



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E
COMUNICAÇÃO

Lucas Mellos Carlos

Arquitetura para Análise de Aprendizagem no Uso de Laboratórios Remotos

Araranguá
2020

Lucas Mellos Carlos

Arquitetura para Análise de Aprendizagem no Uso de Laboratórios Remotos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Tecnologias da Informação e Comunicação.
Orientador: Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.
Coorientador: Prof. Juarez Bento da Silva, Dr.

Araranguá
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Mellos Carlos, Lucas

Arquitetura para Análise de Aprendizagem no Uso de Laboratórios Remotos / Lucas Mellos Carlos ; orientador, João Bosco da Mota Alves, coorientador, Juarez Bento da Silva, 2020.

112 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Araranguá, 2020.

Inclui referências.

1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2. arquitetura. 3. laboratórios remotos. 4. análise de aprendizagem. 5. métodos analíticos. I. da Mota Alves, João Bosco. II. da Silva, Juarez Bento. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação. IV. Título.

Lucas Mellos Carlos

Arquitetura para Análise de Aprendizagem no Uso de Laboratórios Remotos

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Alexandre Leopoldo Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Cristian Cechinel, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Renato Ventura Bayan Henriques, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Prof.º Fernando José Spanhol, Dr.º
Coordenador do Programa
Universidade Federal de Santa
Catarina – UFSC

Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa
Catarina – UFSC

Prof. Juarez Bento da Silva, Dr.
Coorientador
Universidade Federal de Santa
Catarina – UFSC

Araranguá, 13 de março de 2020.

This work is dedicated to a big black man, who is proud of his skin, Prof^o Hamadou Saliah-Hassane. By all his efforts to support my position as Emerging Leader in Americas. He opened his house in Montreal/QC to me, the man that became a big friend. To Prof^o Saliah-Hassane my sincerest MERCI BEAUCOUP.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é dedicado a todos que direta ou indiretamente suportaram meus esforços para sua conclusão: familiares, amigos, colegas de trabalho. Meu mais sincero agradecimento ao RExLab pelos 5 anos de trabalho que realizamos em conjunto. Aos grandes e saudosos professores Bosco e Juarez, por coordenarem o laboratório com maestria, acreditando em meu trabalho. A cada professor que, com seu conhecimento, me fez o mestre que me torno na data desta defesa. Pais, amigos, familiares, certamente vocês foram parte desta conquista da qual divido com imenso prazer. Agradeço ao Programa de Líderes Emergentes nas Américas (ELAP) promovido pelo governo canadense, pela mobilidade de seis meses que me permitiu a realização do mestrado em modalidade sanduíche junto ao grande professor Hamadou Saliah-Hassane na TELUQ University. À CAPES/FAPESC por apoiarem minha pesquisa e mobilidade.

*“Sucesso é a soma
de pequenos esforços -
repetidos dia sim, e no outro também.”
(Robert Collier)*

RESUMO

A evolução das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) nos últimos anos tem gerado impacto nas mais diversas áreas e acarretado grandes transformações no cotidiano atual. Na área de mediação à distância, o processo de avaliação da aprendizagem ainda carece de técnicas precisas de acompanhamento e análise. Assim, este trabalho apresenta uma arquitetura com foco na análise da aprendizagem de alunos em uso de laboratórios remotos, suportado por um sistema de detecção de erros. Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se do laboratório remoto VISIR como objeto de estudos, com base na norma IEEE 1876, e aplicou-se o método *Design Science Research*(DSR). Através do DSR desenvolveu-se uma situação problema que deu origem a um protótipo envolvendo agentes comuns a uma solução de laboratório remoto. Assim, desenvolveu-se cenários de aprendizagem que corroboram para a personalização da aprendizagem. Como contribuições deste trabalho, tem-se uma solução que define a capacidade de integrar sistemas de detecção de erros junto ao processo de avaliação do aprendizado no uso de laboratórios remotos de forma individualizada, sendo este processo etapa crítica no desenvolvimento de novos conhecimentos e ampliação de resultados futuros

Palavras-chave: TICs. Laboratórios Remotos. Avaliação da Aprendizagem.

ABSTRACT

The evolution of Information and Communication Technologies (ICTs) in recent years, has resulted in major changes impacting on the most diverse areas. On distance mediation, the assessment process suffers from a lack of technics. Thus, this work presents an architecture focused on the analysis of learning in the use of remote laboratories supported by an error detection system. For the development of this work, the VISIR remote laboratory was used as an object of studies based on the IEEE 1876 standard, the development of this work took place through the use of *Design Science Research* (DSR) as a method. Through the DSR, a problem situation was developed to raise a prototype involving common agents in a remote laboratory solution. In this sense, learning scenarios were developed aiming to corroborate for the learning personalization. As this work contributions, it has a solution that is capable to integrate errors detection using learning assessment process through the remote laboratories usage process in an individualized way, being this process a critical step on the development of new discoveries and future implications.

Keywords: ICTs. Remote Laboratories. Learning Assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sintetização dos conceitos e fundamentações das pesquisas.	21
Figura 2 – Sequência para construção de classes de problemas.	22
Figura 3 – Correlação entre etapa DSR com os <i>outputs</i> gerados.	23
Figura 4 – Sequência para construção de classes de problemas.	24
Figura 5 – Evolução das tendências em desenvolvimento tecnológico na educação superior.	28
Figura 6 – Evolução do desenvolvimento tecnológico na educação básica.	29
Figura 7 – Comparativo da série NMC Horizon Report.	30
Figura 8 – Camadas conceituais proposta pela IEEE-SA 1876.	31
Figura 9 – WebLab-Deusto arquitetura.	33
Figura 10 – gateway4labs arquitetura.	34
Figura 11 – RELLE arquitetura.	36
Figura 12 – iLab Shared Architecture.	37
Figura 13 – implementação usando a iLab Shared Architecture.	38
Figura 14 – Laboratório remoto VISIR pelo Facebook.	39
Figura 15 – VISIR matrizes.	40
Figura 16 – VISIR arquitetura.	41
Figura 17 – Etapas do processo de KDD.	42
Figura 18 – Exemplo de <i>statement</i> xAPI.	45
Figura 19 – Diagrama de sequência para acesso a um laboratório com xAPI.	46
Figura 20 – Arquitetura proposta.	48
Figura 21 – Exemplo de uso de ator xAPI.	49
Figura 22 – Exemplo de uso de verbos xAPI.	50
Figura 23 – Exemplo de uso de objetos xAPI.	51
Figura 24 – Exemplo de uso de contextos xAPI.	52
Figura 25 – Tecnologias de comunicação suportadas na arquitetura proposta.	54
Figura 26 – Exemplo de erro usado na alimentação do sistema de recomendação.	57
Figura 27 – Exemplo de circuito usado na alimentação do sistema de recomendação.	58
Figura 28 – Funcionamento de uma placa de prototipação.	61
Figura 29 – Composição de posicionamentos possíveis em uma placa de prototipação.	62
Figura 30 – Funcionamento de uma consulta no Learning Locker.	66
Figura 31 – Diagrama de sequência resultante.	67
Figura 32 – Erro de medição em circuitos em série.	84
Figura 33 – Identificação da atividade de <i>tracking</i> do usuário.	85
Figura 34 – Erro de medição em circuitos em paralelo.	86

Figura 35 – Erro de medição em circuitos misto pela falta de resistência.	86
Figura 36 – Erro de medição em circuitos misto pelo mau posicionamento.	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Identificador funcional xAPI.	48
Quadro 2 – Ator xAPI.	49
Quadro 3 – Verbo xAPI.	49
Quadro 4 – Propriedades de um objeto xAPI.	50
Quadro 5 – Propriedades de um contexto xAPI.	51
Quadro 6 – Verbos gerais empregados.	52
Quadro 7 – Exemplo de ligações dos cabos no sistema.	61
Quadro 8 – Verbos empregados no protótipo.	62
Quadro 9 – Caso de Uso 01: Estudante Acessou Um Laboratório	69
Quadro 10 – Caso de Uso 02: Estudante Adicionou Um Componente	71
Quadro 11 – Caso de Uso 03: Estudante Moveu Um Componente	73
Quadro 12 – Caso de Uso 04: Estudante Moveu Um Fio	75
Quadro 13 – Caso de Uso 05: Estudante Configura Um Instrumento	77
Quadro 14 – Caso de Uso 06: Estudante Realiza Uma Medição	79
Quadro 15 – Caso de Uso 07: Laboratório Retorna os Valores da Medição	81
Quadro 16 – Caso de Uso 08: O Sistema de Recomendação Retorna Uma Recomendação	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADL	<i>Advanced Distributed Learning Initiative</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
AVAs	Ambientes Virtuais de Aprendizagem
BYOD	<i>Bring Your Own Device</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
E-Learning	<i>Eletronic Learning</i>
ELSA	<i>Experiment Lab Server Architecture</i>
GT-MRE	Grupo de Trabalho em <i>Mobile Remote Experimentation</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HTML5	<i>Hyper-Text Markup Language version 5</i>
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IRI	<i>Internationalized Resource Identifier</i>
ISA	<i>iLab Shared Architecture</i>
ISB	<i>Interactive Service Broker</i>
ISEP	Instituto de Engenharia do Porto
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
LA	<i>Learning Analytics</i>
LaaS	<i>Laboratory as a Service</i>
LIS	<i>Labs Instance Scheduling</i>
LRP	<i>Learning Record Provider</i>
LRS	<i>Learning Record Store</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
M-Learning	<i>Mobile Learning</i>
MOOCs	<i>Massive Open Online Courses</i>
NMC	<i>New Media Consortium</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento ou Econômico
OL-LOM	<i>Online Labs - Learning Object Metadata</i>
PPGTIC	Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação
PXI	<i>PCI eXtensions for Instrumentation</i>
RELLE	<i>REmote Labs Learning Environment</i>
REST	<i>Representational state transfer</i>
RExLab	<i>Remote Experimentation Laboratory</i>
RLMS	<i>Remote Labs Management Systems</i>
SOAP	Protocolo Simples de Acesso a Objetos
TALE	<i>Teaching, Assessment, and Learning for Engineering</i>

TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
TPACK	<i>Technological Pedagogical Content Knowledge</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNED	<i>Universidad Estatal a Distancia</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VISIR	<i>Virtual Instruments Systems In Reality</i>
VISIR-DB	VISIR Dashboard
WS	WebSocket

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMÁTICA	17
1.1.1	Pergunta de Pesquisa	18
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	JUSTIFICATIVA	19
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
1.5	ADERÊNCIA AO PPGTIC	23
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1	INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO	26
2.1.1	Tecnologias na Educação	26
2.2	LABORATÓRIOS REMOTOS	30
2.2.1	Classificação dos Laboratórios Remotos	31
2.2.2	Soluções de Laboratórios Remotos	32
2.2.2.1	WebLab-Deusto	33
2.2.2.2	RELLE	34
2.2.2.3	iLab	35
2.2.2.4	<i>OpenLabs Electronics Laboratory</i>	36
2.2.3	Padronizações na Área	39
2.3	<i>KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES</i>	41
2.3.1	<i>Learning Analytics</i>	41
2.3.2	<i>Learning Analytics</i> e Laboratórios Remotos	43
2.3.3	Framework xAPI	44
3	MODELO PROPOSTO	47
3.1	VISÃO GERAL	47
3.1.1	Definição dos <i>statements</i> xAPI	48
3.1.2	Integração entre os agentes	52
4	DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA	55
4.1	ADOÇÃO E ADEQUAÇÃO DA PLATAFORMA VISIR	55
4.1.1	Inclusão do Suporte a Sistema de Recomendação	55
4.2	INCLUSÃO DO SUPORTE AO VISIR	58
4.2.1	Mapeamento dos componentes de interface	59
4.2.1.1	Mapeamento das funcionalidades dos instrumentos e ações de componentes	59
4.2.1.2	Escolha dos verbos	62

4.2.1.3	Formulação dos <i>statements</i>	63
4.2.2	Salvamento das informações em um LRS genérico	65
4.3	CENÁRIOS DE APLICAÇÃO E CASOS DE USO	66
4.3.1	Casos de uso	67
4.3.2	Cenários passíveis de aplicação	84
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
5.1	TRABALHOS FUTUROS	89
5.2	CONSIDERAÇÕES CORRELATAS AO TRABALHO	90
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICE A – EXEMPLO DE <i>RESPONSE</i> DO LABORATÓRIO	
	REMOTO VISIR	105
	APÊNDICE B – EXEMPLO <i>RESPONSE</i> SISTEMA DE RECOMEN-	
	DAÇÃO	108
	APÊNDICE C – EXEMPLO DE <i>REQUEST</i> DO LABORATÓRIO	
	REMOTO VISIR	109
	APÊNDICE D – EXEMPLO DE ERRO MAPEADO EM CIRCUITO	
	SALVO	112

1 INTRODUÇÃO

O grande alavancamento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tem promovido uma série de modificações na sociedade contemporânea, principalmente nos anos mais recentes, os avanços em globalização vêm aumentando de maneira desenfreada.

As constantes mudanças no cotidiano de milhares de pessoas ao redor do mundo têm revelado diariamente grandes ideias, projetos, inovações, modificando a forma como as pessoas interagem, se comunicam e vivem.

A difusão das redes de comunicação tem se tornado um grande aliado neste processo. Dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento ou Econômico (OCDE) apontam uma massificação do acesso à internet nas residências Brasileiras nos últimos anos. No ano de 2008 apenas 17,6% das residências possuíam internet, já no ano de 2017 cerca de 60,8% das residências aparecem com internet em suas dependências (OECD, 2017).

Em artigo publicado no ano de 2018, a revista Forbes evidencia como tal mudança de cenário tecnológico vem impactando positivamente o mercado de *Electronic Learning* (E-Learning) em termos financeiros em que se prevê uma cifra de \$325 bi por volta do ano de 2025 no universo de *E-learning* (FORBES, 2018).

Atualmente, a indústria vem sendo outro viés que está em um constante e intenso processo de modificação impulsionado pelas TIC, de modo tal que tem dado vazão a 4ª Revolução Industrial.

Esta Revolução que traz diversos elementos das TIC, como já evidenciados por Schlick (2012), pode-se destacar os dispositivos cada vez mais conectados, tais como: lâmpadas, eletrodomésticos, dando vazão aos dispositivos de *Internet of Things* (IoT).

A indústria, mais uma vez, está sendo modificada com os avanços tecnológicos, dispositivos inteligentes, *low-energy*, *big data*, dentro outros elementos que estão sendo agregados na chamada indústria 4.0 (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

Novos dispositivos tecnológicos passaram a dar um caráter mais homogêneo e democrático as formas de acesso à informação. A educação, por vez, tem sido uma das grandes áreas beneficiadas neste processo de transformação digital.

Ao exemplo de livros físicos, que agora podem ser acessados via dispositivos computacionais conectados a grandes centros de dados, que, através de um único exemplar se multiplicam com o auxílio dos meios de comunicação através de redes como à Internet (MONTRIEUX *et al.*, 2015; CETIC.BR, 2008).

Tal modificação tem gerado grandes mudanças oriundas ao movimento de integração de tecnologia no processo de ensino-aprendizagem. Onde tal evolução das TIC tem refletido na manutenção do processo de avaliação da aprendizagem (UNESCO, 2019).

A avaliação é parte chave do processo de aprendizagem e é nela que se deve concentrar a proposta de suportar a aprendizagem (INDARYANI; MUCHTAR; NOMIDA MUSNIR, 2018).

Fuentealba (2011) caracteriza que a educação deve possuir diversos métodos de avaliação da aprendizagem de modo a comportar diferentes domínios e comportamentos de estilos de aprendizagem.

Neste campo, o uso de métricas de *Learning Analytics* (LA) na avaliação da aprendizagem desempenham uma função importante no acompanhamento e predição de informações úteis em todo o ecossistema de *stakeholders* do processo educacional (HERODOTOU *et al.*, 2019).

O *New Media Consortium* (NMC) *Horizon Report* de 2016 classifica *Learning Analytics* como o uso de *web analytics* para melhor compreender as interações dos estudantes em atividades de aprendizagem online (JOHNSON *et al.*, 2016).

Na perspectiva de análise de aprendizagem, uma série de métricas são coletadas transparentemente ao usuário, podendo revelar evidências vantajosas de vários indicadores. Como, por exemplo, a probabilidade de haver evasão, dificuldade de executar uma determinada atividade, melhoria na prática, dentre outras (VIBERG *et al.*, 2018). O uso destas métricas tende a favorecer todos os *stakeholders* do processo de educação a melhor compreenderem como auxiliar no processo de formação educacional.

1.1 PROBLEMÁTICA

A adoção de métricas para análise de aprendizagem vem sendo uma problemática constante no mundo de *E-Learning*, sua preocupação se condiz pela dificuldade de avaliar o discente em suas atividades. O crescimento da popularidade de cursos mediados via distância e as alternativas de ferramentas de suporte ao ensino de modo online não produziram um crescimento concomitante das formas de avaliação (TRICKER *et al.*, 2001).

Estudos com o escopo mais abrangente se encontram amplamente difundidos nestes cenários, onde, costumeiramente se vê a adoção de métricas de análise de aprendizagem em Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) (SILVA; OLIVEIRA, 2016).

Ainda que este uso seja adotado, há de se ponderar o processo de integração de dados oriundos de diferentes ambientes e mecanismos de ensino, estes que, mesmo tendo definidos determinados padrões possuem suas características distintivas.

Jona e Uttal (2013) externalizam uma grande preocupação pedagógica no tocante a avaliação de aprendizagem por professores em ambientes como laboratórios remotos. Na qual se questiona como os professores acompanham tal progresso do estudante.

Para que essas oportunidades possam ser mais exploradas, mais recentemente, em 2019, apoiado pela IEEE *Education Society* o grupo de trabalho IEEE-SA P1876® aprovou o primeiro *standard* que suporta laboratórios online como recursos de aprendizagem (IEEE P1876, 2019). Neste contexto, a norma define as camadas e possíveis protocolos que podem ser adotados no processo de desenvolvimento de uma plataforma para laboratórios online.

No que se refere ao uso de sistemas de recomendação como ferramenta de suporte ao ensino junto a laboratórios remotos, esta tem-se uma limitação ainda maior. Pesquisas relacionadas realizadas por Alexandre L. Gonçalves *et al.* (2018) já trazem uma abordagem, porém sem que haja uma adesão a um padrão de salvamento de dados, para uma análise futura.

Atualmente o uso e a manutenção de dados têm sido um grande desafio para projetistas de sistemas voltados à extração de conhecimento, no âmbito da grande heterogeneidade dos sistemas e da comunicação entre si. De acordo com Simão (2018), os diversos padrões que podem ser empregados no desenvolvimento de uma aplicação deste feitio visando dar mais fluidez a tal problema de modo a se complementarem.

1.1.1 Pergunta de Pesquisa

Com base na problemática, o trabalho apresenta soluções da qual se oriunda a seguinte pergunta de pesquisa:

Como a análise de aprendizagem utilizando métodos analíticos em laboratórios remotos pode auxiliar o processo de ensino-aprendizagem?

1.2 OBJETIVOS

Buscando responder a pergunta de pesquisa retratada por este trabalho, e contribuir para tal, elencou-se os seguintes objetivos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma arquitetura para análise de aprendizagem suportada por métodos analíticos no uso de laboratórios remotos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as padronizações existentes nos campos de laboratórios remotos e *learning analytics*.
- Analisar soluções de laboratórios remotos a fim de integrar com a arquitetura desenvolvida.

- Interiorizar as especificações dos sistemas de gerenciamento de laboratórios remotos com foco em *learning analytics*.
- Propor casos de uso de acordo com a aplicação desenvolvida de modo que a arquitetura possa ser avaliada.

1.3 JUSTIFICATIVA

Apoiado pelo grande crescimento da *E-learning* e pelos grandes avanços tecnológicos, que trazem cada vez mais inovações para dentro da sala de aula, não restringindo esta a um espaço de quatro paredes, a tecnologia tem feito parte do cotidiano escolar a cada dia mais.

Tal adoção de tecnologia na educação tem fomentado a utilização de novas metodologias no processo ensino e aprendizagem, ao exemplo de *blended learning* (MISHRA; KOEHLER, 2006).

Pesquisas realizadas no campo de integração de tecnologia na educação através do *framework Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) proposto por Cristiano *et al.* (2016) evidenciam a falta de fluência na integração dos recursos, demandando novos desenvolvimentos que cumpram o tripé tecnologia, discente e docente.

Nesta perspectiva, o relatório *Horizon Report* traz anualmente previsões para o desenvolvimento e adoção de tecnologias na educação a curto, médio e longo prazo.

Dentre tais, ressalta-se uma predição do avanço de tecnologias analíticas em um curto espaço de tempo, caracterizadas no período entre um ano ou menos. No horizonte de dois à três anos, se prevê uma agregação de inteligência artificial neste contexto fortalecendo ainda mais o campo de tecnológicos educacionais (ALEXANDER *et al.*, 2019).

