

ARTIGO ORIGINAL

Detecção e alerta de equipamentos não permitidos em quartos hospitalares por meio da supervisão da corrente elétrica

Detection and alert of unauthorized equipments in hospital rooms by electric current supervision

Marcelo Trindade Rebonatto^{id,1}, Oneide Jorge Pereira da Paixão², Luiz Eduardo Schardong Spalding^{id,2}

¹Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada – PPGCA – UPF, ²Hospital São Vicente de Paulo – HSVP

*rebonatto@upf.br; oneide@upf.br; luizeduardosspalding@gmail.com

Recebido: 25/10/2022. Revisado: 16/04/2022. Aceito: 16/07/2023.

Resumo

Em períodos de frio intenso, pacientes ou seus familiares fazem uso de aquecedores elétricos não permitidos que sobrecarregam e potencializam os riscos às instalações elétricas hospitalares, podendo provocar o desligamento de disjuntores, superaquecimento de cabos, tomadas e conectores elevando os riscos de incêndio e danos permanentes à estrutura física. Este artigo traz um método não invasivo de monitoramento, buscando detectar variações de corrente relativas ao consumo de aquecedores elétricos e informar quando este for ligado. O sistema usa uma placa Texas Instruments TM4C1294XL que captura e envia amostras desta corrente via interface Ethernet a um computador, onde um programa na linguagem Python classifica as ocorrências em eventos, armazena em banco de dados e disponibiliza uma interface web a fim de alertar os responsáveis para atuarem em medidas de minimização dos riscos. Além disso, limites são estabelecidos para as correntes de fase e de fuga para que possa ser informado quando as mesmas apresentam risco à instalação ou ao paciente. Testes confirmaram a eficiência do monitoramento na detecção da ligação de aquecedores elétricos mesmo em conjunto de outras cargas no circuito, mostrando que é possível supervisionar a rede elétrica de forma não invasiva e detectar a ligação de aparelhos indesejados/não permitidos.

Palavras-Chave: hospital; proteção contra incêndio; risco elétrico; segurança

Abstract

In periods of intense cold, patients or their families make use of unauthorized electric heaters that overload to hospital electrical installations and thus increase the risks to those installations, which can cause circuit breakers to turn off and to overheat sockets, cables and connectors, increasing the risk of fire and permanent damage to the physical structure of the hospital. This article presents a non-invasive monitoring method, aiming to detect current variations related to the consumption of electric heaters and inform when they are turned on. The system uses a Texas Instruments TM4C1294XL board that captures and sends samples of this current via an Ethernet interface to a computer, on which a program in Python language classifies occurrences into events, stores them in a database and then provides a web interface in order to alert those responsible to act on risk minimization measures. In addition, limits are established for phase and leakage currents so that you can be informed when they present a risk to the installation or the patient. Our tests confirmed the efficiency of monitoring in detecting the connection of electric heaters even in conjunction with other loads in the circuit, showing that it is possible to supervise the electrical network in a non-invasive way and detect the connection of unwanted/not allowed appliances.

Keywords: electrical hazard; fire protection; hospital; safety

Resumo

Em períodos de frio intenso, pacientes ou seus familiares fazem uso de aquecedores elétricos não permitidos que

1 Introdução

O ambiente hospitalar apresenta uma variedade de equipamentos elétricos, desde equipamentos eletrônicos comuns ao ambiente doméstico até aparelhos específicos para diagnóstico e tratamento de doenças (Anvisa, 2020). No entanto, no cotidiano de utilização dos mesmos, nem sempre os usuários estão preparados tecnicamente para sua operação, tampouco a rede elétrica está corretamente dimensionada para recebê-los de maneira adequada e segura.

Cargas não permitidas, como aquecedores elétricos, são um problema no ambiente hospitalar. Algumas vezes, o paciente ou seus familiares fazem o uso destes sem saber do risco que apresentam para a rede elétrica quanto a sobrecargas e em relação a incêndio. Quando ocorre a ligação de um equipamento de elevado consumo de corrente elétrica juntamente com os demais aparelhos, há risco de sobrecarga, podendo causar interrupção do fornecimento elétrico (quando a corrente excede a capacidade dos disjuntores de proteção) e aquecimento de fiação e tomadas. Esse aquecimento, aliado ao risco quando os aquecedores são posicionados indevidamente na presença de elementos combustíveis, pode ocasionar eventos extremos, como por exemplo, incêndios. Como agravante, a equipe de assistência ao público nem sempre consegue monitorar, orientar ou barrar a entrada destes equipamentos em ambientes hospitalares.

Incêndios decorrentes de problemas na rede elétrica compõem a maior parte das causas de incêndios em ambientes domésticos (Campbell, 2022; Wangwiwattana and Yoshikazu, 2022). Em hospitais e clínicas de cuidados a saúde, os dados encontrados apontam para o mesmo cenário (Campbell, 2017; Sharma et al., 2020; Juyal et al., 2023). Hospitais e centros médicos estão entre os locais onde ocorrem um grande número de incêndios a cada ano (Omidvari et al., 2020).

Nem sempre os incidentes causados por aquecedores elétricos (estufas) são registrados, porém esses acontecimentos são constatados frequentemente no cotidiano de um hospital. São muitos os relatos informados por enfermeiros, técnicos de segurança do trabalho e profissionais do setor de manutenção e engenharia clínica sobre as intercorrências causadas pelo uso não autorizado dos mesmos. Recomendações apontam que em tais ambientes, deve-se instalar sistemas de monitoramento elétrico contra incêndios, e barra aquecedores elétricos (Liu et al., 2023).

Hospitais abrigam um grande número de pessoas vulneráveis: idosos / doentes / deficientes / grávidas / crianças, imunocomprometidos e sem capacidade de se movimentar. Relatos de incêndios em ambientes hospitalares infelizmente ocorrem de forma mais frequente do que se gostaria. Incêndios nestes ambientes são mais perigosos, uma vez que vários internos (e mesmo acompanhantes) não estão fisicamente e psicologicamente aptos a responder de forma rápida e efetiva a medidas de emergência, como por exemplo, chamadas de evacuação (Alkış et al., 2021; Juyal et al., 2023). Eles podem ser impactantes em termos de ferimentos a pacientes, funcionários e acompanhantes, chegando em alguns casos, levando a óbitos. Além disso, há possibilidade de grandes perdas relacionadas a equipamentos e ao patrimônio, fazendo com que os impactos

sejam sentidos pela população em anos subsequentes. A perda de vidas, por motivos alheios aos objetivos dos hospitais são tragédias que podem conduzir a reflexos de saúde, econômicas e sociais (Sharma et al., 2020).

Os motivos dos incêndios podem ser vários, porém em diversos casos investigações apontam para origem fatores ligados a alimentação elétrica^{1, 2, 3, 4}. Dados do Instituto Sprinkler Brasil confirmam um aumento significativo desde 2020 no caso de incêndios estruturais em Hospitais^{5, 6}. Estes fatos ocorrem mesmo com a comunidade científica investigando e trabalhando na área de segurança elétrica e prevenção a incêndios (Andrade and Cruz, 2016; de Carvalho and Coutinho, 2017).

A área de Engenharia Clínica é responsável pelo gerenciamento de equipamentos hospitalares. Ela envolve várias áreas do conhecimento e está inteiramente comprometida com a evolução das tecnologias da área médica (Calil and Teixeira, 1998). Muitos hospitais não dispõem de profissionais, equipamentos ou estrutura física para esta finalidade, entretanto, o ambiente onde foi desenvolvido este trabalho conta com um setor de Engenharia Clínica com mais de 30 anos de atuação.

Este trabalho foi desenvolvido junto ao Hospital São Vicente de Paulo (HSVP) em Passo Fundo – RS, considerado uma importante instituição de saúde, com 697 leitos ativos para internação, em duas unidades próprias, sendo 407 disponíveis para o Sistema Único de Saúde (SUS). Ele atende pacientes de uma macrorregião (Norte e Missioneira do Rio Grande do Sul e Oeste de Santa Catarina) cuja população é superior a dois milhões de habitantes. Em 2021 internou pacientes de 19 coordenadorias de saúde do RS, totalizando junto com as internações de outros estados 14.623 pacientes pelo SUS. No mesmo período, as internações não SUS totalizaram 14.568. O HSVP é responsável por aproximadamente 3.500 empregos diretos (Hospital São Vicente de Paulo, 2021), o que faz com que quaisquer eventos adversos mobilizem um grande número de pessoas. Dessa forma, um possível evento de princípio de incêndio ou mesmo de queda de energia nesse ambiente causa transtornos aos colaboradores além de insegurança a pacientes e familiares.

