

Desenvolvimento de sistema supervisório de Ground Tester para linhas de produção utilizando os conceitos da Indústria 4.0

Miguel Angel Orellana Postigo* Gabriel Lima de Souza **
Dyonathan de Araujo Morais *** Derli Vilagem de Deus *** João Duarte Silva

* Departamento de Engenharia Eletrônica
Escola Superior de Tecnologia - Universidade do Estado do Amazonas.
Av. Darcy Vargas, 1200 Parque Dez, CEP 69050-020
Manaus/AM, Brasil

mpostigo@uea.edu.br, glds.gii22@uea.edu.br, dedam.gii22@uea.edu.br,

dvdd.gii22@uea.edu.br, jvds.gii22@uea.edu.br

Abstract: Industry 4.0 plays a key role in the electronics manufacturing industry, bringing improvements in automation, efficiency, flexibility, value chain integration, predictive maintenance, quality, traceability, innovation and personalization. These advances are essential to drive competitiveness and progress in this ever-evolving industry. In this context, this work seeks to solve the grounding problem presented by the electronics industries, specifically with regard to the Electrostatic Discharge (ESD) system of benches in production lines, thinking about it, this work proposes the creation of an integrated hardware and software system (Ground Tester), based on the concepts of Industry 4.0 that allows supervising the grounding, efficiently and in real time. With the implementation of this system (Ground Tester) it is expected to provide users with an effective tool to ensure electrical safety, reduce operational failures and maximize the productivity of production lines.

Keywords: Industry 4.0; IoT; Ground Tester; ESD.

Resumo: A Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental na indústria de manufatura de produtos eletrônicos, trazendo melhorias em automação, eficiência, flexibilidade, integração da cadeia de valor, manutenção preditiva, qualidade, rastreabilidade, inovação e personalização. Esses avanços são essenciais para impulsionar a competitividade e o progresso nesse setor em constante evolução. Nesse contexto, este trabalho busca resolver o problema de aterramento apresentado pelas indústrias de eletroeletrônicos, especificamente no que refere a sistema de Descarga Eletrostática (ESD) de bancadas em linhas de produção, pensando nisso, este trabalho propõe a criação de um sistema integrado de hardware e software (*Ground Tester*), baseado nos conceitos da Indústria 4.0 que permita supervisionar o aterramento, de forma eficiente e em tempo real. Com a implementação deste sistema (*Ground Tester*) espera-se fornecer aos usuários uma ferramenta eficaz para garantir a segurança elétrica, reduzir falhas operacionais e maximizar a produtividade das linhas de produção.

Palavras-chaves: Indústria 4.0; IoT; Ground Tester; ESD.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria de manufatura de produtos eletrônicos, faz-se necessária a manipulação de placas de circuito impresso (PCI), desde o processo de *Surface mount technology* (SMT) a montagem em linhas de produção. Durante essas etapas, é comum que ocorram perdas devido a descargas eletrostáticas (ESD), principalmente na manipulação do processo de montagem em linhas de produção. Em linhas de produção, comumente são realizados arranjos dinâmicos no layout, permitindo adicionar e retirar bancadas, estações, dentre outros objetos necessários para adequar ao volume de produção.

Um dano causado por ESD em um circuito integrado (CI) pode ocorrer em qualquer etapa desde a produção ao usuário final. Os danos normalmente resultam do manuseio em áreas com pouco ou nenhum controle contra ESD. Os danos geralmente são classificados como falha catastrófica ou falha latente. Falha Catastrófica: quando um CI subitamente deixa de funcionar devido a um evento ESD, diz-se que ocorreu uma falha catastrófica por ESD. Falha Latente: “Falha oculta não imediatamente detectável” (CAPELLI, 2000).

O aterramento adequado em bancadas e linhas de produção é fundamental para garantir a segurança dos operadores, a proteção dos equipamentos e a continuidade dos processos industriais. Entretanto, pode ocorrer o não aterramento adequado de cada item na linha, pensando nisso, foi proposto

a criação de um sistema integrado de hardware e software baseado nos conceitos da Indústria 4.0 para o monitoramento de aterramento, assim, o *Ground Tester*, surge como uma solução eficiente para verificar e manter a eficácia desses sistemas em tempo real.

