

# Desenvolvimento de um Software para o Reconhecimento dos Nós de Rede sem fio Baseado no Padrão IEEE 1451

Tércio A. S. Filho, Maicon de J. Lima, Antonio C. Oliveira Júnior, Maicon A. Sartin, Carlos E. S. Santos

**Resumo** As redes de transdutores inteligentes são utilizadas em muitas áreas para monitoramento e automação do ambiente. O padrão IEEE 1451, através de diretrizes de hardware e software, proporciona aos fabricantes e desenvolvedores uma referência para o desenvolvimento de componentes para esse tipo de rede, além de facilitar o acesso e reconhecimento automático (*plug-and-play*) de transdutores em várias configurações físicas. Neste artigo, descreve a configuração de um dispositivo embarcado com um sistema para web de reconhecimento para uma rede de transdutores inteligentes baseada no padrão IEEE 1451. O sistema foi desenvolvido com foco no usuário possibilitando uma exibição amigável das informações dos nós presentes na rede. A realização dos testes foram baseadas em módulos TIM's no qual possui os TEDS descrita na literatura.

## 1 Introdução

O uso de transdutores, sejam atuadores ou sensores, vêm atendendo uma ampla variedade de aplicações no controle industrial, no ramo automotivo, aeroespacial, nas construções, biomedicina entre outros. O mercado de transdutores é bastante diversificado e por isso os fabricantes buscam criar transdutores de baixo custo em redes com fio ou sem fio, porém, há um grande número de tipos de redes hoje e torna-se muito caro produzir transdutores inteligentes únicos para cada tipo presente no mercado. Com isso, a NIST com parceria do IEEE descreveu um con-

---

Tércio A. S. Filho  
Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Catalão, Catalão, Goiás, Brasil.  
e-mail: [tercioas@ufg.br](mailto:tercioas@ufg.br)

Maicon de J. Lima  
Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Catalão, Catalão, Goiás, Brasil.  
e-mail: [mai.ky.3000@gmail.com](mailto:mai.ky.3000@gmail.com)

Antonio C. Oliveira Júnior  
Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil.  
e-mail: [antoniojr@ufg.br](mailto:antoniojr@ufg.br)

Maicon A. Sartin  
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Campus Sinop, SINOP, Mato Grosso, Brasil.  
e-mail: [mapsartin@unemat.br](mailto:mapsartin@unemat.br)

Carlos E. S. Santos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, Palmas, Tocantins, Brasil.  
e-mail: [carlostedu@ifto.edu.br](mailto:carlostedu@ifto.edu.br)

---

*Anais do XV Encontro Anual de Ciência da Computação (EnAComp 2020)*. ISSN: 2178-6992.

Catalão, Goiás, Brasil. 25 a 27 de Novembro de 2020.

Copyright © autores. Publicado pela Universidade Federal de Catalão.

Este é um artigo de acesso aberto sob a licença CC BY-NC (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

junto de normas para o desenvolvimento de redes de transdutores uma família universalmente aceita de padrões abertos, como o IEEE 1451 foi desenvolvida para resolver esses problemas (IEEE, 1999).

O IEEE 1451 é usado para padronizar o acesso aos dados dos transdutores através da rede utilizando um conjunto comum de interfaces, independente se os transdutores estão conectados em sistemas ou redes com fio ou através de meios sem fio; e alcançar o *plug-and-play* de transdutores a uma rede, além de permitir a interoperabilidade dos dados na aplicação (07'6).

Utilizando os conjuntos de normas presentes no IEEE 1451 foi desenvolvida uma ferramenta denominada Sistema de Gerenciamento 1451 (SIG-1451), para o reconhecimento das redes de sensores sem fio e as redes de sensores subterrâneas. O SiG-1451 permite a integração de novos nós da rede, de forma que a rede se torne expansível e dinâmica. O SiG-1451 foi implementado em um *Network Capable Application* (NCAP) embarcado possibilitando uma flexibilidade maior nas aplicações, além de baixo consumo de energia dos equipamentos.

## 2 Trabalhos Relacionados

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos considerando implementações baseadas na família de padrões IEEE 1451 para um sistema de automação/medição *plug-and-play*, outros trabalhos mais específicos não utilizam a família de padrões, porém utilizam uma implementação para o sistema de reconhecimento bem próxima da mostrada nesse presente trabalho

O trabalho de **07'framework-pa-pv** apresenta a proposta de um sistema com interface de comunicação comum para a área de Agricultura de Precisão(PA) e Viticultura de Precisão (PV). A implementação do software é realizada em *Java*, a qual acessa o *gateway* de campo e permite configurar os dispositivos e coletar todos os dados da estrutura. Como parte da estrutura do software, o projeto implementa TEDS obrigatórios para o padrão IEEE 1451.0.

