

Hardware Analysis for Upgrading the Embedded Component of Protegemed

J. Santos, L. Spalding, and M. Rebonatto

Abstract—The Protegemed platform is comprised of an embedded component and several other components designed to capture and analyze electrical currents of electromedical equipment in operating rooms and intensive care units. Differential currents in electromedical equipment have proven to be dangerous for patients. The Protegemed platform can help detect these currents and help research to develop better and safer equipment. In addition, the Protegemed platform can increase electrical safety in surgical procedures. Today, the Protegemed platform uses a 32-bit ARM Cortex M3 microprocessor (MBED with an LPC178 Microcontroller Unit), but there are new features expected and the hardware is not enough, for example, to analyse the voltage and the ground leakage current. This article focused on researching, comparing options and selecting the best option to replace the current hardware of the embedded component. Initially, two groups of hardware options were selected, evaluating some models of each. The components surveyed were Single Board Computers and Mixed Signal Processors. In the second phase, the best option of each group was compared. The comparison takes into special consideration the performance of the system for digital analogue conversion. Research has shown that within Single Board Computing, Udoe Dual Lite is better than the other options analyzed and TM4C1294 is a better component among Mixed Signal Processor options. Between the Udoe Dual Lite and TM4C1294 options, the latter was the best choice to upgrade the embedded component of the Protegemed platform. The current firmware will be adapted for this hardware and the new features of the Protegemed platform can be implemented.

Index Terms—Electromedical equipments safety, Leakage current, Microshock, Embedded computing.

I. INTRODUÇÃO

A Plataforma PROTEGEMED foi criada para aumentar a segurança elétrica em procedimentos cirúrgicos e em locais de cuidados intensivos a pacientes, como em Unidades de Terapia Intensiva. A partir das informações coletadas e processadas pela plataforma é possível realizar o monitoramento dos dados de consumo elétrico de Equipamentos Eletromédicos (EEM) usados em procedimentos cirúrgicos. Quando houver algum problema, haverá um registro da informação, sendo possível a substituição do EEM para posterior manutenção. A arquitetura atual da plataforma é organizada em quatro elementos: um componente de computação embarcada, um servidor Web local, um banco de dados e um *software* de apoio [1].

Júlio Cesar dos Santos é professor do Curso de Engenharia de Computação da Universidade de Passo Fundo.

Luiz Eduardo Schardong Spalding é pesquisador junto ao Hospital São Vicente de Paula e colaborador da empresa Elomed Equipamentos Eletrônicos, Passo Fundo.

Marcelo Trindade Rebonatto é Professor do Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS, Brasil e-mail: rebonatto@upf.br .

A parte de *hardware* da plataforma Protegemed fica embarcada em painéis de gases e tomadas, utilizados em ambientes hospitalares. Atualmente é empregado um microcontrolador (Microcontroller Unit - MCU) de tecnologia *Advanced Risc Machine* (ARM) LPC1768, encapsulado num MBED como elemento central de processamento embarcado. Basicamente três etapas são executadas: aquisição, análise e comunicação. Na etapa de aquisição, os eventos de fuga, que neste texto são considerados como fuga de corrente elétrica para um caminho impróprio, são capturados durante o procedimento cirúrgico ou outro uso da plataforma [2], [3]. Esse caminho impróprio pode conduzir a passagem de uma corrente elétrica pelo paciente. Isso pode ocorrer quando a corrente utiliza o corpo do paciente como elemento de conexão entre um Equipamento Eletromédico e a instalação elétrica ou entre dois EEM.

Atualmente, são utilizados dois MBEDs, além de um *switch* de rede em cada painel, uma vez que em geral eles possuem seis tomadas elétricas. Essa configuração permite a supervisão elétrica de 12 canais: seis de corrente de fuga e seis de corrente de alimentação. A partir dos avanços das pesquisas realizadas com a plataforma, novas funcionalidades tornaram-se necessárias para continuar realizando uma supervisão elétrica dos EEM, como por exemplo, o monitoramento da tensão e da corrente de fuga para o terra, entre outros. Porém, com o componente de *hardware* (embarcado) atual, não há recursos de físicos disponíveis.

Com a atualização do componente de computação embarcada espera-se obter um menor custo por painel monitorado, menor tempo de montagem do hardware, possibilidade de realizar upgrades de *Firmware* (FW) através da rede *Ethernet* e recursos, entre eles memória RAM, suficientes para atender novas funcionalidades.