O objetivo do trabalho é descrever a criação de uma metodologia capaz de monitorar a corrente elétrica dos quartos, de forma não invasiva, de um estabelecimento hospitalar e informar quando um aquecedor elétrico for ligado. A metodologia foi validada por meio da implementação de uma prova de conceito (POC) com um protótipo que

¹<https://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/pane-eletrica-provoca-incendio-em-hospital-de-nova-iguacu-rj-06112019>

²<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/28/o-que-se-sabe-sobre-o-incendio-no-hospital-de-bonsucesso.ghtml>

³<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2020/09/29/pericia-indica-que-sobrecarga-na-rede-eletrica-causou-incendio-em-hospital-no-amapa.ghtml>

⁴<https://infonet.com.br/noticias/cidade/nestor-piva-incendio-foi-devido-a-sobrecarga-eletrica-diz-laudo/>

⁵<https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2022/06/6418911-incendios-estruturais-em-hospitais-crescem-31-ate-maio-deste-ano.html>

⁶<https://jrs.digital/noticias-de-incendios-estruturais-aumentam-852-em-2021/>

analisa o consumo elétrico em tempo real e um software de apoio para visualização e gestão de possíveis eventos. O monitoramento ainda deve alertar quando a corrente de alimentação dos quartos exceder o limite de segurança estabelecido ou ocorrer fuga de corrente no circuito elétrico.

O restante do texto está dividido em 4 seções. Na próxima seção, uma breve revisão da literatura acerca de ocorrências de eventos ligados a rede elétrica em hospitais e conceitos ligados a energia elétrica são apresentados. Os materiais e métodos utilizados na realização deste trabalho são descritos na seção 3 enquanto a seção 4 apresenta e discute os resultados alcançados e as limitações encontradas nesta solução. A última seção contém as considerações finais e os trabalhos a serem desenvolvidos na continuidade dessa pesquisa.

2 Referencial Teórico

2.1 Segurança elétrica contra incêndios

A maior parte dos incêndios domésticos que ocorrem no Japão são oriundos de causas elétricas (Wangwiwattana and Yoshikazu, 2022). Hospitais e centros médicos estão entre os locais onde ocorrem um grande número de incêndios a cada ano (Omidvari et al., 2020). Estudos realizados na Índia, apontam que a maioria dos eventos de incêndios em hospitais são relacionados a causas elétricas, como curto-circuitos ou sobrecarga (gerando aquecimento) (Sharma et al., 2020), chegando em alguns relatos a 85% dos casos (Juyal et al., 2023). Um relatório do *National Fire Protection Association* destaca que equipamentos de aquecimento ambiental são uma das principais responsáveis dos incêndios residenciais nos Estados Unidos (Campbell, 2022).

O Manual de Segurança contra Incêndio em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde da Anvisa (ANVISA, 2014) apresenta algumas formas de prevenção de incêndio em estabelecimentos de saúde:

Medidas de prevenção de incêndios são aquelas destinadas a minimizar os riscos de ocorrência de incêndios e compreendem, dentre outras: redução das fontes de ignição, arranjos e construções físicas normalizadas, conscientização e manutenção preventiva e corretiva dos sistemas, bem como a preparação para correta atuação caso ocorram, através de treinamento, reciclagem constante e realização de simulados. (p. 20).

O documento não cita explicitamente os aquecedores elétricos, mas indica algumas de suas características como as fontes de ignição mais comuns nos incêndios, que são as chamas, superfícies aquecidas, fagulhas, centelhas e arcos elétricos (ANVISA, 2014).

Seito et al. (2008) descrevem em seu trabalho uma tabela com a relação de itens típicos a serem avaliados durante um levantamento de risco potencial de uma edificação. Ele aponta o aquecedor elétrico como potencial causador de riscos, com maior destaque quando a edificação for em madeira.

Silva (2010), em sua dissertação, menciona de forma mais específica que aparelhos de aquecimento de ambiente, instalações elétricas mal protegidas e sobrecarga das instalações elétricas são exemplos de causadores de incêndio em hospitais.

Liu et al. descreve como uma das recomendações de seu estudo que para reduzir a possibilidade de incêndios em

hospitais, sistemas de monitoramento elétrico de incêndio devem ser implantados, além de proibir aquecedores elétricos, entre outros equipamentos não médicos de alto consumo (Liu et al., 2023).

2.2 Eventos adversos relacionados a eletricidade em hospitais

Foi realizada uma pesquisa no banco de dados do Sistema Integrado de Gestão do HSVP (Philips Clinical Informatics, 2019) com intuito de verificar o número de ocorrências em relação a desligamento de disjuntores, superaquecimento de cabos e percepção de cheiro de queimado. Para a busca das informações, foram extraídos relatórios de ordens de serviço de todos os atendimentos realizados pelos setores de manutenção relativos ao período de outubro de 2015 (início dos registros no sistema informatizado atual) a janeiro de 2022. A Tabela 1 contém a sumarização dos principais resultados.

Tabela 1: Eventos de interesse desta pesquisa relatados no sistema de manutenção do HSVP (Philips Clinical Informatics, 2019)

Evento	Quantidade*
Relatos informando choque elétrico	64
Constatação de fuga de corrente	21
Relato de cheiro de queimado	35
Reclamações de desarme de disjuntor	100
Desarme de disjuntor provocado por aquecedor elétrico	8

*Os números se referem a todo o hospital, incluindo setores administrativos.

Os resultados da busca no banco de dados mostraram que embora não existam relatos de acidentes envolvendo aquecedores elétricos na instituição, os problemas relacionados aos mesmos efetivamente existem e na maioria das vezes são contornados de maneira paliativa. Por exemplo, a solução para o desarme de um disjuntor em geral era realizar sua religação, sem conseguir investigar a fundo o motivo que ocasionou o evento. Na mesma linha, na ocorrência de um choque elétrico não era investigado se a situação foi oriunda de eletricidade estática ou efetivamente uma fuga de corrente. Além disto, as ações são sempre reativas ao acontecimento e não proativas. Um exemplo de ação proativa seria, no momento onde fosse percebida a ligação de um aquecedor elétrico, o posto de enfermagem fosse avisado para ir até o local e desligar o equipamento.

Outros hospitais foram consultados em busca dos mesmos dados, no entanto, a sistemática de registro ou a qualidade das informações não contribuiu no levantamento de indicadores. De certa forma, a falta de registro corrobora com a necessidade de estudos em torno do tema proposto, uma vez que não conhecemos o risco provocado por aquecedores elétricos neste locais.

2.3 Valor eficaz ou RMS

O valor médio de uma grandeza elétrica variável no tempo é uma medida útil, mas não consegue informar a ener-

gia envolvida, pois pode ter valor zero devido às variações positivas e negativas serem, em alguns casos, iguais (Boylestad, 2004). Já o valor eficaz de uma grandeza elétrica que varia no tempo, como a corrente elétrica em um equipamento (por exemplo, um aquecedor) pode ser obtido pela Eq. (1) quando a forma de onda desta corrente é obtida por 'n' amostras. Este cálculo é chamado de *Root Mean Square* (RMS) (de Figueiredo, 2016).

$$I_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N I_n^2} \quad (1)$$

Diferentemente do valor médio o valor eficaz é utilizado para medir a energia entregue a um equipamento elétrico. Ele possui um valor igual ao da corrente elétrica contínua no tempo, que teria a capacidade de entregar a mesma quantidade de energia ao aquecedor.

2.4 Taxa de Distorção Harmônica

A distorção harmônica é provocada pela sobreposição de outras ondas sobre uma onda de referência, de tensão ou corrente elétrica. Assim, os sinais resultantes desta distorção são ondas diferentes de uma senoide pura (Phipps et al., 1991).

Um sinal elétrico pode ser decomposto em diversas ondas, conhecidas como harmônicas, que podem ser visualizadas quando se realiza uma análise de frequência do sinal, por exemplo, por meio de uma Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* - FFT). Em redes que utilizam a frequência fundamental de 60Hz (como por exemplo o Brasil) as harmônicas resultantes serão múltiplos de 60. Por exemplo, a 2ª será 120Hz, a 3ª é 180 Hz, a 4ª 240 Hz e assim por diante.

Uma forma comum de expressar a distorção harmônica de um sinal é a Distorção Harmônica Total – DHT (muitas vezes utilizando a sigla derivada do inglês THD – *Total Harmonic Distortion*). Este valor geralmente é apresentado em forma de percentual e representa a distorção provocada pela influência de todos os sinais presentes (Isoni, 2004; Silva, 2004).

