

# ARQUITETURA DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES PARA LABORATÓRIOS REMOTOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Marcos Henrique de Moraes Golinelli<sup>1</sup>; Juarez Bento da Silva<sup>2</sup>; Olga Yevseyeva<sup>3</sup>

## Resumo

Os laboratórios auxiliam no processo de ensino aprendizagem, sendo que os laboratórios remotos permitem que alunos acessem experimentos reais a distância. Não existindo uma padronização na comunicação entre os experimentos e os dispositivos clientes, este trabalho tem como objetivo investigar publicações que abordam a padronização da comunicação dos laboratórios e a utilização da arquitetura dos dispositivos inteligentes. Através de uma revisão sistemática foram selecionadas oito publicações alinhadas ao tema proposto para análise que resultaram na constatação da tendência de padronização, partindo da sugestão de padronização à criação do grupo de trabalho IEEE1876 e a aplicação do conceito da arquitetura dos dispositivos inteligentes em novos sistemas de laboratórios remotos.

**Palavras-Chave:** arquitetura de dispositivos inteligentes; *Smart Devices Architecture*; laboratórios remotos.

## Abstract

The laboratories help in the process of teaching learning, and the remote laboratories allows students to access real experiments at a distance. There is no standardization in the communication between the experiments and the client devices, this work aims to investigate publications that address the standardization of laboratory communication and the use of intelligent device architecture. Through a systematic review, eight publications aligned to the theme proposed for analysis were selected, which resulted in the standardization tendency, starting from the suggestion of standardization to the creation of the IEEE1876 working group and the application of the architecture concept of the intelligent devices in new systems of remote laboratories.

**Keywords:** *Smart Device Architecture*. *Smart Devices Architecture*, Remote Laboratories.

## Introdução

No processo de ensino aprendizagem, a experimentação dos conhecimentos em laboratórios tende a melhorar o aprendizado, principalmente nas disciplinas de ciências, tecnologia, engenharia e matemática, conhecido como STEM. Os laboratórios podem ser classificados em tradicionais, virtuais ou remotos, este último, permitindo o acesso a experimentos reais de forma remota.

---

<sup>1</sup> Mestre em Tecnologias da Informação e Comunicação pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC Campus Araranguá, professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no Instituto Federal Catarinense - IFC Campus Avançado de Sombrio. E-mail: dilson.devides@fatec.sp.gov.br.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento - Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, professor de pós-graduação em Tecnologias da Informação pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. E-mail: juarez.silva@ufsc.br.

<sup>3</sup> Doutora em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ, professora do Departamento de Computação da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. E-mail: yevseyeva.olga@ufsc.br.

Com o aumento da disponibilidade de infraestruturas de telecomunicações e de condições de acesso a rede, Lowe et al (2009) aponta um aumento recente no desenvolvimento de experimentos remotos, que são baseados na utilização de dispositivos tais como desktops, notebooks, tablets ou smartphones bem como na Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things*).

O acesso e manipulação de experimentos remotamente se diferencia de outras tecnologias empregadas no ensino como simulações, pois o resultado obtido em cada experiência é real, sendo influenciado por uma série de variáveis de ambiente que normalmente não são incluídas pelas simulações.

A utilização de laboratórios de experimentação remota pode proporcionar a redução de custos e o compartilhamento de seu uso com outras instituições, ampliando o alcance dos benefícios de sua utilização, uma vez que um mesmo experimento pode ser acessado por diversas escolas, em diversas localidades. Além disso, as configurações necessárias dos equipamentos para o acesso aos experimentos geralmente são mínimas, sendo o acesso à internet o requisito mais importante.

Com foco nos laboratórios remotos, significantes desafios são impostos na forma como os experimentos são disponibilizados e compartilhados, sendo objetivo deste trabalho investigar as propostas de padronização nesta comunicação, e neste contexto, a possível implementação do paradigma dos dispositivos inteligentes (*Smart Device*), em que a arquitetura cliente-servidor ocorre de forma independente.

A próxima sessão, a fundamentação teórica, apresenta uma revisão da literatura dos componentes principais estudados neste trabalho, os laboratórios remotos e seus componentes e a arquitetura dos *Smart Device*.

## **1 Fundamentação teórica**

Laboratórios são utilizados para realização de experimentos, além dos convencionais, também podem ser realizados em Laboratórios Virtuais ou em Laboratórios Remotos. Os virtuais, são simulações e animações de experimentos científicos, geralmente disponíveis na WEB, e os remotos possuem equipamentos reais que são acessíveis à distância.