A. Plataforma Protegemed

Para a aquisição dos dados, a plataforma Protegemed utiliza um Transformador de Corrente (TC) (também conhecidos como toroides) na configuração diferencial, similar ao trabalho de Aguada et al. [4]. Nesta configuração ambos os condutores de alimentação passam no interior do TC e, se a tensão induzida ao secundário é nula, não existe corrente de fuga [2]. O valor da saída do TC é condicionado por um amplificador de instrumentação e inserido no canal de conversão Analógico/Digital (AD - *Analog to Digital Converter*) do MCU [2]. Esta aquisição se caracteriza por um conjunto de 256 valores, com resolução de 12 bits [5] de um período da Forma de Onda (FO) da corrente diferencial em um ciclo

de 60Hz, ou seja, 16,6 milissegundos (ms). Outro TC é utilizado para monitorar a corrente de alimentação do EEM. Neste caso, o tempo de utilização e a FO são utilizados no acompanhamento de sua vida útil.

Na análise, os dados lidos pelo AD são trabalhados para se obter o valor eficaz da corrente diferencial e comparados com limites estabelecidos previamente, por exemplo, se este valor excedeu 50 microamperes (μA), no TC que mede a corrente diferencial, um evento de fuga é gerado [5]. O tempo de uso é obtido pelo registro de eventos de “LIGA” (corrente de alimentação acima de 0,1 A, por exemplo, no TC da corrente de alimentação). Para isso, cada EEM possui um cadastro, onde constam, além do seu tipo, o modelo e as FOs de referência, como no momento de sua primeira utilização, a cada ano ou a cada manutenção preventiva realizada. Isto é importante porque os valores eficazes das correntes diferencial e alimentação e as suas FOs de referência podem ser comparados. Pretende-se assim verificar se é possível determinar o grau de deterioração do isolamento do EEM.

Ao detectar eventos, sejam de fuga (TC de corrente diferencial) ou de liga (TC de corrente de alimentação) os dados adquiridos são tratados, agrupados e preparados para transmissão por meio da porta *Ethernet*. Eventos de fuga marcam o início de uma corrente diferencial e possuem um evento correspondente que marca o final da fuga. Da mesma forma, um evento de liga marca o início de uma corrente de alimentação, possuindo igualmente um evento que marca o desligamento dessa corrente.

Para determinar qual EEM está conectado a tomada que está sendo monitorada, um circuito de identificação por radiofrequência (RFID – *Radio Frequency Identification*) é utilizado. A ideia de utilizar a tecnologia RFID para a identificação de EEM é similar a empregada em [6]. O receptor está instalado no entorno da tomada, enquanto o transmissor é posicionado no plugue de conexão do EEM [7].

Uma visão geral da aplicação do sistema Protegemed é apresentada na Figura 1, onde se pode visualizar a localização do Protegemed, funcionando em uma sala cirúrgica com EEM alimentados por um sistema IT-Médico [8].

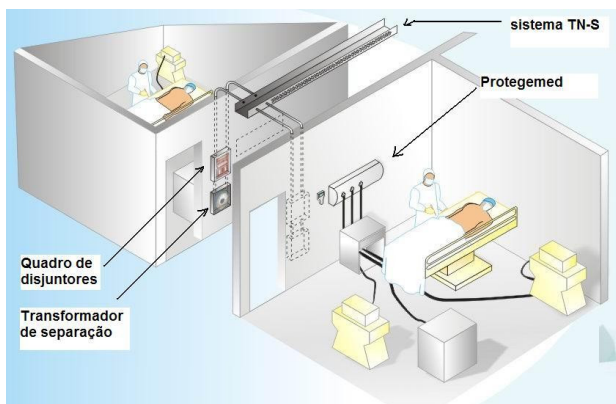


Fig. 1. Sala cirúrgica com sistemas de alimentação elétrica e plataforma Protegemed.

A energia elétrica é fornecida, inicialmente, no sistema de aterramento TN-S. Ele passa a chamar IT-médico a partir do

transformador de separação e seu quadro de disjuntores, que contem também o dispositivo de supervisão de isolamento. Na Figura 2 pode ser visualizado o transformador isolador e o Dispositivo de Supervisão de Isolamento (DSI).

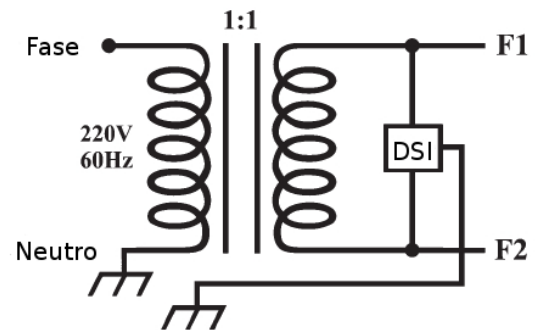


Fig. 2. Sistema IT-Médico: transformador isolador, Dispositivo de Supervisão de Isolamento, condutores de alimentação e aterramento.