Phipps et al. (1991) mostram que é possível determinar a Taxa de Distorção Harmônica total de uma forma de onda de corrente através da aplicação da Eq. (2), onde I_{hRMS} representa o valor eficaz da componente harmônica 'h' de forma individual. Para melhor entendimento, é possível expandir a equação para mostrar na forma da Eq. (3).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{hRMS}^2}}{I_{1RMS}} \quad (2)$$

$$THD = \frac{\sqrt{I_{1RMS}^2 + I_{2RMS}^2 + I_{3RMS}^2 + \dots + I_{\infty RMS}^2}}{I_{1RMS}} \quad (3)$$

Com a THD pode-se determinar qual a relação da componente fundamental da frequência sobre o sinal completo

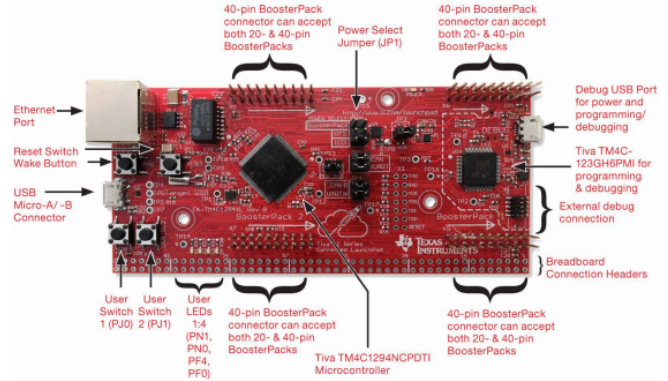


Figura 1: Kit de desenvolvimento TM4C1294XL

e assim influenciar no processo de decisão sobre a detecção de eventos a partir da análise da corrente consumida. Um aquecedor elétrico, devido a sua característica predominantemente resistiva, deve produzir a maior parte do consumo de corrente na componente fundamental, caso contrário a corrente pode ser de outro tipo de carga.

3 Materiais e métodos

3.1 Placa TM4C1294XL

A placa TM4C1294XL do fabricante Texas Instruments (doravante denominada TM4C neste texto) tem apresentado bom desempenho ao longo do período de pesquisa do Grupo de Pesquisa em Aplicações Embarcadas (GPAE). A placa (Fig. 1), algumas vezes referida na literatura como plataforma, conta com o microcontrolador TM4C1294NCPDT e este por sua vez com núcleo ARM Cortex M4 e uma vasta lista de periféricos, como interface Ethernet e canais Analógico/Digitais (AD), necessários para a aquisição e envio dos dados (Texas Instruments, 2016).

Na Fig. 1 a placa de desenvolvimento pode ser visualizada, com uma descrição dos principais pinos. Destacam-se o conector Ethernet, o microcontrolador e duas portas USB, uma usada para alimentação (próxima ao botão de reset) e outra utilizada para debug.

O microcontrolador pode ser programado tanto na linguagem C quanto C++ e alguns forums estão disponíveis na web para troca de informações durante o processo de desenvolvimento. A Interface de Desenvolvimento Integrado (IDE) recomendado pelo fabricante é o Code Composer Studio (CCS)⁷. Com o CCS é possível utilizar uma vasta biblioteca online disponibilizada de forma integrada ao ambiente de edição, sendo possível o acesso a códigos de exemplo organizados conforme a plataforma de desenvolvimento. Também é possível pesquisar *datasheets* e notas de aplicação com a IDE.

A plataforma dispõe ainda de uma interface de Debug, com o Tiva TM4C-123GH6PMI, que auxilia a etapa de desenvolvimento e testes do firmware (Texas Instruments,

⁷<http://www.ti.com/tool/CCSTUDIO-TM4X>

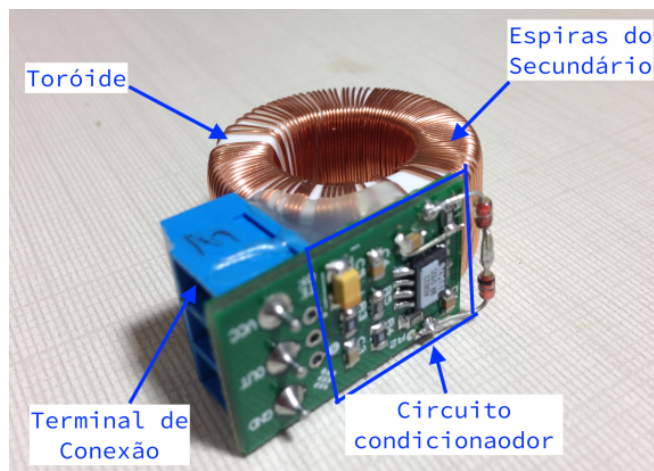


Figura 2: Sensor de corrente TC – com condicionador de sinal

2016).

Devido a experiência com o kit de desenvolvimento, ele foi o escolhido para a implementação de uma prova de conceito da solução de supervisão da corrente em tempo real buscando identificar equipamentos não permitidos (estufas) num ambiente hospitalar.

3.2 Transformadores de corrente

Os sensores de corrente utilizados no trabalho foram do tipo Transformadores de corrente (TC), os quais já obtiveram bom desempenho e aprovação nos projetos anteriores do grupo de pesquisa (Rebonatto, 2015; dos Santos, 2017; Lucas, 2018; Mella, 2019). Como mostrado por de Figueiredo (2016), os transformadores se utilizam do efeito provocado pela circulação da corrente alternada ao ser submetida a um condutor, que produz um campo magnético que pode ser captado pelo núcleo toroidal magnético (aqui simplesmente denominado toróide).

Após captar o efeito provocado pela circulação da corrente elétrica, é necessário fazer o tratamento do sinal, a fim de criar o condicionamento necessário para a disponibilização aos canais AD do microcontrolador. Para isto, a empresa Elomed⁸ desenvolveu uma placa de tratamento de sinais integrada ao toróide, trazendo assim praticidade e tornando seu uso simples e seguro (Fig. 2).

Na Fig. 2 é possível observar o toróide e a placa de condicionamento de sinal, que produz a amplificação necessária e nível DC para adequação à entrada do canal A/D do microcontrolador e filtro para tratamento do sinal na faixa de frequência desejada.

Como mostrado por dos Santos (2017), diferentes faixas de medidas podem ser exploradas através da mudança do resistor de carga do secundário (RL), resistor de ganho de amplificação (RG) e número de espiras do primário (N1). Estes ajustes iniciais foram feitos e, para a corrente de fase, foi utilizado um transformador com ganho de 10,41 vezes,

onde possibilita a leitura de correntes até 20 A e para a corrente diferencial o ganho foi de 1,5 vezes, possibilitando medir correntes de até 150 mA.

3.3 Supervisão elétrica de equipamentos

Desde 2009, quando o Protegemed (Spalding et al., 2009) alavancou as pesquisas em torno da segurança elétrica de instalações e equipamentos eletromédicos, o grupo de pesquisa experimentou diferentes metodologias para a aquisição dos sinais na supervisão elétrica de equipamentos médicos.

Atualmente, o Protegemed está implantado em uma sala do Centro Cirúrgico do HSVP, analisando em tempo real as correntes das tomadas que alimentam os equipamentos eletromédicos em busca de eventos que tragam risco ao paciente, como o microchoque (Rebonatto, 2015). O mesmo conta com um servidor local para arquivar os eventos ocorridos e uma interface web para sua visualização.

Diversos trabalhos podem ser relacionados, envolvendo o Protegemed e implementados com a plataforma de referência TM4C1294XL (Seção 3.1). O trabalho de dos Santos (2017) iniciou o processo de migração da plataforma, saindo do MBED⁹ e passando para a placa TM4C1294XL. Como mostrado por dos Santos (2017) em sua dissertação, a placa TM4C1294 se consolidou a partir do ano de 2017 por apresentar um desempenho melhor em comparação ao MBED ou Arduino que já foram utilizados anteriormente, principalmente por suas características de custo, frequência de clock, capacidade de memória Flash e SRAM e disponibilidade de periféricos (Santos et al., 2020). O trabalho de Lucas (2018) buscou identificar falhas de isolamento de equipamentos eletromédicos (EEM). O trabalho de Mella (2019) tinha como objetivo medir consumo de energia dos EEM, por meio da detecção de eventos. Em comum a todos os trabalhos, além do uso da TM4C1294XL era o monitoramento constante e em tempo real da alimentação elétrica de equipamentos, fazendo uso de transformadores de corrente (Seção 3.2).

Com exceção do trabalho de dos Santos (2017), nos demais trabalhos que usaram a plataforma de referência TM4C, a mesma foi utilizada com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de uma prova de conceito, proporcionando um rápido desenvolvimento a partir do conjunto de recursos disponíveis e dominados. Neste trabalho foi adotada a mesma estratégia e, dependendo dos avanços da pesquisa, uma solução computacional com menor capacidade de processamento (e custo) pode ser adotada para instalação em campo no hospital.