Os métodos de análise de aprendizagem surgem como grandes fontes de auxílio ao processo de ensino-aprendizagem, sendo tais resultados importantes para *stakeholders* de todo o ecossistema educacional.

O uso de métodos analíticos para avaliação de aprendizagem torna a análise mais compreensível e efetiva, podendo, desta forma, sendo possível identificar possíveis *gaps* e comportamentos em um determinado número de discentes (JI *et al.*, 2016).

A adoção de laboratórios remotos é mais um dos mecanismos para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem, de modo que discentes e docentes passam a expandir o horizonte da sala de aula para além das limitações geográficas do ambiente escolar, além de aumentarem o número de recursos que podem ser utilizados no processo de ensino-aprendizagem (VIEGAS *et al.*, 2014; VIEGAS; MARQUES; ALVES, 2017).

O emprego de métodos analíticos em laboratórios remotos promove ao docente uma interface de avaliação da prática executada remotamente durante o processo de aprendizagem. Sendo possível vislumbrar métricas como tempo gasto, número de tentativas, dentre outras métricas (SALIAH-HASSANE *et al.*, 2019).

Ademais, é necessário promover formas de se avaliar como realmente ocorre a aprendizagem no uso de laboratórios remotos. Soluções de laboratórios remotos podem servir como uma peça chave do processo formativo em educação, porém é necessário mensurar como estudantes aprendem usando este tipo de tecnologia.

Uma forma de visualizar como discentes usam e aprendem com esta tecnologia é através de métodos analíticos para análise de aprendizagem, que, suportado por sistemas de recomendação pode promover revelar resultados mais precisos e condizentes do processo em determinadas práticas.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Visando atingir os objetivos estabelecidos neste trabalho, bem como, responder a pergunta de pesquisa explicitada, elaborou-se esta pesquisa tendo por base a metodologia *Design Science Research* (DSR). De modo que, é possível a obtenção de artefatos e seus melhoramentos, fato este, imprescindível no campo das TIC (RODRIGUES, 2018).

Tais artefatos focam não em provar ou quebrar paradigmas científicos, mas em classificar e demonstrar o quão útil, eficaz e relevante é este, através de evidências elementares (SORDI; AZEVEDO; MEIRLES, 2015).

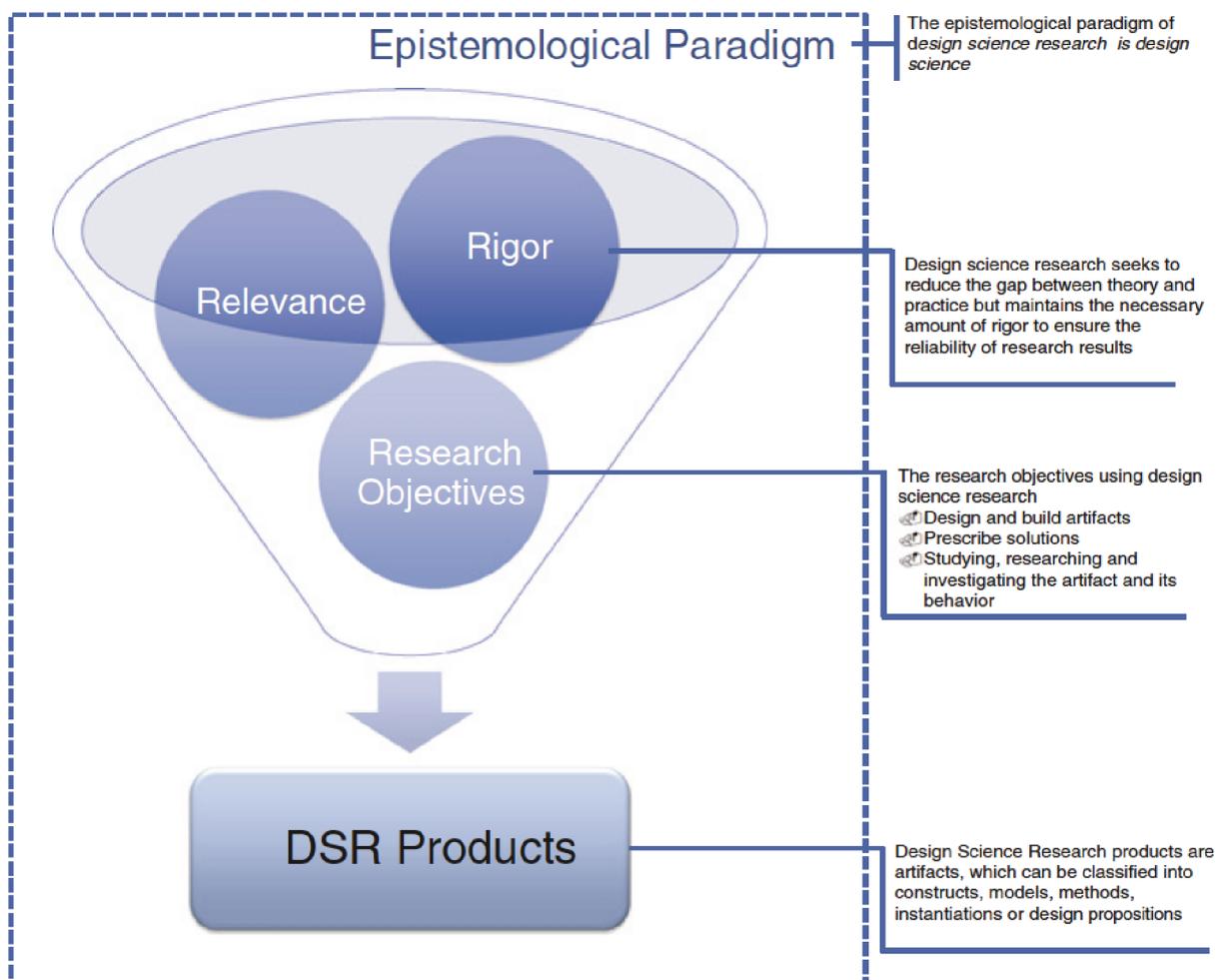
A sintetização dos conceitos de uma pesquisa conduzida por DSR pode ser descrita como o seu paradigma epistemológico que contém um funil com o rigor, relevância e objetivos da pesquisa para formar produtos de DSR, conforme expressado na Figura 1.

A DSR foca na obtenção e no estudo do quê é um artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2014). Ela visa promulgar o levantamento de "classes de problemas", um termo bastante amplo, porém sem uma definição concreta firmada na literatura. Em uma definição, tem-se a caracterização de classes problemas como "[...] a organização de um conjunto de problemas, práticos ou teóricos, que contenha artefatos avaliados, ou não, úteis para a ação nas organizações" (LACERDA *et al.*, 2013, p. 747).

Tal referência pode ser expressa na Figura 2 da qual o autor define uma lógica para construção de de classes problemas. Nesta o autor divide o processo lógico de construção de classes problemas em três etapas, sendo:

- Conscientização: define-se pelo levantamento inicial do que se busca como artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2014; OFFERMANN *et al.*, 2009);

Figura 1 – Sintetização dos conceitos e fundamentações das pesquisa.



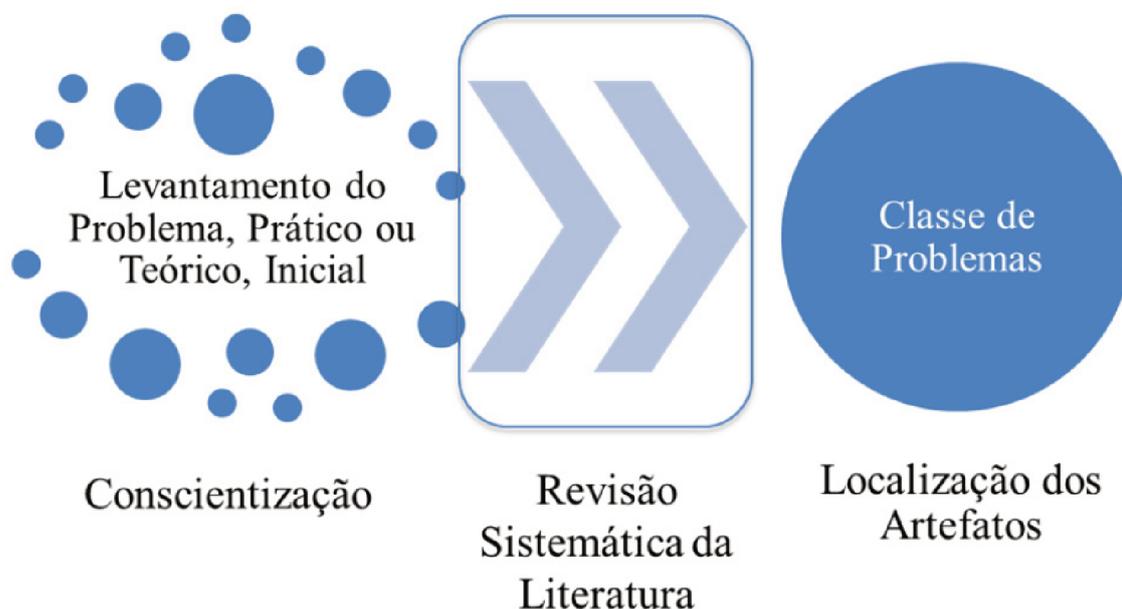
Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes (2014, p. 71)

- Revisão Sistemática da Literatura: apontado por muitos autores como um passo crucial, a revisão de literatura é uma das bases da DSR (BROCKE; MAEDCHE, 2019);
- Localização dos artefatos: caracteriza-se pelo artefato em si, que, ao final gerará uma classe de problemas como especificidade.

A DSR pode ser conduzida em sete grandes etapas, das quais configuram-se, inicialmente, no desenho do artefato esperado, e a sua relevância quanto o problema. Sua relevância está ligada diretamente com a sua avaliação na tentativa de identificar a qualidade e eficiência deste artefato (VENABLE; PRIES-HEJE; BASKERVILLE, 2016).

Para Peffers *et al.* (2007) e Dresch, Lacerda e Antunes (2014), as contribuições de uma pesquisa dependerão do rigor a qual será empregado na mesma. Assim, é possível o estabelecimento de um processo de pesquisa visando a comunicação dos

Figura 2 – Sequência para construção de classes de problemas.



Fonte: Lacerda *et al.* (2013, p. 747)

resultados.

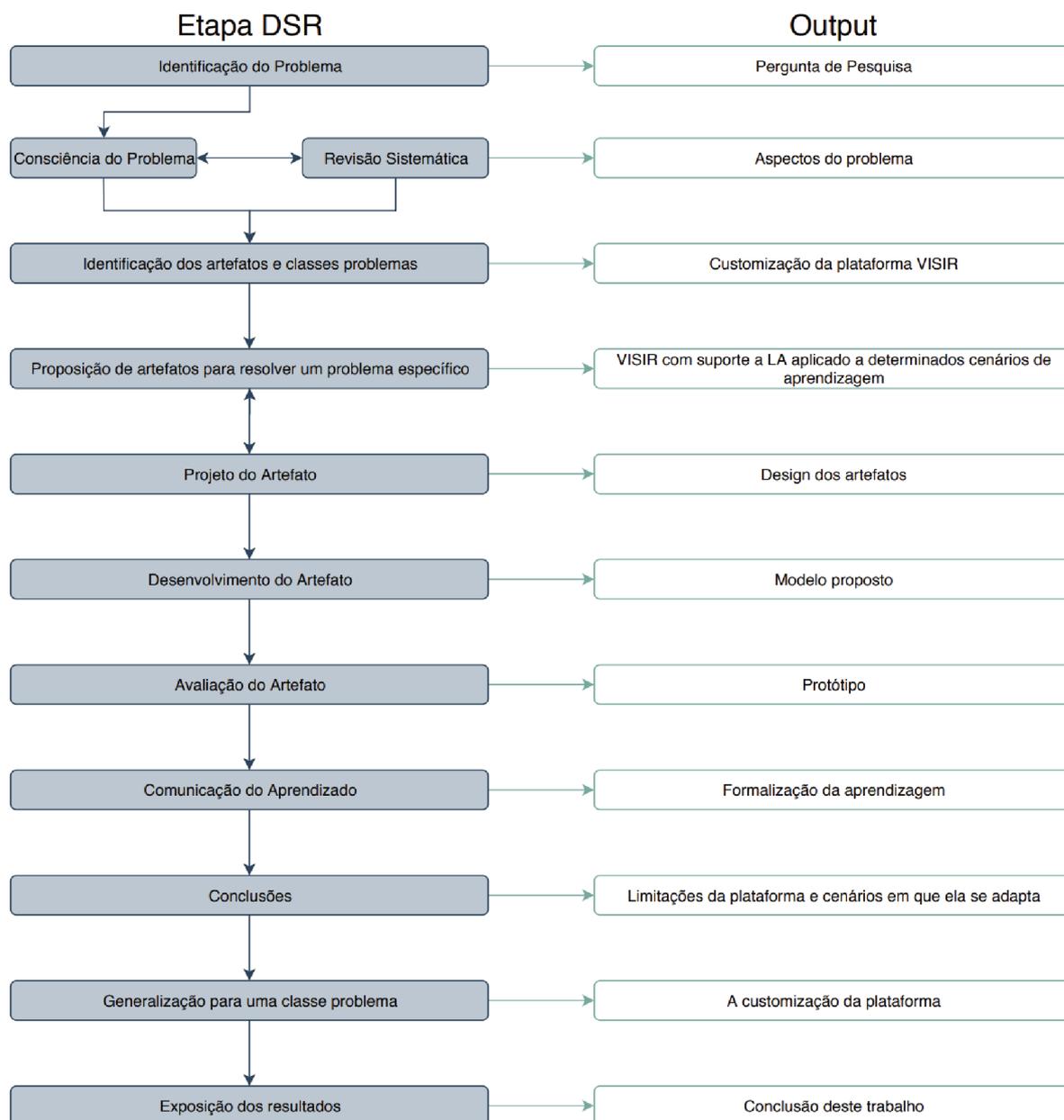
Do ponto de vista científico do formalismo lógico, a abordagem DSR permeia entre os métodos abdução, dedutivo e indutivo (KUECHLER; VAISHNAVI, 2008). A criação dos artefatos na intenção de atingir um determinado objetivo pode-se caracterizar como parte do processo de abdução (MOSCOSO, 2019).

O conhecimento dedutivo neste processo está relacionado com a criação de hipóteses para tal forma que este vai de encontro com o processo de indução presente nas etapas do DSR, onde o pesquisador faz induções sobre as descobertas do seu artefato (BRYMAN, 2012).

A DSR ainda pode ser conhecida por gerar um grande número de *outputs* no final de suas etapas, de modo que das etapas exibidas na A proposta ao problema, a tentativa de *design*, o artefato, as métricas de melhorias empregadas no processo de mensuração e por fim os resultados. A Figura 3 exhibe os *outputs* gerados na pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2014; PEFFERS *et al.*, 2007; KUECHLER; VAISHNAVI, 2008).

Por vez, a pesquisa foi estruturada em macro etapas, planejamento, desenvolvimento e conclusão. A Fig. 4 exhibe etapas da pesquisa e como a mesma pode ser reproduzida de modo a agregar, também, alguns resultados correlatos a mesma.

Figura 3 – Correlação entre etapa DSR com os *outputs* gerados.

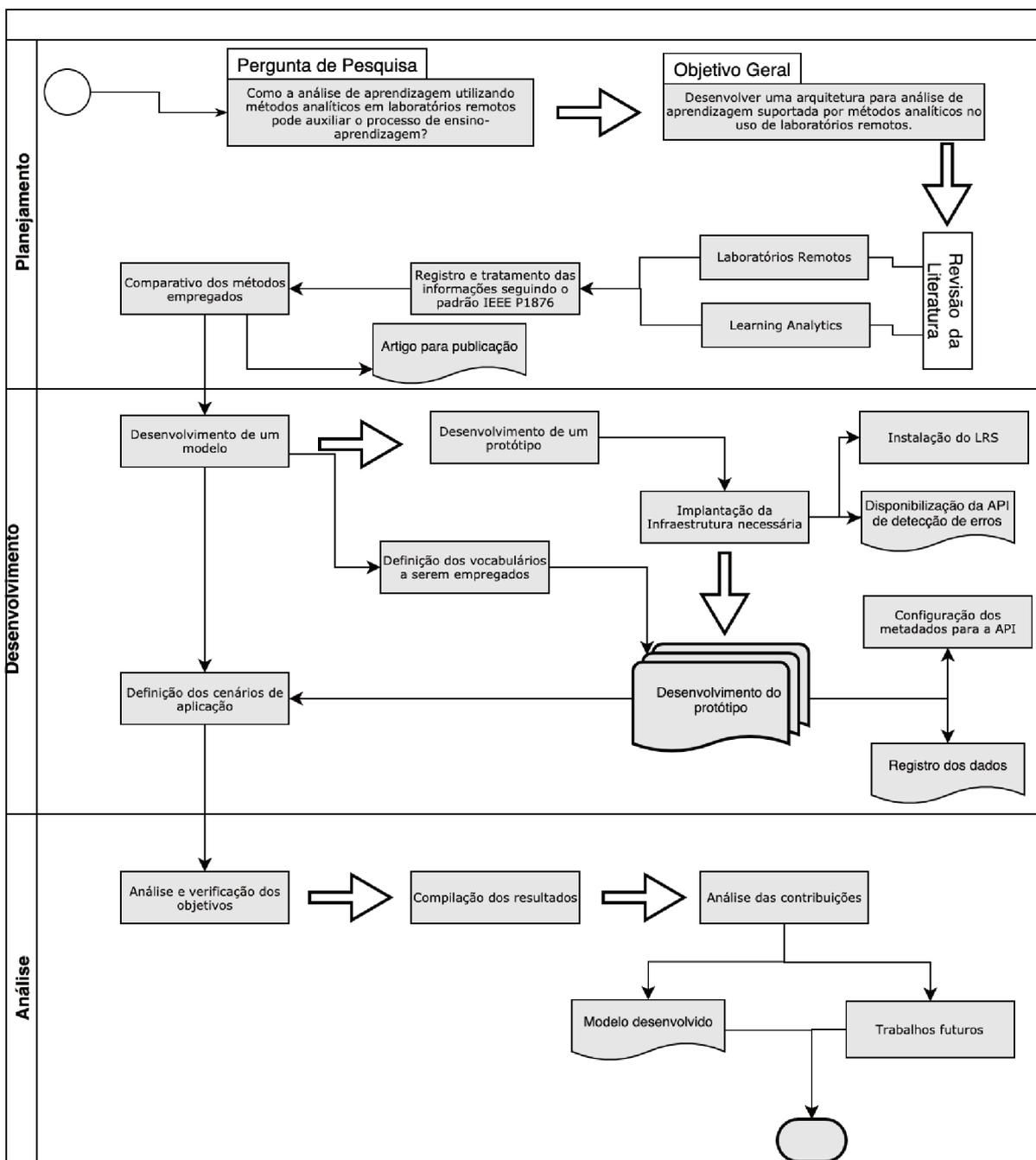


Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

1.5 ADERÊNCIA AO PPGTIC

O Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação (PPGTIC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em nível de mestrado está estabelecido no eixo central de **Tecnologia e Inovação** como sua área de concentração (PPGTIC, 2019b). Estando o programa atuando em três linhas, sendo: (1) Tecnologia Gestão e Inovação, (2) Tecnologia Educacional e (3) Tecnologia Computacional (PPGTIC, 2019a).

Figura 4 – Sequência para construção de classes de problemas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O presente trabalho encontra-se encaixado na linha de Tecnologia Computacional, da qual cumpre os requisitos

"[...] desenvolver modelos, técnicas e ferramentas computacionais auxiliando na resolução de problemas de natureza interdisciplinar. Especificamente, esta linha de pesquisa procura desenvolver novas tecnologias computacionais para aplicação nas áreas de educação e gestão."(PPGTIC, 2019a).

Considerando os objetivos esperados pela linha de pesquisa pertinente a este

trabalho, tem-se que os objetivos do mesmo corroboram com tal, de modo que, este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma arquitetura computacional através de uma proposta que se encontra interdisciplinarmente ligada ao campo da educação, a qual se define o campo de aplicação deste trabalho.

Dentre os trabalhos já publicados no PPGTIC, destaca-se o trabalho realizado por Simão (2018), sendo os resultados atingidos no trabalho do autor usados como objeto de composição deste.

Contextua-se ainda este trabalho como um dos avanços propostos pelo autor em "expandir o modelo para mais cenários de aplicação e implantá-lo em diferentes arquiteturas de laboratórios"(SIMÃO, 2018, p. 93).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco diferentes capítulos das quais intercalam-se em diferentes áreas e assuntos de maneira interdisciplinar entre educação e tecnologia trazendo tecnologias novas e emergentes em ciência da computação e educação.