No trabalho de **07'12** um *framework* para design e implementação orientado a objetos provido pela IEEE 1451.1 é utilizado para desenvolver um software de controle para dois NCAP's, os quais utilizam o modo cliente-servidor e *publisher-subscriber* para a transmissão dos dados do padrão 1451. Os TEDS são requisitadas utilizando o modelo cliente-servidor por meio de *Java Socket* com o protocolo *Transmission Control Protocol*(TCP) e são exibidas através do software.

**07'Higuera2009** apresentam um NCAP (IEEE 1451.1) e um WTIM (IEEE 1451.5) utilizando a interface *ZigBee*. Os autores descreveram o módulo *ZigBee* utilizado para a comunicação e, de forma esquemática, a implementação de um WTIM. Os autores deram ênfase na descrição das TEDS e as tabelas que foram descritas para o reconhecimento dos transdutores conectados ao WTIM.

Os autores **07'Manda2009** apresentaram o desenvolvido em *.Net Framework* para a descrição das TEDS. Os autores descreveram os campos dos TEDS, as obrigatórias e as opcionais e o fluxograma do processo de conversão dos dados dos sensores em valores hexadecimal.

Nos artigos citados nesta seção, os autores desenvolvem o nó de rede NCAP e os TIM's especificamente para uma determinada aplicação, além disso o sistema desenvolvido para os dispositivos das respectivas redes não priorizam uma exibição amigável das informações.

### 3 A família de padrões IEEE 1451

O IEEE 1451 consiste em uma família de padrões para redes de transdutores inteligentes que independe de interface de comunicação ou dispositivos. As definições são direcionadas a microprocessadores e sistemas de instrumentação; e disponibilizam uma série de protocolos e um conjunto de comandos para acesso e reconhecimento de transdutores em várias configurações físicas, atendendo a diversas necessidades de aplicação. O padrão determina dois tipos de nós para uma rede de sensores. NCAP e *Transducer Interface Module* (TIM). O TIM é um módulo que contém interface lógica para o transdutor, um conversor digital e, muitas vezes o próprio transdutor. O NCAP, constitui de um conjunto de hardware e software que fornece a integração dos TIM's e a rede do usuário, podendo converter os dados obtidos ou realizar outra função de processamento de dados (07'6).

O padrão IEEE 1451 é subdividido em diferentes comitês, sendo: IEEE 1451.0, IEEE 1451.1, IEEE 1451.2, IEEE 1451.4, IEEE 1451.5 e IEEE 1451.7. Neste trabalho, foram utilizados os seguintes comitês (07'nsit-standards-1451):

- **IEEE 1451.0 - Common Functions, Communication Protocols, and TEDS Formats** - Define um conjunto de funcionalidades, comandos e TEDS para a comunicação entre os componentes da rede 1451 (07'1451.0).
- **IEEE 1451.1 - NCAP Information Model** - Define um conjunto de protocolos e interface comum para a comunicação de uma rede de transdutores, suportando assim a interoperabilidade de transdutores em rede (07'1451.1).
- **IEEE 1451.5 - Wireless Communication Protocols and TEDS Formats** - Define uma interface transdutor-NCAP e TEDS para transdutores sem fio, Os módulos para transdutores *wireless* são chamados de WTIM. O padrão adota protocolos de comunicação sem fio populares existentes, como IEEE 802.11x (*WiFi*), IEEE 802.15.1 (*Bluetooth*), IEEE 802.15.4 (*ZigBee*) e *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks*(6LowPAN) (07'1451.5).