Este trabalho, embora usando a mesma plataforma de referência dos pregressos, difere dos mesmos em relação a como os resultados da supervisão do consumo de corrente são utilizados. Ao invés de supervisionar EEM, em geral conectados em redes elétricas isoladas ((Lucas, 2018)) e específicas (sistema IT-Médico (IEC, 2002)) em busca de possíveis problemas, a supervisão foi direcionada a equipamentos do dia a dia, como aquecedores. O trabalho de Mella (2019), mede o consumo de corrente de sistemas

⁸<http://elomed.com.br/>

⁹<https://os.mbed.com/platforms/mbed-LPC1768/>

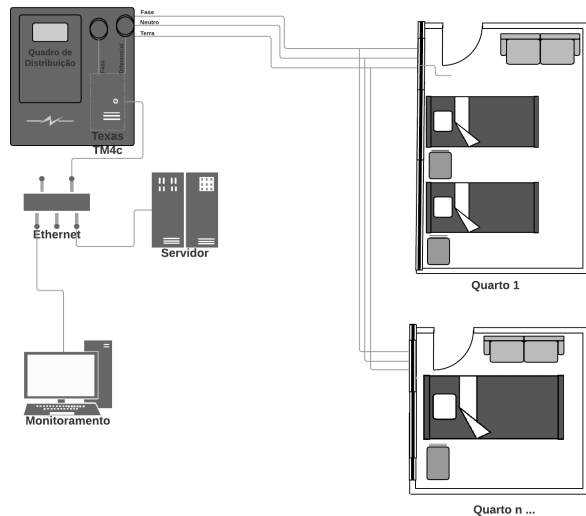


Figura 3: Visão geral representando a instalação no quadro de alimentação de um posto de enfermagem.

tradicionais, como o buscado neste, porém com o objetivo de realizar o monitoramento para fins de registro e não em busca da conexão de equipamentos específicos. Outro ponto de complexidade é que difere dos trabalhos anteriores é que a supervisão da corrente ocorre onde os equipamentos alvo (aqueles que se busca a detecção) são instalados em rede elétrica comum, onde outros equipamentos elétricos comuns (e permitidos) são ligados.

3.4 Arquitetura da solução proposta

Uma visão geral da solução de monitoramento, com aplicação dentro de um hospital é mostrada na Fig. 3, onde é possível perceber a integração da plataforma de referência junto ao quadro de distribuição de energia de um posto de enfermagem e o interfaceamento com o servidor.

No exemplo da Fig. 3 é possível visualizar dois quartos de enfermagem, porém a quantidade de quartos supervisionados não é limitada a esse número. Caso seja utilizado um hardware similar a plataforma de referência, pode-se supervisionar o consumo de corrente de até 10 quartos de enfermagem. Em cada quarto, são instalados dois TCs, um para aquisição do sinal das correntes de fase e outro para a corrente de fuga – diferencial (Fig. 4). A corrente de fuga representa a circulação de corrente por um caminho indesejado que não seja entre fase e neutro e pode acontecer pelo toque de uma pessoa em partes energizadas, onde se estabelecerá um caminho de circulação de corrente para terra. Os dispositivos responsáveis pela interrupção desta circulação de corrente, caso a falha aconteça, são os Disjuntores Residuais (DRs).

Em caso de necessidade esse número pode ser aumentado pela instalação de hardware adicional. A ideia de uma prova e conceito é consolidada com a TM4C, porém para uso em larga escala o hardware podem ser substituído por outras opções de menor custo e tamanho.

A instalação dos TCs e da(s) placa(s) é junto ao quadro de distribuição de um posto de enfermagem, conforme pode ser visualizado na Fig. 4, onde irão supervisionar toda a carga elétrica de equipamentos do quarto. Caso seja detectada a conexão de algum equipamento não permitido, um alerta será emitido ao setor de engenharia clínica, sendo então tomadas medidas a fim de eliminar os riscos elétricos de tal ligação.

O processamento dos dados pode ser dividido em duas partes: uma denominada de firmware e outra chamada aqui de software. O firmware executa no microcontrolador do componente embarcado e realiza a captura, processamento e envio (quando necessário) dos dados brutos. O software é responsável por complementar o processamento de eventos, a partir dos dados recebidos do firmware e gerar os alertas.

3.5 Supervisão da corrente elétrica

Para captura dos dados, os conversores A/D trabalham de modo contínuo e interrompem a CPU quando o conjunto completo de valores de cada canal for adquirido. Foi escolhido uma frequência de amostragem de 61,46 kHz em cada canal para obter uma taxa de amostragem de 1024 amostras por ciclo da rede elétrica. Este valor possibilita uma análise posterior precisa das harmônicas que compõe o consumo de corrente.

Cada ciclo da corrente elétrica consumida nos quartos é analisado, sendo então calculado o valor RMS (Seção 2.3) de cada sinal elétrico considerado e comparado com limites. A cada 10 ciclos, os valores médios são atualizados e quando um limite é alcançado, os valores dos dados brutos coletados dos 10 próximos ciclos são transmitidos, via rede a um servidor para o processamento de alertas. Antes de ser analisado cada ciclo do sinal, os valores são atualizados, corrigindo o *offset* de tensão produzido pelo conversor e aplicando o ganho do respectivo TC.

Para que dados sejam transmitidos da plataforma de referência para o servidor, deve ocorrer uma variação maior que 1,8 A na média dos ciclos na corrente de fase ou quando alcançado um dos limites: de 12 A para corrente de fase ou de 22,5 mA para a corrente diferencial (fuga).

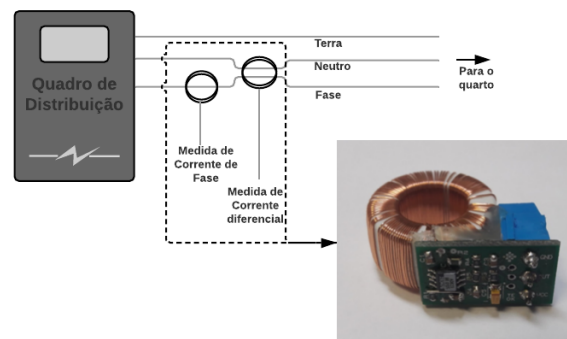


Figura 4: Visão detalhada da instalação dos TCs junto ao quadro de distribuição elétrica

A cada detecção as amostras são organizadas e os valores calculados são transmitidos (RMS e THD), juntamente com os dados de configuração do sistema, que são o ganho e *offset* de cada canal. Além disso, dados como a identificação do quarto (local) e horário de ocorrência são também comunicados, para que possam auxiliar nas ações e armazenamento em Banco de Dados (BD), possibilitando consultas futuras e histórico de casos. A comunicação entre o componente de hardware e o servidor é realizada com base em funções fornecidas pelo *Real Time Operational System* – RTOS¹⁰ e utiliza o método POST, para enviar os dados no formato JSON, do protocolo HTTP sobre uma rede TCP/IP.

No software, a partir dos dados brutos (valores das amostras) é realizado o cálculo do RMS das correntes de fase e diferencial, com uso da linguagem de programação python e a da biblioteca NumPy¹¹, que realiza o cálculo (Eq. (1)). Os valores calculados nesta etapa foram conferidos e validados através de um multímetro de referência marca Fluke, modelo 115¹², com capacidade True RMS e calibrado.

Para o cálculo da THD (Eq. (3)) foi realizada o cálculo da FFT e obtido os valores das componentes harmônicas até a décima ordem (frequência de 600 Hz). Então, foi obtido o percentual relativo a distorção harmônica do conjunto correspondente ao intervalo entre a segunda e a décima componente, relacionado à componente fundamental. O uso de até 600 Hz foi eficiente, uma vez que a intenção é apenas saber se há consumo em frequências maiores e não descobrir o tipo de equipamento que está provocando o consumo. Este cálculo foi realizado com a biblioteca Scipy¹³.

3.6 Eventos gerados

Diversas são as análises e processamento dos eventos que podem ser realizados com base na arquitetura descrita. Como este trabalho está diretamente ligado à segurança do paciente e das instalações, foram relacionados os seguintes eventos para serem processados e acionados:

- ligação de aquecedor elétrico (equipamento não permitido);
- excesso de corrente de fase;
- excesso de corrente de fuga.

Além dos eventos relativos a anormalidades na rede elétrica, existe um conjunto de valores que são detectados, comunicados, analisados e armazenados, porém representam situações normais de uso de equipamentos elétricos permitidos, dentro dos limites seguros. Esses eventos são denominados Eventos comuns (dentro da normalidade) e podem ser gerados, quando por exemplo, um equipamento comum e permitido é ligado, seja por paciente ou por um acompanhante. A Fig. 5 ilustra um fluxo de processamento dos eventos.

Um evento indicando um alerta de que um aquecedor elétrico foi ligado acontece quando for detectada uma vari-

ação da corrente RMS de fase maior que 1,8 A e o software verificar uma THD menor que 20% no sinal recebido desta ocorrência. A corrente de 1,8 A representa o consumo de uma resistência aquecedora de 400 W quando alimentada em 220 V, e a THD de 20% se mostrou eficiente nos testes com aquecedores que utilizam ventiladores acoplados e quando o consumo de corrente de um aquecedor elétrico está somado aos demais aparelhos do circuito.

Um evento indicando um elevado consumo de corrente de fase, ou sobrecorrente, além de prevenir possíveis ignições de incêndio por superaquecimento, é importante para prevenir o desligamento de disjuntores, que pode acarretar na falta de energia para aparelhos de suporte a vida. A corrente escolhida como limiar de alerta foi 12 A. Este valor representa 75% da corrente nominal do disjuntor de alimentação dos quartos com leitos, que é de 16 A. Desta forma, mesmo após o alerta, ainda existe uma margem de segurança que possibilita o uso de pequenas cargas antes da interrupção pelo disjuntor.

