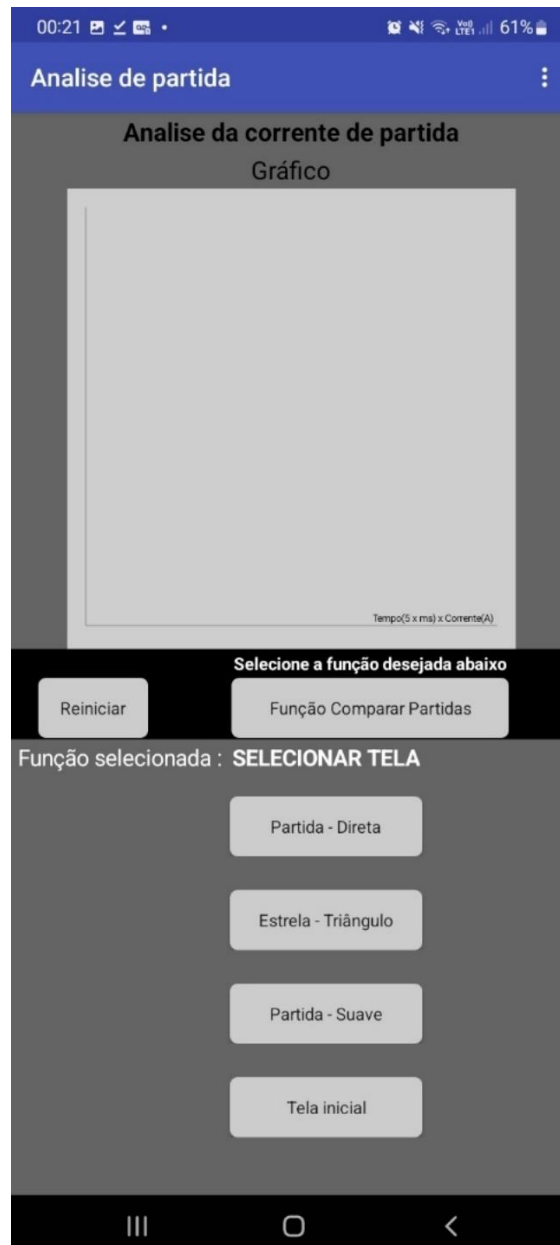
Figura 36. Lógica do botão de seleção de funcionalidades.



Fonte: Acervo dos autores (2025)

Com o objetivo de analisar a corrente de partida de cada acionamento, a variável global “teste” recebe um valor ao passo que, para navegar entre as telas, essa variável recebe zero. Uma observação é que os dados da curva, feita com base no último acionamento, são apagados para não interferirem nas comparações. Os disparos do temporizador também são modificados para evitar congestionamento desnecessário na comunicação com o Ethernet Shield.

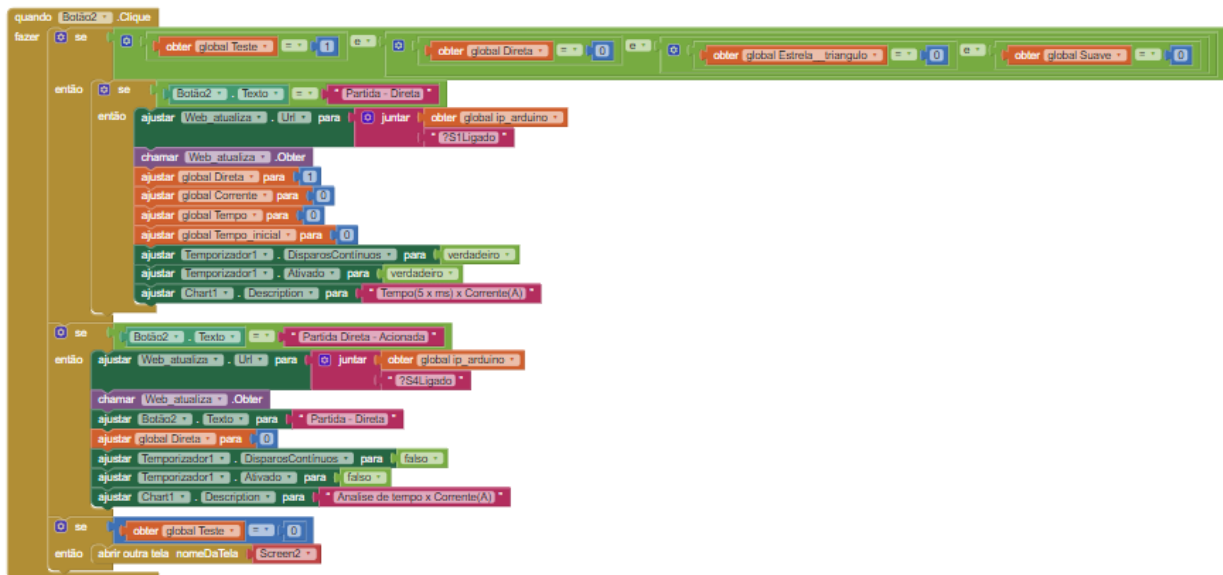
Figura 37. Tela para análise de partida.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Como dito anteriormente, ao alterar a função selecionada, o comportamento dos botões é alterado. Esse comportamento muda devido às lógicas implementadas nos botões. O objetivo deste comportamento nesta tela foi reduzir os botões a serem pressionados criando uma interface mais simples e limpa.

Figura 38. Lógica dos botões de acionamento na tela de análise de partida.



Fonte: Acervo dos autores (2025)

Para os demais botões, foi implementada a mesma lógica, e eles estarão disponíveis nos apêndices. Observando a imagem acima, é possível ver alterações na descrição do gráfico. Com o passar do tempo, há transições quanto aos intervalos entre um dado e outro, como também o momento em que os dados foram capturados. Ao desligar o acionamento, a descrição passa a ser “Análise de comportamento de Corrente(A)”. Este texto se torna mais coerente com o que fica exposto e só foi alterado ao final do projeto.