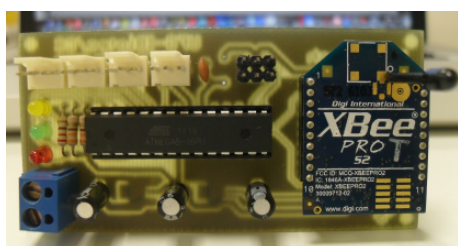
Uma das principais definições presentes no padrão IEEE 1451 é a *Transducer Electronic Data Sheet* (TEDS). Esta definição está presente no sub-comitê 1451.0, o qual define um conjunto de TEDS e comandos para que os TIM's possam ser conectados a um sistema e ser usados sem a necessidade de adicionar *drivers* especiais, perfis ou fazer outras alterações no sistema, possibilitando assim a capacidade de *plug-and-play* do nó de rede. Neste contexto, são reconhecidos três tipos de transdutores baseados no padrão: sensor, sensor de evento e atuador, no qual são descritos pelo TEDS. Os TEDS são estruturas de armazenamento de informações sobre as características e parâmetros operacionais necessários para usar o módulo de transdutores em formato de tabela armazenado em memória. Um TEDS pode residir na memória incorporada em uma *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*(EEPROM), em TEDS virtual, que pode existir como um arquivo separado. Por padrão, quatro TEDS são obrigatórios: *MetaTEDS*, *Transducer Channel TEDS*, *User's Transducer Name TEDS* e *PhyTEDS*. O restante dos TEDS definidos são opcionais. Alguns TEDS são fornecidos para permitir ao usuário definir informações e armazená-las. As funções principais dos TEDS obrigatórios são:

- **MetaTEDS** - Fornece alguns parâmetros de temporização que são configuráveis pelo NCAP para determinar quando o TIM não está respondendo. Além de relacionamentos entre o *TransducerChannel TEDS* que existem dentro do TIM.

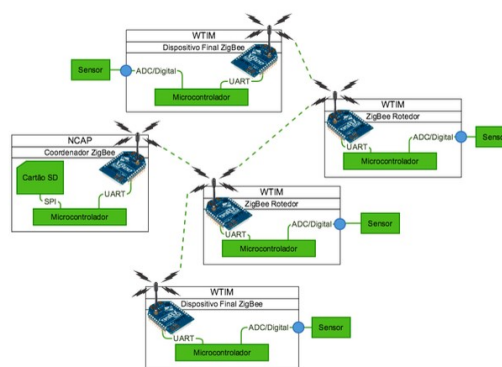
- **Transducer Channel TEDS** - Fornece informações detalhadas sobre um transdutor específico, como o parâmetro físico que está sendo medido ou controlado, as características das entradas/saídas digitais, o(s) modo(s) operacional(is) da unidade e as informações de temporização.
- **User's Transducer Name TEDS** - Fornece um espaço para o usuário do transdutor armazenar o nome pelo qual o sistema reconhecerá o transdutor.
- **PhyTEDS** - descreve o meio físico de comunicação usado para conectar o TIM ao NCAP. O meio de acesso a esse TEDS está especificado, porém os campos de descrição estão em documentos separados, destinados a cada tipo de meio de comunicação. Para o presente trabalho, foi utilizado o sub-comitê 1451.5.

## 4 Hardware de implantação

O SiG-1451 está sendo implantado em uma rede de transdutores inteligentes baseada no sub-comitê IEEE 1451.5. A rede foi desenvolvida por (**07 juliano**), possui atualmente 3 módulos de transdutores WTIM e um NCAP. Os dispositivos WTIM's foram desenvolvidos utilizando o módulo *XBee PRO S2*, sensores, circuitos de condicionamento de sinal e um microcontrolador. Os sinais obtidos pelos sensores são normalizados através de um circuito de condicionamento de sinal, para que o dispositivo de aquisição de dados efetue a medição de forma mais precisa pelo conversor ADC (conversor analógico/digital). O módulo de rede WTIM desenvolvido para o projeto pode ser visualizado na Figura 1(a). Para o armazenamento dos TEDS o microcontrolador *ATmega8* possui 312 KB de memória EEPROM.



(a) Módulo WTIM desenvolvido.



(b) Topologia da rede.

Figura 1: WTIM e topologia da rede desenvolvida com os WTIM's.

No trabalho de **07 juliano**, o NCAP foi desenvolvido utilizando um módulo *XBee PRO S2*, um microcontrolador e um cartão de memória *Secure Digital*(SD) de 2GB. Ao receber os dados, o NCAP realiza o armazenamento das informações no cartão de memória. A Figura 1(b) apresenta a topologia da rede *mesh* utilizada nesta pesquisa. Para a execução do presente trabalho, foi iniciado um processo de substituição do hardware do NCAP descrito acima para um dispositivo mais

robusto. A primeira parte da implementação do novo dispositivo é o sistema de reconhecimento presente no SiG-1451 desenvolvido neste trabalho.