### **1.1 Laboratórios Remotos**

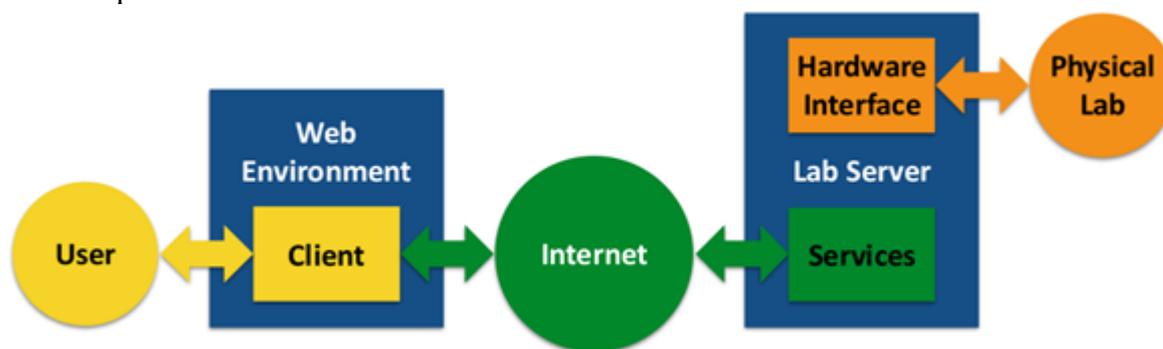
Os laboratórios remotos, geralmente dependem de uma arquitetura cliente-servidor, permitindo através da Internet a comunicação com o equipamento real. O servidor de um laboratório pode ser um microcontrolador, um computador ou um sistema de gerenciamento de

laboratório remoto RLMS (do inglês *Remote Laboratory Management System*). O servidor de laboratório tem de assegurar a interação remota do usuário, partindo de um aplicativo autônomo ou como um componente em um ambiente da Web. O usuário geralmente observa o laboratório através de um fluxo de vídeo ao vivo, defini parâmetros de configuração e visualiza os dados ou medição em tempo real.

Estes laboratórios, de maneira geral, são desenvolvidos de maneira fortemente acoplada, para atender as necessidades específicas de cada experimento ou instituição, não sendo adotado uma padronização no modelo de comunicação entre os experimentos e os servidores. Esta falta de padronização prejudica a possibilidade de conectar e compartilhar estes experimentos com terceiros, e na adaptação de experimentos de terceiros para utilização em suas plataformas RLMS.

Devido a grande variedade de experimentos, a maneira como os laboratórios remotos funcionam pode variar conforme ilustrado em destaque laranja na Figura 1, no entanto, a maneira como a interface de um laboratório remoto é acessível através da Internet pode ser padronizada, que é ilustrada em destaque verde na Figura 1.

**Figura 1** - Arquitetura Laboratório Remotos



Fonte: Salzmann et al. (2015).

### 1.1 Arquitetura *Smart Device*

Os dispositivos inteligentes, atuam de forma muito parecida com a tradicional arquitetura cliente-servidor, porém as principais diferenças entre as implementações existentes e os dispositivos inteligentes são, em primeiro lugar, a dissociação completa entre o servidor e o cliente, e em segundo lugar, a representação do servidor como um conjunto de serviços e funcionalidades bem definidos que permitem a interoperabilidade (Salzmann et al, 2015).

Este paradigma define uma especificação comum que é compartilhada por todos os *Smart Devices*, esta reutilização de uma especificação comum e do desacoplamento do servidor do

cliente alivia a maioria dos problemas que os desenvolvedores enfrentam quando o aplicativo cliente precisa ser adaptado a novos sistemas operacionais ou integrado em outros ambientes.

## 2 Procedimentos Metodológicos

Este trabalho pode ser classificado quanto a sua natureza como pesquisa básica, pois objetiva gerar novos conhecimentos, sendo úteis para o avanço da ciência, quanto sua abordagem, quantitativo, pois são realizadas consultas os principais repositórios de documentos científicos evidenciando a quantidade de publicações, como também qualitativo, trazendo os principais apontamentos das obras mais relevantes. Quanto aos seus objetivos é exploratória, pois torna o problema de pesquisa mais explícito, já em relação ao procedimento técnico, este trabalho é classificado como pesquisa bibliográfica, que segundo Marconi e Lakatos (2010, p.158), a pesquisa bibliográfica é vista com “um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados”.