No bloco de disparos do temporizador, há algumas particularidades quanto a cada tipo de acionamento, ou se for uma análise em particular de um acionamento feito em uma tela individual. Na análise geral, com a função “Comparar partidas”, o temporizador dispõe de um *delay* para que a leitura da tabela seja feita de maneira correta. Então, para cada valor de tempo recebido na variável “Tempo”, é recebido um valor na variável “corrente”, cujo valor é referente a leitura da tabela.

Um pequeno problema encontrado durante os ensaios em relação à leitura, após as soluções implementadas foram referentes ao tempo de subida da partida suave e a ausência da passagem de estrela para triângulo. Como dito anteriormente, o problema na partida estrela-triângulo foi solucionado, mas vários ensaios foram realizados antes dessa solução, servindo para a análise do primeiro estágio de acionamento. Dessa forma, observou-se algumas particularidades de cada partida.

A ideia inicial de plotar o gráfico recolhendo 50 amostras, que são feitas em um intervalo de 250 milissegundos, se encaixa perfeitamente na partida direta. No entanto, essas medições demonstraram-se incompletas para a partida estrela-triângulo e ineficazes para a partida suave. Portanto, algumas particularidades foram inseridas em cada acionamento no que diz respeito à plotagem do gráfico.

No acionamento de partida suave, com o ajuste de rampa, ficou evidente que não há picos no momento da quebra da inércia, pois a distribuição de tensão é gradual. Portanto, a medição em um curto intervalo de tempo não é eficaz para determinar a corrente máxima de partida. A solução foi analisar o comportamento e considerar apenas a intervalos que a corrente sofre variações e para o restante da plotagem do gráfico, utilizou-se como base a corrente lida em tempo real, pois com a utilização de vários estágios de rampa, com intervalos entre meio segundo a um segundo, é possível em tempo real captar as variações de corrente.

Posteriormente, foi observado que, para um parâmetro comum de troca de estrela para triângulo, utilizam-se 6 segundos. No entanto, como a tabela é formulada no intervalo de 250 milissegundos, o gráfico não detectaria a mudança de ligação. Não obstante, as leituras em tempo real não seriam capazes de detectar a mudança de tensão, pois o pico perdura por um tempo inferior ao tempo de pico da partida direta.

Para a partida estrela-triângulo, a solução encontrada foi analisar em que momento da tabela inicial a corrente começa a se estabilizar e então, no código do Arduino, permitir que o vetor de leituras admita novos valores. O índice escolhido no código foi o 37. A partir deste índice, os valores de corrente durante a comutação são impressos no gráfico de comparação.

Todavia, a solução destes empecilhos trouxe novos problemas. A escala de tempo no eixo das abscissas acaba se tornando distinta após certas amostras, contudo, os valores de corrente no eixo das ordenadas mostraram-se próximos aos valores gravados no cartão micro SD do dispositivo de

acionamento. Para minimizar o impacto das distinções no eixo de tempo, foram adicionadas interações visuais indicando eventos.

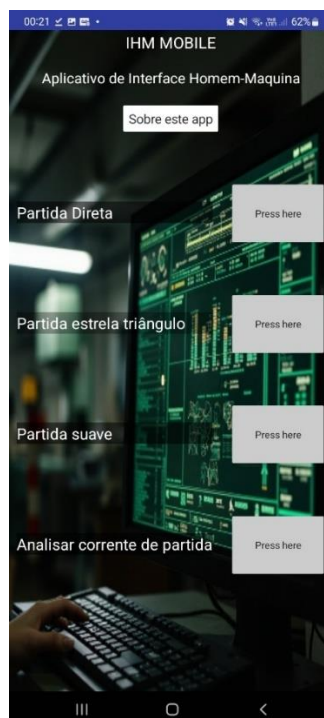
Figura 39. Bloco incluído no componente temporizador, informando a mudança de acionamento para triângulo.



Fonte: Acervo dos autores (2025)

Dessa forma, é criada uma análise de corrente com ênfase no comportamento de partida de cada acionamento escolhido. A interface foi construída com o objetivo de ser intuitiva e interativa. A navegação pelo aplicativo é semelhante à de uma IHM tradicional e poderá ser utilizada para fins acadêmicos.

Figura 40. Tela inicial do app IHM.



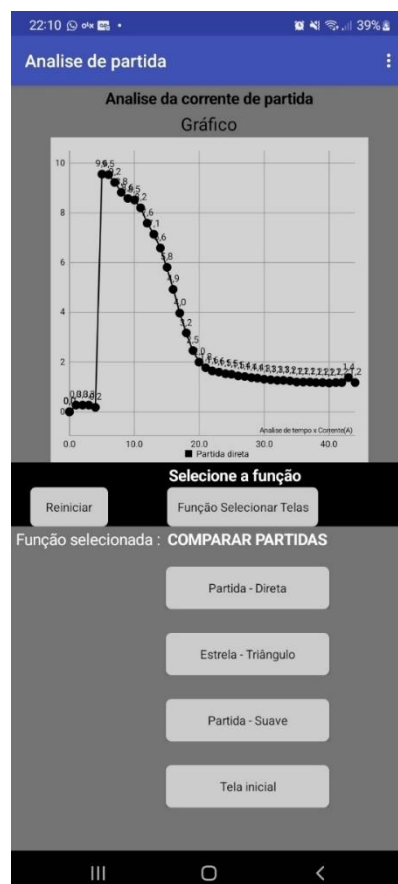
Fonte: Acervo dos autores (2025)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após vários ensaios, os resultados obtidos trouxeram algumas surpresas. Após a programação para plotagem de gráfico, inicialmente deparou-se com picos de corrente semelhantes entre partida direta e partida estrela-triângulo, diferindo do que é esperado pela teoria. No entanto, os resultados indicavam apenas que o acionamento de partida direta não estava funcionando como deveria e que, na verdade, o acionamento estava sendo feito em estrela com tensão de alimentação em 220 V.