O hardware utilizado foi *Tinker Board*, fabricante ASUS, que conta com o processador *quad-core Rockchip RK3288* de 1.8 GHz baseado em *Advanced RISC Machine(ARM)*, memória RAM de 2 GB, um recurso dedicado projetado para a porta LAN, *Wi-Fi* integrado e controlador *Bluetooth*, saída HDMI padrão, quatro portas USB 2.0, além de outras funcionalidades do kit, como por exemplo, pinos de entrada/saída e 4 UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*).

## 5 Preparação do Novo NCAP

Para o desenvolvimento do novo módulo NCAP, foi instalado o sistema operacional *TinkerOS-Debian* o qual é uma versão específica do *Debian* para a placa, disponibilizada no próprio site da fabricante. Em seguida, foi instalado um conjunto de ferramentas para o ambiente de desenvolvimento, contendo: *apache server*, PHP 7 e banco de dados *MySQL server*.

O SiG-1451 foi desenvolvido para ambiente web, utilizando o modelo cliente/servidor de 3-camadas do padrão *model-view-controller* (MVC), no qual são estruturadas camadas de dados(*model*), controle (*controller*) e visualização das informações (*view*). Com o *framework* para PHP *CodeIgniter* essa arquitetura de sistema foi adotada, proporcionando uma organização e modularização do sistema.

## 6 Desenvolvimento do SiG-1451

O sistema possui dois módulos, sendo eles: módulo de listagem dos TIM's e módulo de leitura dos dados dos transdutores. O módulo de listagem dos TIM's é responsável por exibir os nós da rede (TIM's), assim como seus detalhes ao usuário. O módulo de leitura dos dados dos transdutores exibirá os dados obtidos por cada transdutor presente no TIM selecionado.

Para simular a estrutura dos TEDS, foi implementada na camada de *model* uma função de requisição de TEDS. A função criada na classe *teds\_model* é chamada *get\_teds()*. Nela há um *array* para strings de TEDS modelo, fazendo com que cada conjunto de TEDS tenha uma posição. Isso possibilita uma representação simulada dos nós de uma rede 1451. Para a implementação destes módulos, foram interpretados os quatro TEDS obrigatórios em uma rede com o padrão IEEE 1451: *MetaTEDS*, *Transducer Channel TEDS*, *User's Transducer Name TEDS* e *PhyTEDS*.

Visando separar cada campo presente nos TEDS foi desenvolvida uma função para a divisão e reconhecimento dos blocos de dados. Na camada de *controller* a classe *Principal* realiza a maioria das funções do sistema, nela contém as funções *exibe\_nos()* que é responsável por adquirir TEDS dos *arrays* criados na função *get\_teds()*, enviá-las para função *processa\_teds()* e retornar os campos referentes a cada bloco de TEDS por meio de um outro *array* no qual seu índice é o nome do campo e seu conteúdo é o valor do campo. Após o processamento, foi obtido um *array* como o mostrado através do exemplo de *MetaTEDS* da Figura 2. Essa estrutura torna muito simples o acesso a cada campo dos TEDS, permitindo implementações mais fáceis de tradução dos campos, tanto atuais, quanto campos opcionais que podem ser implementados e hoje o sistema ainda não contempla.

```

array(7) {
  ["length"]=>
  int(37)
  ["TEDSID"]=>
  string(8) "00010101"
  ["UUID"]=>
  string(20) "08FB61B48081F643A1B1"
  ["OHoldOff"]=>
  string(8) "40A00000"
  ["TestTime"]=>
  string(8) "40000000"
  ["MaxChan"]=>
  string(4) "0003"
  ["Checksum"]=>
  string(4) "0735"
}

```

Figura 2: Exemplo de estrutura gerada para MetaTEDS.

A tela responsável por realizar a listagem dos TIM's presentes na rede utiliza três TEDS: *MetaTEDs*, *User's Transducer Name TEDS* e *PhyTEDs*, para exibir as informações de cada TIM. Utilizando *MetaTEDs*, foram preenchidos: o ano do TIM, a localização do fabricante, o tempo de auto-teste e a quantidade de transdutores presentes no TIM. *User's Transducer Name TEDS* foram usadas para exibir o nome definido pelo usuário a cada TIM da rede. A Figura 3 mostra a versão final da tela de listagem dos TIMs do SiG-1451, e indica os TEDS utilizados e seus respectivos campos.