O sistema proposto neste trabalho, oferece uma abordagem mais eficiente e automatizada para o monitoramento de aterramento, substituindo métodos tradicionais que podem ser demorados e suscetíveis a erros humanos. Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema *Ground Tester* capaz de oferecer uma solução abrangente e confiável para o monitoramento de aterramentos em ambientes industriais. Ao combinar a tecnologia de hardware e software, espera-se fornecer aos usuários uma ferramenta eficaz para garantir a segurança elétrica, reduzir falhas operacionais e maximizar a produtividade das linhas de produção.

Assim, o escopo deste projeto consiste da realização de estudos, pesquisas, análises e desenvolvimento de um protótipo para um sistema informatizado e autônomo de controle de uso de equipamentos individuais de prevenção contra ESD. Assim como, o controle de aterramento de bancadas e postos de trabalho, voltado para a indústria de manufatura que seja capaz de integrar, em tempo real, o chão de fábrica com o banco de dados de funcionários e de visitantes da empresa, para garantir que o acesso de pessoal só ocorra se o indivíduo estiver usando equipamento adequado de proteção contra ESD.

O projeto de pesquisa proposto se divide nos seguintes tópicos principais (i) Pesquisa e Desenvolvimento de Soluções de Software: Estudo de técnicas e tecnologias para criação de uma infraestrutura de comunicação, armazenamento de dados, análise e visualização de dados em tempo real, análise e visualização de dados em forma de relatórios, elaboração de protótipos e experimentação em campo; (ii) Pesquisa e Desenvolvimento de Soluções de Hardware: Estudo de técnicas e tecnologias de integração de sistemas de testes de ESD com sistemas de acesso (catracas) e de incorporação de técnicas e de dispositivos de verificação e controle de aterramento de bancadas, projeto das soluções, elaboração de protótipos e experimentação em campo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A indústria 4.0 baseia-se nos conceitos de conectividade associados a coleta de dados em tempo real e automação. Por ser um conceito interdisciplinar os padrões aplicáveis em todos os seus processos necessitam que as tecnologias implementadas funcionem de forma harmônica (PEREIRA, 2018).

Nesse contexto, a Indústria 4.0 desempenha um papel crucial na indústria de manufatura de produtos eletrônicos, trazendo benefícios significativos e impulsionando o avanço dessa área (SANTOS, 2018). As principais razões pelas quais a Indústria 4.0 é importante nesse setor são: i) Automação e eficiência; ii) Manufatura flexível; iii) Integração da cadeia

de valor; iv) Manutenção preditiva; v) Qualidade e rastreabilidade; vi) Inovação e personalização.

Automação e eficiência: A Indústria 4.0 possibilita a automação avançada dos processos de fabricação de produtos eletrônicos. Robôs e sistemas autônomos podem ser implementados para tarefas de montagem, inspeção, embalagem e manuseio de materiais, resultando em maior eficiência, precisão e qualidade. Isso também ajuda a reduzir erros humanos e aumentar a produtividade.

Manufatura flexível: A indústria eletrônica é caracterizada por uma ampla gama de produtos com ciclos de vida curtos e demandas variáveis. A Indústria 4.0 permite uma manufatura flexível, onde as linhas de produção podem ser facilmente reconfiguradas para acomodar diferentes produtos e volumes.

Integração da cadeia de valor: A Indústria 4.0 facilita a integração de toda a cadeia de valor da indústria eletrônica, desde os fornecedores de componentes até os fabricantes e distribuidores. Através do uso de sistemas de comunicação e compartilhamento de dados em tempo real, é possível obter maior visibilidade e coordenação ao longo de toda a cadeia, resultando em uma gestão de suprimentos mais eficiente e uma resposta mais ágil às demandas do mercado (SCHWAB,2019).

Qualidade e rastreabilidade: A rastreabilidade e a garantia de qualidade são aspectos críticos na indústria eletrônica. Com a Indústria 4.0, é possível rastrear e registrar detalhadamente o histórico de fabricação de cada produto, desde os componentes utilizados até os processos de montagem. Isso facilita a detecção de falhas, recalls eficientes e a garantia da qualidade do produto final.