Logo após a descoberta do acionamento incorreto, pode-se ter a real análise da corrente de pico da partida direta. A forma como são recolhidas as leituras de corrente e plotadas no gráfico de análise pôde mostrar transitórios de corrente nos primeiros instantes da partida direta, como é esperado com base nos estudos teóricos. Este resultado já demonstra ser satisfatório, pois as medições feitas por analisadores de energia ou multímetros digitais demonstraram-se menos precisas nesse quesito.

Figura 41. Gráfico de análise de partida direta obtido pelo app IHM.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Outro resultado importante diz respeito à partida feita em estrela com tensão de alimentação de 220V fase-fase, como é comum na partida estrela-triângulo em um motor que comporta as tensões de 220V ligado em triângulo ou 380V ligado em estrela. O aplicativo registrou um pico de corrente para a partida feita em estrela equivalente a aproximadamente $\frac{1}{3}$ da corrente de pico da partida direta e ao longo do tempo, em um curto intervalo, também possui transitórios de corrente até se estabilizar.

Nota-se, pela imagem abaixo, que os resultados obtidos se assemelham ao que é visto na teoria, exceto pela ausência do segundo pico da estrela-triângulo que como dito anteriormente, os elementos de comutação para triângulo, até o momento destes ensaios, estavam defeituosos. Uma observação importante para este ensaio é que, neste momento, ainda não havia alteração na leitura pela comutação, portanto os dados de tempo nesta imagem são idênticos, demonstrando que a partida direta em regime permanente se estabiliza muito antes da partida estrela-triângulo para o motor a vazio.

Figura 42. Análise comparativa entre partida direta e partida em estrela.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

Para a análise da partida suave, utilizando os dados nos primeiros 250 milissegundos, constatou-se que este método era ineficiente. A forma como a corrente de partida suave sobe é gradual. Portanto, o método mais eficaz é utilizando o tempo real.

Figura 43. Análise da partida suave em comparação com as demais partidas.

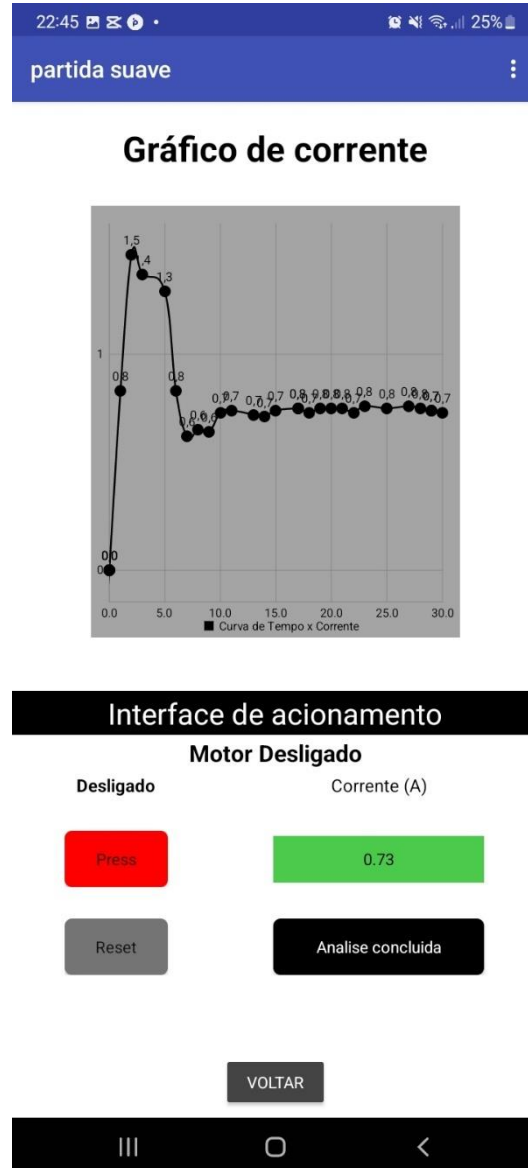


Fonte: Acervo dos autores (2025).

Utilizando o método de acionamento individual, com a plotagem de gráfico em tempo real, obteve-se um resultado satisfatório para a partida suave. O resultado se deve ao fato de a partida suave ter uma rampa progressiva. Desta forma, as alterações de corrente são feitas na mudança de estágio e

mantidas até o próximo estágio, sendo o suficiente para que o aplicativo receba os dados atualizados em tempo real.

Figura 44. Acionamento da partida suave feita pela tela.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

O conjunto de leituras acima mostra que o tempo para que a corrente atinja seu pico foi cerca de 1.5A. Além da observação no aplicativo, foi utilizado um amperímetro analógico para acompanhar as oscilações e comparar com os valores obtidos na caixa de texto de corrente. Como os cálculos para a conversão da leitura do ACS712 são aproximados, houve a necessidade de um pequeno ajuste na

Posteriormente, poderão ser implementadas pequenas melhorias no projeto. Essas melhorias não exigem nenhuma alteração no aplicativo, mas podem tornar o dispositivo mais seguro e apto para ser utilizado como objeto de estudo. Ademais, se este dispositivo for apresentado de forma bem estruturada, poderá ser de grande contribuição acadêmica.

6 CONCLUSÃO

O estudo foi capaz de detectar quais são os principais pontos para a implementação de uma IHM em um *smartphone*. Destacou-se a importância de ter um controlador potente e um módulo de comunicação que esteja à altura. Para o nível de exigência, o Ethernet Shield demonstrou ser insuficiente para aplicações mais pesadas, mas tem potencial suficiente para suportar conexões mais simples.

Um ponto muito positivo no desenvolvimento deste projeto foi em relação ao desempenho do aplicativo no *smartphone*. Durante os testes, instabilidades por parte do aplicativo foram difíceis de se observar, demonstrando que a plataforma *MIT APP INVENTOR* pode ser utilizada para criar aplicações de âmbito industrial. O arquivo do aplicativo contém cerca de 11 Mb, considerado pequeno para os padrões de hoje.