A adoção de um sistema de alimentação elétrica isolado, como o IT-Médico, em ambientes hospitalares se justifica pelo aumento da segurança elétrica. Num sistema convencional (TN-S), um primeiro contato indevido do condutor fase com um ponto aterrado causaria uma interrupção da alimentação elétrica, desarmando o disjuntor de proteção. Esse contato acidental pode ainda produzir uma faísca, que poderia iniciar fogo devido a alguns gases anestésicos inflamáveis (atualmente, raramente são utilizados). Em um sistema de alimentação elétrica IT-Médico, um contato acidental de um condutor de alimentação com o terra não provocaria faísca, uma vez que ele não é referenciado ao condutor de aterramento [2].

O componente embarcado do Protegemed encontra-se no interior dos painéis de gases e tomadas. O exemplo da Figura 3 está na sala 1 do Centro Cirúrgico do Hospital São Vicente de Paulo (HSVP) de Passo Fundo, RS [5].

A plataforma busca deixar o monitoramento das correntes, em especial a de fuga, transparente a equipe médica, conforme pode ser notado ao analisar a Figura 3. A visão frontal de um painel equipado com a plataforma Protegemed (incluindo o componente de computação embarcada) é similar à de qualquer outro painel de gases e tomadas.

A Figura 4 contém um esquema do sistema de aquisição dos valores de corrente e identificação do EEM através de RFID para cada tomada elétrica monitorada.

Na Figura 4, os elementos identificados por 1 e 2 são TCs. Um mede a corrente de alimentação (1) e o outro (2) a diferencial (Fuga). Os TC são de material nanocristalino, com 100 espiras de fio de cobre esmaltado. O elemento 3 representa a antena para ativação do sinal de leitura da etiqueta RFID. Ela fica posicionada ao redor do plugue da tomada de alimentação dos EEM, composta de 120 espiras de fio de cobre esmaltado 32AWG. O bloco 4 da Figura 4 representa o condicionador de sinal, composto de amplificador de instrumentação e filtro *anti-aliasing* com frequência de corte ajustada em 750Hz, sendo um para cada corrente lida. A leitura da etiqueta de RFID é realizada pelo HTRC110 em conjunto com um LPC1113, ARM CortexM0, comunicando-se de forma serial com o MCU



Fig. 3. Visão frontal do painel que contém as tomadas elétricas monitoradas.

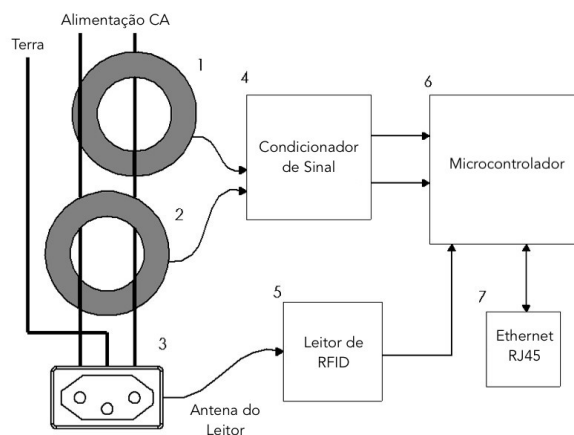


Fig. 4. Sistema de aquisição para corrente diferencial, de alimentação e identificação por RFID.

(6). O bloco 7 representa uma porta para conexão Ethernet, por meio de um conector RJ-45.

Os elementos 1, 2, 3, 4 e 5 da Figura 4, são individuais por tomada, ou seja, devem ser replicados num painel. Cada tomada necessita de dois canais analógicos, um para o sinal de corrente diferencial e outro para a corrente de alimentação, totalizando 12 canais analógicos por painel.

O MCU utilizado atualmente é um NXP LPC1768 (encapsulado em um MBED). Cada mbed possui seis canais, portanto dois deles são necessários em cada painel. Além disso, um *switch* de rede é utilizado para a conexão dos MBEDs à rede *Ethernet* do hospital, ver Figura 5.

Os condicionadores de sinal estão na placa de circuito impresso, onde os MBEDs estão instalados. Outro ponto, de difícil visualização na Figura 5, são as antenas RFID, instaladas ao redor das tomadas.

As atualizações de *firmware* são realizadas pela porta *Universal Serial Bus* do MBED sendo necessário abrir o painel para realizá-las. Tal tarefa requer, além de tempo, acesso ao Centro Cirúrgico, o que, por ser um ambiente controlado e de alta utilização, nem sempre está disponível.