Portanto, a Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental na indústria de manufatura de produtos eletrônicos, trazendo melhorias em automação, eficiência, flexibilidade, integração da cadeia de valor, manutenção preditiva, qualidade, rastreabilidade, inovação e personalização (KAGERMANN, 2021). Esses avanços são essenciais para impulsionar a competitividade e o progresso nesse setor em constante evolução.

Por outro lado, sistema de Descarga Eletrostática (ESD - *Electrostatic Discharge*) desempenha um papel crítico na indústria de eletroeletrônicos devido à sensibilidade dos componentes eletrônicos à eletricidade estática (ALVES, 2016). Um sistema ESD é importante na indústria de eletroeletrônicos por diferentes razões, entre as mais importantes podemos destacar as seguintes:

A Proteção de componentes eletrônicos: Os componentes eletrônicos, como microchips, transistores e circuitos integrados, são extremamente sensíveis a descargas eletrostáticas. Uma simples descarga de eletricidade estática pode danificar permanentemente esses componentes ou reduzir sua vida útil. O sistema ESD é projetado para minimizar o risco de danos causados por descargas

eletrostáticas, protegendo assim a integridade dos componentes eletrônicos.

Redução de falhas e retrabalho: A proteção adequada contra ESD ajuda a reduzir falhas prematuras e defeitos nos produtos eletrônicos. Descargas eletrostáticas podem causar problemas sutis, como falhas intermitentes ou degradação gradual do desempenho (ALVES, 2016). Ao implementar um sistema ESD eficaz, as empresas podem evitar custos adicionais relacionados ao retrabalho, substituição de componentes defeituosos ou recall de produtos.

Conformidade com padrões e normas: A indústria de eletroeletrônicos está sujeita a regulamentos e normas rigorosos de qualidade, segurança e confiabilidade. A implementação de um sistema ESD adequado é um requisito essencial para garantir a conformidade com esses padrões. Essas normas, como a norma ANSI/ESD S20.20, estabelecem diretrizes para o controle de ESD em ambientes de manufatura e ajudam a garantir a qualidade e confiabilidade dos produtos eletrônicos (ARAUJO, 2014).

Proteção dos processos de fabricação: Além de proteger os componentes eletrônicos, o sistema ESD também protege os processos de fabricação. Descargas eletrostáticas podem interferir nos equipamentos de produção e nas linhas de montagem, causando falhas e erros de produção. Ao implementar medidas de controle ESD, como pisos condutivos, pulseiras de aterramento e embalagens antiestáticas, é possível reduzir os riscos de interrupções e falhas do sistema (PINHEIRO, 2013).

Segurança dos funcionários: Além dos aspectos relacionados à proteção dos componentes eletrônicos, o sistema ESD também garante a segurança dos funcionários. Descargas eletrostáticas podem representar riscos para a saúde e segurança dos trabalhadores. Ao implementar práticas e equipamentos de proteção ESD, como tapetes e bancadas condutivos, bem como a correta utilização de pulseiras de aterramento, é possível minimizar os riscos de choques elétricos e garantir um ambiente de trabalho seguro.

Assim, o sistema de Descarga Eletrostática (ESD) é de extrema importância na indústria de eletroeletrônicos para proteger os componentes eletrônicos, evitar falhas, garantir a conformidade com padrões e normas, proteger os processos de fabricação e garantir a segurança dos funcionários. Ao implementar medidas adequadas de controle de ESD, as empresas podem assegurar a qualidade, confiabilidade e segurança dos produtos eletrônicos que fabricam.

3. PROPOSITO DO TRABALHO

Este trabalho busca resolver o problema apresentado pelos sistemas de aterramento de bancadas em linhas de produção é a falta de manutenção adequada. Com o tempo, as conexões de aterramento podem se soltar ou se corroer devido a fatores como exposição a agentes químicos, umidade e vibração. Esses problemas podem levar a uma resistência de terra mais

alta do que o recomendado, comprometendo a capacidade do sistema de dissipar correntes elétricas indesejadas.

Outro problema a ser resolvido é a falta de padronização e supervisão dos sistemas de aterramento. Em algumas situações, os aterramentos são instalados de forma inadequada, sem considerar as normas técnicas e os requisitos específicos do equipamento e da linha de produção. Além disso, a falta de supervisão regular dificulta a identificação de problemas e a realização de correções antes que ocorra um incidente.