Procurando identificar a fronteira do conhecimento do assunto objeto de estudo, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, assim realizando uma investigação em busca das publicações mais relevantes e atuais em relação ao problema abordado.

Foi definida a seguinte questão de pesquisa: *Como a padronização na comunicação de laboratórios remotos pode contribuir na expansão da disponibilidade de experimentos? É necessária a definição de uma questão de pesquisa, pois segundo Freire (2013) isso permite a delimitação das fronteiras do estudo proporcionando maior exatidão nas buscas.*

Com definição da questão da pesquisa, procedeu-se para identificação das variáveis a serem utilizadas no levantamento bibliográfico, identificadas como: “Laboratórios Remotos” e “Arquitetura Dispositivos Inteligentes”, sendo utiliza a base de dados *Scopus*, as palavras foram traduzidas para o inglês e incluídos outros termos similares, ainda utilizou-se de operadores delimitando a pesquisa que foi realizada na base de dados em 28 de novembro de 2016: Quadro

### Quadro 1 - Consulta realizada na base Scopus

<p>(TITLE-ABS-KEY ( remote laboratory ) OR TITLE-ABS-KEY ( distributed remote laboratory ) OR TITLE-ABS-KEY ( online laboratory architecture ) OR TITLE-ABS-KEY ( learning object repository ) OR TITLE-ABS-KEY ( metadata for learning resources ) OR TITLE-ABS-KEY ( networked learning environments ) OR TITLE-ABS-KEY ( open educational resources ) ) AND ( TITLE-ABS-KEY ( smart device ) OR TITLE-ABS-KEY ( smart device architecture ) )</p>
--

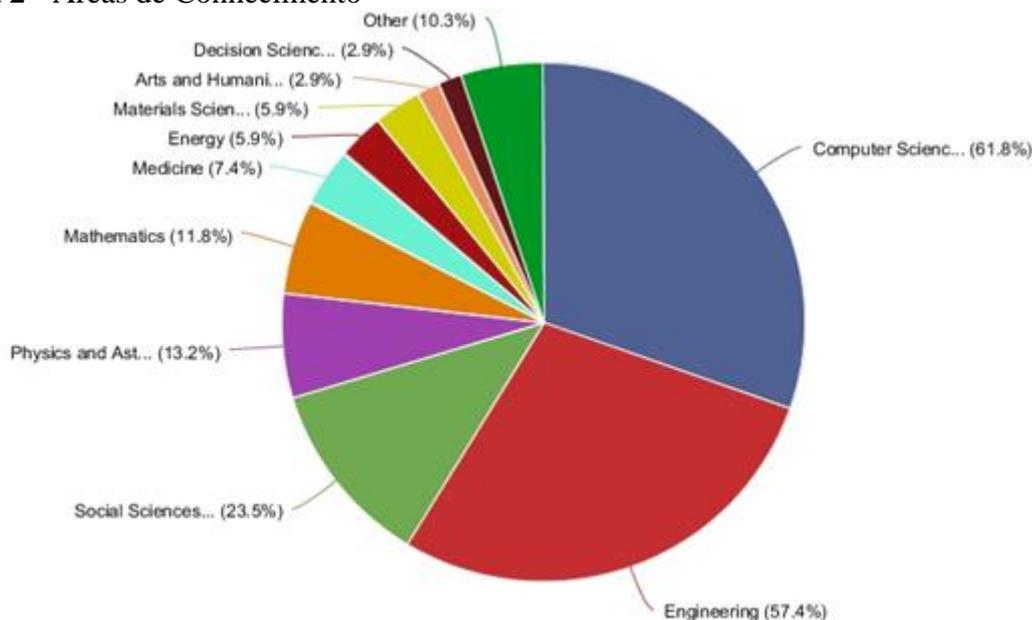
Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

### 3 Análise dos Resultados

A consulta com os termos em questão retornou a quantia de 110 documentos, tomando como ponto de partida no processo de seleção dos artigos a serem utilizados neste trabalho. Como passo seguinte, foi delimitado o período de publicação, sendo aplicado um filtro limitando as publicações do ano 2010 ou posteriores, resultando em 78 documentos.

O filtro aplicado na sequência, foi a limitação de documentos com assuntos relacionados as áreas de: ciência da computação ou engenharias ou ciências sociais, resultando então na quantidade de 68 publicações, ressalta-se que um documento pode estar classificado em mais de uma área de conhecimento, fato que explica a distribuição dos documentos em áreas do conhecimento diferentes das utilizadas nos filtros de consultas na base de dados ilustrado na Figura 2.