Para quartos hospitalares a norma NBR 5410 estabelece o valor de 30 mA como limite para estes disjuntores (Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, 2004). Sendo assim, o valor configurado para gerar um evento de alerta em relação a alta corrente de fuga foi de 22,5 mA, representando também 75 % da corrente limite para acionamento do DR.

4 Resultados

4.1 Ambiente de Execução dos Testes

A fim de verificar a efetividade do sistema desenvolvido, foi necessário simular o acionamento das cargas comuns ao dia a dia da assistência ao paciente, bem como acionar as estufas, alvo principal da pesquisa. Para isso, um dispositivo de acionamento com relés foi criado, de forma a energizar de maneira individual e temporizada conforme programação prévia, por um outro microcontrolador. Então um protótipo, com a TM4C e toroides juntamente com outra plataforma para controle do acionamento foi montado (Fig. 6).

Pode ser visualizado na Fig. 6 uma caixa com disjuntores, os TCs e a placa do microcontrolador. Este ambiente é composto pelos mesmos componentes encontrados no quadro de distribuição de um posto de enfermagem. Na parte inferior da figura, uma placa Arduino Uno com um display e tomadas para ligação das cargas submetidas aos testes.

Com este aparato, foi possível criar uma sequência de acionamentos capaz de indicar quantas vezes determinado aparelho foi ligado e comparar com as detecções informadas pelo algoritmo Python e banco de dados.

O ambiente foi complementado por um computador marca Acer, modelo Aspire V5, executando o software desenvolvido em Python para receber a comunicação da placa TM4C e o software de apoio.

4.2 Testes realizados

Os testes foram efetuados utilizando o ambiente descrito na Seção 4.1, criando uma sequência de acionamentos atra-

¹⁰<http://www.ti.com/lit/ug/spruex3t/spruex3t.pdf>

¹¹<https://numpy.org>

¹²<https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/multimetros-digitais/fluke-115>

¹³<https://www.scipy.org>



Figura 7: Estufas utilizadas nos testes

acesso oculto até as dependências do hospital. A mesma apresenta uma característica importante de ser avaliada que é o uso de um ventilador para circulação do ar quente, que pode levar ao consumo de corrente em harmônicas de ordem elevada. Apresenta um baixo custo, em torno de R\$ 59,00¹⁴.

A estufa 2 possui outra característica interessante de ser observada, que é o uso apenas de elementos resistivos, sem ventilação. São duas resistências individuais de 400W, e este valor representa um grande número de aquecedores elétricos comerciais, utilizados por diferentes fabricantes. Este aparelho apresenta um risco elevado de indução a incêndio devido a suas resistências serem dispostas próximas da grade de proteção. Embora o sistema possua um interruptor para desligar em caso de tombamento, uma peça de roupa, por exemplo, pode iniciar um sinistro se exposta por muito tempo sobre a mesma. Seu custo também é acessível, aproximadamente R\$ 119,00¹⁵.

Tabela 3: Equipamentos com cargas não permitidas utilizadas nos testes

Id.	Descrição	Potência (W)
F	Estufa 1	750 + 750
G	Estufa 2	400 + 400
H	Estufa 3	700 + 700

A estufa 3 é muito utilizada no HSVP, representando mais de 50 % dos aquecedores elétricos do parque instalado. A mesma utiliza dois elementos resistivos de 700W (muito utilizados pelos fabricantes deste ramo). Seu uso é permitido em alguns setores administrativos específicos mas que, quando seu consumo é somado aos demais aparelhos, pode provocar sobrecargas de corrente e interrupção de fornecimento de energia. A mesma não se encontra para comercialização nova, sendo possível encontrar apenas alguns itens usados.

O acionamento de equipamentos em sequência, por meio de relés, inicialmente apresentou alguns problemas, onde pequenas falhas na captura aconteciam. Isto é provocado pelo efeito *bouncing* (repique, *bounce*), onde por um curto espaço de tempo a chave do relé apresenta uma oscilação e não estabiliza totalmente fechada. Isto foi resolvido atrasando a captura dos dados em alguns ciclos da

rede (era feito uma média de cinco ciclos, equivalente a 83,3 ms, para tomar a decisão sobre a variação da corrente no firmware e passou-se a utilizar dez ciclos, equivalente a 166,6 ms). Após esta adequação a técnica se mostrou equivalente ao ato de ligar o plug de força à tomada ou o acionamento de sua chave liga/desliga.

Nos testes de acionamento dos aparelhos comuns ao uso nos quartos, foi respeitado um tempo mínimo entre o “ligar” e o “desligar”, onde os mesmos ficaram 10 segundos ligados e 10 segundos desligados. Um tempo muito curto entre a energização e desligamento poderia provocar a fadiga dos componentes eletrônicos, como fusíveis, capacitores e varistores. Para os aquecedores, cuja estrutura é mais robusta, um tempo menor foi empregado, deixando cinco segundos o aparelho ligado e cinco segundos desligado.

4.3 Testes com equipamentos comumente encontrados e permitidos

A Tabela 4 apresenta os resultados relativos aos testes com as cargas comuns, onde se espera que nenhuma detecção seja indicada, pois seria interpretado como falso positivo.

Tabela 4: Resultados dos testes com acionamento apenas dos aparelhos de assistência ao paciente.

Teste	Id.	Tensão	Acionamentos	Alertas
1	A	228	100	0
2	B	228	100	0
3	C	228	100	0
4	D	227	100	0
5	E	225	100	0

O acionamento das cargas (aparelhos) comuns não provocou nenhuma detecção devido a não ultrapassar o valor mínimo estabelecido de 1,8 A, necessário para o firmware detectar a ligação de um possível alvo. Para melhor entendimento, a Fig. 8 mostra o comportamento da corrente RMS do circuito de alimentação, quando é simulado a ligação de alguns aparelhos permitidos e um aquecedor elétrico.

A Fig. 8 contém um exemplo simples de como se comporta a corrente que circula pelo disjuntor que alimenta vários aparelhos que podem ser utilizados nos quartos hospitalares. No caso no momento marcado como “1”, a Bomba de Infusão é energizada (ligada na tomada) e no instante “2” ela é ligada (inicializada), apresentando pequeno incremento na corrente. No instante “3” o monitor multiparamétrico é energizado e em “4” o mesmo é ligado e consome um pouco mais de energia. Em “5” o ventilador pulmonar é energizado, apresentando mais um degrau de corrente e posteriormente, mesmo sendo ligado não apresenta grande variação de consumo devido a sua lenta inicialização. Até o instante “6”, a soma da corrente de todas as cargas fica em torno de 0,5 A e esta interação na rede elétrica não foi interpretado pelo firmware como uma possível ligação de um aquecedor, não sendo necessário o envio dos sinais. No entanto, no instante “6”, uma estufa é ligada e o consumo de corrente varia bruscamente (em

¹⁴<https://www.amazon.com.br/Aquecedor-Macro-Termoventil-Potencia-Branco/dp/B076LVNFKM>. Cotação dia 10/07/2023

¹⁵<https://www.magazineluiza.com.br/aquecedor-de-ambiente-quarto-ventisol-800w-2-niveis-de-temperatura/p/ba2ag33deb/ar/ara> e Cotação dia 10/07/2023

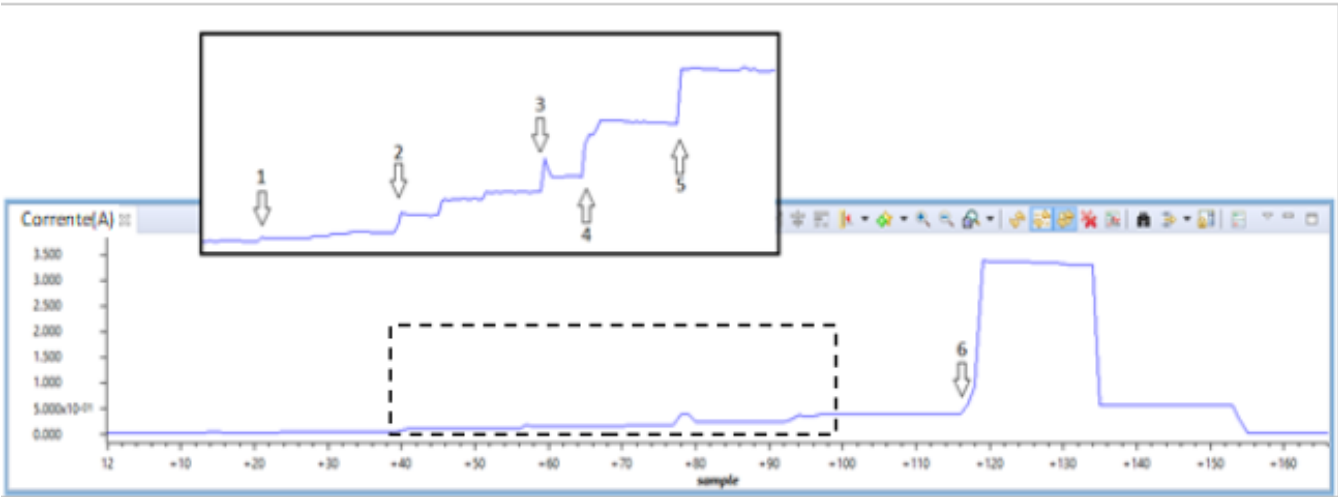


Figura 8: Leitura de corrente das cargas de baixo consumo e degrau provocado com a ligação de um aquecedor. O eixo y representa a corrente em amperes e o eixo x a sequência das amostras