3.1 Descrição da Arquitetura

A arquitetura proposta neste trabalho é mostrada na Figura 1 para o sistema, enfatizando o sistema de monitoramento e gerenciamento (servidor) e os dispositivos de hardware para verificação de aterramento dos postos de trabalho e/ou linha de produção e para testes de equipamentos de proteção individual (EPI) de ESD.

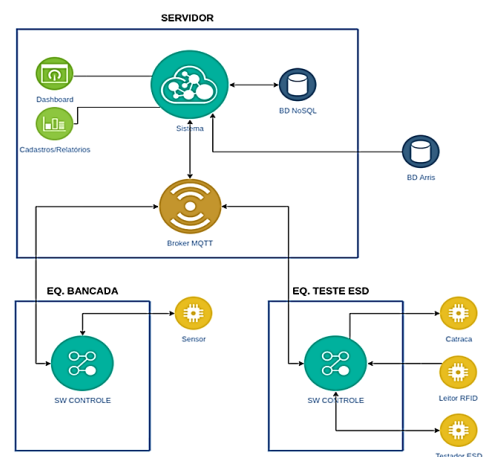


Figura 1. Arquitetura do sistema

Descrição dos principais componentes da arquitetura:

- **Servidor:** Dispositivo (PC ou máquina virtual) que executa os serviços de Admin(cadastros)/Relatórios, Dashboard, Banco de dados NoSQL e Broker MQTT:

- ✓ **BD NoSQL:** Banco de dados que armazena os dados obtidos dos testes das EPIs de Descarga Eletrostática – ESD e de acessos de usuários.
- ✓ **BD - X:** Banco de dados legado da empresa X que possui os dados de funcionários da empresa e de grupos de usuários. Tais informações são necessárias para iniciar o processo de teste das EPIs de ESD. Esse banco é acessado apenas para consulta e validação de funcionários.
- ✓ **Dashboard:** Sistema de acompanhamento em tempo real contendo dados estatísticos dos testes de ESD.

✓ Admin(cadastros)/Relatórios: Sistema de cadastro de usuários para acesso ao Admin e visualização de relatórios.

✓ Broker MQTT: Centralizador de troca de mensagens usando protocolo MQTT e é utilizado para coordenar o envio e recebimento de mensagens entre hardware e sistema de software.

- **EQ. Teste Descarga Eletrostática:** Conjunto composto de software de controle, catraca, leitor de RFID e testador de EPIs de ESD.

✓ SW Controle (Descarga Eletrostática - ESD): Controladora utilizada para fazer a comunicação entre o Broker MQTT e os dispositivos de hardware (catraca, leitor RFID e testador ESD).

✓ Testador Descarga Eletrostática - ESD: Dispositivo que faz teste de Descarga Eletrostática – ESD de pulseira, calcanheira, calçado e envia o resultado à controladora.

✓ Leitor RFID: Usado para a leitura do código do cartão de acesso do usuário.

✓ Catraca: Dispositivo que permitirá a entrada/saída de funcionários de acordo com dados recebidos da controladora.

- **EQ. Bancada:** Conjunto composto de software de controle e sensores, que juntos fazem a medição da condição de aterramento da bancada e se comunicam com o sistema de software.

✓ SW Controle (Bancada): Controladora utilizada para fazer a interface entre Broker MQTT e Hardware (sensores).

✓ Sensor: Dispositivo adicionado à bancada para medir as suas condições de aterramento.

Assim, o servidor do software de gerenciamento se comunica com dois elementos de hardware, a catraca com equipamento de teste ESD e com as bancadas para a detecção de aterramento, via seus respectivos softwares de controle. Esta comunicação é realizada via um Broker (servidor de pacotes MQTT) e as informações recebidas pelo servidor são inseridas no banco de dados não relacional do sistema, provendo dados ao sistema Dashboard, que acompanha em tempo real os testes de controle de ESD e de aterramento de bancada, e ao sistema de Cadastros/Relatórios.