B. Trabalhos Relacionados

Com pelo menos três décadas de existência, a plataforma *Protegemed* vem contribuindo de forma significativa com a melhoria da segurança elétrica em procedimentos cirúrgicos e ambientes de cuidados intensivos aos pacientes [2], [5]. Alguns dos trabalhos, já mostraram a evolução da plataforma como a migração do MCU 8051 e adição da identificação por RFID [7]. A adição de periculosidade ao paciente de eventos de microchoque [3] foi outra evolução da plataforma.

Além de trabalhos relacionados a plataforma, diversos outros em segurança elétrica de EEM em uso com pacientes já foram desenvolvidos a partir da plataforma *Protegemed*. Por exemplo, pode-se citar a colaboração com pesquisadores do Reino Unido e Itália em torno do tema [9], [10].

Foram elencadas duas categorias distintas de componentes de *hardware* que poderiam ser investigadas como opções para escolha para atualização: as *Mixed signal Processor* (MSP) e as *Single Board Computing* (SBC). Podem ser encontrados trabalhos que relatam o emprego de elementos de uma das categorias citadas, em aplicações nas mais variadas áreas, como por exemplo em [11]. Porém não comparando representantes disponíveis das categorias nem tampouco em aplicações similares a plataforma *Protegemed*.

Em relação as SBCs, pode-se encontrar repositórios na Internet que fornecem informações sobre opções disponíveis e suas características [12] e [13]. Porém, comparações das características disponíveis entre elementos devem ser elaboradas pelo usuário, conforme as necessidades.

Não foram encontrados trabalhos que realizam comparações entre representantes das SBCs em relação a representantes das MSPs. Assim, é reforçada a pertinência desse trabalho, trazendo uma comparação entre SBCs e MSPs, no intuito de escolher a melhor opção de *hardware* para atualização do componente embarcado da plataforma *Protegemed*.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Requisitos Mínimos Necessários

Foram definidas características mínimas que devem ser suportadas pelos componentes de *hardware* para atenderem

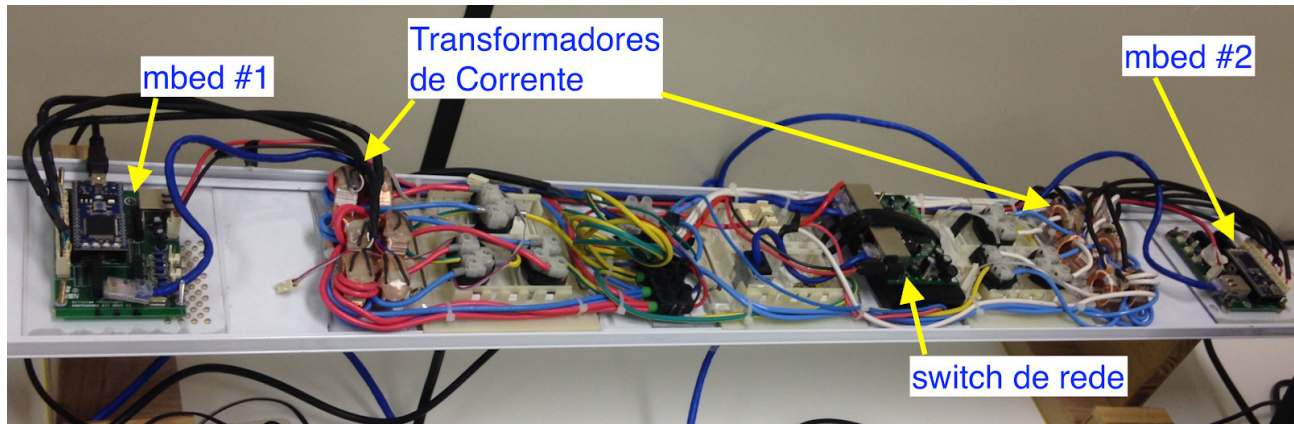


Fig. 5. Interior do painel de gases e tomadas. Visão geral dos componentes de *hardware* da plataforma Protegemed.

as especificações desejadas. São elas:

- Mínimo de 12 canais analógicos;
- Memória RAM maior que 128 KB;
- Eliminação do *switch* de rede;
- Menor custo por painel;
- Suporte a supervisão da tensão e da corrente de fuga para o terra.