**Figura 2 - Áreas de Conhecimento**



Fonte: Elsevier (2016).

Na área de ciência da computação resultaram 42 documentos, a área com maior número de trabalhos, seguido por engenharias com 39 e ciências sociais com 16, abaixo a Figura 2 apresenta a distribuição dos documentos nas áreas de conhecimento. Os países com maior quantidade de publicações neste conjunto de documentos são: Suíça com 9, Espanha com 8, Estados Unidos também com 8, sendo seguidos pelo Canadá com 5 e a China com 4, o Brasil figura com 1 documento publicado.

Dos artigos, 8 autores são filiados a escola “*Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*” da Suíça, 5 autores são da “*Universidad Nacional de Educacion a Distancia*” da Espanha e 4 autores filiados a “*Universidad de Murcia*” também da Espanha.

Dando seguimento ao processo de seleção dos dados, foi realizado a leitura dos resumos para selecionar os trabalhos alinhados com o tema deste trabalho, sendo que dentre os 68 documentos foram selecionados 15 para leitura completa. Após a leitura das obras, foram selecionados de acordo com seus objetivos e resultados, verificando o foco dado ao paradigma “*Smart Device*” no desenvolvimento do trabalho. Foram utilizados neste estudo 8 trabalhos, relacionados na tabela abaixo em ordem cronológica de publicação.

**Tabela1** - Documentos selecionados.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Título</b>	<b>Tipo de Documento</b>
Rekik, W.a; Mhiri, M.b; Khemakhem, M.b	2012	A smart cloud repository for online instrument	Anais de Eventos
Deaky, B.-A.	2013	Contribution to online laboratory implementation and standardization	Anais de Eventos
García, M.L.;Fernandez, G.C. ;Ruiz, E.S. ; Martín, A.P. ; Gil, M.C.	2013	Rethinking remote laboratories: Widgets and smart devices	Anais de Eventos
Halimi, W. ; Salzman, C. ; Gillet, D.	2015	The smart wind turbine lab	Anais de Eventos
Orduna, P.a ; Zutin, D.G.b ; Govaerts, S.c ; Zorrozuza, I.L.d ; Bailey, P.H.e ; Sancristobal, E.d ; Salzman, C.c ; Rodriguez-Gil, L.a ; DeLong, K.e ; Gillet, D.c ; Castro, M.d ; Lopez-De-Ipina, D.a ; Garcia-Zubia, J.a ;	2015	An Extensible Architecture for the Integration of Remote and Virtual Laboratories in Public Learning Tools	Artigo
Salzman, C. ; Govaerts, S. ; Halimi, W. ; Gillet, D.	2015	The smart device specification for remote labs	Artigo
Halimi, W. ; Salzman, C. ; Gillet, D.	2016	The Mach-Zehnder interferometer - A smart remote experiment based on a software templat	Anais de Evento

Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

Rekik, Mhiri e Khemakhem (2012) tratam em seu trabalho a criação de um repositório online inteligente para controle de acesso a experimentos remotos, utilizando conceito da web semântica através de ontologias, que em outras palavras, significa uma representação formal de um domínio. As propriedades dos instrumentos devem ser representadas em três classes: usuários, provedores de instrumentos e repositório inteligente na nuvem, responsável por manipular os acessos aos experimentos. As propriedades mínimas sobre um instrumento no modelo dos autores devem conter: URI (identificação de onde o dispositivo é acessível online), nome, proprietário, localização do serviço, tipo, status, custo de acesso e qualidade de serviço.

No trabalho “Contribution to online laboratory implementation and standardization”, Deaky (2013) aborda o desafio no desenvolvimento de aplicações clientes na plataforma *Android* para acesso a experimentos baseados no ISA (*iLab Shared Architecture*) aponta dificuldades de autenticação em clientes que não são desenvolvidos com base na plataforma de

navegadores web, sendo necessário emular a interação do protocolo HTTP na aplicação, também descreve o problema de agendamento de uso de experimentos, que para serem realizados, necessitariam de um complexo processo no desenvolvimento das aplicações clientes para permitir a compatibilidade com esta função. Deaky (2013) conclui o artigo considerando a necessidade de padronização da arquitetura e da possibilidade da utilização métodos não baseados em navegadores, permitindo o desenvolvimento de aplicações moveis para tal fim, o autor sugere a criação de padronização como a utilizada como o formato XML (*Extensible Markup Language*) pelo fato de ser simples de entendimento, o autor é claro que a linguagem não é uma obrigatoriedade, mas um modelo para discussão inicial, já o modo como as requisições e respostas podem ser transmitidas, protocolos como SOAP, REST ou HTTP Post podem ser adotados.