O Capítulo 1 apresenta os objetivos desta pesquisa, bem como suas delimitações e os desafios a serem enfrentados por ela. Suas contribuições são ressaltadas e junto a sub-seção 1.4, que destaca o uso da metodologia DSR, neste trabalho.

Já o Capítulo 2 traz o arcabouço teórico na qual este trabalho se baseou para a realização do seu desenvolvimento. O capítulo transcorre por conceitos macros de integração de tecnologia na educação e laboratórios remotos, centrando-se, ao final, na avaliação da aprendizagem utilizando métodos analíticos.

O Capítulo 3, por vez, adentra no desenvolvimento prático da pesquisa, visando detalhar os passos para o alcance dos objetivos estabelecidos pela mesma, de modo que, o capítulo se destinará a descrever a proposta de modelo implementada neste trabalho de modo genérico a laboratórios remotos e sistemas de avaliação de aprendizagem. O capítulo apontará, também, as tecnologias adotadas bem como os métodos que ceram a mesma.

O Capítulo 4 descreve a concepção do protótipo desta pesquisa. O protótipo se dá por meio da implantação do modelo retratado no Capítulo 3 através do uso do laboratório remoto VISIR, suportado com a alimentação de um sistema de recomendação com cenários de aprendizagem baseados nos conceitos de associação de resistores.

Por fim, o Capítulo 5 traz as considerações finais deste trabalho, elencando as contribuições do mesmo e sugestões de trabalhos futuros que ligam, expandem e correlacionam com os objetivos deste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO

Fatores correlatos a massificação das TIC tem sido um grande aliado da educação, deste modo, propiciando o processo de integração de tecnologia na educação. O uso de dispositivos móveis tende a trazer um grande potencial para a educação, principalmente em práticas ligadas à *Mobile Learning* (M-Learning) (SILVA *et al.*, 2013).

A evolução, que comumente é relatada a evolução da internet, passa também ser parte da evolução da web (NEPROKINA; MEDVEDEVA; PEREVEZENTSEVA, 2020). Porém, para Raman, Thannimalai e Ismail (2019), o uso de TIC na educação ainda não é satisfatório, de modo que, se despende muito tempo usando a tecnologia e se obtém pouco resultado.

Já autores como Uslu e Usluel (2019) afirmam que o uso de tecnologia na educação desempenha uma tarefa de suma importância no caráter formativo de habilidades do século XXI.

A adesão a tais ferramentas de TIC passa por uma série de barreiras, dentre tais, as mais comumente encontradas são as da conectividade e disponibilidade de recursos. Em um exemplo emblemático, somente cerca de 38% das escolas brasileiras possuíam laboratórios de informática em suas dependências no ano de 2019 (INEP, 2018).

O uso de redes sociais tem impulsionado e muito o uso de dispositivos conectados a internet. No ano de 2015, cerca de 71% dos jovens e adolescentes usavam Facebook como rede social (LENHART, 2015).

Tais ferramentas de comunicação social e relacionamento podem ter seu valor no campo educacional, como no caso do uso das ferramentas WhatsApp (NYASULU; DOMINIC CHAWINGA, 2019), Facebook (KELLY, 2018; LIIKANEN; BJÖRN; NIELSEN, 2018).

Mesmo com os problemas que possam advir de diferentes fontes, estudos apontam que o uso da tecnologia tem modificado a forma de ensinar e a forma com que currículos de cursos estão sendo formulados, de modo que, salienta-se que tais esforços não tiram o protagonismo do docente. Assim, fazendo da tecnologia um agente facilitador (ASEEY; ANDOLLO, 2019).

2.1.1 Tecnologias na Educação

São muitas e diversificadas as tecnologias que podem ser integradas na educação hoje, ao exemplo de realidade aumentada (CABERO-ALMENARA *et al.*, 2019), realidade virtual (SHIBATA, 2019), AVAs (LUSTEK; JEDRINOVIC; RUGELJ, 2019; KADOIC; ORESKI, 2018), laboratórios online (SWARTLING *et al.*, 2012; CARLOS *et al.*,

2020), dentre outras.

Ferramentas industriais passam a compor o leque de tecnologias que são passíveis de serem aplicadas em sala de aula. A considerar-se a sala de aula não somente como um espaço físico do ambiente escolar, mas também o próprio ambiente de ensino adotado pelo aluno em cursos de educação a distância.

As tecnologias na educação superior possuem um destaque anual no *EDUCAUSE Horizon Report* que traz horizontes de adoção para cada uma das tecnologias destacadas pelo mesmo (ALEXANDER *et al.*, 2019).

Os importantes desenvolvimentos tecnológicos na educação superior são divididos entre três tempos de adoção, sendo:

- **Um ano ou menos (2019 - 2020):** *M-Learning*, tecnologias analíticas;
- **Dois a três anos (2021 - 2022):** realidade mista, inteligência artificial;
- **Quatro a cinco anos (2023 - 2024):** *blockchain* e assistentes virtuais.

A Figura 5 exibe a evolução das tendências em desenvolvimento tecnológico para educação superior em um comparativo de 2012 à 2019. Destaca-se a presença de tecnologias de análise da aprendizagem como um desenvolvimento em tecnologia educacional, esta que se agregada a inteligência artificial tende em muito a agregar no processo de avaliação e recomendação da aprendizagem.

A última edição do mesmo relatório para a educação básica até a data de escrita deste trabalho é a edição 2009-2017, a edição K-12 - nome dado ao relatório destinado a educação básica - traz elementos que são significativamente relevante no campo de desenvolvimento tecnológico para educação (FREEMAN *et al.*, 2017).

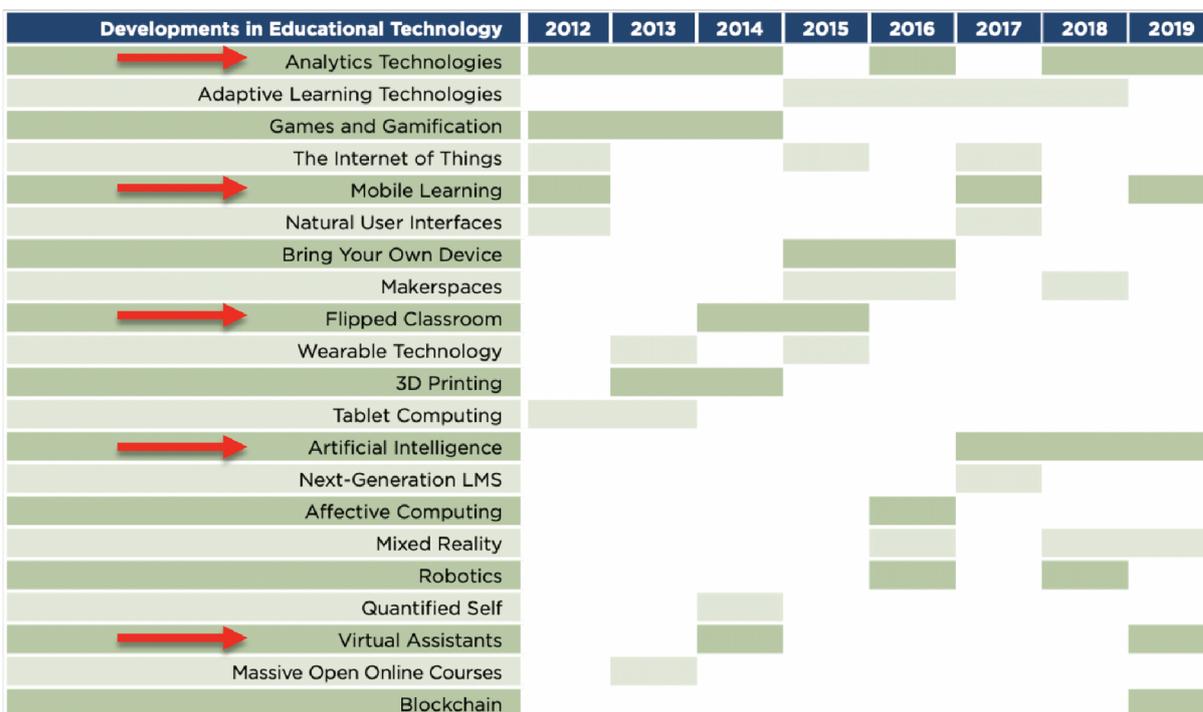
Os desafios em tecnologias para educação em 2017 eram:

- **Um ano ou menos (2017 - 2018):** espaços *makers* e robótica;
- **Dois a três anos (2019 - 2020):** tecnologias analíticas e realidade virtual;
- **Quatro a cinco anos (2021 - 2022):** inteligência artificial e IoT.

A Figura 6 traz um comparativo de 2012 à 2017 de desenvolvimento em tecnologia para a educação básica. No comparativo percebe-se uma grande variação de tecnologias que rompem a barreira do ensino tradicional onde o aluno é apenas um ouvinte, passando assim a ser um agente ativo com tecnologias vestíveis, robótica e fazendo parte da tecnologia com realidade virtual, dentre outras tecnologias.

Apesar do período de adoção para algumas tecnologias já ter vencido, há de se considerar sua verdadeira adoção após a previsão. Em um país como o Brasil, com mais de 27 milhões de matrículas nos anos iniciais e finais em 2018, um número de 58 FabLab e espaços *maker* mapeados em todos o país no ano de 2017 evidencia uma

Figura 5 – Evolução das tendências em desenvolvimento tecnológico na educação superior.



Fonte: Alexander *et al.* (2019, p. 20)

grande discrepância em relação a adoção de tal (INEP, 2018; COSTA; PELEGRINI, 2017).

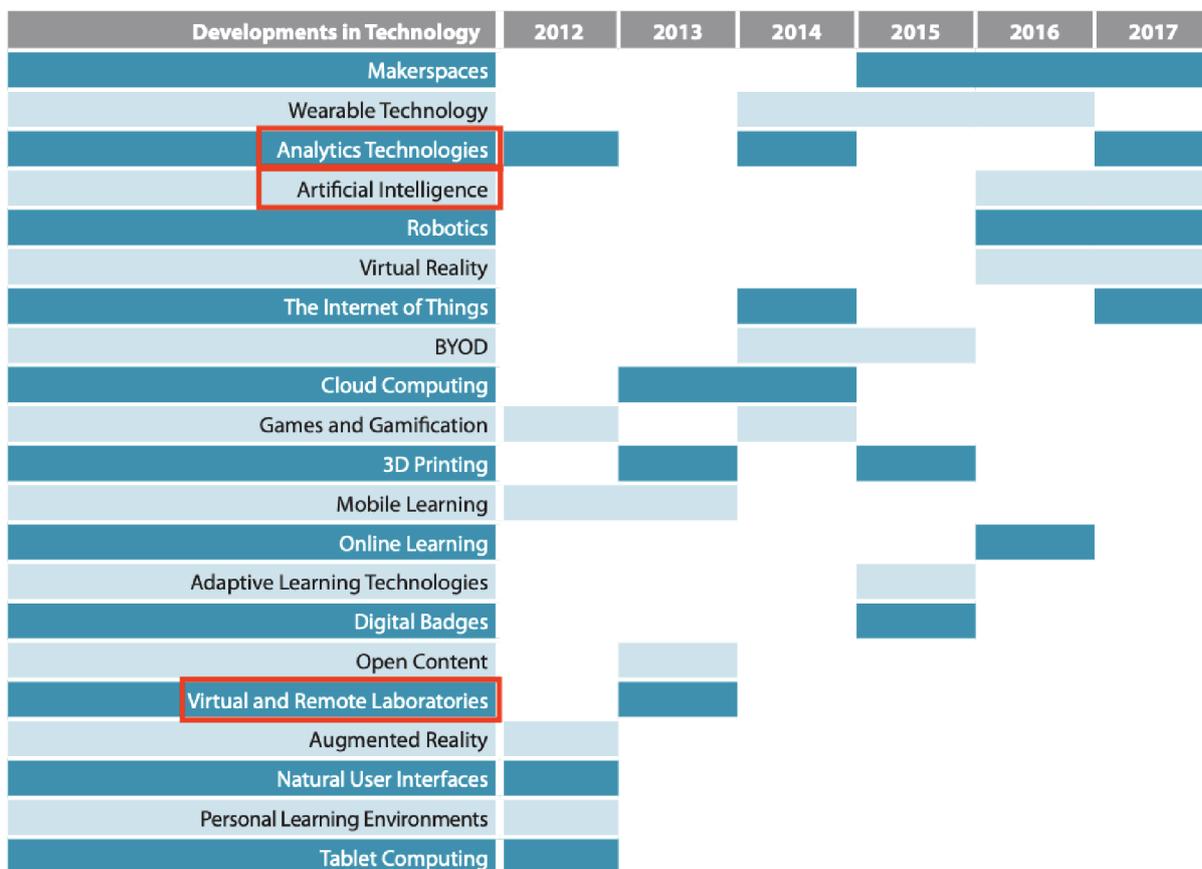
Buscando contracenar com as visões internacionais pelos dois relatórios supracitados acima, a versão Panorama Tecnológico NMC 2015 Universidades Brasileiras traz uma análise regional do Horizon Project para universidades no Brasil (FREEMAN; ADAMS BECKER; HALL, 2015).

A versão nacional do relatório traz uma visão mais generalista e abrangente, não focando apenas nas tecnologias, mas também nos desafios que as cercam, deste modo, tem-se:

- **Um ano ou menos (2015 - 2016):** computação em nuvem, publicação eletrônica, *E-Learning* e redes sociais;
- **Dois a três anos (2017 - 2018):** *Bring Your Own Device* (BYOD), sala de aula invertida, analíticas de aprendizagem, *M-Learning*;
- **Quatro a cinco anos (2019 - 2020):** realidade aumentada, aplicações semânticas, tradução instantânea, laboratórios virtuais e remotos.

A Figura 7 traz um comparativo entre os demais relatórios da série *NMC Horizon Report*, onde se compara os tempos de adoção de cada tecnologia com os relatórios

Figura 6 – Evolução do desenvolvimento tecnológico na educação básica.



Fonte: Freeman *et al.* (2017, p. 7)

NMC Horizon Report 2015 Higher Education e a versão anterior da versão universidade brasileiras mesmo relatório.

No comparativo é possível constatar que na visão regionalizada do Brasil se busca a adoção da tecnologia enquanto na visão mundo, se busca a flexibilidade e sua expansão. Ao exemplo do curto horizonte de adoção, onde no Brasil se vi a postergação da adoção de *Learning Analytics*, em comparação a versão mundo, logo, o mesmo aconteceu com laboratórios virtuais e remotos. Por vez, enquanto no ano de 2015 se esperava uma adoção de laboratórios virtuais e remotos a visão mundo já mencionava IoT.

O uso de tecnologias para análise de aprendizagem surge como uma grande e ainda antiga tendência em desenvolvimento tecnológico para a educação. Seu uso pode permear diferentes áreas e níveis (CALVO-MORATA *et al.*, 2019; CHIU *et al.*, 2019; ZAPATA-RIVERA *et al.*, 2018). Ressalta-se ainda que o uso de tecnologias analíticas é heterogêneo e convergente em um único resultado que é a compreensão da aprendizagem.

Figura 7 – Comparativo da série NMC Horizon Report.

NMC Horizon Report 2015 Higher Education Edition	2015 Technology Outlook for Brazilian Universities	2014 Technology Outlook for Brazilian Universities
Time-to-Adoption Horizon: One Year or Less		
Bring Your Own Device Flipped Classroom Learning Analytics Mobile Apps	Cloud Computing Electronic Publishing Online Learning Social Networks	Flipped Classroom Games and Gamification Mobile Apps Online Learning
Time-to-Adoption Horizon: Two to Three Years		
Collaborative Environments Games and Gamification Makerspaces Wearable Technology	Bring Your Own Device Flipped Classroom Learning Analytics Mobile Learning	Learning Analytics Mobile Learning Open Content Virtual and Remote Laboratories
Time-to-Adoption Horizon: Four to Five Years		
Adaptive Learning Technologies Flexible Displays The Internet of Things Wireless Power	Augmented Reality Semantic Applications Speech-to-Speech Translation Virtual and Remote Laboratories	Augmented Reality The Internet of Things Location Intelligence Virtual Assistants

Fonte: Freeman, Adams Becker e Hall (2015, p. 7)

2.2 LABORATÓRIOS REMOTOS

Os laboratórios remotos aplicados na educação tiveram seu surgimento na década de 90, mais precisamente no ano de 1995 e 1997 quando a primeira iniciativa trouxe uma experiência prática remota e colaborativa, esta que pode-se considerar um atividade ainda muito atual nos dias de hoje, já na segunda visão, o *Remote Experimentation Laboratory* (RExLab) desenvolveu um *debugger* online, usando um microcontrolador 8051 para execução de códigos remotos (AKTAN *et al.*, 1996; WISINTAINER, 1999).

O *standard 1876* da IEEE-SA, publicado recentemente, traz uma visão de arquitetura para laboratórios remotos, da qual, define a mesma como sendo uma divisão de camadas, que encontram-se horizontalmente e verticalmente conectadas entre si através de protocolos de comunicação (IEEE P1876, 2019).

As camadas apresentadas pelo *standard* (Figura 8) definem uma grande generalidade quanto a adoção de tecnologias no seu desenvolvimento. A camada #0 define toda e qualquer solução de hardware e software para controle do laboratório físico.

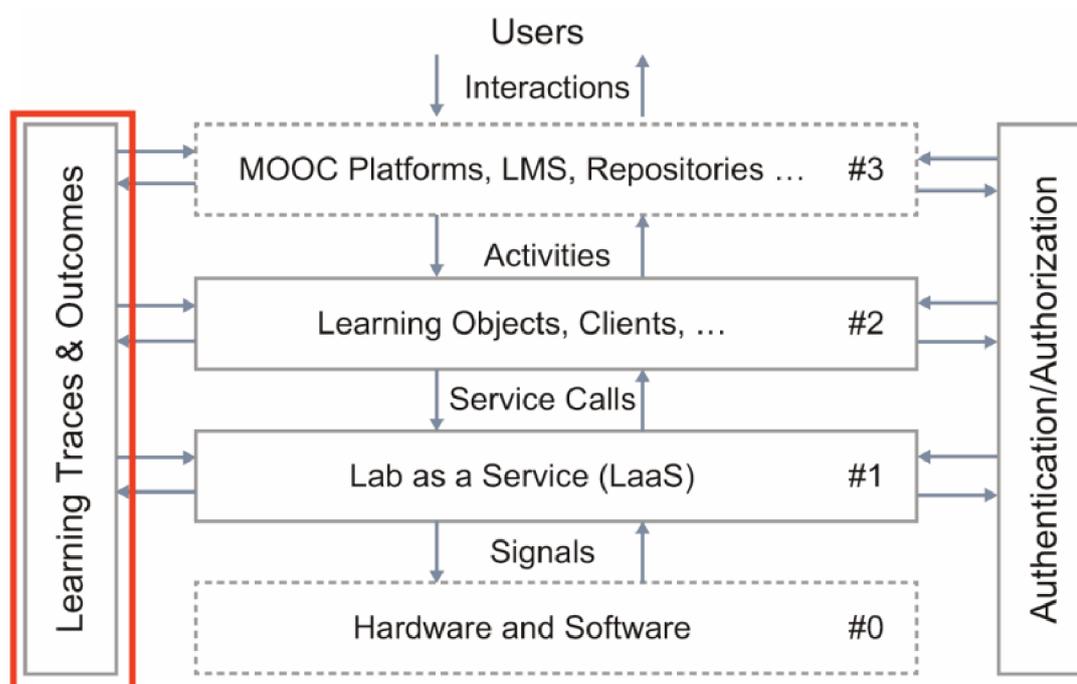
A camada #1 traz o conceito do laboratório remoto como serviço, sendo este um *Laboratory as a Service* (LaaS), na medida que o sistema de controle do hardware físico irá prover serviço as demais camadas do sistema.

Já, a camada #2, define as atividades que serão performadas em um laboratório, seu suporte vem de diferentes objetos de aprendizagem da qual um laboratório remoto pode compor em um determinado contexto em específico.

A camada #3, mais próxima do usuário final, define as interações que cada usuário terá com o laboratório remoto através de diferentes plataformas, ao exemplo de sistemas de gerenciamento, plataformas *Massive Open Online Courses* (MOOCs), *Remote Labs Management Systems* (RLMS), dentre outros.

Ainda, para suportar as camadas #1, #2 e #3, acoplou-se a camada de *Learning Traces & Outcomes* que é a responsável pelo armazenamento de dados referentes a cada uma das camadas correspondentes. Ademais, o controle de acesso aos dados supracitados são autorizados e autenticados junto a camada *Authentication/Authorization*, que define as permissões de acesso de cada usuário dentro do ecossistema de laboratórios remotos. Este trabalho, por vez, irá focar no desenvolvimento da camada *Learning Traces & Outcomes*, destacada na imagem.

Figura 8 – Camadas conceituais proposta pela IEEE-SA 1876.