Como sugestão para futuros projetos, a implementação do programa em dispositivos mais potentes como um ESP32, em conjunto de melhorias para a construção dos gráficos de leitura de corrente, pode tornar o aplicativo uma ferramenta muito poderosa. Outra sugestão seria a implementação de parametrização manual da rampa da partida suave, disponibilizando a opção ao usuário de parametrizar uma rampa conforme necessidades específicas, como são feitas nas *soft-starters* atualmente.

Por fim, poderia ser implementado um circuito de inversor de frequência básico para fornecer mais uma opção ao usuário. Estas implementações tornariam a ferramenta completa para o âmbito educacional e poderia definitivamente se tornar a porta de entrada para a aplicação dos *smartphones* em conjunto com microcontroladores no âmbito industrial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. DriveMonitor. Disponível em: <<https://new.abb.com/drives/pt/ferramentas-de-software/drivemonitor>> . Acesso em: 24 jan. 2025.

ABB. Zenon. Disponível em: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A5567_PT> . Acesso em: 24 jan. 2025.

ALLEGRO MICROSYSTEMS. ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with ACS712ELC Family Datasheet. New Hampshire: Allegro Microsystems, 2016. Disponível em: <<https://d229kd5ey79jzj.cloudfront.net/861/ACS712-Datasheet.pdf>> . Acesso em: 11 fev. 2025.

AMORIM, Jadson *et al.* Integrando as Plataformas App Inventor e Arduino na Construção de um Humanoide. In: Anais do Workshop de Informática na Escola. 2016. p. 786-795. Disponível em: <<http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/wie/article/view/6622>> .

ARDUINO FORUM. What effect Arduino analogRead speed? 2022. Disponível em: <<https://forum.arduino.cc/t/what-effect-arduino-analogread-speed/978360>> . Acesso em: 09 fev. 2025.

ARDUINO.CC. Página inicial do fórum Arduino. *Arduino Forum*, 2025. Disponível em: <https://forum.arduino.cc>. Acesso em: 25 jan.

ARDUINO.CC. Shield Ethernet perdendo conexão. *Arduino Forum*, 2013. Disponível em: <<https://forum.arduino.cc/t/shield-ethernet-perdendo-conexao/178759/6>> . Acesso em: 10 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

BAYER, Fernando Mariano; ECKHARDT, Moacir; MACHADO, Renato. Apostila 2: **Projeto de sistemas de automação**. 2021. Disponível em: <<https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18451/material/Apostila%202.pdf>> . Acesso em: 28 jan. 2025.

CIRCUITAR. Nanoshield Zero Cross – Sensor de Cruzamento por Zero. Disponível em: <<https://www.circuitar.com.br/nanoshields/modulos/zero-cross/index.html>> . Acesso em: 11 fev. 2025.

CORADASSI, Bruno. **Implementação de IHM Mobile para Planta Didática**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16940/1/PG_COELE_2018_1_03.pdf> . Acesso em: 03 jan. 2025.

ELETROGATE. O que é Arduino: Para que Serve, Vantagens e como Utilizar. ELETROGATE. 2022. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/>> . Acesso em: 12 fev. 2025.

FEBRABAN. Pesquisa Febraban de Tecnologia Bancária 2022: impacto dos canais digitais nas operações bancárias. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-07/pesquisa-mostra-impacto-dos-canais-digitais-em-operacoes-bancarias>> . Acesso em: 22 jan. 2025.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Induction motor market – Global industry analysis 2024. Disponível em: <<https://www.fortunebusinessinsights.com/pt/industry-reports/induction-motor-market-101639>> . Acesso em: 04 fev. 2025.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008.

FREITAS JÚNIOR, Luiz Carlos de; SILVA, Rafael Schincariol da. **Máquinas Elétricas**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. ISBN 978-85-522-1146-4.

GRYFO. Controle de ponto e APIs de reconhecimento facial: facilitando a gestão de equipes. Disponível em: <<https://gryfo.com.br/blog/2024/12/23/controle-de-ponto-apis-de-reconhecimento-facial>> . Acesso em: 22 jan. 2025.

ISA – INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. Introdução à Norma ISA-101: Interfaces Homem-Máquina. In: III SIMPÓSIO ISA SÃO PAULO – SABESP, 2016. Disponível em: <<https://isasp.org.br>> . Acesso em: 03 fev. 2025.

KERSCHBAUMER, Ricardo. **Apostila de microcontroladores**. Disponível em: <<https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>> . Acesso em: 11 fev. 2025.

KOSOW, Irving L. **Máquinas elétricas e transformadores**. 2. ed. São Paulo: Prentice-Hall, 1984.

LIMA, Luiz Eduardo de Souza. Eficiência Tecnológica na Indústria 4.0: **Desenvolvimento e Análise Detalhada de Retrofit em Sistema de Pulverização de Óleo**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021. Disponível em:

<<https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/3655/1/TCC%20Luiz%20Eduardo%20de%20Souza%20Lima.pdf>> . Acesso em: 01 fev. 2025.

MARINO STORE. Módulo Relé 8 Canais 24V. Disponível em: <<https://www.marinostore.com/automacao/modulo-rele-8-canais-24v>> . Acesso em: 11 fev. 2025.

MARQUES, Renan Pasini; LIMA, José Aírton Gonçalves de. **Os impactos da Indústria 4.0 na automação industrial**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1280/Marques%2C%20Renan%20Pasini.pdf?isAllowed=y&sequence=1>> . Acesso em: 26 jan. 2025.

MIT APP INVENTOR. MIT App Inventor: Create Android Apps Easily. Massachusetts Institute of Technology, 2025. Disponível em: <<https://appinventor.mit.edu/>> . Acesso em: 01 fev. 2025.

OLIVEIRA, Brunno Brendon Cortes de. **Dispositivo de baixo custo para acionamento e medição de corrente de máquinas elétricas**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Jataí, Jataí, 2015.

PORTAL OFICIAL DO ARDUINO: Arduino.cc./Referências/. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>> . Acesso em: 30 out. 2024.

ROBOCORE. Sensor de corrente ACS712-30A. Disponível em: <<https://www.robocore.net/sensor-corrente-tensao/sensor-de-corrente-ac712-30a>> . Acesso em: 11 fev. 2025.