Tabela 5: Resultados dos testes com cargas não permitidas combinadas com outros equipamentos

Teste	Equipamentos	Aquecedor	Potência (W)	Tensão (V)	Acionamentos	Alertas
6	Sem Carga	F	750	230	100	100
7	Sem Carga	F	1500	230	100	100
8	Sem Carga	G	400	229	100	99
9	Sem Carga	G	800	222	100	100
10	Sem Carga	H	700	229	100	100
11	Sem Carga	H	1400	222	100	100
12	A+B+C+D	F	750	228	100	100
13	A+B+C+D	F	1500	228	100	100
14	A+B+C+E	G	400	230	100	100
15	A+B+C+E	G	800	224	100	100
16	B+C+D+E	H	700	227	100	100
17	B+C+D+E	H	1400	224	100	100

torno de 3,0 A, relativo a um aquecedor de 700 watts) e assim os dados são capturados e enviados.

4.4 Testes com cargas não permitidas

Na Tabela 5 é possível visualizar os testes dos aquecedores descritos na Tabela 3 (Equipamentos F, G e H), ao serem ligados quando ainda nenhuma carga está ligada nas tomadas, nomeado na tabela como “Sem Carga” e também, a partir do teste 12, quando já existe o consumo de algumas cargas ligadas (aparelhos da Tabela 2).

Neste conjunto de testes, o monitoramento se comportou como esperado em praticamente todos os acionamentos. Apenas na sequência de testes 8 onde um evento de acionamento foi perdido. Uma análise no banco de dados mostrou que o evento sequer foi gerado e não foi o caso de uma falha no software ou no firmware. Isso aconteceu porque a potência de 400 W produz um consumo de corrente próximo ao limiar de detecção configurado (1,8 A) e, possivelmente, o valor de corrente médio calculado no firmware ficou próximo, porém não acima deste valor. Um limite menor poderia ser configurado, porém sob o preço de detectar ligações de cargas menores do que as cargas

de 400 W.

A partir do teste 12, ao incluir as cargas de equipamentos permitidos, sejam de assistência ao paciente ou de uso de acompanhantes, as cargas foram unidas no sentido de verificar como a solução iria se comportar com cargas permitidas e não permitidas no mesmo circuito. O objetivo é verificar se alguma combinação poderia fazer com que não fossem gerados alertas.

Pode-se perceber que a captura de um evento de mudança brusca de corrente, aliada à análise das harmônicas apresentadas logo após este instante gera o alerta que se trata da ligação de um aquecedor elétrico. Os testes ainda mostraram que é possível detectar a ligação de um aquecedor mesmo quando outros aparelhos comuns na rotina hospitalar estiverem sendo utilizados no mesmo circuito.

As simulações mostraram a correta detecção dos aquecedores elétricos e a não interferência dos aparelhos hospitalares ou de acompanhantes. Não foram detectados falsos positivos. Entretanto, foi ampliada a busca por cargas que pudessem ocasionar falsos alertas, por terem correntes próximas dos aquecedores.

4.5 Testes com cargas de elevada potência, porém permitidas

Alguns aparelhos utilizados em hospitais, como as Unidade de Aquecimento de Paciente, possuem um elevado consumo elétrico, compatíveis com algumas das estufas submetidas a testes. Nestes equipamentos o ar é aquecido em compartimento fechado e conduzido por meio de uma tubulação até o paciente. Um colchão de ar quente é criado sob o mesmo, e não apresenta risco devido ao molhamento, cortes, perfurações, impactos e atividades normais ao atendimento do paciente.

No HSVP podem ser encontrados alguns desses equipamentos:

- Unidade de aquecimento 1 Bair Hugger, da marca 3M, com consumo de 1200 W (equipamento I) ¹⁶;
- Unidade de aquecimento 2 Warm Touch, da marca Covidien, com consumo de 1200 W (equipamento J) ¹⁷;

O uso deste tipo de aquecedor não é comum em quartos de internação mas em setores de cuidados críticos como Centro Cirúrgico, Unidades de Terapia Intensiva e Unidades de Recuperação. No HSVP, existem 20 unidades distribuídas em quatro UTIs e três Centros Cirúrgicos. No entanto, a análise do dispositivo é interessante devido a sua potência ser similar a de muitas estufas alvos do monitoramento e se, por ventura for utilizado nos quartos, pode equivocadamente provocar detecções por parte do sistema desenvolvido. As características dos equipamentos e resultados de testes podem ser visualizados na Tabela 6, sendo que a tensão utilizada na alimentação dos testes apresentados foi de 225 V.

Tabela 6: Resultados das simulações de sobrecorrente de fase e fuga de corrente

Teste	Equipamento	Acionamentos	Alertas
18	I	100	2
19	J	100	129

De acordo com os dados da Tabela 6 é possível perceber que o monitoramento apresentou bom desempenho quando o equipamento I (Bair Hugger) foi submetido aos testes, apresentando apenas duas detecções. No entanto, o equipamento J (Warm Touch) quando submetido aos testes obteve resultados errados (falsos positivos), chegando a registrar mais detecções que o próprio número de acionamentos.

Ao investigar os motivos dos resultados percebeu-se que o equipamento I controla a potência da resistência através do controle da corrente conforme o ângulo de fase de sua alimentação. Isto provoca a forma de onda de consumo conforme mostrado na Fig. 9, onde é possível perceber o consumo de corrente também nas componentes harmônicas superiores à fundamental. A duas falsas detecções se devem, em algum momento, ao acionamento instantâneo

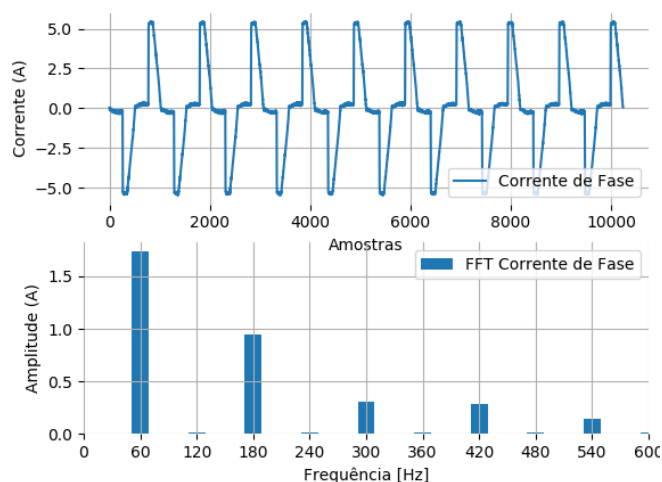


Figura 9: Sinal adquirido e resposta em frequência relativos ao consumo do equipamento I

de 100% de sua potência, criando o degrau de corrente RMS e o espectro de frequências muito semelhante a um aquecedor elétrico.

O equipamento J não pode ser diferenciado de uma estufa devido a seu controle de potência ser feito através da técnica On/Off, onde a potência é regulada através da quantidade de ciclos de alimentação entregues à resistência. Quando na etapa On, o aparelho fornece o período completo da senoide, enquanto na etapa Off simplesmente é cortado o fornecimento de corrente e o número de ciclos é variado conforme a temperatura a ser alcançada. Este comportamento pode ser visualizado na Fig. 10.

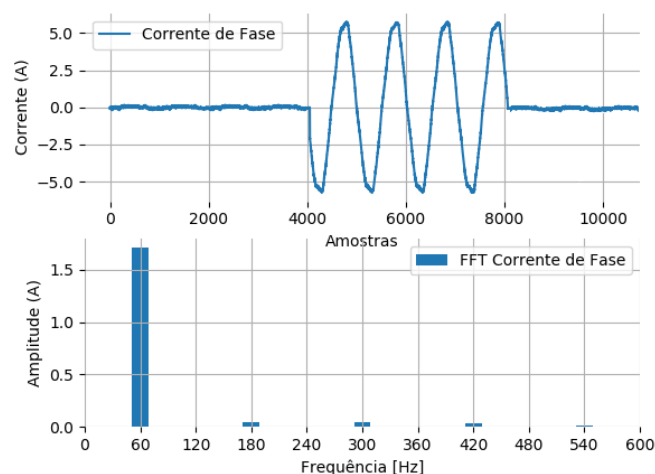


Figura 10: Sinal e resposta em frequência relativos ao consumo do equipamento J

O número maior de detecções em relação aos acionamentos dos testes com o Equipamento J se deve ao fato de que, em alguns momentos, o aparelho gera uma sequência de ciclos intermitentes. Neste momento, tanto o firmware que faz a detecção da corrente RMS necessária para envio

¹⁶https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/p/d/v101163101/

¹⁷<https://www.medtronic.com/covidien/en-us/products/temperature-management/warmtouch-wt6000-warming-unit.html>

dos dados quanto o software Python que verifica o conteúdo harmônico, não diferenciaram este sinal de uma estufa de 700 Watts, mostrado na Fig. 11.