Garcia et al. (2013) argumenta que a maioria dos laboratórios de experimentação remota possui uma arquitetura monolítica, e são gerenciados por diversos sistemas que implementam controles de forma customizada. O autor defende que os laboratórios devem ter sua arquitetura repensada, e uma opção é a utilização de uma arquitetura como a SOA (*Service Oriented Architecture*) que permite entradas e saídas de dados de forma padronizada, pois um grande desafio na integração de sistemas de laboratórios remotos encontra-se na forma particular em que cada sistema troca informações. A adoção do paradigma “Smart Device” pode eliminar este problema crítico de comunicação entre dispositivos e interfaces clientes (GARCIA et al., 2013). No modo de operação dos experimentos os elementos fundamentais são: Entradas (comandos, valores, informação de usuário, seleção de componentes) e Saídas (medições e resultados)

Um dos elementos fundamentais para os autores é a “decomposição dos laboratórios” em serviços divididos em: *Authentication and authorization, Discover, Learning analytics, Metadata, Scheduler, Storage, Status*. Nem todos os laboratórios existentes podem ser decompostos desta maneira, Garcia et al (2013) conclui que a arquitetura de dispositivos inteligentes fornece diretrizes chaves para comunicação de dados nos laboratórios.

O trabalho de Halimi, Salzmann e Gillet (2015) descreve o desenvolvimento de um experimento remoto para estudo da geração de energia eólica, já desenvolvido obedecendo ao paradigma “Smart Device”, que permite sua utilização independente do sistema de gerenciamento de laboratório ou aplicativo cliente específico. O acesso aos dados pode ser realizado via objetos JSON, a comunicação entre o software cliente e o software do servidor é realizada via WebSockets. Os metadados utilizados neste experimento podem ser encontrados em [“https://github.com/go-lab/smart-device/tree/master/myRIO/wind-turbine-interplay/metadata”](https://github.com/go-lab/smart-device/tree/master/myRIO/wind-turbine-interplay/metadata).

Orduna et al. (2015) aborda uma arquitetura para integração de laboratórios e defende a utilização de uma federação para interoperabilidade entre os RLMS. o Gateway4labs é um *middleware* (camada de software intermediária em sistemas distribuídos) que promove a integração de múltiplos laboratórios, permitindo outros sistemas utilizem o Go-lab (*Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School*). O Go-lab está utilizando o paradigma “Smart Device”, atualmente permite a integração com laboratórios que ainda não utilizam este conceito utilizando o *plugin gateway4labs*<sup>4</sup> denominando como integração leve, e também a integração completa, utilizando um “protocolo de tradução” entre o laboratório e o “Smart Device”. Os autores consideram que é possível a integração dos diversos RMLS em uma federação e que enquanto não houver a padronização dos laboratórios no paradigma “Smart Device” a migração dependerá de protocolos de 'tradução'.

No artigo “*The smart device specification for remote labs*” Salzman et al. (2015) apresentam uma visão geral sobre a arquitetura dos “Smart Devices” para laboratórios remotos, discutem a interoperabilidade proporcionada com a adoção deste modelo, e ainda descrevem as especificações em detalhes e exemplos para sua utilização.

Salzman et al. (2015) destacam que transferência de dados deve ser realizada com o protocolo “WebSocket”, podendo utilizar protocolo “HTTP GET” para obtenção dos metadados. Corroborando com o direcionamento do trabalho Salzman et al. (2015) informa que as principais plataformas utilizadas na construção de experimentos como *LabVIEW*, e *JavaScript (Node.js e Socket.IO)* permitem a implantação deste conceito, em outras situações um '*smart gateway*' pode ser utilizado como tradutor.

Para fortalecer o incentivo de adoção da especificação da arquitetura de dispositivos inteligentes, vários parceiros do projeto Go-Lab estão envolvidos no Grupo de Trabalho IEEE P1876, que trabalha na padronização deste modelo de comunicação.