SEGUNDO, Alan K. R.; RODRIGUES, Cristiano L. C. **Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos**. Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto. Ouro Preto, 2015.

SEMENSATO, Marcelo. **Análise da potência complexa instantânea aplicada à determinação da impedância equivalente de máquinas elétricas**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/b7baab0c-f033-4749-9d4d-4c57b88dc886/content>> . Acesso em: 07 fev. 2025.

SISTEM PONTO. Reconhecimento facial: a nova fronteira no controle de ponto. Disponível em: <<https://blog.sistemponto.com.br/reconhecimento-facial-a-nova-fronteira-no-controle-de-ponto>> . Acesso em: 22 jan. 2025.

SOUZA, Fábio. Arduino MEGA 2560. EMBARCADOS. 2014. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>> . Acesso em: 07 fev. 2025.

SOUZA, Fábio. Arduino UNO. EMBARCADOS. 2013. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/arduino-uno/>> . Acesso em: 07 fev. 2025.

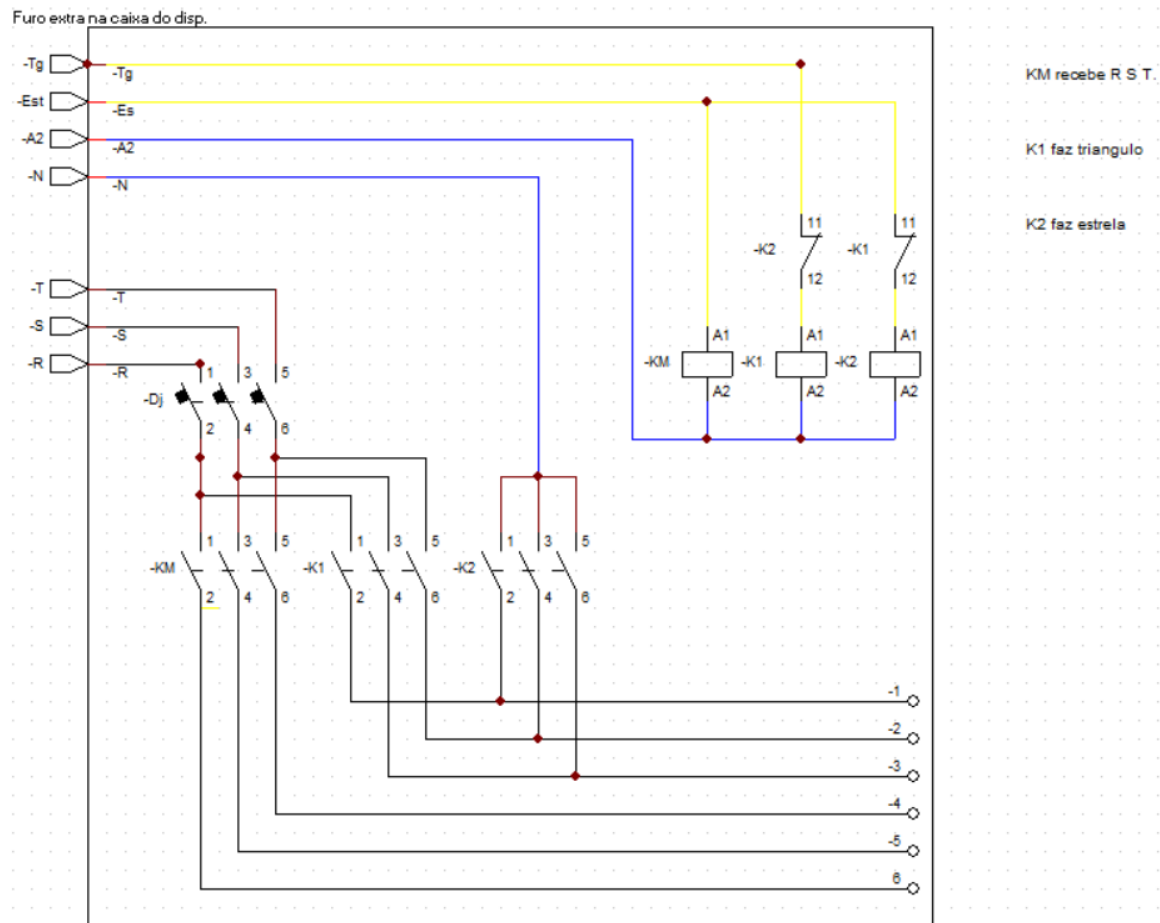
UNIFOA - Centro Universitário de Volta Redonda. Automação industrial: o futuro das indústrias. Disponível em: <<https://www.unifoa.edu.br/automacao-industrial-futuro-industrias/>> . Acesso em: 26 jan. 2025.

WEG. WEGscan 100. Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/digital-solutions/solutions/wegscan>> . Acesso em: 24 jan. 2025.