4.6 Testes com excesso de corrente de fase e de fuga

A fim de verificar a eficiência na detecção de excesso de corrente de fase foram utilizados os aquecedores (Tabela 3, Fig. 7) de 1500 W, 800 W e 400 W, ligados em conjunto buscando ultrapassar o consumo de corrente ao limite ajustado de 12 A (Teste 20). No teste da corrente diferencial (de fuga) foram usados resistores associados ligados entre a conexão de fase e de terra (Teste 21). O objetivo é criar uma resistência aproximada de 9,5 K Ω a fim de provocar uma fuga de corrente de aproximadamente 23 mA. A Tabela 7 contém os resultados dos acionamentos.

Tabela 7: Resultados dos testes com as Unidades de Aquecimento de Paciente

Teste	Corrente(A)	Tensão	Acionamentos	Alertas
20	12,07	219	100	100
21	0,028	220	100	100

É importante salientar que, em caso de uma carga de corrente tão alta (Teste 20), o disjuntor pode desarmar, causando transtornos aos pacientes ocasionado o desligamento de algum equipamento usado em terapia. Além disso, o desarme de um disjuntor pode ocasionar desconforto e insegurança também aos acompanhantes, uma vez que podem imaginar que algum problema está correndo na rede elétrica (e nesse caso, realmente está ocorrendo).

Em relação as detecções de excesso de corrente de fuga, deve-se salientar que no caso da ocorrência dessa corrente, mesmo que em valores baixos, isso pode ser causador de problemas a pacientes, acompanhantes e equipe clínica. A corrente de fuga é percebida quando alguém sente uma descarga elétrica, similar a um “choque” o que é descon-

fortável e causa apreensão. Além disso, em alguns casos pode ser perigosa caso chegue a valores elevados e o quarto não contar com DRs, o que nem sempre ocorre em hospitais (e não é o caso do HSVP, que conta com seus quartos equipados com DR). O risco se traduz principalmente no caso do paciente se recuperar de alguma cirurgia, onde sua pele foi rompida, ou em casos onde pode ocorrer fadiga muscular, caso o paciente esteja inconsciente e a descarga perdurar por algum tempo.

4.7 Análise dos resultados dos testes

Os resultados obtidos com as simulações possibilitaram uma validação para a prova de conceito do projeto de supervisão da rede elétrica em busca de equipamentos não permitidos, mostrando que o protótipo se comportou de forma satisfatória, criando os alertas corretamente quando os aquecedores elétricos foram ligados. Corroborando com a correção dos resultados o fato que na ligação de equipamentos permitidos comuns a pacientes e acompanhantes (Equipamentos D e E) não houveram falsos positivos.

A ligação de aquecedores de ambiente apresenta um consumo de corrente elétrica peculiar e com distribuição do conteúdo harmônico de forma distinta da maioria dos demais aparelhos utilizados comumente no atendimento de um estabelecimento de saúde. Enquanto uma estufa consome a maior parte da sua corrente na componente fundamental da frequência da rede elétrica, os monitores multiparamétricos, bombas de infusão e carregadores de celular, por exemplo, apresentam uma grande parte do consumo até a décima harmônica.

Os testes comprovaram ainda que é possível detectar a sobrecorrente que antecede ao desligamento dos disjuntores e também a alta corrente de fuga anterior à interrupção pelos DRs, melhorando a segurança elétrica para pacientes, equipe e acompanhantes.

O desenvolvimento do trabalho comprovou que, para o monitoramento proposto, não se faz necessário a leitura da tensão de alimentação das cargas, implicando em menor custo de hardware e menor processamento de dados. Por outro lado, a medida da tensão pode informar se uma possível variação de 10% causaria uma detecção errada em cargas próximas de 400 Watts.

Como limitação, pode-se descrever a detecção das Unidades de Aquecimento (Equipamentos I e J), os indicando como equipamentos não permitidos (falsos positivos). Tal fato apenas reforça que outras formas de confirmação devem ser utilizadas quando existir a possibilidade de aplicação destes aparelhos nos quartos hospitalares.

4.8 Software para visualização de eventos de alerta

Durante o desenvolvimento dos testes, foi utilizada a IDE Pycharm¹⁸ para a visualização dos dados coletados. Esta estrutura foi satisfatória para o desenvolvimento da pesquisa, porém não se torna prática e intuitiva para ser usada nos setores de Engenharia Clínica nem tampouco em pos-

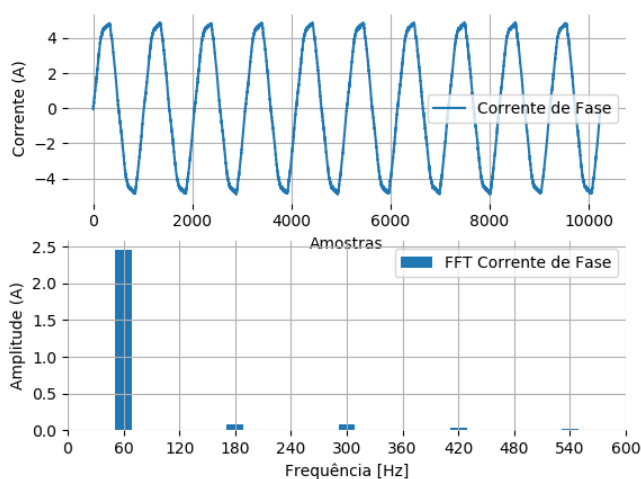


Figura 11: Sinal e resposta em frequência relativos a ligação da estufa de 700W

¹⁸ <https://www.jetbrains.com/pycharm/>

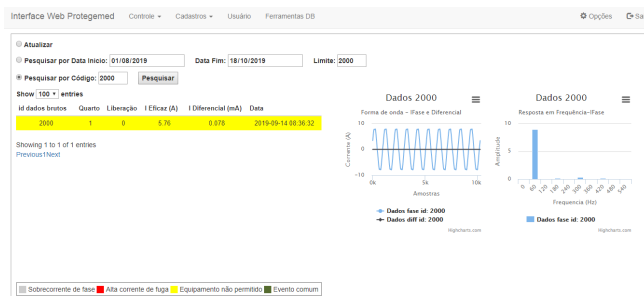


Figura 12: Página web para visualização dos dados e dos alertas gerados

tos de enfermagem. Dessa forma, foi desenvolvida uma página Web, que pode ser constantemente acessada no setor de Engenharia Clínica ou mesmo, quando necessária acessada num posto de enfermagem, a fim de agilizar as ações para mitigar possíveis eventos adversos (Fig. 12).

A página foi desenvolvida de acordo com o padrões de usabilidade e interface do projeto Protegemed, em linguagem PHP, acessando o BD Mysql que armazena os eventos coletados e processados, bem como os alertas gerados. É possível visualizar eventos e facilmente verificar o que são, de acordo com uma escala de cores de fundo dos eventos. São visíveis eventos de sobrecarga de fase (cinza) ou de fuga (vermelho), eventos de equipamentos não permitidos (amarelo) e ainda eventos comuns. No caso da Fig. 12, está sendo mostrada uma ligação de equipamento não permitido.

Além da visualização dos eventos, algumas funcionalidades básicas foram implementadas, tais como a busca dos eventos utilizando filtros como tipo de evento e data de ocorrência. Para cada evento é possível visualizar a forma de onda e também sua decomposição em frequência (Fig. 12). Essas informações dos eventos pode auxiliar os profissionais da área de engenharia clínica em análises detalhadas sobre o consumo elétrico no momento da geração dos alertas, podendo ainda contribuir para a melhoria da solução de supervisão elétrica desenvolvida.

5 Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia para detectar cargas elétricas não permitidas em ambientes hospitalares mostrando os componentes e os recursos de software para fundamentar o trabalho. Estas cargas podem conduzir a situações de falhas elétricas que podem resultar em desligamento de disjuntores e equipamentos de suporte a vida ou mesmo princípio de incêndio, que seriam situações extremamente danosas e perigosas.

A pesquisa e o desenvolvimento do trabalho mostram que é possível supervisionar a rede elétrica de forma não invasiva e detectar a ligação de aparelhos indesejados, que oferecem riscos às instalações hospitalares devido ao grande consumo de corrente e ainda, em alguns casos, diferenciar o tipo de aparelho por meio da análise da forma de onda da corrente elétrica.