Halimi, Salzman e Gillet (2016) apresentam uma proposta de utilização de “*Software Template*” para desenvolvimento de laboratórios utilizando o paradigma “Smart Devices”. De forma simplista, o *template* (modelo) é dividido em dois módulos: API de serviços e módulo Controle de Processo. O uso do *template* proporciona a elaboração de um ‘esqueleto’ da aplicação do lado servidor do laboratório remoto, obedecendo “*smart device architecture*”, os metadados podem ser adaptados pelo proprietário do laboratório. Fica fora da responsabilidade deste “*Software Template*” a implementação da interface de controle do hardware em questão.

---

<sup>4</sup> Sistema que permite a integração de múltiplos laboratórios remotos em diferentes ambientes de aprendizagem digital.

Os autores argumentam em suas considerações que o uso de *templates* geram economia de tempo e esforço no desenvolvimento de laboratórios na arquitetura *smart device*.

#### **4 Considerações Finais**

Através do objetivo de investigar trabalhos que abordam propostas de padronização na comunicação em laboratórios remotos e na possível adoção do paradigma dos dispositivos inteligentes (*Smart Devices*), pode-se observar que a partir de 2012 autores defendem a padronização referente aos dados dos experimentos como também dos protocolos de comunicação.

Desta forma, os trabalhos publicados respondem a questão de pesquisa indicando a grande possibilidade de compartilhamento de forma padronizada de experimentos e/ou a facilidade de integração e desenvolvimento de novos serviços.

Os trabalhos como o do grupo IEEE1876p reforçam a tendência de padronização utilizando tal paradigma, em que as funções do cliente e do servidor são totalmente independentes. Nota-se também a tendência de uso do protocolo “WebSocket” como padrão no envio e recebimento de informações, facilitando o retorno de dados do servidor para o dispositivo cliente, pois permite trabalhar com os dados forma assíncrona.

A proposta de utilização de “*software templates*” pode proporcionar facilidades no desenvolvimento de novas aplicações.

Como trabalhos futuros, propõe-se a realização de testes e possível implantação do paradigma de dispositivos inteligentes no laboratório de experimentação remota RExLab<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Acessível através do link <http://rexlab.ufsc.br>

## Referências

DEAKY, B. Contribution to online laboratory implementation and standardization. **2013 Ieee Global Engineering Education Conference (educon)**, [s.l.], p.?-?, mar. 2013. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/educon.2013.6530280>.

ELSEVIER B.V. (Amsterdam). SCOPUS. Disponível em: <<https://www.scopus.com/home.uri>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

FREIRE, P. S. **Aumente a Qualidade e Quantidade de Suas Publicações Científicas: Manual para elaboração de projetos e artigos científicos**. Curitiba: Crv, 2013. 90 p

GARCIA, M. L. et al. Rethinking remote laboratories: Widgets and smart devices. **2013 Ieee Frontiers In Education Conference (fie)**, [s.l.], p.?-?, out. 2013. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/fie.2013.6684933>.

HALIMI, W.; SALZMANN, C.; GILLET, D. The smart wind turbine lab. **2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)**, [s.l.], p.?-?, jun. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/expat.2015.7463233>.

HALIMI, W.; SALZMANN, C.; GILLET, D. The Mach-Zehnder Interferometer - A smart remote experiment based on a software template. **2016 13th International Conference On Remote Engineering And Virtual Instrumentation (rev)**, [s.l.], p.?-?, fev. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/rev.2016.7444485>.

LOWE, D. et al. Evolving Remote Laboratory Architectures to Leverage Emerging Internet Technologies. **Learning Technologies, IEEE Transactions on**, v. 2, n. 4, p. 289-294, 2009. ISSN 1939-1382. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/4620076/5370793/05210092.pdf?tp=&arnumber=5210092&isnumber=5370793>>.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica: técnicas de pesquisa**. 7 ed. - São Paulo: Atlas, 2010.

ORDUNA, P. et al. An Extensible Architecture for the Integration of Remote and Virtual Laboratories in Public Learning Tools. **Ieee Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje**, [s.l.], v. 10, n. 4, p.223-233, nov. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/rita.2015.2486338>.

REKIK, W.; MHIRI, M.; KHEMAKHEM, M. A smart cloud repository for online instrument. **International Conference On Education And E-learning Innovations**, [s.l.], p.?-?, jul. 2012. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/iceeli.2012.6360628>.

SALZMANN, C. et al. The Smart Device Specification for Remote Labs. **International Journal Of Online Engineering (ijoe)**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.20-29, 5 ago. 2015. International Association of Online Engineering (IAOE). <http://dx.doi.org/10.3991/ijoe.v11i4.4571>.