Resumindo o sistema de controle de acesso e de ESD funciona da seguinte forma: O funcionário passa o seu cartão RFID de identificação pelo leitor de RFID instalado na catraca, para ter acesso (entrada) ao chão de fábrica. O software de gerenciamento no servidor realiza a busca por esse funcionário no banco de dados da empresa. Ao retornar um registro válido, o sistema verifica se o funcionário necessita ou não realizar o teste ESD. Não havendo a

necessidade do teste, a entrada é liberada imediatamente. Caso necessite, o funcionário realiza o teste de ESD e, se for aprovado, a sua entrada é liberada pelo software de gerenciamento.

Todas as informações de início e fim de teste, com seus respectivos resultados, além de informações sobre as entradas e saídas do ambiente de produção são salvas no banco de dados do servidor. Estas informações podem ser acompanhadas pela *Dashboard*, que mostra em tempo real o resultado de testes realizados com relatórios, e pelo sistema de Cadastros/Relatórios que contém informações detalhadas acerca dos testes com possibilidade de aplicação de filtros de datas, funcionários e/ou bancadas específicas.

4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Esta etapa compreende de levantamento de requisitos, o projeto e implementação da infraestrutura de comunicação e do banco de dados, o projeto e implementação do sistema de visualização e geração de relatórios e a execução da integração, implantação e experimentação em campo, de forma a permitir a avaliação do funcionamento do sistema e seus impactos no processo da empresa.

O sistema para controle de acesso atua conjuntamente com um equipamento de proteção contra ESD, enquanto o equipamento de monitoramento de aterramento atua na área do posto de trabalho, isto é, o funcionário de posse de um equipamento contra ESD só poderá adentrar as imediações críticas de Descarga Eletrostática (produção) caso seu equipamento esteja em perfeito funcionamento.

Sendo assim, há um elemento que testa os equipamentos comuns contra ESD: pulseira antiestática; calcanheira /calçado antiestático. O sistema orienta o usuário durante os testes do equipamento, bem como sinaliza o estado do teste, através de uma interface com o usuário. O usuário é identificado através de um leitor de cartão RFID, que lê seu cartão de identificação, realiza a validação, e identifica a necessidade de o usuário realizar o teste e o tipo de teste. As informações coletadas são transferidas para um banco de dados.

No posto de trabalho (bancada), com um adequado, aterramento ESD, serve como um central de conexão dos equipamentos e demais dispositivos Descarga Eletrostática. O sistema coleta o estado de aterramento de forma periódica e emite o estado ao sistema de banco de dados. No caso de falta, uma sinalização é acionada.

A detecção e sinalização de falta de aterramento no posto de trabalho, é realizada pelo dispositivo com características IoT, que possui duas funcionalidades: Monitoramento contínuo e, no caso de falta de aterramento, a sinalização. As informações são repassadas para o banco de dados. Para detecção de falta de aterramento, é usado um elemento chaveador (tipo XLR) que mantém um estado fechado enquanto o posto estiver ligado à terra e o oposto no caso da

falta de aterramento. O estado de aterramento é enviado ao servidor do banco de dados.

Na Figura 2, apresenta-se a arquitetura de hardware que atende as características descritas previamente.

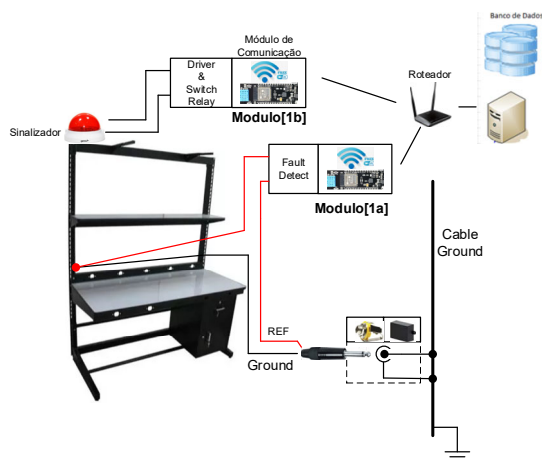


Figura 2. Implementação do sistema

Já o sistema de monitoramento, realiza a medição do aterramento em tempo real, permitindo a modificação da linha durante e garantindo o correto aterramento mesmo com alteração do layout fabril. Os resultados coletados são enviados via Wi-Fi para o servidor utilizando um sistema broker MQTT.