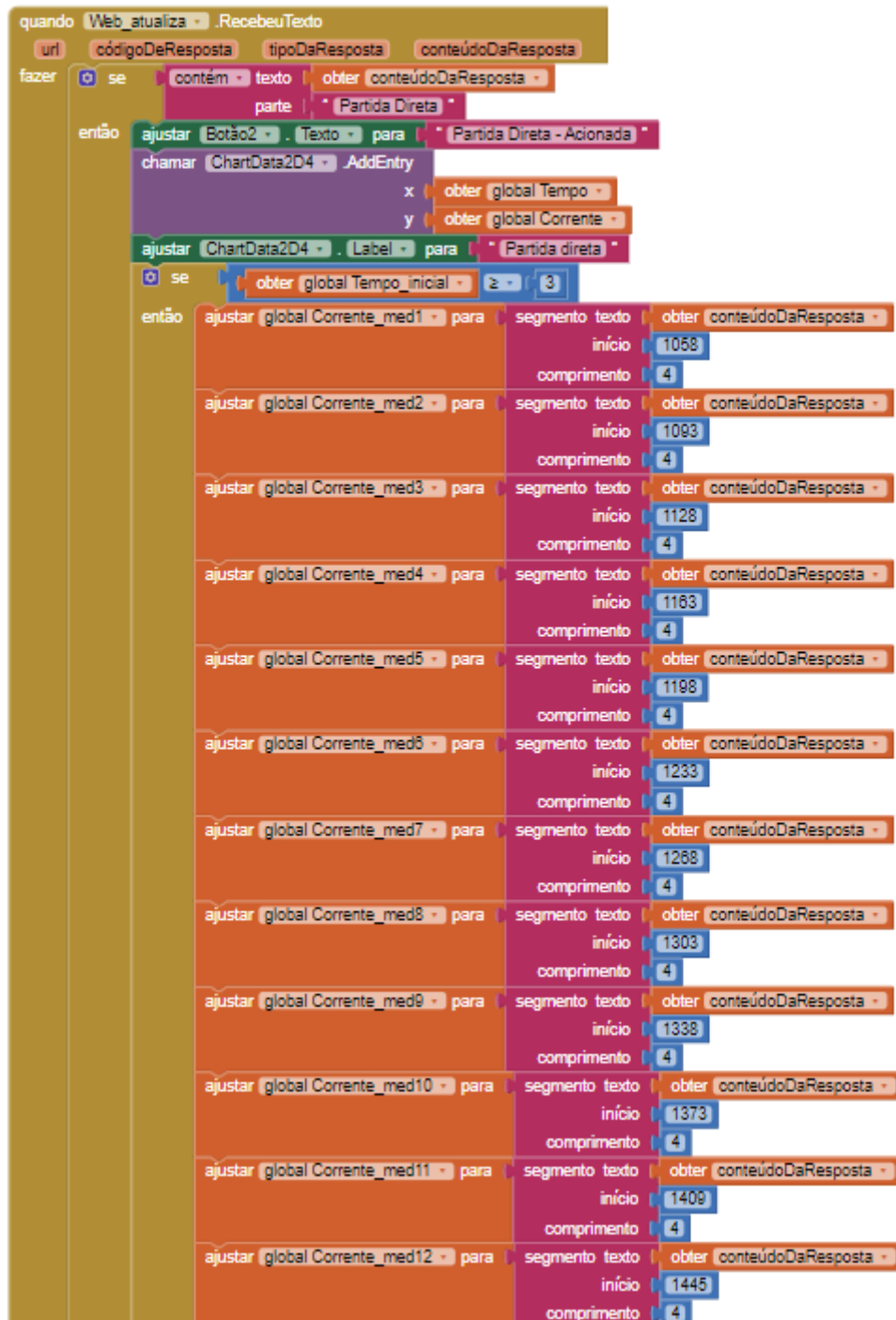
WEG. WEGscan 4000. Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/wegscan-4000>> . Acesso em: 24 jan. 2025.

WENDLING, M. SCR e TRIAC: Dispositivos semicondutores de potência. 2017. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/scr_triac_2017.pdf> . Acesso em: 11 fev. 2025.