Figura 3: Versão final da tela do módulo de listagem dos TIM's do SiG-1451.

*PhyTEDS* para as redes baseadas no padrão 1451.5, foram utilizados para preencher o campo que mostra o canal de comunicação do TIM e o link para a janela de capacidade do TIM. A Figura 4 mostra essa janela e indica os campos do *PhyTEDS* usados para preencher a taxa de transferência máxima, o máximo de dispositivos conectados, o tipo de encriptação, se é suportada autenticação por MAC, a SDU máxima do canal, o tempo mínimo para o início de transmissão, o tempo mínimo de transmissão, e se o dispositivo depende de bateria.

É possível acessar os transdutores que estão conectados a cada TIM presente na rede através do módulo de listagem de transdutores. Foi feito um sistema de abas, para alternar entre cada transdutor. A Figura 5 mostra a versão final da tela do módulo de listagem de transdutores do SiG-1451, e indica os campos do *Transducer Channel TEDS*, utilizados em cada informação exibida.

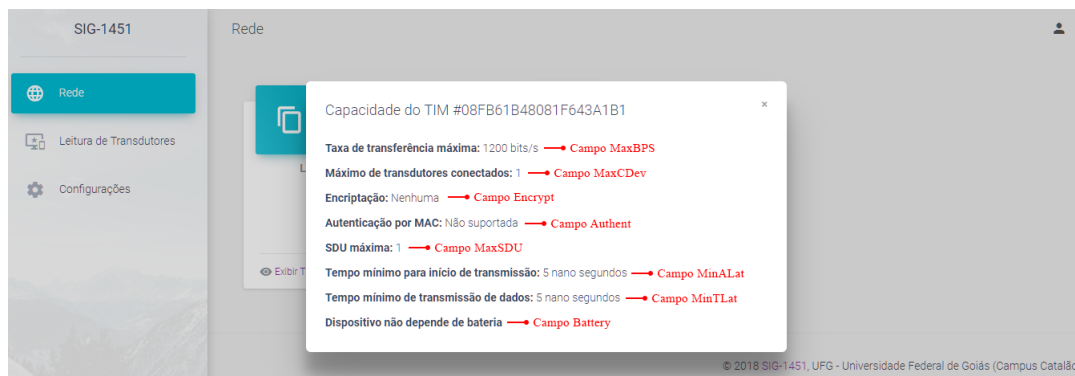


Figura 4: Janela da capacidade do TIM selecionado.



Figura 5: Versão final da tela do módulo de listagem de transdutores do SiG-1451.

As informações preenchidas na tela são: o tipo do transdutor, tipo de calibração, unidade do transdutor, valor mínimo, valor máximo, tolerância de erro, se o transdutor faz auto teste, tempo de atualização o do transdutor, tempo de amostragem mínima, tempo para início do transdutor e atraso dos dados. Os transdutores do tipo atuador devem contar com as informações referentes ao modo do atuador e modo de parada. Adicionalmente, transdutores do tipo sensor de evento e atuadores podem opcionalmente contar com o campo referente ao modo de transmissão. Como as strings de testes iniciais contaram com esses campos, foram implementados no sistema.

## 7 Testes do sistema

Para a realização dos testes no SiG-1451, foram utilizadas *strings* modelo em formato hexadecimal para os quatro tipos de TEDS obrigatórios para uma rede IEEE 1451. Os blocos de dados foram substituídos para as mudanças de informação no sistema, para testar a capacidade de verificação dos TEDS.

00 00 00 25 03 04 00 01 01 01 04 0A 07 FB AA A2 38 00 7D F3 63 31 0A 04 3F 00 00 00 0C 04 C0 A0 00 00 0D 02 00 01 02 F9 69
00 00 00 25 03 04 00 01 01 01 04 0A 07 FB AA A2 38 00 7D F3 63 31 0A 04 3F 00 00 00 0C 04 C0 A0 00 00 0D 02 00 01 02 F9 69

Tabela 1: *Strings* de teste para os MetaTEDS do WTIM 1 e WTIM 2.

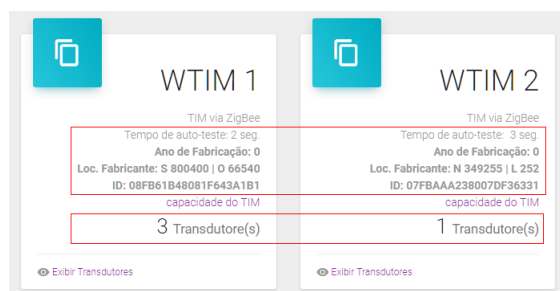


Figura 6: Dados produzidos pelos *MetaTEDS* no módulo de listagem dos TIM's.