Com pelo menos 12 canais, o elemento de *hardware* pode atender as seis tomadas, porém para possibilitar a supervisão da tensão e da corrente de aterramento, são necessários 14 canais analógicos correntes diferencial e alimentação $\times 6 = 12$ mais um canal para a tensão e outro para a fuga para o terra = 14. Com essa quantidade de canais, a capacidade de memória RAM tem de ser superior a atual. Além disso, atendendo as seis tomadas com apenas um MCU pode-se eliminar o *switch* de rede. Essa eliminação é um dos elementos que vai contribuir para uma redução do custo por painel. Além dessas, a possibilidade de uma atualização remota do *firmware* é um componente importante de ser alcançado.

B. Opções Avaliadas

Foram analisadas duas categorias distintas sendo elas, computadores de única placa (*Single Board Computers* - SBC) e MCU de sinais mistos (*Mixed Signal Processors* - MSP). Cada uma destas tecnologias apresenta vantagens e desvantagens, as quais serão abordadas a seguir.

1) *Single Board Computer*: Baseados normalmente na arquitetura *Advanced RISC Machine* tem como característica a utilização de um Sistema Operacional (SO) embarcado [14] e a disponibilidade de interfaces eletrônicas de baixo nível como pinos de entrada e saída digital e barramentos de comunicação [15]. Foram avaliados os seguintes SBCs, extraídos em especial de [16]:

- Beaglebone Black
- Udo Dual Lite
- RaspberryPi 3 Model B
- Banana-Pi
- Odroid C1+
- Cubiboard
- Intel Galileo Gen2
- Pduino 3

TABELA I
CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NAS SBCs RELACIONADAS

Plataforma	Clock (GHz)	RAM (MB)	Canais A/D	Wi-Fi
Beaglebone Black	1	512	8	Não
Udoo Dual Lite	1	1024	12	Sim
RaspberryPi 3 Model B	1,2	1024	-	Sim
Banana-Pi	1,8	2048	-	Sim
Odroid C1+	1,5	1024	2	Não
Cubiboard	1	2048	-	Sim
Intel Galileo Gen2	0,4	256	6	Não
Pduino 3	1	1024	6	Sim

2) *Mixed Signal Processors*: construídos a partir da arquitetura ARM eles incorporam o processamento de sinais analógicos e digitais em um único encapsulamento. Não possuem SO embarcado, entretanto, são fornecidas pelo fabricante, bibliotecas de *software* com características de *Real Time Operational System* (RTOS). Tais bibliotecas possibilitam acesso aos periféricos de entrada e saída e a criação de tarefas com prioridades de execução diferentes. Foram avaliados os seguintes MSPs, de acordo com pesquisa de MSPs executada na internet:

- TM4C1294
- FRDM-64KF
- NUCLEO-F401RE
- LPCXpresso4337

A opções relacionadas foram comparadas. Inicialmente foi realizada uma comparação entre as opções relacionadas: SBC e MSP. Em seguida foram comparadas as melhores opções encontradas em cada uma das categorias analisadas.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As opções elencadas na seção II-B foram estudadas e as informações foram agrupadas na Tabela I (SBCs) e na Tabela II (MSPs).

Todos os SBCs avaliados possuem porta *Ethernet* integrada, entretanto um baixo número de canais ADs. Todas possuem uma frequência de operação compatível com as necessidades do projeto e algumas possuem interface para comunicação *Wi-fi* integrada. A comunicação por rede sem fio não é

determinante para adicionar ao projeto em funcionamento, mas pode ser útil em fase de desenvolvimento. A quantidade de memória disponível pode ser considerada adequada em todas as SBCs avaliadas (Tabela I).

A *Udoo Dual Lite* atende ao requisito mínimo de canais AD definido nas especificações (12), entretanto, não deixa nenhum disponível para ampliações da plataforma. Nenhuma das demais SBCs atende a este requisito, porém, sua utilização ainda é possível com a instalação de conversores AD externos ligados a um barramento de comunicação, *Serial Peripheral Interface* (SPI) ou *Inter-Integrated Circuit* (I2C), presentes em todos os SBCs elencados na Tabela I.

A utilização de AD externos pode representar uma perda de desempenho no *software* de controle, pois deve dedicar tempo de processamento a tarefa de leitura sequencial dos dados convertidos pelos ADs. Uma possível solução para isso, utilizando a *Beaglebone Black*, é a implementação de um sistema de aquisição com um (ou ambos) μC de tempo real conhecidos com *Programable Real-time Unit Sub-system* (PRUSS), presentes no interior do MCU principal AM3358. Assim, é possível realizar as aquisições de forma independente do SO e transferi-las para uma área de memória, previamente determinada, acessível tanto pelo SO quanto pelas PRUSS. Solução semelhante pode ser utilizada em processadores com mais de um núcleo como, por exemplo, o *Raspberry Pi 3*.