Fonte: IEEE P1876 (2019, p. 8)

2.2.1 Classificação dos Laboratórios Remotos

Em um estudo realizado por Carlos *et al.* (2018), o autor sumarizou os diferentes tipos de laboratórios online tendo como parâmetro analítico o nível de interatividade com que cada modelo de laboratório oferece.

Dentre os modelos remotos os autores classificaram-os em três tipos, sendo:

- **Interativos:** laboratórios onde o usuário está interagindo diretamente com o equipamento físico (SIMÃO *et al.*, 2016; ZAPATA-RIVERA *et al.*, 2018).

- **Não Interativos:** laboratórios onde o usuário não interage diretamente com o equipamento físico, mas sim com informações destes (ORDUÑA, Pablo *et al.*, 2018; GARCÍA-ZUBÍA *et al.*, 2015).
- **Sensores:** laboratórios onde o usuário apenas recupera valores, não interagindo com o mesmo (JACINTO, 2019).

Os laboratórios interativos, o grande foco deste trabalho, são os mais comuns dentre os utilizados em experimentação remota, pois o usuário está manipulando ativamente o equipamento físico online (ORDUÑA, Pablo *et al.*, 2020).

Soluções como as tais, encontram-se acopladas dentro de uma pilha arquitetural de software conforme as limitações de cada solução de hardware e linguagem adotada no decorrer de sua implementação.

Apesar de apresentar uma grande heterogeneidade de sistemas, quanto a sua implementação, autores como Mohamed Tawfik *et al.* (2015) definem fatores críticos tanto no hardware como no software.

No que corresponde ao hardware, o autor cita que este deve possuir uma boa performance (RODRÍGUEZ-GIL *et al.*, 2017), ser reutilizável (LOWE, 2014), ter controle configurável (LIMA *et al.*, 2016; GARCÍA-ZUBÍA, Javier *et al.*, 2017), possuir sistemas de controle a erros (TAWFIK *et al.*, 2013; ORDUÑA, Pablo *et al.*, 2019) e fácil manipulação (LIMA *et al.*, 2016).

No que diz a respeito da camada de software, responsável pelo acesso a solução de hardware, o autor define como fatores críticos o formato de entrega da solução para acesso (SALZMANN *et al.*, 2015) e as tecnologias adotadas para interface do usuário (ANGULO *et al.*, 2019).

2.2.2 Soluções de Laboratórios Remotos

Laboratórios remotos são encontrados nas mais distintas áreas de aplicação, como por exemplo no campo da biologia (RIEDEL-KRUSE, 2017), geografia (TOMAZ *et al.*, 2017), robótica (ANGULO *et al.*, 2017), física (MATARRITA; BEATRIZ CONCARI, 2016), dentre outras áreas.

Os laboratórios remotos estão comumente associados a um RLMS para gerenciar o seu acesso. Os RLMSs geralmente possuem uma série de recursos para dar mais confiabilidade ao acesso as soluções.

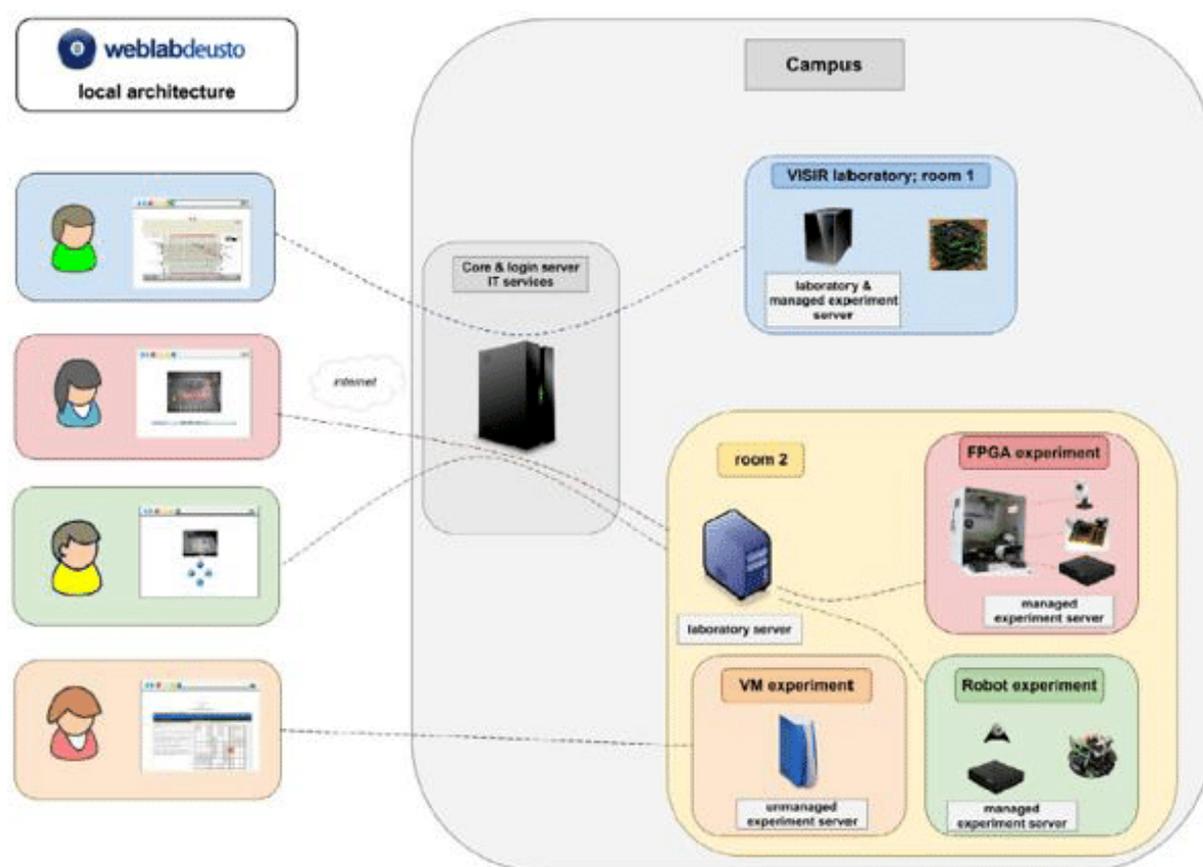
De modo geral, um RLMS possui módulos básicos como autenticação e autorização, escalonamento de laboratórios remotos, fila de acessos, gestão de laboratórios, dentre outros (ORDUÑA, Pablo *et al.*, 2018).

2.2.2.1 WebLab-Deusto

Um exemplo de RLMS largamente difundido é o WebLab-Deusto destacado por Pablo Orduña *et al.* (2018), o WebLab-Deusto foi desenvolvido na Universidade de Deusto na Espanha, tendo seu lançamento em meados de 2000 e possui uma série de módulos que permitem a realização da integração com diversos sistemas externos.

O WebLab-Deusto possui uma arquitetura onde os laboratórios são disponibilizado em *rooms*, desta forma, todas as conexões ao laboratório remoto são direcionadas pelo servidor central ao servidor de cada *room*, para somente posteriormente ser redirecionada a aplicação que gestiona o laboratório fisicamente - *labserver* (ORDUÑA, Pablo *et al.*, 2014). A Figura 9 exibe a arquitetura adotada na solução.

Figura 9 – WebLab-Deusto arquitetura.



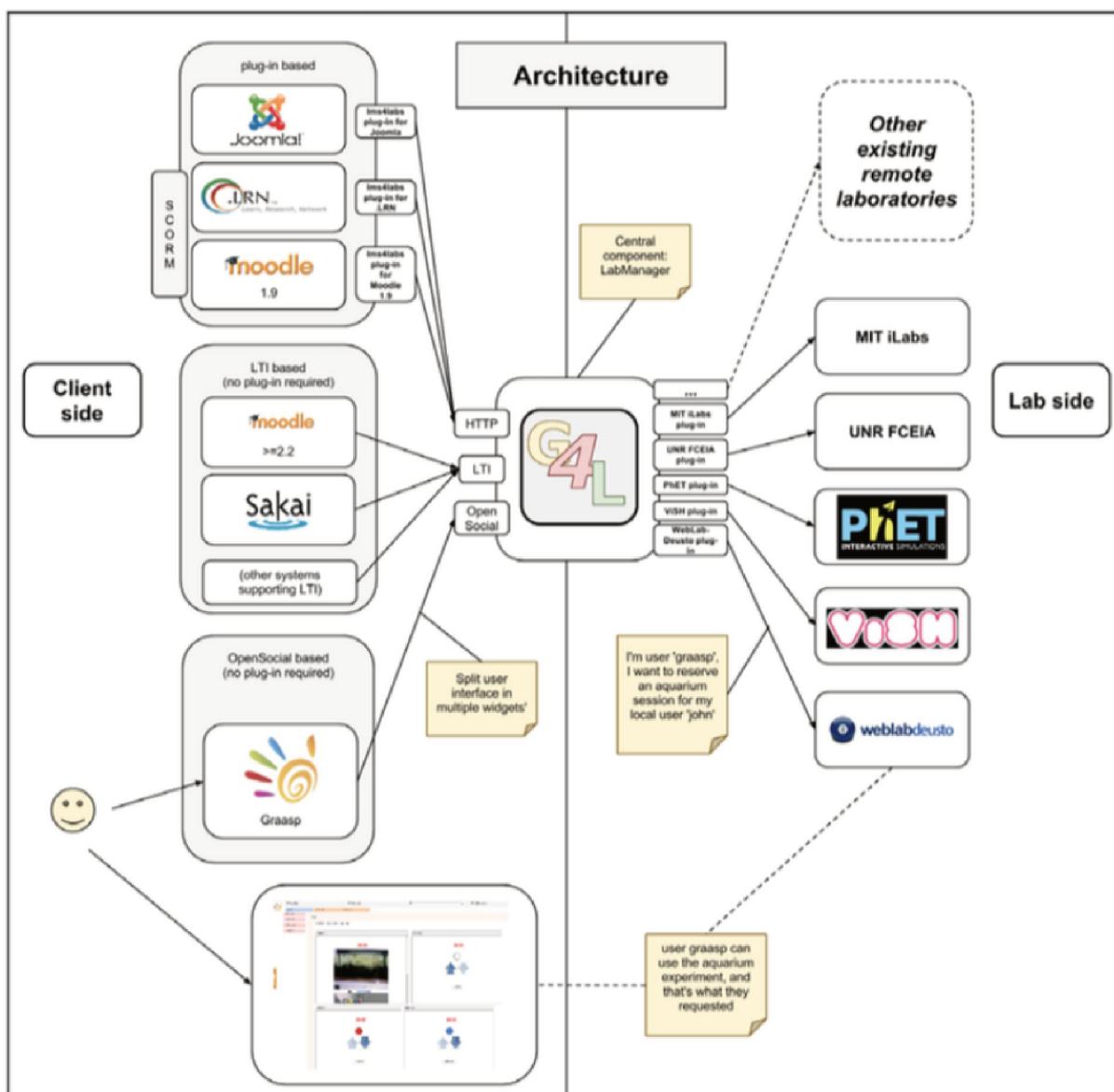
Fonte: Pablo Orduña *et al.* (2014, p. 392)

Além da tradicional disponibilização de laboratórios remotos, o WebLab-Deusto possui suporte a federações de laboratórios remotos através da aplicação *gateway4labs* (ORDUÑA *et al.*, 2013).

O *gateway4labs* utiliza protocolos que atuam como tradutores, fazendo com que sistemas nativamente heterogêneos conversem entre si graças a sua implementa-

ção, atuando como um *tradutor*. A Figura 10 demonstra a arquitetura e integração do *gateway4labs*.

Figura 10 – gateway4labs arquitetura.



Fonte: Orduña *et al.* (2013, p. 5)

2.2.2.2 RELLE

Desenvolvido pelo REXLab na UFSC, o *REmote Labs Learning Environment* (RELLE) é um RLMS brasileiro que foi lançado no ano de 2015 pelo REXLab através de uma parceria com as agências RNP e CAPES no Grupo de Trabalho em *Mobile Remote Experimentation* (GT-MRE) (REXLAB, 2019).

O RELLE foi concebido em 3 camadas nas quais descrevem-se RLMS, *Labs Instance Scheduling* (LIS) e Lab.

A camada RLMS descreve o RLMS como um todo, nesta é possível encontrar serviços comum a todo RLMS, gerenciamento de usuário, *analytics*, interface de usuário, dentre outros. A camada RLMS é o que será entregue ao usuário quando este for acessar algum laboratório (SIMÃO, 2015).

A camada LIS, por vez gerencia o acesso aos laboratórios de maneira transparente ao usuário de modo que seu serviço de escalonamento é capaz de lidar com diferentes instâncias de um mesmo laboratório em simultâneo com os seus respectivos agendamentos realizados via serviço de *booking* no RLMS.

A camada Lab descreve todo e qualquer laboratório fisicamente, essa, por sua vez, possui um caráter mais generalista por permitir que todo e qualquer hardware seja acoplado a ela, desde que respeite os critérios de comunicação com a aplicação *Lab Server*, responsável pela comunicação com as demais camadas.

A Figura 11 exibe a arquitetura do RLMS RELLE, bem como seus módulos e interconexões.

O RELLE possui uma característica que padroniza o requisito de interface de usuário através da funcionalidade *lab package*. Esta define um pacote em formato ZIP para envio dos arquivos a camada RLMS, desta forma as aplicações devem possuir um mesmo padrão de arquivos para construção da interface cite (REXLAB, 2015).

2.2.2.3 iLab

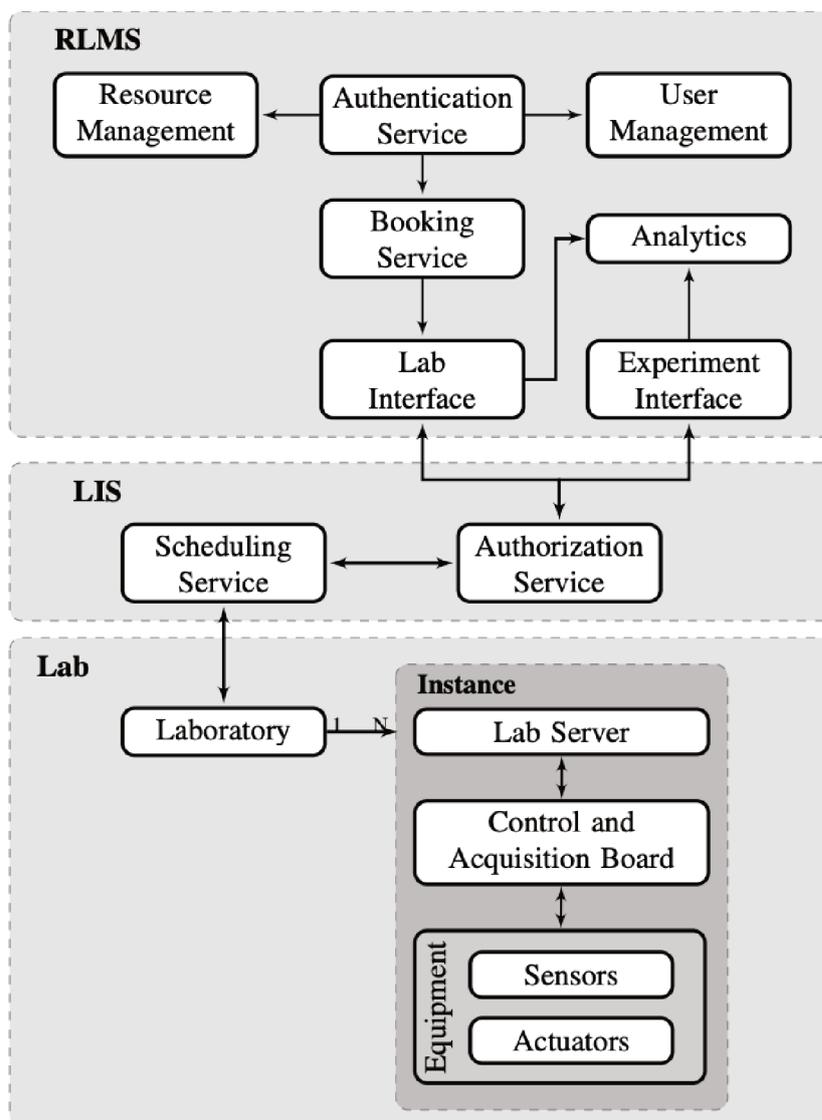
Desenvolvido originalmente no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), o *iLab Shared Architecture* (ISA) se constitui por uma arquitetura em formato de framework capaz de prover uma série de funcionalidades.

Harward *et al.* (2008) cita o ISA como possível de integrar em três modelos distintos de laboratórios remotos, sendo laboratórios em formato *batch*, das quais os comandos são pré-configurados e enviados em uma única vez. Interativos, onde o usuário interagem em tempo-real com o laboratório, como já descrito por Zapata-Rivera *et al.* (2018) previamente. E, por fim, laboratórios de sensoriamento, onde o usuário apenas capta dados. Conforme já descritos no início desta seção.

Considerando o formato de arquitetura mais comum encontrada na literatura, a arquitetura interativa e o ISA, Harward *et al.* (2008) descreve o modelo *Interactive Service Broker* (ISB) que é utilizado como suporte a laboratórios interativos no ISA.

O ISB funciona em dois grandes módulos chamados de *Labside Campus* e *Clientside Campus*, estes responsáveis pelo gerenciamento do laboratório e suas funções, *lab server*, *broker*, *scheduling* referente ao *Labside Campus* e *storage* e *user-side scheduling* (MENDES *et al.*, 2016). A Figura 12 exibe a implementação da arquitetura do ISA.

Figura 11 – RELLE arquitetura.



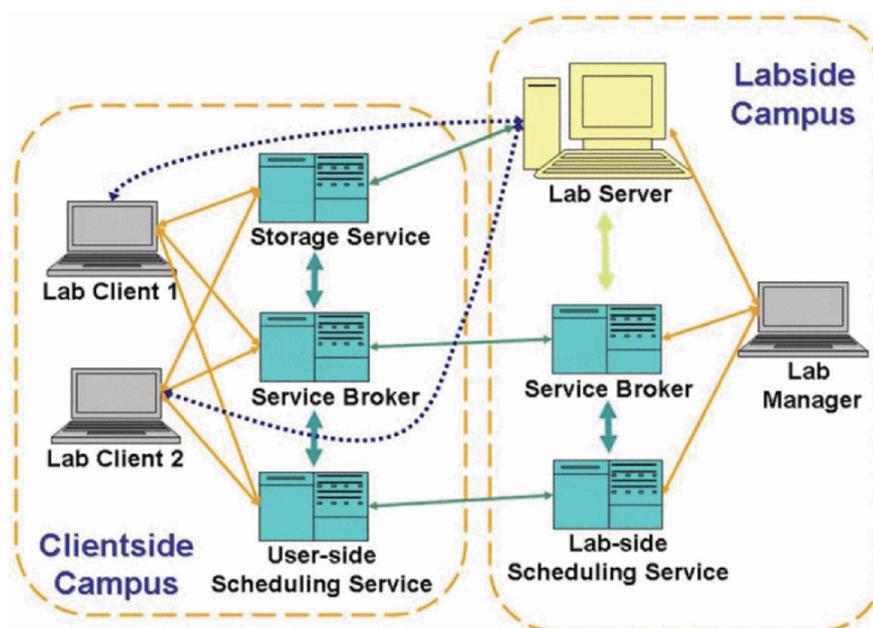
Fonte: Carlos (2017, p. 40)

Uma implementação da arquitetura do ISA é encontrada em um trabalho realizado por Mendes *et al.* (2016). Na Figura 13 o autor demonstra a implementação de um laboratório remoto usando *web services*, na qual é utilizado Protocolo Simples de Acesso a Objetos (SOAP) para se comunicar com o ISA, este que é utilizado para se comunicar com a aplicação *lab server* do *Experiment Lab Server Architecture* (ELSA).

2.2.2.4 OpenLabs Electronics Laboratory

Considerada uma das mais poderosas plataformas de experimentação remota do mundo, a *OpenLabs Electronics Laboratory* é a plataforma responsável por suportar o laboratório remoto *Virtual Instruments Systems In Reality* (VISIR), também conside-

Figura 12 – iLab Shared Architecture.



Fonte: Mendes *et al.* (2016, p. 297)

rado um dos melhores laboratórios remotos do mundo pelo *Global Online Laboratory Consortium* (GOLC) (GUSTAVSSON *et al.*, 2016).