A Tabela 1 apresenta as *strings* para testes dos *metaTEDS* utilizados no módulo de listagem dos TIM's para o WTIM 1 e WTIM 2 respectivamente. As *strings* produziram o resultado mostrado na Figura 6, a qual indica onde os *metaTEDS* foram utilizados.

Para testar a exibição dos transdutores presentes no TIM, foram utilizados os *strings* de teste exibidos na Tabela 2. A Figura 7 mostra o resultado das *strings* de testes para os TEDS no módulo de listagem de transdutores. As duas abas são mostradas, com os resultados destacando onde foram utilizados os TEDS.

00 00 00 60 03 04 00 03 01 01 0A 01 00 0B 01 00 0C 06 32 01 00 39 01 82 0D 04 43 88 93 33 0E 04 43 A4 13 33 0F 04 3F 00 00 00 10 01 01 12 09 28 01 00 29 01 01 30 01 08 14 04 3D CC CC CD 16 04 37 D1 B7 17 17 04 3D CC CC CD 18 04 41 F0 00 00 19 04 37 D1 B7 17 20 04 41 F0 00 00 1F 03 31 01 02 02 11 BA
00 00 00 63 03 04 00 03 01 01 0A 01 00 0B 01 01 0C 06 32 01 00 33 01 82 0D 04 00 00 00 00 0E 04 43 B4 00 00 0F 04 3F E6 66 66 10 01 01 12 09 28 01 00 29 01 01 30 01 08 14 04 3D CC CC CD 16 04 37 D1 B7 17 17 04 3D CC CC CD 18 04 41 F0 00 00 19 04 41 F0 00 00 1F 03 31 01 00 21 01 01 22 01 01 24 01 01 02 10 20

Tabela 2: *Strings* de teste para Transducer Channel TEDS.

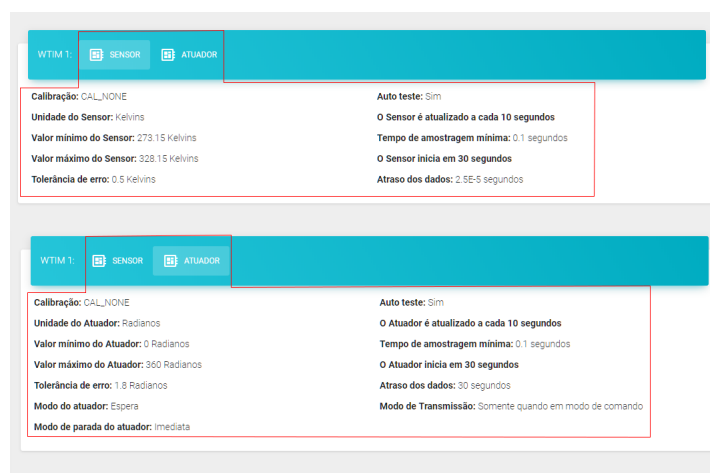


Figura 7: Dados produzidos pelos *Transducer Channel TEDS* no módulo de listagem de Transdutores.



A Tabela 3 mostra as *strings* de teste para *User's Transducer Name TEDS*, os quais produzem o nome dos dispositivos da rede: WTIM 1 e WTIM 2.

00 00 00 19 03 04 00 0C 01 01 04 01 00 05 0B 00 00 00 00 00 57 54 49 4D
20 31 02 03 4F
00 00 00 19 03 04 00 0C 01 01 04 01 00 05 06 57 54 49 4d 20 32 03 4F

Tabela 3: Strings de teste para *User's Transducer Name TEDS*.

O *PhyTEDS* utilizado, foi baseado no sub-comitê 1451.5 e foi repetido para o WTIM 1 e WTIM 2 por representar as mesmas características físicas dos componentes da rede simulada. A Tabela 4 mostra a *string* de teste utilizada. A Figura 8 mostra o resultado do TEDS na tela, produzindo o nome do canal de comunicação e a capacidade física do WTIM.