O diagrama de fluxo da Figura 3 mostra o funcionamento do dispositivo que possui as seguintes etapas:

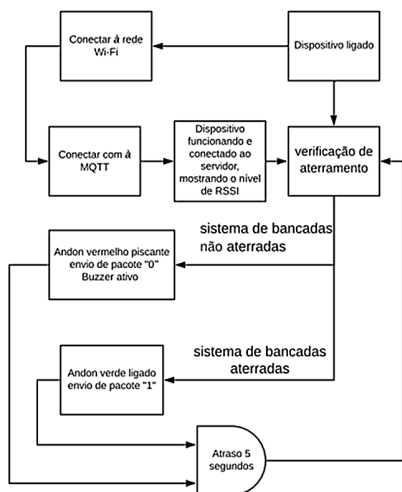


Figura 3. Diagrama de fluxo do sistema ESD

✓ Quando o dispositivo é ligado, ele se conecta à rede Wi-Fi local. Logo em seguida ele tenta conectar ao broker MQTT. Se ambas conexões forem bem-sucedidas, os LED's de nível RSSI indicarão a potência do sinal.

✓ A verificação de aterramento acontece independentemente da conexão do dispositivo à rede, mas só há envio de pacote se estiver conectado.

✓ Quando as bancadas não estiverem aterradas, a luz vermelha da torre luminosa irá ficar piscando com o buzzer ativado. O pacote enviado indica status "0", ou seja, não aterrado.

✓ Quando as bancadas estiverem aterradas a luz verde da torre luminosa permanecerá ligada e o buzzer desligado. O pacote enviado indica status "1", ou seja, aterrado.

✓ A verificação de aterramento ocorre a cada 5 segundos.

O Registro: Após a coleta do estado da bancada, são enviados dados de estado para o servidor, mantendo assim o histórico em um banco de dados para posterior avaliação. Esta comunicação é feita utilizando broker MQTT, ilustrado na Figura 4, integrando máquina e servidor, assim permitindo a supervisão de qualquer dispositivo que assine seu tópico, como por exemplo, um celular ou computador.

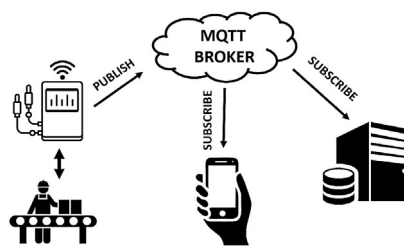


Figura 4. Comunicação rede MQTT.

O broker MQTT escolhido para aplicação foi o *Mosquitto*, que é uma plataforma gratuita e de fácil configuração, permitindo assim criar um canal para publicação e assinatura do tópico de aterramento das bancadas. O tópico permite que haja diversos testadores de aterramento publicando ao mesmo tempo, já que os mesmos são identificados por seu IP e reconhecidos pelo servidor. Sendo assim, a aplicação desenvolvida permite que diversos dispositivos sejam integrados em uma mesma aplicação, necessitando apenas de uma configuração simples realizada através da rede, conforme descrito posteriormente

5. RESULTADOS OBTIDOS

Conforme a execução das atividade o projeto, envolve diferentes aspectos de pesquisa e desenvolvimento, apresenta os seguintes resultados:

Desenvolvimento de um protótipo de coleta, processamento e transmissão dos dados referentes a parâmetros de dispositivos de controle e teste de ESD;

Realização de integração de dispositivos de controle e teste de ESD com o sistema de controle de acesso de pessoal ao chão de fábrica;

Realização de pesquisa e desenvolvimento de protótipo para a verificação das condições de aterramento das bancadas na linha de montagem e para geração de alertas e registros em caso de anormalidade;

Desenvolvimento de sistema de software para análise e monitoramento, em tempo real, dos resultados de testes de ESD realizados, capaz de prover informações e estatísticas da entrada de funcionários, via relatórios e sistema de visualização, além de alertar sobre falhas no processo de teste conforme mostrado na Figura 5.