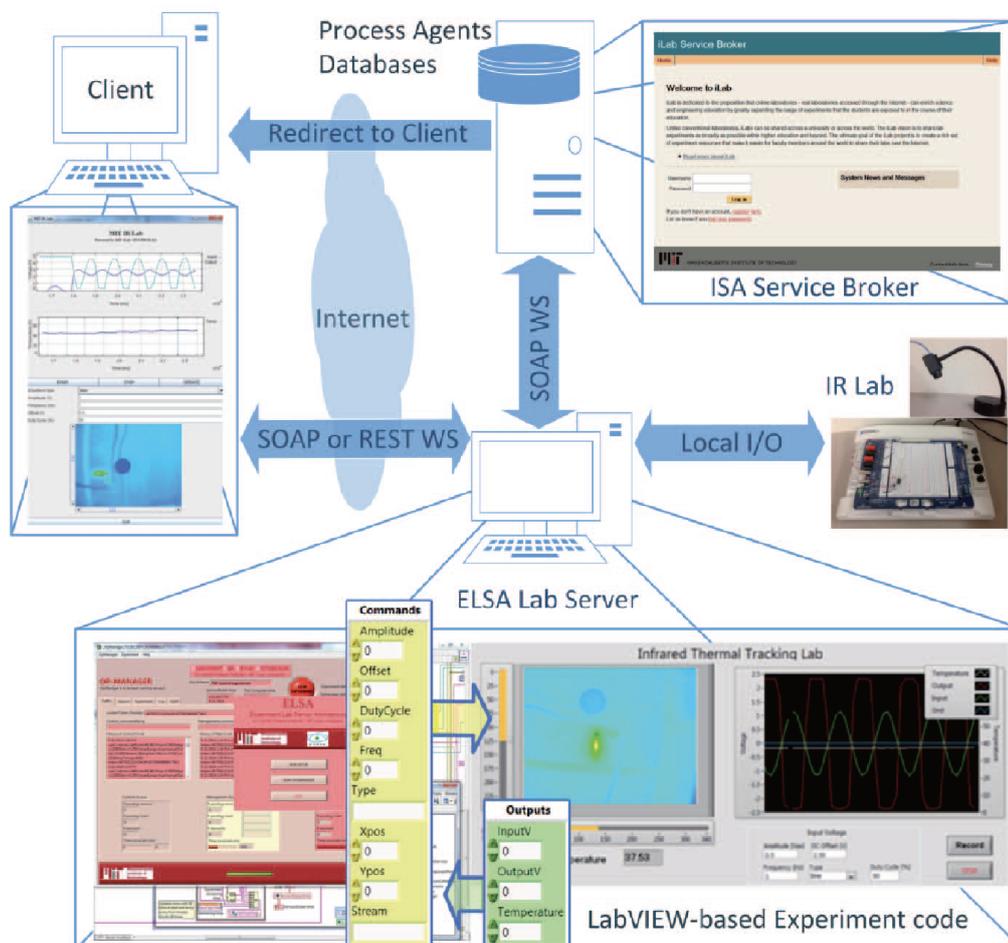
A plataforma OpenLabs suporta diferentes tecnologias interfaces, em Flash e *Hyper-Text Markup Language version 5* (HTML5), sendo a primeira já considerada obsoleta. A plataforma permite que seus usuários criem circuitos em uma placa de prototipação virtual - popularmente conhecida como *protoboard* - através de uma *Graphical User Interface* (GUI), e os enviem ao laboratório VISIR através do formato *batch* e interativo (GUSTAVSSON, Ingvar *et al.*, 2009).

O laboratório VISIR possui muito claramente o critério de segurança, como evidenciado por Mohamed Tawfik *et al.* (2015) ao identificar um curto circuito no sistema (GUSTAVSSON, Ingvar *et al.*, 2009). Um curto circuito no sistema que significa falha generalizada ao mesmo, e, possivelmente, danificação de algum componente equipamento.

A arquitetura do VISIR prevê uma série de fatores relacionados tanto a software quanto ao hardware que se constatam pelo seu desenvolvimento em termos de componentes em múltiplos aspectos. Fato este que é testemunhado por Rodriguez-Gil *et al.* (2012), que demonstra o uso do laboratório remoto na rede social Facebook. O uso do VISIR no Facebook é evidenciado na Figura 14. Aonde o autor auxilia o relacionamento social a tarefa de aprendizagem por parte do aluno e ensino ao docente.

Em sua concepção o laboratório remoto VISIR é composto por uma matriz *PCI eXtensions for Instrumentation* (PXI) que realiza o chaveamento entre os componentes,

Figura 13 – implementação usando a iLab Shared Architecture.



Fonte: Mendes *et al.* (2016, p. 939)

seguido pelas métricas de instrumentação realizadas pelo software e hardware da *National Instruments* em seu hardware programado usando o software LabView¹.

Em uma visão mais aprofundada sobre a plataforma VISIR, Tawfik *et al.* (2013) apresenta a arquitetura da plataforma considerando os elementos de hardware e suas configurações, expressas em suas *MaxLists* - distribuição de todos os circuitos possíveis, e suas *component list* caracterizadas pelo registros de componentes no sistema (GUSTAVSSON, Ingvar *et al.*, 2009).

Um sistema de chaveamento dos componentes em matrizes fazem com que os valores sejam formulados fisicamente, desda forma dando origem a construção física do circuito que foi construído em uma interface web. As matrizes de chaveamento são divididas em dois tipos, matrizes de componentes e de instrumentos (SWARTLING *et al.*, 2012).

Nos terminais das matrizes de instrumentos, são conectados as entradas para

¹ ni.com/pt-br/shop/labview.html

Figura 14 – Laboratório remoto VISIR pelo Facebook.



Fonte: Rodriguez-Gil *et al.* (2012, p. 6)

as matrizes PXI, já nas matrizes de componentes eletrônicos, são conectados todos os componentes que possuem compatibilidade com os *sockets* dos terminais. A Figura 15, criada por Claesson e Håkansson (2012), exibe como são conectadas as matrizes no sistema.

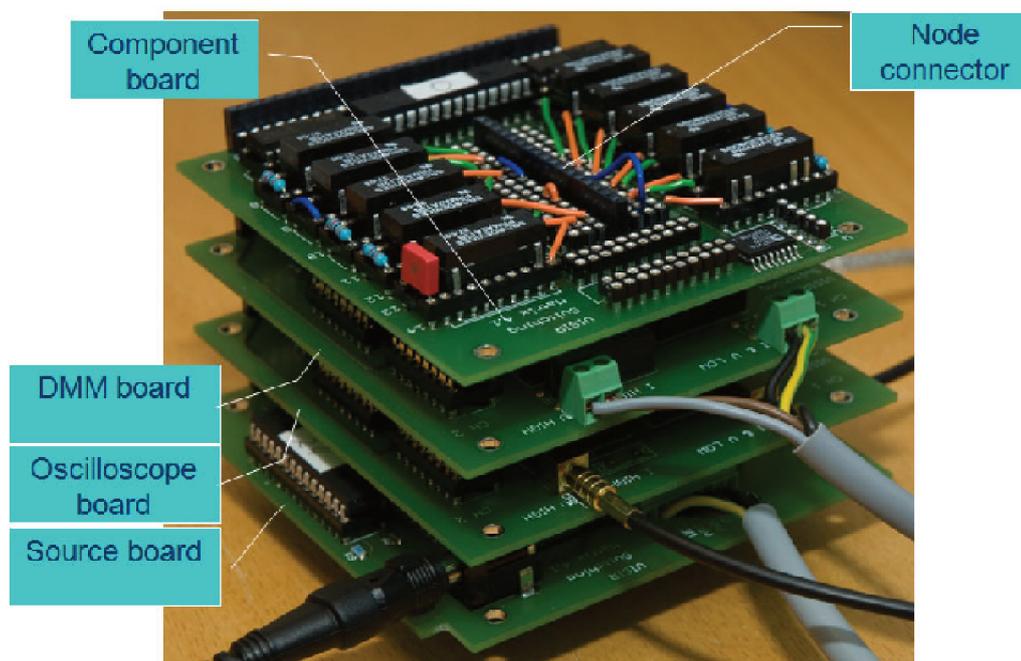
O sistema OpenLabs controla toda a plataforma dentro de uma arquitetura que une o laboratório físico e softwares para controle e comunicação. A Figura 16 detalha todos os passos da comunicação entre os diferentes componentes e os espaços tomados por cada um deles na arquitetura.

2.2.3 Padronizações na Área

Durante o primeiro semestre de 2019, houve o grande marco oficial que formalizou o início de padronizações em laboratórios remotos. O IEEE P1876-WG® *Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories* (IEEE P1876, 2019).

A iniciativa, que ainda no mesmo ano recebeu o prêmio IEEE SA Emerging

Figura 15 – VISIR matrizes.



Fonte: Claesson e Håkansson (2012, p. 27)

Technology Award² traz diversos elementos na área.

Dentre tais, destaca-se a generalidade de tecnologias que se pode adotar na implementação de uma arquitetura para laboratórios remotos, contudo esta possui uma pilha de camadas muito bem definidas.

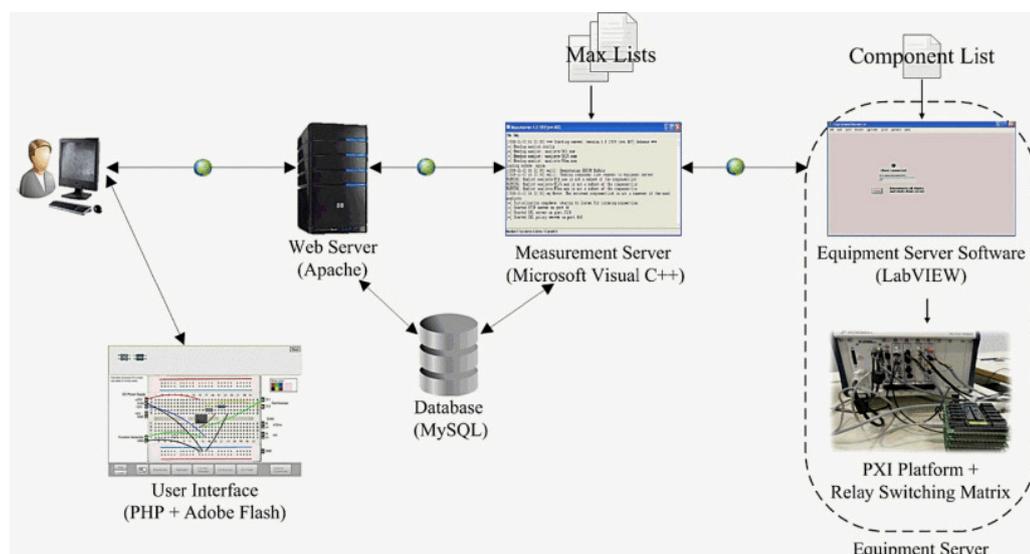
O trabalho ainda traz como exemplo o uso de xAPI e *Online Labs - Learning Object Metadata* (OL-LOM) como formato de metadados para compartilhamento de informações em laboratórios remotos (MANSO-VAZQUEZ; CAEIRO-RODRIGUEZ; LLAMAS-NISTAL, 2015; PÖTTKER; FERNEDA; MOREIRO-GONZÁLEZ, 2018).

Outro conceito ainda abrangido pela norma diz a respeito dos laboratórios híbridos, estes que possuem laboratório remotos, mas com a integração em um outro formato distinto (CARLOS *et al.*, 2020).

Uma nova iniciativa, agora dedicada em segurança, foi lançada no mesmo ano pela IEEE-SA. O *P2834 - Standard for Secure and Trusted Learning Systems* irá se dedicar a especificação de requisitos técnicos para a privacidade de estudantes e gerenciamento da mesma em sistemas de aprendizagem online (IEEE-SA, 2019).

² <https://site.ieee.org/sagroups-edusc/ieee-sa-awards-2019/>

Figura 16 – VISIR arquitetura.



Fonte: Tawfik *et al.* (2013, p. 67)

2.3 KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES

O processo de *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) é descrito como sendo usado para "[...] identificação de padrões acessíveis, válidos, inéditos e potencialmente úteis." (ROSA; STEINER; STEINER NETO, 2018).

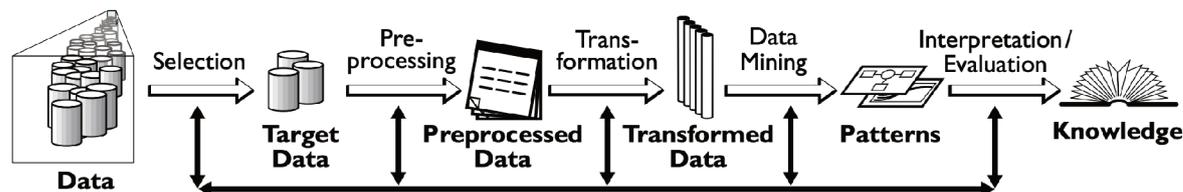
O emprego de KDD tem se difundido como forma de prever algo ou alguma coisa. No contexto educacional uma série de trabalhos analisam diversos fatores como por exemplo comportamento de um dado estudante em relação ao seu empenho (COMENDADOR; RABAGO; TANGUILIG, 2016), disposição (PRATIWI, 2013), predizer dados do ENEM (FILHO; ADEODATO, 2019), dentre outros.

O processo de KDD é descrito como tendo cinco etapas, das quais os ativos (dados) são selecionados e passam a serem considerados dados alvos, sendo estes levados para a etapa de pré-processamento, desta forma os dados pré-processados, passam para a terceira etapa. Na etapa de transformação os dados são transformados quanto a seu tipo e/ou operador. Após transformados, os dados são minerados gerando padrões que são avaliados e interpretados, promovendo assim, origem a um conhecimento (ABBOUD *et al.*, 2017; FAYYAD; PIATETSKY-SHAPIRO; SMYTH, 1996).

2.3.1 Learning Analytics

O uso de dados tem sido comumente utilizado como forma de revelar ativos de conhecimentos onde negócios passaram a serem orientados por dados, surgindo assim o termo *data-driven*. No contexto educacional, os dados podem ser utilizados para mensurar métricas como padrões acadêmicos, satisfação, retenção, dentre outros

Figura 17 – Etapas do processo de KDD.



Fonte: Fayyad, Piatetsky-Shapiro e Smyth (1996, p. 29)

(APRAKSN; STYLIANOU; SHCHERBININ, 2018).

O uso de *Learning Analytics* tem crescido nos últimos anos. Tal ação ocorre devido a fatores como o crescimento de áreas de *big-data*, *E-Learning* e preocupações políticas em mensurar a aprendizagem (FERGUSON, 2012).

A empresa IBM® divide o conceito de *big data* em quatro dimensões, chamadas de 4V's sendo (IBM, 2013):

- **Volume:** Caracterizado pelo grande volume de dados da qual se prevê cerca de 40 Zetabytes sendo criados no ano de 2020;
- **Variedade:** Da qual deve-se considerar dados oriundos de diferentes fontes;
- **Velocidade:** A considerar a velocidade do processamento e suas respectivas conexões;
- **Veracidade:** No que diz a respeito da qualidade e legibilidade destes para tomada de decisões estratégicas.

O uso de *Learning Analytics* tem sido comumente encontrado em AVAs e em MOOCs (KAY *et al.*, 2013). Shum e Ferguson (2012) definem cinco abordagens para *Learning Analytics*, sendo: (1) análise de conteúdo, (2) análise do discurso, (3) análise das redes sociais, (4) análise de disposição e (5) análise de contexto.

Tais abordagens encontram-se cobertas por métodos técnicos das quais são os responsáveis por gerarem os resultados, Shum e Ferguson (2012) define cinco métodos técnicos usados em *Learning Analytics*, sendo: predição, clusterização, relacionamento, associação e combinação sequencial.

Exemplos que envolvem a predição de dados, são comumente encontrados no fator de porcentagem, como em trabalhos de Clarin, Romana e Feliscuzo (2019) e Rocha *et al.* (2017) onde são realizadas análises acadêmicas.

Tarefas de clusterização são comumente utilizadas para encontrar e segregar populações, um exemplo desta tarefa pode ser encontrado em Zhang e Yuan (2016).

Em trabalho de Wang *et al.* (2017) os autores se utilizam de análise de relacionamentos, estes que são comumente encontrados em redes sociais.

Tarefas de associação fazem parte do processo de modo a identificar como um dado elemento está relacionado a outro de modo que sua construção seja dada por uma determinada confiança em um elemento (LAU, 2003).

A combinação sequencial pode ser considerada como um determinado antecessor alimentando um determinado algoritmo sucesso, de modo que o antecessor pré-computa os *inputs* os resultados auxiliares. A Figura descrita por (GOLLER; HUMER; SCHREFL, 2006).

2.3.2 *Learning Analytics* e Laboratórios Remotos

Trabalhos que envolvam laboratórios remotos e *learning analytics* são vagamente encontrados, e, na sua grande maioria dos casos, encontram-se somente no campo do armazenamento e exibição de metadados oriundos de práticas com laboratórios remotos por discentes.

Autores como Romero *et al.* (2014) trazem uma abordagem ainda bastante simples, na qual os dados são capturados através de *log* da aplicação do laboratório remoto VISIR.

Mirando a evolução dos estudos de Romero *et al.* (2014), Garcia-Zubia *et al.* (2019) apresentam uma *dashboard* para a plataforma VISIR chamada de VISIR Dashboard (VISIR-DB). Desenvolvida em linguagem R³, a ferramenta se apropria de métodos técnicos propostos por Shum e Ferguson (2012) para uma análise de conteúdo.

A atividade de *user tracking* - caracterizada pela captura do rastro do usuário - é encontrada em trabalho de Venant, Vidal e Broisin (2016). Neste trabalho, os autores fazem o uso de um *Learning Record Store* (LRS) e xAPI para armazenamento de informações.

O uso de um LRS corresponde a uma *data warehouse* educacional. Um LRS é considerado o coração de um ecossistema que adota xAPI. O uso de um LRS permite que as declarações (*statements*) sejam oriundas de *Learning Record Provider* (LRP), compartilhados e recuperados.

Em uma abordagem mais técnicas e antecessora ao processamento de dados, Simao *et al.* (2019) trazem um modelo para salvar as experiências de aprendizagem. O modelo adotado pelos autores faz referência ao uso de xAPI e um LRS para armazenamento de informações considerando o modelo de LaaS.

O processo de captura da informação é a primeira etapa do processo de construção de uma arquitetura para *learning analytics* (VIDAL; RABELO; LAMA, 2015).

³ <https://www.r-project.org/about.html>

2.3.3 Framework xAPI

Desenvolvida pela *Advanced Distributed Learning Initiative* (ADL) a especificação de xAPI permite um dinamismo maior entre plataformas de educação, de modo que é possível compartilhar dados de performance através de atividades de *tracking* de dados (ADL, 2019).

xAPI provém um padrão para coleta de eventos baseado em experiências de aprendizagem, sendo elas oriundas de aprendizagem formal ou informal (BAKHARIA *et al.*, 2016).

O esquema de um *statement* de xAPI pode ser simplificado em um agente (usuário) ou grupo que realizou uma dada ação em um determinado contexto. Uma determinada granularidade de informação pode ser aplicada dentro de um contexto de interações de usuários, componentes operacionais e metadados do experimento (ZAPATA-RIVERA; PETRIE, 2019).

Rabelo *et al.* (2017) desmembra um *statement* semântico como uma rede semântica de modo que é possível identificar cada parte do mesmo, a estrutura de um *statement* é preparada para suportar ações repetidas, de modo que, atributos chaves - conhecidos como *Internationalized Resource Identifier* (IRI) - de cada *statement* os diferenciam, mesmo que seu agente, verbo e contexto sejam idênticos.

Um trecho de um exemplo de *statement* gerado por xAPI pode ser encontrado na Figura 18. Na Figura é possível identificar que o ator *Lucas*, identificado pelo email *lucas@mail.com*, iniciou uma experiência identificada pelo verbo *initialized* em en-US identificado pelo id <https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/initialized> na plataforma VISIR HTML5 da instância UFSC do laboratório remoto VISIR em seu contexto.

Simao *et al.* (2019) traz na Figura 19 um exemplo de diagrama de sequência que aborda o uso de xAPI integrado a um RLMS e suportando LaaS.

O uso de xAPI simplifica a tarefa de desenvolvimento, de modo que é possível unificar diferentes ambientes e atividades dentro de um mesmo padrão, este apenas alternando seu sujeito, ação e contexto (BAKHOUYI; DEHBI; TALEA, 2019).