A *Udoo Dual Lite* possui dois MCUs: um responsável pelo SO e outro que pode ser programado de forma independente para acessar periféricos de entrada e saída, incluindo os canais AD. Outra vantagem é a presença de uma interface de rede *Wi-Fi* eliminando assim a utilização de cabos de rede na parte de desenvolvimento.

TABELA II
CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NAS MSPS RELACIONADAS

Plataforma	Clock (MHz)	SRAM (KB)	Canais A/D	Porta ethernet
TM4C1294	120	256	20	Sim
FRDM-64KF	120	256	4	Sim
NUCLEO-F401RE	100	128	16	Não
LPCXPRESSO4337	204	136	7	Não

A capacidade de memória pode ser considerada aceitável em todas as MSPs analisadas, em virtude de não necessitar de um SO embarcado, o consumo de memória pode ser reduzido.

O número de ADs supera o mínimo especificado em duas plataformas, a TM4C1294 da *Texas Instruments* e NUCLEO-F401RE da *STMicroelectronics*. Porém a segunda não possui porta *Ethernet* integrada, problema que pode ser contornado utilizando algum tipo de conversor serial para *Ethernet*. A desvantagem deste tipo de conversor é a limitação da velocidade de transmissão dos pacotes de dados, já que o canal serial opera a uma taxa máxima de 115.200 bits por segundo (bps). As demais plataformas não atendem o número mínimo de canais AD.

Dentre as SBCs avaliadas, a *Udoo Dual Lite* foi selecionada, visto que é a única que atende as especificações mínimas de forma nativa, sendo ainda possível instalar expansões para acomodar novos recursos de *hardware*. Sua composição multiplataforma, com dois MCUs, permite a aquisição de

dados de forma independente das tarefas de processamento e comunicação. A utilização de sistema operacional Linux facilita a comunicação, gerenciamento, armazenamento de dados. A grande quantidade de memória RAM e o *clock* de 1 GHz são outros pontos favoráveis na *Udoo Dual Lite*. O MCU com dois núcleos de processamento pode, no futuro, ser alvo de aplicações que utilizam o conceito de programação concorrente.

A utilização do MSP TM4C1294 atende as especificações iniciais e deixa margem para futuras atualizações. A presença da porta *Ethernet* nativa, atualização do *firmware* através da rede e o grande número de canais AD, que superam com boa margem as especificações iniciais, qualificam esta placa como possível novo *hardware* para o componente embarcado da plataforma Protegemed. A programação concorrente, neste caso, pode ser explorada com a utilização do controlador de *Direct Memory Access* (DMA) presente na TM4C1294.

A Tabela III compara características como tamanho, custo, recursos de compilação na nuvem e taxa de conversão do canal AD em *Million Sample Per Second* (Msps) das plataformas SBC e MSP elencadas como as melhores em suas categorias.

TABELA III
COMPARATIVO ENTRE CARACTERÍSTICAS ENTRE UDODO DUAL LITE *versus* TM4C1294

Característica	Udoo Dual Lite	TM4C1294
Tamanho (mm)	110 x 85	150x70
Custo (US\$)	99,00	19,99
Compilador disponível na nuvem	Não	Sim
Taxa de conversão do canal AD (Msps)	1	2

O custo de aquisição da *Udoo Dual Lite* é um fator negativo para sua utilização, mas não determinante. A TM4C1294 apresenta baixo custo de aquisição e tem uma grande quantidade de canais AD disponível. Apesar de utilizar um taxa frequência de operação que representa apenas 10% da utilizada pela *Udoo Dual Lite*, a taxa de conversão do canal AD é duas vezes maior, fator que deve ser levado em consideração quando um número elevado de canais são requeridos, pois o acréscimo de canais, diminui proporcionalmente a máxima frequência de amostragem atingível em cada canal.

A aquisição de dados é uma etapa fundamental no Protegemed e a manipulação das amostras capturadas pelo conversor AD é realizada pelo MCU. Por esse motivo, a comparação correta entre TM4C1294 e *Udoo Dual Lite* deve ser direcionada ao MCU SAM3X8 (ARM Cortex-M3) e não iMx6Dual (ARM Cortex-A9). Para que seja possível inserir e manipular mais canais analógicos, é necessário comparar as especificações do módulo conversor AD de cada opção selecionada. Na Tabela IV estão listadas as especificações mais relevantes ao projeto em relação aos conversores AD.

Normalmente, os MCUs possuem somente um conversor AD conectado a vários canais. A seleção do canal a ser utilizado é realizada através de um multiplexador programável por *software*. Desta forma, para cada conversão, é necessário selecionar o canal que será utilizado para só então iniciar a conversão. Esta topologia é utilizada pelo MBED e pelo MCU da *Udoo Dual Lite* [17].