Nesse contexto, cabe destacar que o conjunto de tecnologias apresentados se adequam e integram ao sistema de testes de ESD com o sistema de controle de acesso ao chão de fábrica. Os testes automáticos de aterramento de bancadas ou postos de serviços que sinalizam e registram anomalias em tempo real.

The screenshot shows a web dashboard titled 'Testes de Bancada' with a sub-header 'Testes de Bancada - Admin'. It features a search bar, a date range selector (20-04-2020 to 20-05-2020), and a table with the following data:

1	2	3	4	5	6	
Testes por Bancada	Bancadas	Nome	Endereço MAC	Aterramento	Qualidade (VRF)	Data/Hora
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Exceção	19/05/2020 - 16:12:31
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Razoável	28/04/2020 - 17:30:22
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Razoável	28/04/2020 - 17:30:00
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Razoável	28/04/2020 - 17:29:51
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Razoável	28/04/2020 - 17:22:24
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Razoável	28/04/2020 - 17:21:58
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Razoável	28/04/2020 - 17:07:51
		Bancada 01	2C:08:FF:A4:AE:30	Alertada	Razoável	28/04/2020 - 17:04:11

Figura 5: Dashboard de controle ESD em tempo real

Finalmente, o sistema informatizado de controle de acesso de funcionários e visitantes, possibilita a análise dos dados e geração de relatórios, além de permitir a visualização dos dados em tempo real, por meio de dispositivos fixos e móveis, e provendo a capacidade de geração de alertas de anormalidades, para tomada rápida de decisões.

6. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, este trabalho atendeu aos objetivos traçados, desenvolveu de um sistema *Ground Tester* para o monitoramento de aterramentos em ambientes industriais, especificamente, a detecção de aterramento em tempo real de bancadas de linha de produção, através, da aplicação dos conceitos da indústria 4.0 como IoT, e a utilização de módulos de comunicação MQTT e um banco de dados que, possibilitou obter informações precisas sobre o aterramento das bancadas.

As informações armazenadas no banco de dados, permitiu o registro das condições de aterramento de cada bancada ao longo do tempo. Isso possibilita uma análise aprofundada e o acompanhamento das tendências de desempenho do sistema de aterramento.

Uma das contribuições deste trabalho é capacidade de monitorar o aterramento em tempo real, juntamente com a sinalização imediata de problemas, permite uma abordagem proativa para a manutenção e correção de deficiências nos sistemas de aterramento. Possibilitando a implementação de corretivas, evitando possíveis acidentes elétricos e garantindo a segurança dos operadores e do ambiente de trabalho.

Baseado nos conceitos da Indústria 4.0, a implementação desse sistema IoT de detecção de aterramento de bancada de linha de produção, verificou-se uma comunicação em tempo real, que trouxe benefícios significativos, na redução de falhas elétricas, o aumento da eficiência operacional e a melhoria da segurança no ambiente de trabalho.

Portanto, as informações em tempo real permitem a tomada de ações preventivas, o sistema IoT de detecção de aterramento de bancada de linha de produção contribui para um ambiente mais seguro e produtivo, tornando-se um componente essencial para a indústria 4.0. No contexto de um ambiente de produção, onde a confiabilidade e a segurança são de extrema importância, a implementação desse sistema IoT é uma escolha estratégica para garantir a qualidade dos processos e a proteção dos recursos humanos e materiais envolvidos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Erik Guilherme dos Santos; COSTA, Caio Rafael; XAVIER, Cenildo de Souza. Utilização da Técnica para Sistema de Aterramento, 2016.

ARAÚJO, Quoirin, Ardjomand. As descargas eletrostáticas e a manutenção de equipamentos sensíveis no âmbito do setor elétrico. Centro Politécnico da UFPR, Curitiba-PR, 2014

CAPELLI, Alexandre. Aterramento elétrico. Saber Eletrônica, v. 329, p. 56-59, 2000.

KAGERMANN, Henning. Chancen von Industrie 4.0 nutzen. Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4: Allgemeine Grundlagen, p. 237-248, 2021.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 16, n. 1, 2018.

PINHEIRO, Tiago Figueira Leão. Sistemas de aterramento em baixa tensão, 2013.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SCHWAB, Klaus; MIRANDA, D. M. A Quarta Revolução Industrial (Edipro). São Paulo, 2019.