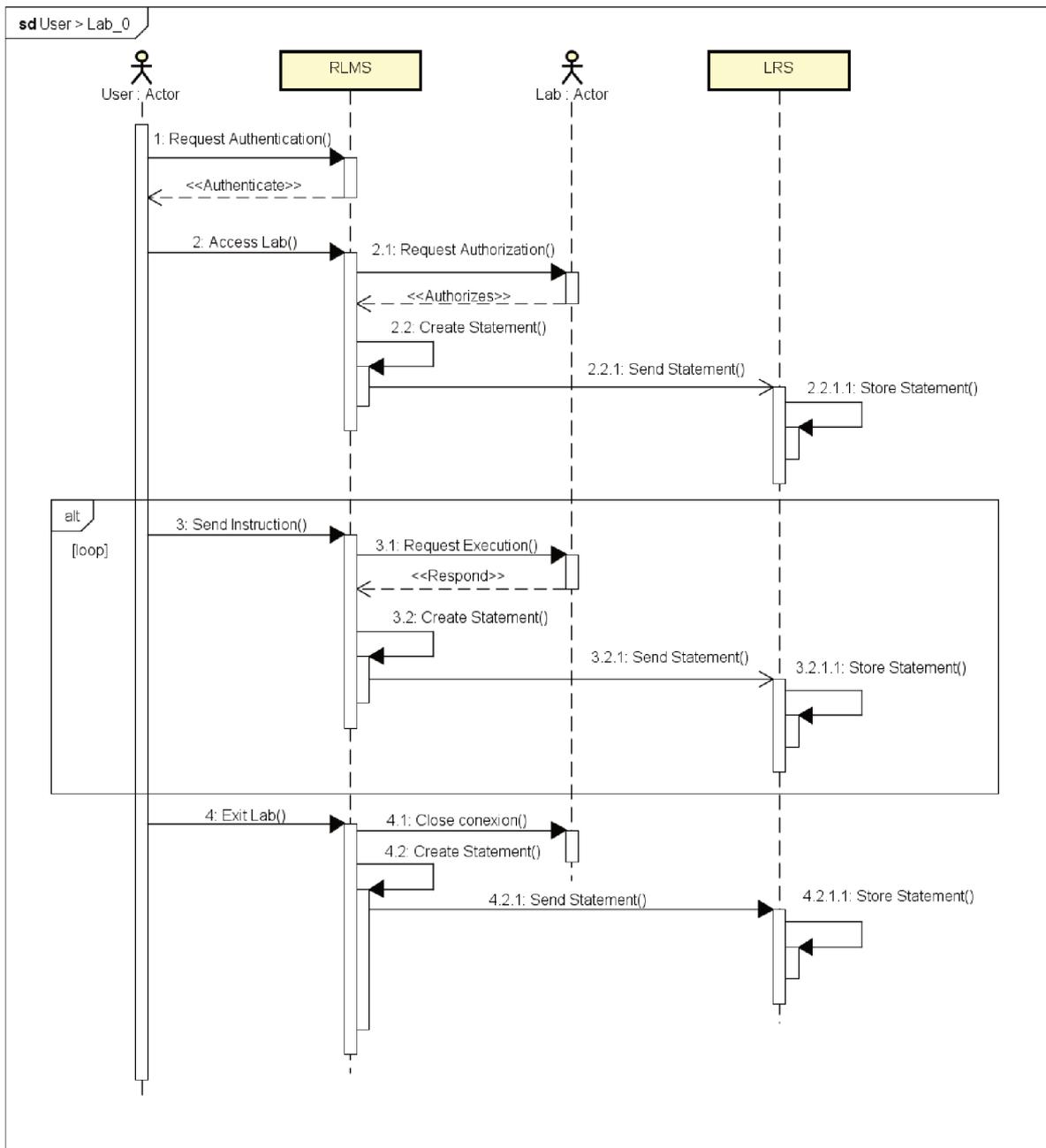
Exemplos de uso de xAPI fora do campo de laboratórios remotos são encontradas em Anthony, Aggarwal e Bhowmick (2017) onde é possível obter resultados semelhantes aos encontrados no campo de laboratórios remotos com diferentes contextos.

Figura 18 – Exemplo de *statement* xAPI.

```
"statement": {
  "stored": "2019-12-03T21:14:12.029Z",
  "context": {
    "platform": "VISIR HTML5",
    "language": "en",
    "extensions": {
      "https://example.com/visir/lab-information": {
        "labContext": {
          "https://example.com/visir/": {
            "instance": "RExLab UFSC"
          }
        }
      },
      "https://example.com/visir/masurement": 1
    }
  },
  "actor": {
    "objectType": "Agent",
    "mbox": "mailto:lucas@mail.com",
    "name": "Lucas"
  },
  "verb": {
    "id": "https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/initialized",
    "display": {
      "en-US": "initialized"
    }
  },
  "object": {
    "id": "https://example.com/visir/",
    "objectType": "Activity",
    "definition": {
      "name": {
        "en-US": "VISIR Remote Lab",
        "type": "http://example.com/activity-types/onlineLaboratory"
      }
    }
  }
}
```

Fonte: O autor.

Figura 19 – Diagrama de sequência para acesso a um laboratório com xAPI.



Fonte: Simao *et al.* (2019, p. 452)

3 MODELO PROPOSTO

O presente Capítulo apresenta a arquitetura, detalhando os agentes envolvidos na comunicação e suas interconexões. Ressalta-se o foco na avaliação da aprendizagem de modo propiciar a coleta de metadados da experiência prática para posterior análise.

3.1 VISÃO GERAL

Tendo por base o processo de padronização de laboratórios remotos disponível na norma IEEE 1876 com o seu modelo de arquitetura genérica proposto para um sistema que use laboratórios remotos disponível no mesmo, constituiu-se a arquitetura deste trabalho visando manter os mesmos requisitos previstos na norma, atentando-se ao critério de avaliação da aprendizagem, tido como objetivo deste trabalho.

Para alcançar tal objetivo, foi necessário interiorizar as especificações da proposta de *Learning Traces & Outcomes* como foco central de desenvolvimento deste trabalho, uma vez que as demais camadas são, em grande parte, já providas pela arquitetura do sistema do laboratório remoto e RLMS já desenvolvido.

Este modelo propõe o uso de um laboratório remoto com suporte à ciência de dados através do uso de um sistema de recomendação para analisar a aprendizagem de discentes propondo informações sobre sua prática.

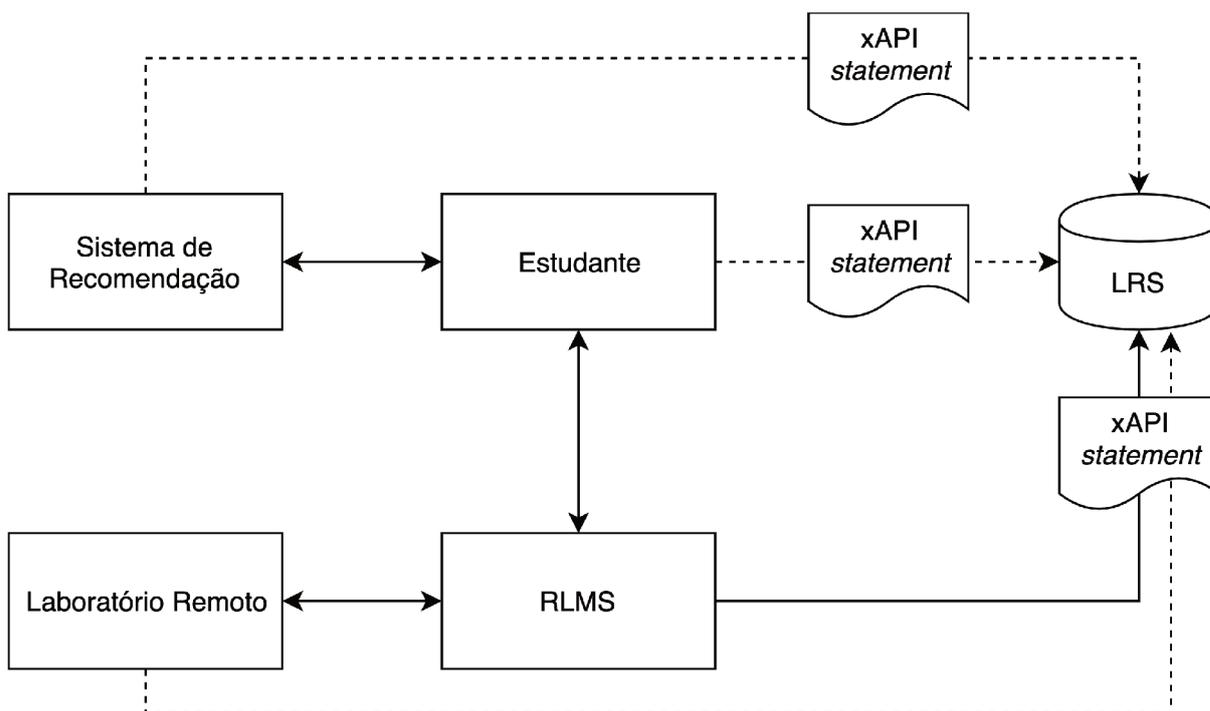
Informações relacionadas a todos os objetos do sistema são capturadas através de *statements* semânticos suportados na camada *Learning Traces & Outcomes* a fim de interagir com as demais camadas do sistema.

Na arquitetura proposta por este trabalho, tem-se o estudante como o elemento central do sistema, de modo que, este estudante interage com o RLMS a fim de obter acesso ao laboratório remoto e ao mesmo tempo estando em contato com o sistema de recomendação na intenção de validar a sua experiência.

Tais interações, tanto do estudante, como do laboratório remoto ou do sistema de recomendação são armazenadas em um LRS, que recebe *statements* xAPI de cada um dos atores. No contexto de xAPI cada elemento do sistema (sistema de recomendação, estudante, RLMS e laboratório remoto) é um ator. A Figura 20 exhibe a arquitetura proposta por este trabalho.

Apesar de não ser o foco deste trabalho, as linhas tracejadas representam o critério de independência entre os elementos. Logo é possível manter uma arquitetura de laboratório remoto funcionamento de maneira independente ao suporte a análise de aprendizagem com o armazenamento do ocorrido durante a experiência de uso do laboratório remoto.

Figura 20 – Arquitetura proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

3.1.1 Definição dos *statements* xAPI

Em um *statement* semântico de xAPI onde "Eu fiz isso em um dado objeto em um determinado contexto" a propriedade de agente se preocupa em descrever o *Eu* da oração. O agente do *statement* conhecido como o ator, pode ser tanto uma pessoa como qualquer outro agente, neste caso podendo ser o RLMS, o laboratório remoto ou o sistema de recomendação. O bloco de agente é constituído principalmente pelo identificador funcional inverso ao agente.

O identificador funcional inverso usa propriedades que suportam os diferentes agentes na missão de buscar diferenciar cada um deles mantendo a homogeneidade do sistema. Valores como o da propriedade *mbox* e *openid* servem para distinguir e identificar um ator. O Quadro 1 exibe os campos que podem ser implementados como identificador funcional.

Quadro 1 – Identificador funcional xAPI.

Propriedade	Tipo	Descrição
mbox	mailto IRI	Uma conta de email no formato "mailto:usuario@provedor".
mbox_sha1sum	String	Uma hash hexadecimal encodado em SHA1 de <i>mailto</i>
openid	URI	Identificador único do agente
account	Object	Uma conta de usuário presente no sistema como no AVA

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O identificador funcional passar a compor o ator em xAPI como atributo identificador. Este ainda pode trazer outros campos como o de nome completo do agente. O Quadro 2 apresenta os campos que podem ser implementados na solução.

Quadro 2 – Ator xAPI.

Propriedade	Tipo	Descrição	Requerido
<i>objectType</i>	String	Agente. Propriedade excepcional quando o agente é um <i>object</i>	Opcional
<i>name</i>	String	Nome completo do agente	Opcional
Identificador funcional inverso		Deve ser um agente	Requerido

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Um exemplo de implementação pode ser visto na Figura 21 que mostra o ator Lucas Mellos Carlos (*name*) identificado pelo atributo *mbox* como *mailto:lucas@mail.com*.

Figura 21 – Exemplo de uso de ator xAPI.

```
{
  "actor": {
    "objectType": "Agent",
    "mbox": "mailto:lucas@mail.com",
    "name": "Lucas Mellos Carlos"
  }
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

De volta ao mesmo exemplo onde "Eu fiz isso em um dado objeto em um determinado contexto", o verbo do *statement* se preocupará com a representação do "fiz", o fazer da frase. O verbo identifica o que realmente foi executado naquela ação representada no *statement*.

O objeto verbo é definido por duas propriedades, conforme detalha o Quadro 3, o identificado em IRI e sua exibição em linguagem legível.

Quadro 3 – Verbo xAPI.

Propriedade	Tipo	Descrição	Requerido
id	IRI	Identificação do verbo	Requerido
display	Mapa de linguagem	Representação humana legível	Recomendado

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A Figura 22 exibe um exemplo do objeto *verb* dentro de um *statement*. No exemplo um mapa de linguagem exibe o verbo em diferentes idiomas, sendo este

verbo identificado pela propriedade *id*. Desta forma, um dado ator moveu algum objeto dentro de um dado contexto.

Figura 22 – Exemplo de uso de verbos xAPI.

```
{
  "verb": {
    "id": "https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/moved",
    "display": {
      "en-US": "moved",
      "pt-BR": "moveu"
    }
  }
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Na frase formulada pelo *statement* semântico xAPI de *Eu fiz isso* o objeto nesta arquitetura buscará representar o *isso*. Deste modo, na arquitetura o *isso* poderá ser o sistema de recomendação, atuador ou sensor do laboratório remoto.

Um objeto é formado basicamente por três propriedades: (1) o tipo, (2) o atributo identificador, e (3) a definição do objeto. O Quadro 4 detalha as propriedades de um objeto xAPI.

Quadro 4 – Propriedades de um objeto xAPI.

Propriedade	Tipo	Descrição	Requerido
<i>objectType</i>	String	Deve ser uma atividade	Opcional
<i>id</i>	IRI	Identificador único da atividade	Requerido
<i>definition</i>	Objeto	Metadados do objeto	Opcional

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A Figura 23 exibe um exemplo de bloco *object* em um *statement* xAPI. A chave *id* significa o atributo identificador do objeto, seu tipo é identificado por *objectType* e a definição é composta por um bloco chamado de *definition*, em que o bloco apresenta o nome do objeto e a derivação do tipo.

Outros blocos opcionais ainda podem ser implementados na solução a fim de usufruir ainda mais da mesma. Um destes exemplos que foi implementado na arquitetura é o de contexto. O bloco de contexto traz informações que são relevantes para a experiência. O Quadro 5 traz informações acerca dos objetos que podem compor o contexto de um *statement*.

Tais contextos podem auxiliar no processo de mapeamento da informação, como por exemplo, informações ligadas a outros agentes, atividades de contexto, plataformas, ou ainda, outras extensões pertinentes.

Figura 23 – Exemplo de uso de objetos xAPI.

```

{
  "object": {
    "id": "https://example.com/visir/sensor/multimeter",
    "objectType": "Activity",
    "definition": {
      "name": {
        "en-US": "visir"
      },
      "type": "http://example.com/activity-types/onlinelaboratory/sensor"
    }
  }
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Quadro 5 – Propriedades de um contexto xAPI.

Propriedade	Descrição	Requerido
<i>registration</i>	O UUID de registro associado	Opcional
<i>instructor</i>	Instrutor a qual o statement está relacionado ou o ator do statement	Opcional
<i>team</i>	Time a qual o statement está relacionado ou o ator do statement	Opcional
<i>contextActivities</i>	Tipos de atividades relacionadas ao contexto	Opcional
<i>revision</i>	Revisão da atividade de aprendizagem	Opcional
<i>platform</i>	Plataforma usada na experiência	Opcional
<i>language</i>	Linguagem representado o statement	Opcional
<i>statement</i>	Outro statement considerado contexto para este	Opcional
<i>extensions</i>	Qualquer domínio específico relevante para este contexto	Opcional

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O contexto reflete a grande granularidade que se deseja e que pode alcançar na solução, todavia dependerá da implementação realizada pelo desenvolvedor. A Figura 24 exibe um exemplo de contexto na qual o contexto traz valores referentes à prática e ao estado de um dado sensor.

A definição dos verbos e contexto variará em cada cenário a qual se esteja avaliando, pois laboratórios podem variar de modo que os *inputs* e *outputs* irão refletir na definição de cada *statement* xAPI gerado. Mais detalhes a respeito da implementação prática deste assunto será abordado no Capítulo 4 referente ao protótipo desenvolvido neste trabalho.

Alguns verbos são considerados mais genéricos a um sistema de laboratórios remotos, por exemplo, iniciar um processo de contexto de aprendizagem, uma atividade ou ainda abandonar a mesma. O Quadro 6 descreve os verbos usados nos seguintes contextos.

Outros verbos ainda podem ser implementados na arquitetura proposta, de

Figura 24 – Exemplo de uso de contextos xAPI.

```

{
  "context": {
    "platform": "VISIR HTML5",
    "language": "en",
    "extensions": {
      "https://example.com/visir/lab-information": {
        "labContext": {
          "https://example.com/visir/sensor/multimeter/mode": "resistance",
          "https://example.com/visir/measurement": 3
        }
      }
    }
  }
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Quadro 6 – Verbos gerais empregados.

Ação	Verbo	Definição
<i>Launched</i>	http://adlnet.gov/expapi/verbs/launched	Um estudante inicia um dado contexto de aprendizagem
<i>Initialized</i>	https://adlnet.gov/expapi/verbs/initialized	Um estudante inicia uma determinada atividade
<i>Abandoned</i>	https://w3id.org/xapi/adl/verbs/abandoned	Um estudante abandonou uma determinada atividade

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

modo a complementar ainda mais a experiência de uso de um sistema de laboratórios remotos. No entanto, é necessário que haja conhecimento do volume de dados que estes *statements* podem gerar sobre o LRS.

O objeto de cada experiência prática variará de acordo com o laboratório adotado em questão e a prática em que se é executada, uma vez que os laboratórios podem ser genéricos, dando suporte a múltiplas experiências.

3.1.2 Integração entre os agentes

A integração entre os sistemas segue a norma 1876IEEE P1876 (2019) e prevê um modelo genérico para comunicação entre os sistemas.

Comumente aplicações de laboratórios remotos comunicam-se sobre protocolo HTTP, no entanto, elementos de hardware como sensores e atuadores, geralmente, não operam sob este protocolo, pois estão transmitindo sinais em nível de interface de hardware.

A Figura 25 traz novamente as camadas empregadas neste modelo, aliando a

este uma proposta de tecnologias que podem ser implementadas para comunicação entre as mesmas seguindo a proposta do modelo.

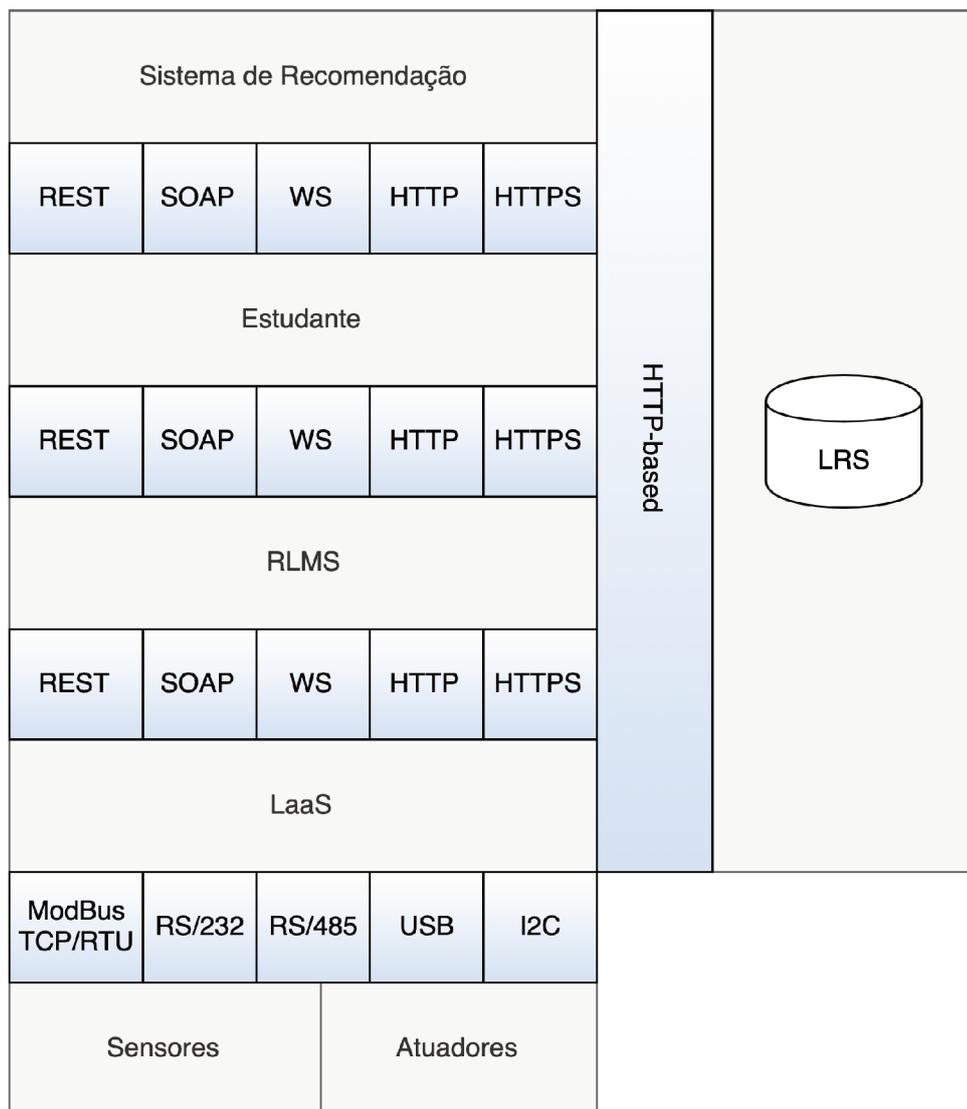
Na tangente do laboratório remoto entre a camada de LaaS, sensores e atuadores, é recomendado o uso de protocolos como ModBus, RS/232, RS/495, *Universal Serial Bus* (USB), *Inter-Integrated Circuit* (I2C) e similares para aquisição de dados e controle do equipamento físico.