00 00 00 55 03 04 00 0D 01 01 0A 01 01 0C 04 00 00 04 B0 0D 02 00 01 0E 02 00 00 0F
01 00 10 02 00 00 11 02 00 00 12 02 00 01 13 04 00 00 00 05 14 04 00 00 00 05 15 01 01
16 01 01 17 02 00 00 18 02 00 05 29 04 00 00 12 C0 2A 01 08 2B 01 00 2C 01 01 2D 01
00 02 04 B0

Tabela 4: *String* de teste para *PhyTEDS*.

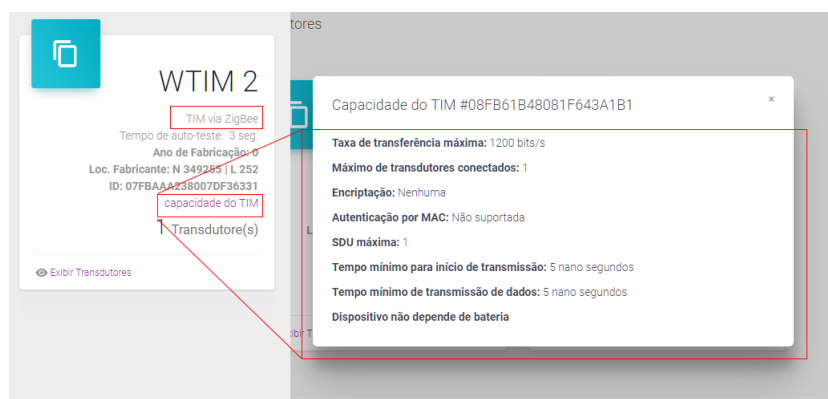


Figura 8: Dados produzidos pelo *PhyTEDS*.

## 8 Conclusões

Redes de transdutores inteligentes que utilizam o padrão IEEE 1451 provam, pelas várias aplicações na área industrial, agrícola, construção civil, automotiva, entre outras, que proporcionam uma padronização da rede tanto a nível de hardware quanto a nível de software, possibilitando alcançar o *plug-and-play* para os componentes de rede. Além disso, proporciona uma facilidade de uso, baixo custo de produção e conseqüentemente de implantação. O presente trabalho implementou um dispositivo embarcado que possui um software de reconhecimento dos nós de rede, seguindo as especificações dos sub-comitês 1451.0 e 1451.5 presentes no padrão IEEE 1451.

O software foi projetado, a partir de uma estruturação feita por uma modelagem detalhada e implementado seguindo o desenvolvimento direcionado a *web*, com um *framework* que utiliza a arquitetura MVC, a qual define muito bem as camadas de dados, de controle e exibição das informações, proporcionando uma divisão e modularização do sistema que torna mais simples análises e implementações futuras. Através dos testes realizados por *strings* de TEDS modelo, foi verificado o poder de reconhecimento dos nós de redes do tipo *wireless* baseadas no padrão IEEE 1451. As informações dos nós de rede são exibidas ao usuário de forma amigável. Foi feito um levantamento e tradução de todos os TEDS obrigatórios para a rede, de forma que o usuário consiga analisar com clareza as informações dos dispositivos presentes.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento da chamada Universal 01/2016, N<sup>o</sup> do Processo: 431552/2016-9. À Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Sinop – MT — Brasil Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas - FACET / Departamento de Computação / Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) - Processo: 276780/2017.

## Referências

- BAILEY, J. et al. Evidence relating to Object-Oriented software design: A survey. In: FIRST International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM 2007). [S.l.: s.n.], 2007. p. 482–484. DOI: 10.1109/ESEM.2007.58.
- PETERSEN, Kai et al. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. In: (EASE'08), p. 68–77.
- SÁNCHEZ, Jaime et al. Virtual reality and assistive technologies for people with disabilities. **International Journal on Disability and Human Development**, De Gruyter, Berlin, Boston, v. 10, n. 4, p. 275–276, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1515/IJDHD.2011.065>. Disponível em: <https://www.degruyter.com/view/journals/ijdhhd/10/4/article-p275.xml>.
- STUART, Rory. **The Design of Virtual Environments**. USA: McGraw-Hill, Inc., 1996. ISBN 0070632995.
- VINCE, John. **Virtual Reality Systems**. USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995. ISBN 0201876876.
- WOLPAW, Jonathan R et al. Brain–computer interfaces for communication and control. **Clinical Neurophysiology**, v. 113, n. 6, p. 767–791, 2002. ISSN 1388-2457. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00057-3). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245702000573>.