APÊNDICE A - CIRCUITO DE ACIONAMENTO DE CONTATORES

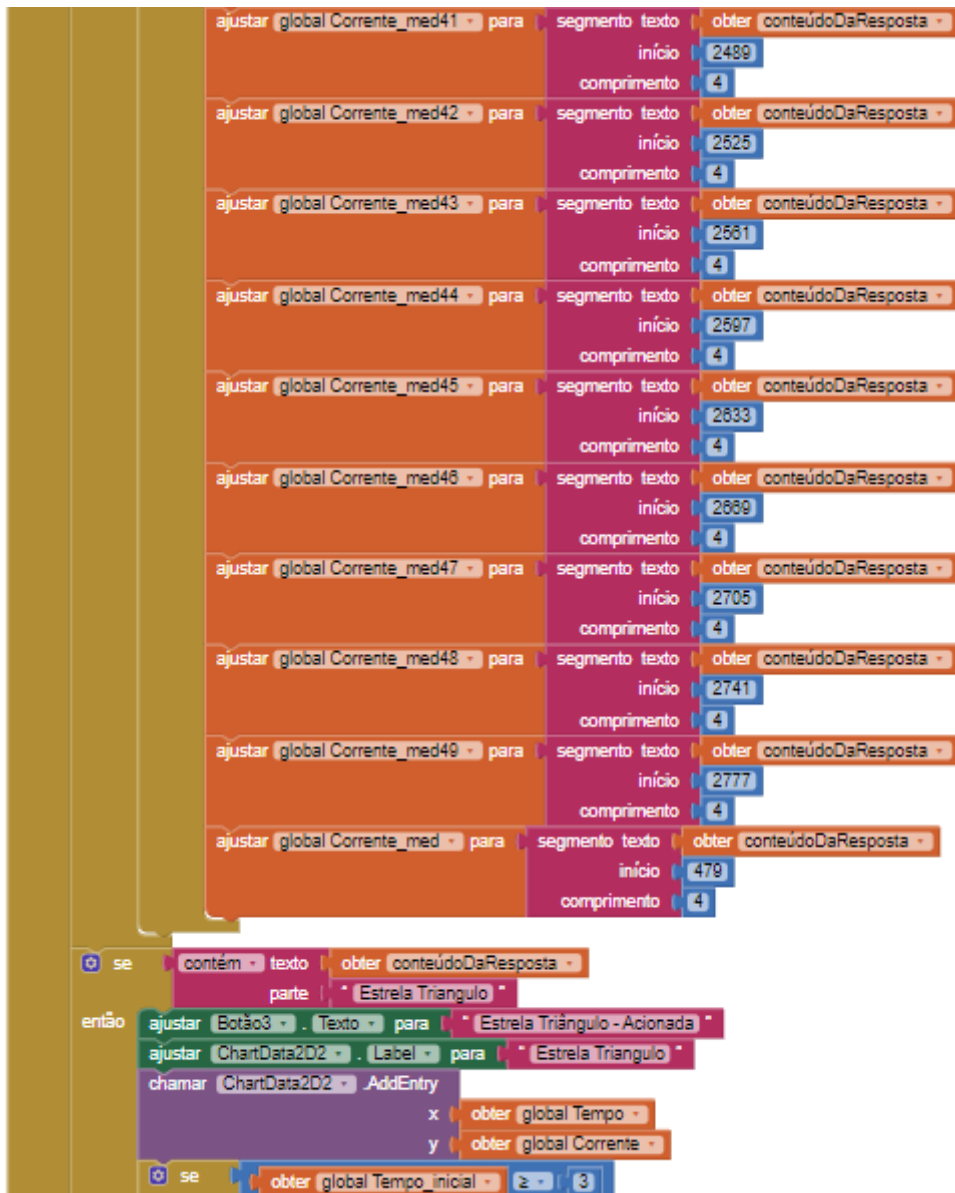


APÊNDICE B: BLOCO DA WEB PARA PLOTAR OS GRÁFICOS DE CORRENTE DE PARTIDA



ajustar	global Corrente_med14	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1517
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med15	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1553
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med16	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1589
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med17	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1625
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med18	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1661
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med19	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1697
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med20	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1733
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med21	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1769
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med22	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1805
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med23	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1841
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med24	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1877
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med25	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1913
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med26	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1949
			comprimento	4

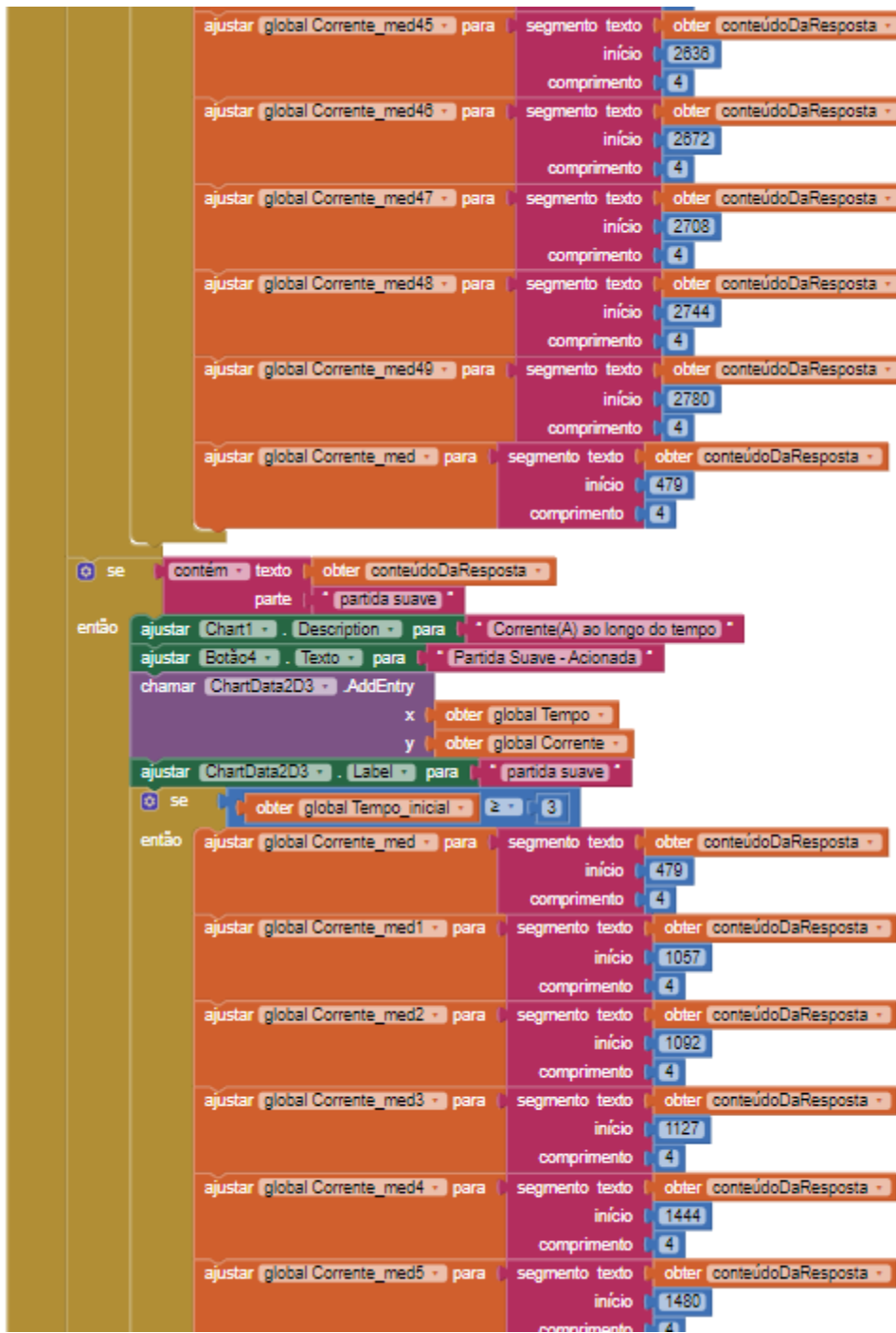
ajustar	global Corrente_med27	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1985
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med28	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2021
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med29	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2057
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med30	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2093
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med31	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2129
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med32	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2165
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med33	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2201
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med34	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2237
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med35	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2273
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med36	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2309
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med37	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2345
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med38	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2381
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med39	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2417
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med40	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2453
			comprimento	4