TABELA IV
COMPARATIVO DO CONVERSOR AD ENTRE TM4C1294 E UDOO DUAL LITE

Característica	Udoo Dual Lite	TM4C1294
Número de canais	12	20
Hardware Sample Averaging	Não	Sim
Seleção de canal	Multiplexador	Sample Sequencer

Na TM4C1294 estão presentes dois conversores AD, que compartilham o acesso a todos os canais disponíveis, porém, cada conversor tem seu próprio controlador. Isto significa que é possível utilizar os dois conversores para um mesmo canal, elevando assim a taxa de conversão de dois Msps para quatro Msps. A seleção dos canais a serem utilizados é realizada previamente através da programação dos *Sample Sequencers*. Os *Sample Sequencers* são responsáveis pelo controle de amostragem e captura de dados. Estes, armazenam o resultado da conversão em memórias do tipo *First In First Out* (FIFO) [18]. Desta forma o *software* não necessita acessar o multiplexador para selecionar o canal utilizado.

Outra característica relevante na TM4C1294 é a presença do *Hardware Sample Averaging*. Sua utilização permite que cada amostra armazenada no *Sample Sequencer* seja o resultado da média de até 64 amostras. O custo da utilização do *Hardware Sample Averaging* é o decréscimo proporcional na taxa de conversão, ou seja, para uma média de 16 amostras, a taxa de conversão é reduzida 16 vezes.

O custo de aquisição é um ponto negativo na *Udoo Dual Lite* uma vez que é duas vezes maior que o custo do MBED, plataforma utilizada atualmente. Com relação a TM4C1294, o custo de US\$ 19,99 se refere a uma plataforma de avaliação, não permitida para uso comercial. Por esse motivo, é necessário o desenvolvimento de um projeto próprio utilizando o MCU TM4C1294ncpdt. O custo deste MCU é de US\$ 13,14, sem impostos na compra em menor quantidade (até nove unidades) [19]. Ainda não há orçamentos para a fabricação desta placa e todos os testes foram realizados com a plataforma de avaliação (TM4C1294XL).

O ambiente de desenvolvimento é excelente em ambas as plataformas. Na TM4C1294 o destaque fica no ambiente de *debug*, na *Udoo Dual Lite* a possibilidade da utilização de *softwares* de alto nível como *java* e *javascript*. A partir das análises dos resultados apresentados, pode-se afirmar que a placa TM4C1294 é a mais adequada para substituir o componente embarcado de *hardware* da plataforma Protegemed.

IV. CONCLUSÃO

Os pesquisadores envolvidos neste projeto, das áreas de Física, Engenharia ou Computação, têm trabalhado com a convicção de que os EEM podem apresentar defeitos durante as cirurgias e que é possível detectar o risco de microchoque, sem contudo, poder afirmar que o paciente está sobre o efeito deste microchoque. Desde o início da pesquisa, vários resultados foram conduzindo à continuidade da investigação.

Estes resultados apontaram para a necessidade da busca de opções do *hardware* que permitam novas funcionalidades na plataforma. Após as avaliações, foram selecionadas a placa

UDOO e a placa TM4C. Uma comparação direta entre as duas foi realizada, com maior ênfase na conversão AD empregada. Conclui-se que a placa TM4C1294 é a mais adequada para substituir o elemento de computação (componente) embarcado da plataforma Protegemed.