Já para a comunicação com as camadas superiores, de RLMS, estudante e sistema de recomendação é preterível o uso de tecnologias como *Representational state transfer* (REST), SOAP, WebSocket (WS), HTTP e *Hyper Text Transfer Protocol Secure* (HTTPS), por estarem próximas a web.

A especificação de xAPI prevê que tanto o LRP - cliente - e o LRS devem operar sobre HTTP. Deste modo, qualquer solução de LRS irá receber *statements* através de HTTP, podendo este utilizar outra tecnologia, ao exemplo do LRS Learning Locker¹ que recebe os *statements* através de uma *Application Programming Interface* (API) REST.

¹ <https://docs.learninglocker.net/http-rest/>

Figura 25 – Tecnologias de comunicação suportadas na arquitetura proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4 DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA

Este capítulo descreve o desenvolvimento do protótipo deste projeto elencando as ferramentas e tecnologias empregadas no mesmo, bem como os cenários de uso dentro dos objetivos estabelecidos.

4.1 ADOÇÃO E ADEQUAÇÃO DA PLATAFORMA VISIR

A adoção da plataforma VISIR requereu uma avaliação técnica apurada a respeito do funcionamento da plataforma. Em um primeiro estudo na plataforma buscou-se constatar o que já havia sido implementado para suporte à análise de aprendizagem.

Em uma primeira avaliação, identificou-se que não havia nenhum módulo propriamente nativo para tal. Desta forma, fez-se necessário a adequação da GUI do laboratório de modo que pudesse se tornar um LRP para um dado LRS genérico, assim suportando xAPI.

A plataforma VISIR possui duas interfaces distintas, uma desenvolvida usando Flash e outra usando HTML5. Optou-se pela adequação da segunda, uma vez que a primeira está com o seu suporte comprometido pela descontinuidade do suporte a tecnologia pelos navegadores web atuais.

Implementações de *statements* gerenciais, como os exibidos no Quadro 6 não foram incluídas no escopo deste trabalho, pois considera-se que para um RLMS suportar um laboratório com xAPI, este já deve possuir estes métodos implementados previamente.

4.1.1 Inclusão do Suporte a Sistema de Recomendação

A inclusão do suporte a um sistema de recomendação seguiu o modelo de tecnologias propostas na Figura 25 através da implementação da integração com um sistema de recomendação através de uma REST API.

Resultados preliminares desta pesquisa, que descrevem tal implementação do sistema de recomendação encontram-se publicados em Gonçalves *et al.* (2018), Alexandre L. Gonçalves *et al.* (2018) e A L Gonçalves *et al.* (2018). A implementação retratada trata-se de uma implementação limitada desenvolvida como forma de prova de conceitos que descreve pequenos casos de uso e não trata da promoção de subsídios para outros *stakeholders* do processo educacional.

O sistema de recomendação tem em sua concepção a ideia de ser um validador dos circuitos gerados pelos usuários da plataforma, de modo que este possui as características de ter um suporte passivo, porém assertivo no que compete aos circuitos implementados por ele para recomendação. Sua tarefa está centrada na ideia de sugerir e recomendar possíveis soluções para o problema identificados ao longo da

evolução da experiência prática do aprendizado em estudantes.

Para o sistema de recomendação, fez-se necessário realizar *inputs* de possíveis problemas, que podem ser encontrados na elaboração de um circuito utilizando a plataforma VISIR. Este protótipo tomou como conteúdo a ser executado nas plataformas estudos de associação de resistores em formatos série, paralelo e misto. A descrição prática do uso é encontrada na Seção 4.3.

Para a realização do protótipo dentro do campo educacional pesquisado, foram mapeados possíveis problemas passíveis de serem cometidos pelo usuário na plataforma, sendo:

1. Posicionar o multímetro em um ponto sem ligação com componente, mas com circuito correto;
2. Falta do fechamento de uma malha;
3. Curto circuito;
4. Realizar a medição em série de um circuito em paralelo;
5. Realizar a medição incorreta de um circuito em série;
6. Posicionar instrumentos e componentes de maneira incorreta uma associação mista.

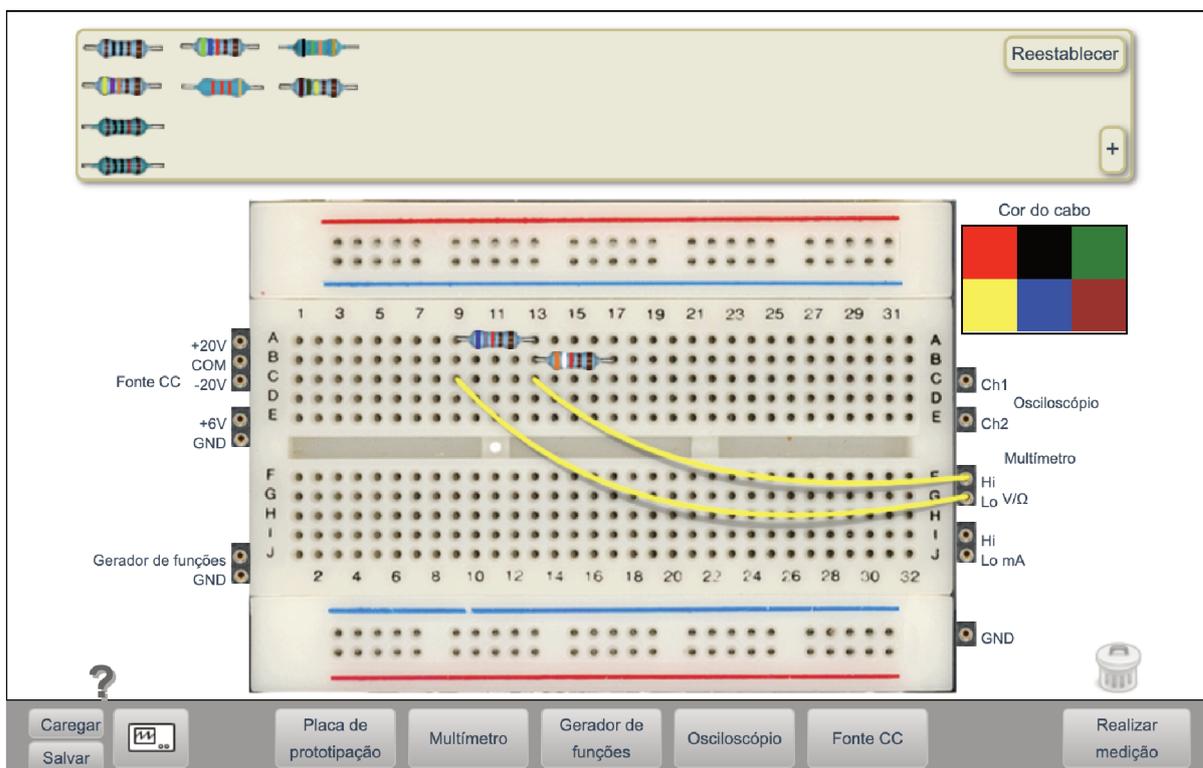
Cada um dos problemas mapeados e suas variações foram exportados no formato da plataforma, vide Apêndice D. Para a compreensão dos erros se faz necessário um breve conhecimento da plataforma VISIR, especialmente da interface desenvolvida em HTML5.

O diagrama criado na placa de prototipação prevê que, múltiplos componentes foram adicionados, mas que certamente haverá um erro de medição por conta da forma com que a conexão com o multímetro foi realizada junto à placa de prototipação. A Figura 26 exibe o erro onde o usuário fez a medição de um único resistor em um circuito em série.

Em uma visão de baixo nível, tem-se que a Figura 26 possui um circuito gerado em formato *.cir*, sendo resultante na Figura 27. Por vez, componentes possuem a identificação por letras somados pelo seu valor. Vide R 1k referente a um resistor com potência de resistência de 1k. Já os cabos que os conectam são identificados pela letra W, do inglês *wire*.

Assim, formas matemáticas promovem vazão ao circuito em formato final, conforme o Apêndice C que exibe uma requisição enviada ao serviço de medição. Neste processo, são aplicadas as funções correspondentes ao circuito que gera as posições exatas na placa de prototipação e nos canais dos equipamentos.

Figura 26 – Exemplo de erro usado na alimentação do sistema de recomendação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Para fazer com que o sistema de recomendação tivesse conhecimento das informações que estavam sendo utilizadas em cada circuito e em cada prática executada por qualquer usuário em função do uso da plataforma se fez necessário uma intervenção no processo de *request*.

O processo de *request* envia os dados à aplicação responsável pela medição no *hardware* físico da plataforma, logo, o processo de formulação do *request* é efetuado no *front-end* da aplicação e enviado via requisição em linguagem JavaScript.

Por vez, elaborou-se um *trigger*, uma segunda requisição destinada ao sistema de recomendação, assim fazendo com que este seja capaz de receber o mesmo circuito que é enviado para a aplicação de medição para realizar o processo de tomada de decisão e, por conseguinte, realizar a recomendação.

Em termos de operação e salvamento da informação para possível análise futura utilizando xAPI tem-se que, o usuário faz duas requisições, logo são dois novos *statements* com o mesmo contexto, porém com objetos e verbos diferentes.

Considerando a transposição dos *statements* de modo semântico leia-se:

1. **Envio ao sistema de medição:** Lucas (agente), definiu (verbo), uma medição (objeto), no sistema de medição com o circuito (contexto).