Os valores limites utilizados para geração dos alertas de fuga de corrente se mostraram eficientes, de modo que um

limiar próximo ao desligamento dos Disjuntores Residuais pode ser configurado ou, na ausência destes, trazer um monitoramento sobre este parâmetro. Um trabalho que pode ser implementado futuramente é a detecção de falhas de isolamento elétrico em aparelhos de ar-condicionado nos quartos ou em incubadoras neonatais.

A evolução deste processo de supervisão, com melhorias no firmware e software, pode detectar o dia:hora:minuto:segundo do acionamento e tempo de funcionamento de outros equipamentos, como da bomba de infusão de medicamentos. No caso específico da bomba de infusão, é possível usar esta informação para comparar com o registro do momento de infusão feito pelos profissionais de enfermagem. Isto pode ser importante para detectar falhas de digitação destes momentos no prontuário do paciente. Estes processos de supervisão, como foco na segurança do paciente, estão sendo alvo de preocupação dos hospitais, como do HSVP. Cada quarto poderá ser monitorado e informar em que momentos as bombas de infusão foram acionadas, começaram e girar (infundir o medicamento) e quando pararam.

O monitoramento ainda se mostrou importante no alerta do limite de corrente do circuito elétrico podendo nortear as equipes de engenharia e manutenção dos hospitais para rever o dimensionamento da rede elétrica, atuando preventivamente aos desligamentos indesejados e fadiga dos componentes da instalação.

O monitoramento implementado também mostrou que com as informações geradas ao longo do tempo, as brigadas de incêndio e responsáveis pela segurança das instalações podem emitir notificações individuais aos setores e propor treinamento de pessoal, visando a prevenção de incêndio.

Entendemos que a proposta de detecção de cargas hospitalares não permitidas pode ser aperfeiçoada para, usando a mesma estrutura desta prova de conceito, conseguir outras aplicações alterando parte do firmware e do software, tornando-se este o ponto de partida para outras pesquisas.

Como trabalhos futuros, uma implementação com hardware reduzido, de menor custo pode ser investigada para uma implantação da metodologia, comprovada por esta prova de conceito, em larga escala em ambientes hospitalares (e de outras instituições de saúde).

Acknowledgments

Ao Hospital São Vicente de Paulo, pela possibilidade da realização deste trabalho em seu ambiente.

Referências

- Alkış, S., Aksoy, E. and Akpınar, K. (2021). Risk Assessment of Industrial Fires for Surrounding Vulnerable Facilities Using a Multi-Criteria Decision Support Approach and GIS, *Fire* 4(3): 53. <https://doi.org/10.3390/fire4030053>.
- Andrade, P. and Cruz, I. (2016). Fires prevention: systematic review of the literature, *Journal of Specialized Nursing Care* 8(1).

- ANVISA (2014). *Segurança contra Incêndio em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde*, 1 edn, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília, DF.
- Anvisa (2020). *Segurança no Ambiente Hospitalar, Technical report*, Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2004). Nbr 5410 - instalações elétricas de baixa tensão.
- Boylestad, R. L. (2004). *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*, 8 edn, Pearson Prentice Hall, São Paulo, SP.
- Calil, S. J. and Teixeira, M. S. (1998). *Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos Hospitalares*, 1 edn, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Campbell, R. (2017). Structure Fires in Health Care Facilities, *Technical report*, NFPA No. USS99, National Fire Protection Association® (NFPA®), 1 Batterymarch Park Quincy, MA 02169-7471. Available at <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/oshealthcarefacilities.pdf>.
- Campbell, R. (2022). Home Heating Fires, *Technical report*, NFPA No. USS09, National Fire Protection Association® (NFPA®), 1 Batterymarch Park Quincy, MA 02169-7471. Available at <http://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/US-Fire-Problem/Fire-causes/osHeating.pdf>.
- de Carvalho, P. R. and Coutinho, M. d. M. (2017). Noções gerais sobre biossegurança e a questão do incêndio, *Rede de frio: gestão, especificidades e atividades*, Editora FIO-CRUZ, pp. 327–347. <https://doi.org/10.7476/9786557080962.0016>.
- de Figueiredo, J. A. O. (2016). *Aquisição de grandezas elétricas: Definição de arquitetura, método e validação em protótipo*, Master in Applied Computing, Graduate Program in Applied Computing at University of Passo Fundo.
- dos Santos, J. C. (2017). *Atualização de hardware e firmware do Protegemed*, Master in Applied Computing, Graduate Program in Applied Computing at University of Passo Fundo.
- Hospital São Vicente de Paulo (2021). Relatório Social 2021, *Technical report*, Hospital São Vicente de Paulo, Passo Fundo. Available at <https://hsvp.com.br/publicacoes/13/156/relatrio-social-2021>.
- IEC (2002). Electrical Installations of Buildings—Requirements for Special Installations or Locations—Medical Locations, Part 710.413.1.5, IT System, IEC 60364-7-710.
- Isoni, M. (2004). A eficiência energética e seus possíveis efeitos sobre equipamentos e instalações, *Revista Eletricidade Moderna* 363: 92 – 118.
- Juyal, S., Tabassum-Abbasi, Abbasi, T. and Abbasi, S. A. (2023). An Analysis of Failures Leading to Fire Accidents in Hospitals; with Specific Reference to India, *Journal of Failure Analysis and Prevention* 23(3): 1344–1355. <https://doi.org/10.1007/s11668-023-01668-x>.
- Liu, D., Xu, Z., Wang, Y., Li, Y. and Yan, L. (2023). Identifying fire safety in hospitals: Evidence from Changsha, China, *Alexandria Engineering Journal* 64: 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.08.055>.
- Lucas, M. A. (2018). *Métodos para captura de formas de onda de corrente elétrica visando a detecção da degradação do isolamento de equipamentos eletromédicos*, Master in Applied Computing, Graduate Program in Applied Computing at University of Passo Fundo.
- Mella, M. J. (2019). *Medidor de energia elétrica por eventos*, Master in Applied Computing, Graduate Program in Applied Computing at University of Passo Fundo.
- Omidvari, F., Jahangiri, M., Mehryar, R., Alimohammadlou, M. and Kamalinia, M. (2020). Fire Risk Assessment in Healthcare Settings: Application of FMEA Combined with Multi-Criteria Decision Making Methods, *Mathematical Problems in Engineering* 2020: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.08.055>.
- Philips Clinical Informatics (2019). Tasy EMR.
- Phipps, J., Nelson, J. and Sen, P. (1991). Power quality and harmonic distortion on distribution systems, [Proceedings] 1991 Rural Electric Power Conference. Papers presented at the 35th Annual Conference pp. D1/1–D11. <https://doi.org/10.1109/REPCON.1991.153093>.
- Rebonatto, M. T. (2015). *Métodos para Análise de Correntes Elétricas de Equipamentos Eletromédicos*, Doutorado em ciência da computação, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.
- Santos, J. C. d., Spalding, L. E. S. and Rebonatto, M. T. (2020). Hardware analysis for upgrading the embedded component of protegemed, *IEEE Latin America Transactions* 18(1): 171–177. Disponível em <https://latamt.iee.org/index.php/transactions/article/view/1935>.
- Seito, A. I., Gill, A. A., Pannoni, F. D., Ono, R., Bento, S., Carlo, U. D. and Pignatta, V. (2008). *A segurança contra incêndio no Brasil*, Editora Projeto, São Paulo, SP.
- Sharma, R., Bakshi, H. and Banerjee, A. (2020). Fire Safety Hazards: How Safe Are Our Hospitals?, *Indian journal of community medicine : official publication of Indian Association of Preventive & Social Medicine* 45(1): 104–105. <https://doi.org/10.1007/s11668-023-01668-x>.
- Silva, M. C. I. (2004). Harmônicas - Os efeitos da eficiência energética sobre os equipamentos e instalações., *Revista Eletricidade Moderna* 362: 136 – 156.
- Silva, T. M. O. S. (2010). *Segurança Contra Incêndio Em Hospitais*, Mestrado integrado em engenharia civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em <http://www.lmc.ep.usp.br/grupos/gsi/wp-content/nutau/gill.pdf>.
- Spalding, L., Carpes, W. and Batistela, N. (2009). A Method to Detect the Microshock Risk During a Surgical Procedure, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 58(7): 2335–2342. <https://doi.org/10.1109/TIM.2009.2013925>.

Texas Instruments (2016). The TM4C1294 Connected LaunchPad Evaluation Kit: User Guide, *User guide*. Available at <http://www.ti.com/lit/ug/spmu365c/spmu365c.pdf>.

Wangwiwattana, S. and Yoshikazu, K. (2022). Joule Heating and Arc-Fault-Induced Electrical Fires for Commercial-Grade Copper and Brass in Low-Voltage Electrical Systems, *Applied Sciences* **12**(9): 4710. <https://doi.org/10.3390/app12094710>.