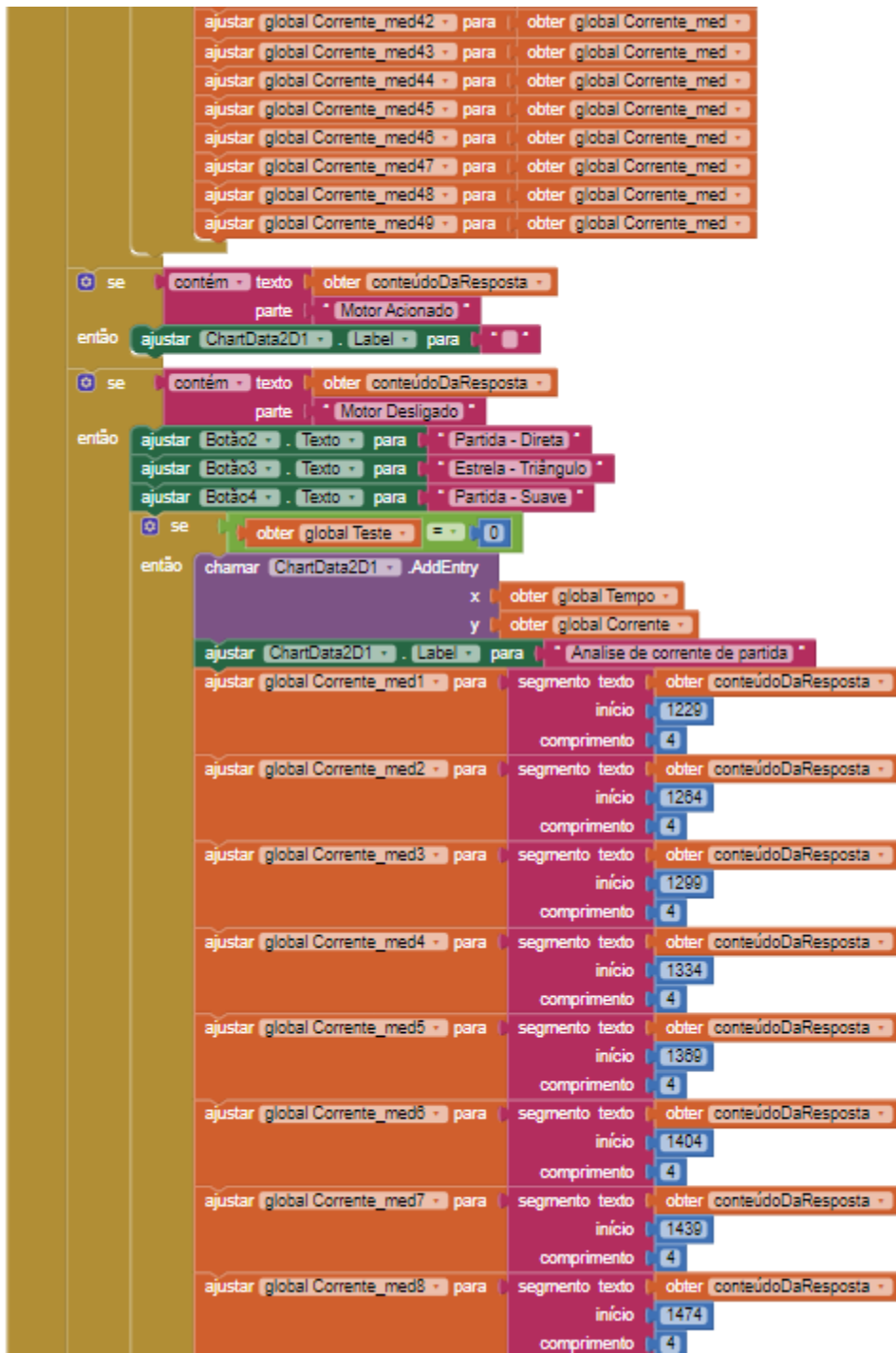
então	ajustar global Corrente_med1 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1081
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med2 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1098
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med3 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1131
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med4 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1168
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med5 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1201
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med6 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1238
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med7 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1271
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med8 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1308
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med9 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1341
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med10 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1378
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med11 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1412
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med12 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1448
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med13 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1484
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med14 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1520
		comprimento	4
	ajustar global Corrente_med15 para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
		início	1556
		comprimento	4

ajustar	global Corrente_med16	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1592
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med17	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1628
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med18	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1664
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med19	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1700
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med20	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1736
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med21	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1772
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med22	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1808
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med23	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1844
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med24	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1880
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med25	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1916
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med26	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1952
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med27	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1988
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med28	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2024
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med29	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2060
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med30	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2096
			comprimento	4

ajustar	global Corrente_med31 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2132
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med32 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2168
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med33 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2204
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med34 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2240
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med35 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2276
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med36 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2312
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med37 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2348
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med38 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2384
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med39 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2420
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med40 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2456
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med41 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2492
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med42 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2528
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med43 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2564
		comprimento	4
ajustar	global Corrente_med44 - para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta -
		início	2600
		comprimento	4



ajustar	global Corrente_med6	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1518
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med7	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1552
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med8	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1688
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med9	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1732
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med10	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2777
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med11	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med12	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med13	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med14	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med15	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med16	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med17	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med18	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med19	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med20	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med21	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med22	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med23	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med24	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med25	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med26	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med27	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med28	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med29	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med30	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med31	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med32	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med33	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med34	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med35	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med36	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med37	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med38	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med38	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med39	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med40	para	obter	global Corrente_med
ajustar	global Corrente_med41	para	obter	global Corrente_med



ajustar	global Corrente_med9	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1509
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med10	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1544
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med11	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1580
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med12	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1616
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med13	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1652
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med14	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1688
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med15	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1724
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med16	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1760
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med17	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1796
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med18	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1832
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med19	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1868
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med20	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1904
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med21	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1940
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med22	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	1976
			comprimento	4

ajustar	global Corrente_med23	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2012
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med24	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2048
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med25	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2084
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med26	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2120
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med27	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2156
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med28	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2192
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med29	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2228
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med30	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2264
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med31	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2300
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med32	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2336
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med33	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2372
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med34	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2408
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med35	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2444
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med36	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2480
			comprimento	4

ajustar	global Corrente_med37	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2518
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med38	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2552
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med39	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2588
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med40	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2624
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med41	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2660
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med42	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2696
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med43	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2732
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med44	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2768
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med45	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2804
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med46	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2840
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med47	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2876
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med48	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2912
			comprimento	4
ajustar	global Corrente_med49	para	segmento texto	obter conteúdoDaResposta
			início	2948
			comprimento	4