Na sequência dos trabalhos, os códigos atuais (*firmware*), utilizados no MBED (MCU LPC1768), serão portados para serem utilizados junto ao MCU da MSP TM4C1294 e colocados em teste de bancada no laboratório. Após o período de testes, serão colocados em uma das 20 salas do Centro Cirúrgico do HSVP, para novo período de avaliação. Concluída a avaliação funcional da solução com novo componente de computação embarcada, novas funcionalidades da plataforma Protegemed serão implementadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade de Passo Fundo e ao Hospital São Vicente de Paulo, apoiadores do projeto Protegemed e desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Spalding, A. Barbosa, F. Iaione, M. Rebonatto, F. Andreis, F. Hessel, A. dos Santos, C. Cardoso, E. Zennaro, C. di Pietralata, F. Fiamingo, C. Barrese, L. Poggi, R. Teymouri, and A. Taktak, "Electric risk management inside operating room using embedded systems: status of internationalization of research," *Revista Médica Hospital São Vicente de Paulo*, vol. 1, no. 1, pp. 80 – 93, 2015.
- [2] L. Spalding, W. Carpes, and N. Batistela, "A Method to Detect the Microshock Risk During a Surgical Procedure," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 58, no. 7, pp. 2335–2342, jul 2009. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4797883>
- [3] M. T. Rebonatto, "Methods for analysing electrical currents from electromedical equipments in surgical procedures and detection of Microshock hazard to patients," PhD Thesis, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, 2015.
- [4] S. R. Aguada, C. J. Rodriguez, R. G. Bruni, and O. R. Vanella, "Development of a leakage current meter using differential method," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 11, no. 1, pp. 149–154, 2013.
- [5] M. Rebonatto, F. Hessel, and L. Spalding, "EME electric supervision embedded on gas panel with microshock dangerousness degree," in *Proceedings of the IEEE International Conference on VLSI Design*, 2014.
- [6] A. G. Foina, F. J. Ramirez-Fernandez, and S. E. Barbin, "An RFID bulk cargo supervising system," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 7, no. 6, pp. 688–693, 2009.
- [7] M. T. Rebonatto, L. E. S. Spalding, F. P. Hessel, and L. A. Amaral, "Protegemed2: an extended platform based on RFID to identify EME and improve the detection of microshocks." *Medical & biological engineering & computing*, vol. 51, no. 6, pp. 719–27, jun 2015. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23420262>
- [8] I. E. Commission, "Part 7-710: Requirements for special installations or locations - Medical locations," in *Electrical installations of buildings*, 2002.
- [9] A. Taktak, "cience without borders: Brazilian international student research," *IPEM SCOPE*, vol. 1, no. 1, pp. 44–46, 2016.
- [10] E. Zennaro, C. Barrese, and F. Fiamingo, "Validation of a medical power supply prototype in compliance with international standards and its application into italian operating rooms," in *2017 AEIT International Annual Conference*. IEEE, sep 2017, pp. 1–6. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8240574/>
- [11] S. Semwal, R. S. Prasad, and M. Singh, "Designing compatible hardware platform for implementation of NIALM," in *2014 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*. IEEE, mar 2014, pp. 93–97. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6828099/>

- [12] Wikipedia, “Comparison of single-board computers,” 2019. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_single-board_computers
- [13] HackerBoards.com, “The Single Board Computer Database,” 2019. [Online]. Available: https://www.hackerboards.com/search_boarddb.php
- [14] S. P. Kumar, G. Pradeep, G. N. Kumar, and C. D. Devi, “Developing an ARM based GNU / Linux Operating System for Single Board Computer – Cubietruck,” *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, vol. 6, no. 6, pp. 2579–2586, 2015.
- [15] D. Molloy, *Exploring BeagleBone: Tools and Techniques for Building with Embedded Linux*, 1st ed., Wiley, Ed., 2014.
- [16] D. Calin, “Compare 10 Linux single-board computers to find the right one for you.” 2015. [Online]. Available: <http://www.intorobotics.com/compare-10-linux-single-board-computers-to-find-the-right-one-for-you>
- [17] ATMEL, “SAM3X / SAM3A Series Datasheet,” p. 1459, 2015. [Online]. Available: http://www.atmel.com/ru/ru/%0AImages/Atmel-11057-32-bit-Cortex-M3-Microcontroller-SAM3X-SAM3A_Datasheet.pdf
- [18] T. Instruments, “Tiva TM4C1294NCPDT Microcontroller Datasheet,” p. 1890, 2014. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c1294ncpdt.pdf>
- [19] —, “TI Store,” 2019. [Online]. Available: <https://www.ti.com/store/ti/en/p/product?p=TM4C1294NCPDTI3>



Júlio Cesar dos Santos graduado em Engenharia da Elétrica (2015) e Mestrado em Computação Aplicada (2017) pela Universidade de Passo Fundo. Possui experiência em desenvolvimento de projetos de *hardware* e *firmware*.



Luiz Eduardo Schardong Spalding graduado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Rio Grande do Sul (1986), Mestrado (1997) e Doutorado (2009) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Em 1987, foi co-fundador da empresa Elomed, onde atua até hoje e desenvolve tecnologia para a indústria médica e hospitalar. Desde 1991 é Coordenador do Grupo de Pesquisa de Engenharia Biomédica do Hospital São Vicente de Paulo, Passo Fundo, RS, Brasil. Seus atuais interesses de pesquisa incluem:

segurança e metrologia em equipamentos eletromédicos.



Marcelo Trindade Rebonatto Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade de Passo Fundo (1993), Mestrado em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2000) e doutorado em Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (2015). Atualmente é professor da Universidade de Passo Fundo e efetivo. Tem experiência na área de Sistemas Distribuídos e Computação Embarcada.