Figura 27 – Exemplo de circuito usado na alimentação do sistema de recomendação.

```
<save version="2">
  <instruments htlinstruments="Breadboard|FlukeMultimeter|
HPFunctionGenerator|AgilentOscilloscope|TripleDC"></instruments>
  <circuit>
    <circuitlist>
      <component>W 16776960 351 234 544.7 209.3 637 299
</component>
      <component>W 16776960 637 312 503.1 213.2 299 234
</component>
      <component>R 1k 78 13 0</component>
      <component>R 47k 78 39 0</component>
      <component>R 10k 78 65 0</component>
      <component>R 10k 78 91 0</component>
      <component>R 5.6k 143 13 0</component>
      <component>R 150k 208 39 0</component>
      <component>R 15k 208 13 0</component>
      <component>R 6.8k 325 208 0</component>
      <component>R 3.9k 377 221 0</component>
      <component>R 2.2k 143 39 0</component>
    </circuitlist>
  </circuit>
</save>
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

2. **Questionamento sobre o circuito ao sistema de recomendação:** Lucas (agente), perguntou (verbo), uma recomendação (objeto), ao sistema de recomendação com o circuito gerado (contexto).

4.2 INCLUSÃO DO SUPORTE AO VISIR

O procedimento de inclusão do suporte a xAPI foi realizado por tarefas que segue um processo de sucessão linear que vai do mapeamento dos elementos na interface até o armazenamento da informação em um LRS. Deste modo, elencou-se as seguintes tarefas:

1. Mapeamento dos componentes de interface;
2. Mapeamento das funcionalidades dos instrumentos e ações de componentes;
3. Escolha dos verbos;
4. Formulação dos *statements*;

5. Salvamento das informações em um LRS genérico.

4.2.1 Mapeamento dos componentes de interface

Como parte da tarefa 1, o mapeamento constatou que haviam 3 grandes elementos no sistema, sendo: (1) os componentes eletrônicos, (2) instrumentos; e (3) a ligação entre componentes e instrumentos.

4.2.1.1 Mapeamento das funcionalidades dos instrumentos e ações de componentes

Já na tarefa 2, percebeu-se uma grande variedade de possibilidades que se pode realizar na plataforma VISIR, pois um componente como um cabo de conexão *wire* - pode estar em qualquer posição do sistema, seja ela na placa de prototipação ou em um instrumento.

Outro fato que é considerável na arquitetura é que, cada instância do laboratório VISIR pode possuir um determina variação quanto a componentes e instrumentos. Ao exemplo em que um dado resistor ou capacitor está disponível na instância disponível no RExLab na UFSC, mas ao mesmo tempo não na instância da *Universidad Estatal a Distancia* (UNED)¹ na Costa Rica e ambas as instâncias utilizarem a mesma GUI.

Outro requisito que se observou é que novos componentes podem ser cadastrados na plataforma ao exemplo de que o administrador da plataforma deseja incluir um resistor com uma nova resistência não prevista na interface.

Dentro desta tarefa identificaram-se os seguintes macro elementos da interface que necessitavam de mapeamento:

- Todos e quaisquer componentes eletrônicos;
- Multímetro;
- Gerador de funções;
- Osciloscópio;
- Fonte DC;
- Cabos conectores.

Verificou-se que os componentes eletrônicos podem variar no que representa ao número de conexões, onde alguns podem possuir mais ou menos conectores que o outro. Considerando tal condição, mapeou-se as seguintes funcionalidades:

1. Adicionar um componente na experiência prática;

¹ <https://uned.cr/>

2. Mover um componente de posição;
3. Remover da experiência.

O funcionamento de um multímetro é tido como bastante simples, onde o usuário define apenas o que deseja medir. Em termos de funcionalidade mapeada, identificou-se que o usuário pode apenas definir o modo de operação do mesmo e suas ligações no sistema.

Já o gerador de funções oferta ao usuário um leque maior de funcionalidades que podem ser exploradas em uma prática, assim mapeou-se as seguintes funcionalidades presentes na interface:

1. Definir as conexões com o sistema;
2. Definir a frequência;
3. Definir a amplitude;
4. Definir o formato da onda;
5. Definir o *off-set*;
6. Manusear os valores através de diferentes botões.

No osciloscópio há um número ainda maior de funcionalidades e botões que exprimem uma dada ação e que por vez precisaram de mapeamento. Desta forma, identificou-se as seguintes funcionalidades que necessitavam de mapeamento:

1. Definir as conexões dos canais com o sistema;
2. Configuração do *Auto-Scaling*
3. Configuração das amostras;
4. Configuração do *trigger*;
5. Botões indicadores da personalização.

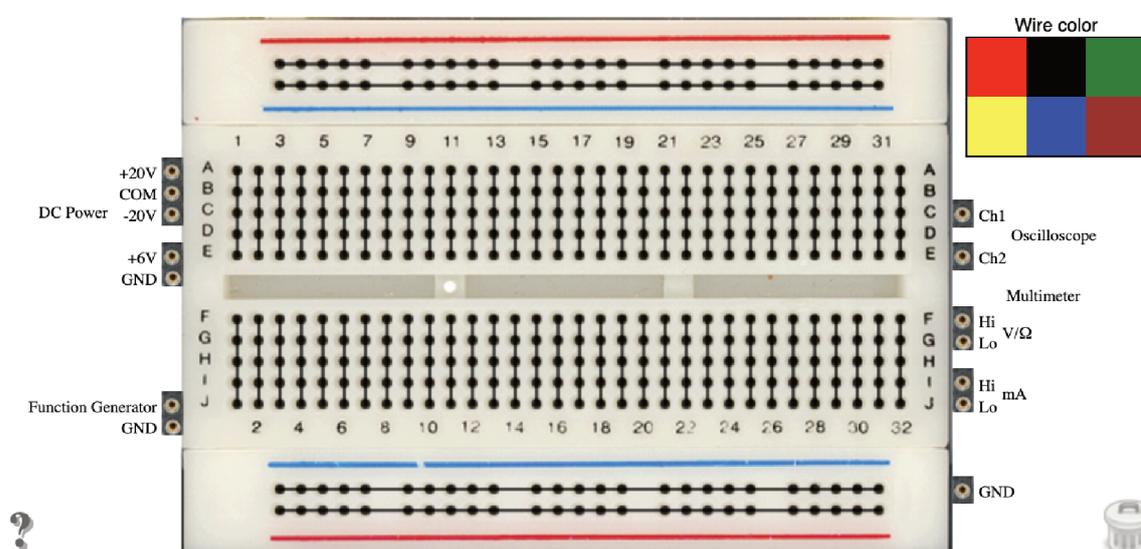
Já a fonte de corrente DC possui um *setup* de funções limitadas em relação a alguns instrumentos; o modelo empregado pelo laboratório foi o Agilent E3631A com as seguintes funções empregadas:

1. Definição da corrente;
2. Definição da tensão;
3. Acionamento de botões referente às funcionalidades.

Os cabos conectores, por vez, tratam de ligar os pontos da placa de prototipação aos instrumentos, podendo ainda, os instrumentos estarem ligados entre si ou ainda a algum componente, ademais, podendo componentes estarem conectados entre si, também.

A placa de prototipação é composta por linhas e colunas, das quais uma corrente é capaz de passar. Em sua grande parte a placa é vista como uma matriz, na qual as linhas duas iniciais e as duas finais conduzem corrente em linha horizontal, diferente das demais que conduzem corrente em linha vertical. A Figura 28 representa o formato de condução de corrente em uma placa de prototipação.

Figura 28 – Funcionamento de uma placa de prototipação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A Figura 29 detalha combinações possíveis para os fios conectores, de modo que eles sempre estarão ligados em diferentes pontos do sistema, representado por uma coordenada, mesmo que esta seja referente a uma coordenada de instrumento.

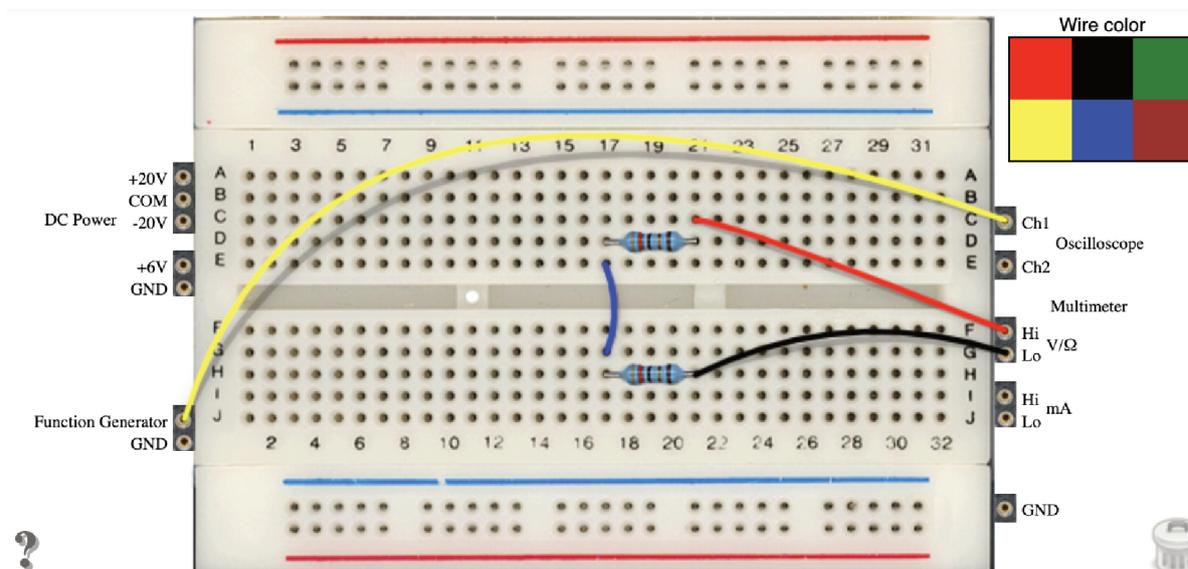
Desta forma, a formulação técnica para a interpretação do sistema e das matrizes de chaveamento é expressa pelas representações de interligação de cada componente, conforme segue no Quadro 7.

Quadro 7 – Exemplo de ligações dos cabos no sistema.

Cor do cabo	Posição Inicial	Posição Final
Amarelo	PROBE1_1_1	VFGENA_1_1
Vermelho	DMM_1_1	F10
Azul	A17	F17
Preto	DMM_1_2	F21

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 29 – Composição de posicionamentos possíveis em uma placa de prototipação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4.2.1.2 Escolha dos verbos

A escolha de verbos em uma aplicação que suporte xAPI dependerá do que se deseja expressar pela ação que foi realizada. No cenário deste protótipo há uma grande variedade de informações que devem ser tratadas. O Quadro 8 exhibe os verbos empregados no protótipo, bem como a obrigatoriedade do seu uso e o seu IRI.

Quadro 8 – Verbos empregados no protótipo.

Verbo	Uso	IRI
Initialized	Obrigatório	https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/initialized
Set	Opcional	http://example.com/verbs/set
Added	Opcional	https://brindlewaye.com/xAPITerms/verbs/added/
Moved	Opcional	https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/moved
Deleted	Opcional	https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/deleted
Downloaded	Opcional	http://id.tincanapi.com/verb/downloaded
Imported	Opcional	http://adlnet.gov/expapi/verbs/imported
Answered	Opcional	http://adlnet.gov/expapi/verbs/answered

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Os verbos empregados na aplicação podem ser divididos em cinco grupos, conforme seus usos adotados, sendo: (1) de uso gerencial que define o início de uma sessão (*intialized*); (2) verbos de definição de configuração (*set*, *added*); (3) de modificação da configuração (*moved*, *deleted*); (4) verbos de importação e exportação da informação; e (5) de comunicação com os sistemas (*answered*).

4.2.1.3 Formulação dos *statements*

Conforme os verbos escolhidos, sua população em cada *statement* dependerá das ações que forem mapeadas junto a aplicação e da população de blocos opcionais junto a cada *statement*. Os *statements* depende de casos de usos, estes que serão apresentados na sub-seção 4.3, que traz um exemplo de integração.

Em referência as implementações na sub-seção 3.1.1, os *statements* desenvolvidos para este protótipo empregaram o uso da predileção de *context*. Sua explicação se dá pela grande volatilidade da propriedade e pela grande capacidade de armazenar informação relacionada que são auxiliares em atividades posteriores de mineração.

A utilização do contexto pode ser dividida de acordo com cada funcionalidade e atores mapeados na arquitetura. Assim, tem-se:

- **O número de vezes que um usuário realiza medições**

O número de vezes em que um dado usuário realiza uma medição no sistema é de suma importância para o mesmo, de modo que é possível acompanhar o que este percebeu como um possível erro ou melhoria para ser adotado no circuito e assim, posteriormente, em uma nova medição, comprovar de seus conhecimentos de uma maneira ajustada.

- **Movimentação de posicionamento**

Um dos elementos críticos da operação do sistema é manter suas coordenadas de modo a que seja possível identificar onde está cada componente e como eles estão conectados entre si afim de gerar um determinado resultante.

A posição é relevante no sistema tanto para componentes eletrônicos como para os instrumentos, desta forma, seu mapeamento é feito através da chave <https://example.com/visir/wire/> para cabos. Já para componentes é utilizado a chave <https://example.com/visir/component>. Em ambos os casos as chaves são responsáveis por identificar o contexto de posicionamento de seus objetos.

- **Valor de cada componente**

O número de vezes em que um dado usuário realiza uma medição no sistema é de suma importância, de modo que é possível acompanhar o que este percebeu como um possível erro ou melhoria para ser adotado no circuito e assim, posteriormente, em uma nova medição, comprovar seus conhecimentos de uma maneira ajustada.

Desta forma, o objeto componentes é identificado pela chave <https://example.com/visir/component/> que traz outras duas propriedades, (1) *type* que traz o tipo do elemento e (2) *value*, referente a potência do componente.

- **Resultado da operação:**

As requisições que são feitas ao serviço *lab server* da aplicação de laboratórios remotos interativos e os serviços externos como o sistema de recomendação.

O objeto *https://example.com/visir/response/* é o responsável por armazenar os valores de resposta das aplicações, seja ele por retorno do laboratório remoto ou do sistema de recomendação com a sugestão dada para o usuário.

A *response* gerada pelo laboratório está disponível no Apêndice A, o Apêndice B exibe o *response* do sistema de recomendação.

Para formulação da identificação dos atores no sistema, fez-se necessário implementações dinâmicas para os usuários e implementações fixas, por vez, mais simplórias, para identificação no sistema.

Por fim, tendo definido as variáveis necessárias para compor os *statements* no formato xAPI, desenvolveu-se um *plugin* para formulação destes e posterior envio a um LRS.

O grande norteador para o desenvolvimento de um *plugin* se deu pelo formato em que a conexão é realizada entre o cliente e o LRS, de modo que, em testes realizados durante o desenvolvimento, notou-se que o envio de *statements* logo após a ação do usuário acarretava na redução do desempenho do sistema pelo lado do cliente, uma vez que, o número de *statements* pode variar e acarretar na piora da experiência do usuário.

Um grande número de *statements* pode ser gerado em um curto espaço de tempo, como por exemplo me uma medição em um osciloscópio, onde o usuário pode rapidamente modificar parâmetros e estar realizando medições em modo contínuo.

Assim, optou-se pelo envio em formato *batch*, assim, os instrumentos e componentes do sistema fazem um chamada local para o *plugin* de conexão com o LRS para enviarem os dados relacionados a ele mesmo.

Tal *plugin* acaba por tratar todas as outras informações necessárias de maneira recursiva para todos os *statements*, evitando que haja sobrecarga nos métodos do sistema e por consequência, problemas com a experiência do usuário.

Uma vez os dados enviados por cada elemento do sistema é formatado pelo *plugin* para inclusão de dados de propriedades do ator e LRS, este passa a aguardar que o usuário pressione o botão para realizar uma medição do seu circuito para só então ser enviado para o armazenamento no LRS.

Ao realizar uma medição o laboratório irá gerar outros quatro novos *statements*, estes, cruciais para a comprovação da resolução do circuito e para prova real junto ao sistema de recomendação que verificará possíveis inconsistências.

Tais *statements* irão envolver todos os três atores presentes neste protótipo, sendo: (1) o aluno que irá realizar uma medição; (2) a resposta do laboratório remoto

ao circuito gerado conforme os parâmetros configurados pelo mesmo; (3) a consulta do usuário ao sistema de recomendação, informando o circuito gerado - o Apêndice C exibe um exemplo de requisição a aplicação *lab server* - e (4) a resposta enviada pelo sistema de recomendação ao usuário.

Devido a complexidade e falta de bibliotecas compatíveis com a linguagem de programação usada, que geralmente cercam as aplicações *lab server* e sistemas de recomendação, optou-se por realizar a formulação e envio dos *statements* no lado do cliente da aplicação.

A adoção deste modelo permite que tanto o laboratório remoto quanto o sistema de recomendação possam ser utilizados sem a necessidade de suportar xAPI, de outro modo, poupam-se recursos com o não envio de dados ao LRS, o que por ventura, futuramente pode ser um problema na mineração dos dados.

4.2.2 Salvamento das informações em um LRS genérico

O salvamento das informações geradas pelos atores presentes na arquitetura do sistema pode ser armazenado em qualquer sistema independente desde que suporte xAPI.

O envio das informações ao LRS acontece mediante o uso de uma biblioteca, que deve ser implementada no lado cliente da aplicação. Pelos critérios apresentados pela interface do laboratório remoto VISIR e, considerando o seu desenvolvimento em linguagem JavaScript, utilizou-se a biblioteca TinCanJS.

Outras linguagens de programação possuem implementações que dão suporte à criação de *statements* xAPI, são: Javascript Library (TinCanJS); Objective C; Java; PHP; Python; .NET; TinCanObjC – Offline e TinCanAndroid – Offline.

Por padrão, a biblioteca espera os parâmetros de URL de conexão para a API do LRS e as credenciais de acesso para conexão e posterior envio dos *statements* ao LRS.

Por padrão, a biblioteca esperará os parâmetros de URL de conexão para a API do LRS e as credenciais de acesso a mesma para conexão e posterior envio dos *statements* ao LRS.

Atualmente, existe uma série de LRS disponíveis no mercado como *SCORM Cloud*², *Yet Analytics*³, *Learning Locker*⁴, dentre outros. Para este protótipo foi utilizado o último supracitado.

A escolha pelo *Learning Locker*[®] ocorreu por critérios de popularidade da ferramenta, uma vez que ela é o LRS com maior número de instalações. A ferramenta ainda possui uma API que permite a exportação de dados, da mesma forma, permi-

² <http://cloud.scorm.com/>

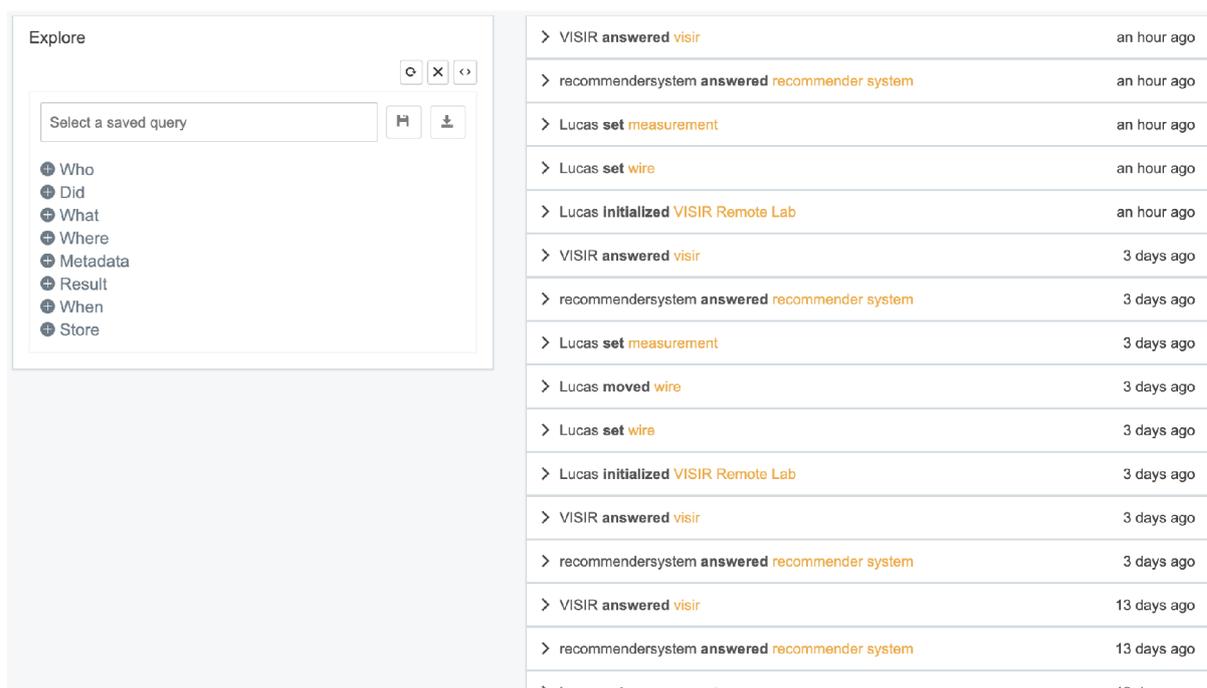
³ <https://www.yetanalytics.com/>

⁴ <https://www.ht2labs.com/learning-locker-community/overview/>

tindo que os *statements* nela gerados possam ser acessados via um banco de dados *MongoDB*®.

A ferramenta permite ainda que se possam gerar consultas através de *queries* para seleção dos *statements* desejados. Logo, parâmetros relacionados a temporalidade, identificação de ator, contexto, verbo, entre outros podem serem empregados em conjunto. A Figura 30 exibe as funcionalidades disponíveis para consulta.

Figura 30 – Funcionamento de uma consulta no Learning Locker.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4.3 CENÁRIOS DE APLICAÇÃO E CASOS DE USO

Esta seção aborda o funcionamento prático do sistema, mediante os cenários de aplicação, identifica e prevê possíveis acertos e falhas na construção dos circuitos por parte dos usuários da plataforma e ressalta como este lidará com ambas situações.

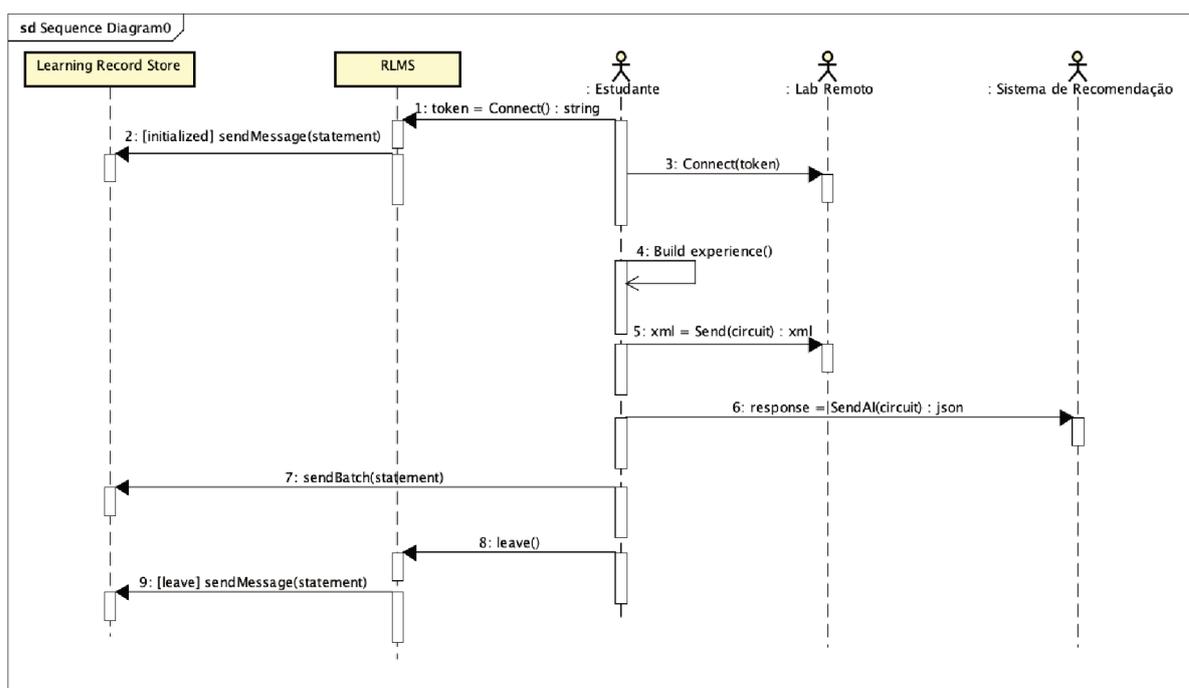
Para os cenários de aplicação que compõem os casos de uso deste trabalho, estruturaram-se de modo que atendam aos conceitos de associação de resistores.

Antecedendo ao detalhamento de cada cenário, a Figura 31 exibe um panorama geral do exemplo prático de uso do sistema através de um diagrama de sequência. Na visão deste autor, sua concentração está na interação com o laboratório remoto, não com os demais elementos do RLMS.

A sequência que inicia com uma requisição de acesso ao laboratório remoto até o salvamento da informação no LRS, esta percorre ainda o processo de criação do

circuito por parte do usuário com o armazenamento local dos *statements*, tais *statements* que serão somados aos outros *statements* oriundos do processo de requisição e resposta ao sistema de recomendação e ao circuito final, juntando-se também aos valores da medição nos instrumentos.

Figura 31 – Diagrama de sequência resultante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Dentro dos estudos realizados nos cenários de uso que serão relatados, tem-se que os *statements* podem variar em grande número, estando tal variação relacionada ao número de resistores escolhidos e às posições de um dado componente. Considerando tal afirmação, os *statements* apresentados pelos casos de uso, na sequência, podem variar quanto ao seu contexto e objeto.

4.3.1 Casos de uso

Buscando exemplificar a aplicação do desenvolvimento realizado, este trabalho incorpora casos de uso a cada cenário, desta forma tem-se possíveis cenários de uso abordados que foram mapeados junto ao sistema de recomendação. Assim, tem-se:

- Associação de resistores em série;
- Associação de resistores em paralelo;
- Associação de resistores mista.

Neste sentido, os casos de usos a seguir irão abordar cada *statement* e suas condições junto ao sistema, para posteriormente categoriza-lo em cada cenário de aprendizagem, considerando os pontos plausíveis de extração de conhecimento.

Na visão mais inicial de uma prática, o sistema irá capturar a inicialização da prática, ou seja, quando o aluno acessa o laboratório efetivamente. Este caso de uso é descrito no Quadro 9.

Quadro 9 – Caso de Uso 01: Estudante Acessou Um Laboratório

UC#01: Estudante Acessou Um Laboratório	
Descrição:	O estudante acessou um laboratório online
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O laboratório (LaaS) está operável - O professor disponibiliza o laboratório com o aluno - O aluno realiza o login com suas credenciais pessoais para acessar o laboratório - O aluno tem permissões para acessar o laboratório
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. Estudante acede ao laboratório, com permissões dadas pelo instrutor 2. O verbo "initialized" é enviado em um <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- O laboratório é de controle do usuário - O <i>statement</i> é enviado ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao número de acessos por cada usuário - Métricas de acesso ao longo do tempo - Métricas de quantos usuários acessaram, mas desistiram sem interagir com o laboratório
Exemplo de Statement	
<pre> { "context": { "platform": "VISIR HTML5", "language": "en", "extensions": { "https://example.com/visir/lab-information": { "labContext": { "https://example.com/visir/": { "instance": "RExLab UFSC" } } } } }, "https://example.com/visir/masurement": 1 }, "actor": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:lucas@mail.com", "name": "Lucas", }, "timestamp": "2020-01-14T02:19:03.633Z", "id": "c682c545-1c4e-4199-bb5d-d7d6e62e9178", "verb": { "id": "https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/initialized", "display": { "en-US": "initialized", } }, "object": { "id": "https://example.com/visir/", "objectType": "Activity", "definition": { "name": { "en-US": "VISIR Remote Lab", "type": "http://example.com/activity-types/ onlinelaboratory" } } } } </pre>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39

O Caso de Uso 2 (Quadro 10) pode ser considerado um caso condicional, pois caberá ao administrador do laboratório remoto dar permissões aos usuários para que ele adicione componentes à prática ou o mesmo poderá já fornecer a prática com os componentes previamente adicionados.

Quadro 10 – Caso de Uso 02: Estudante Adicionou Um Componente

UC#02: Estudante Adicionou Um Componente	
Descrição:	O estudante adicionou um componente a prática
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O aluno acedeu ao laboratório - O aluno tem permissões para adicionar componentes
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudante acede ao laboratório, com permissões dadas pelo instrutor 2. O estudante escolhe um componente que deseja adicionar a sua prática 3. O verbo "added" é enviado em um <i>statement</i> xAPI 	
Pós-condição:	- O componente está configurado fisicamente no laboratório - O <i>statement</i> é armazenado localmente no navegador para posterior envio ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao número de vezes que o componente foi selecionado - Métricas de escolha correta do componente - Métricas de quantos usuários utilizaram o mesmo componente - Conhecimento de em qual medição o componente foi adicionado
Exemplo de Statement	
<pre> 1 { 2 "context": { 3 "platform": "VISIR HTML5", 4 "language": "en", 5 "extensions": { 6 "https://example.com/visir/lab-information": { 7 "labContext": { 8 "https://example.com/visir/component/": { 9 "type": "R", 10 "value": "1k" 11 } 12 } 13 }, 14 "https://example.com/visir/measurement": 1 15 } 16 }, 17 "actor": { 18 "objectType": "Agent", 19 "mbox": "mailto:lucas@mail.com", 20 "name": "Lucas", 21 }, 22 "timestamp": "2019-12-23T17:22:12.823Z", 23 "id": "e4f3db20-289a-48ba-9aa5-a8d3df529aea", 24 "verb": { 25 "id": "https://brindlewaye.com/xAPITerms/verbs/added/", 26 "display": { 27 "en-US": "added" 28 } 29 }, 30 "object": { 31 "id": "https://example.com/visir/component", 32 "objectType": "Activity", 33 "definition": { 34 "name": { 35 "en-US": "R1k", 36 "type": "http://example.com/activity-types/onlinelaboratory" 37 } 38 } 39 } 40 }</pre>	

Já o Caso de Uso 03 (Quadro 11) ocorre frequentemente junto ao sistema. À vista disso, o professor poderá identificar onde o aluno está cometendo erros quando posiciona um componente em uma determinada prática.

Neste momento, o IRI <https://example.com/visir/mensurement> é crucial, pois através dele torna-se possível identificar se o aluno conseguiu perceber seu erro e movimentar o componente no próximo processo de medição.

Quadro 11 – Caso de Uso 03: Estudante Moveu Um Componente

UC#03: Estudante Moveu Um Componente	
Descrição:	O estudante moveu um componente de posição
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O laboratório (LaaS) está operável - O componente está disponível e adicionado
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. O componente está disponível ao estudante 2. O estudante move o componente de posição 3. O verbo “moved” é enviado em um <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- O componente está configurado fisicamente no laboratório - O <i>statement</i> é armazenado localmente no navegador para posterior envio ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao número de vezes que o componente movido de posição - Métricas do posicionamento do componente - Métricas de quantos usuários posicionaram correta ou erroneamente o componente - Conhecimento de em qual medição o componente foi movido
Exemplo de Statement	
<pre> { "context": { "platform": "VISIR HTML5", "language": "en", "extensions": { "https://example.com/visir/lab-information": { "labContext": { "https://example.com/visir/component": { "position": "A13 A17 " } } } } }, "https://example.com/visir/masurement": 3 }, "actor": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:lucas@mail.com", "name": "Lucas", }, "timestamp": "2019-12-23T17:22:48.078Z", "id": "26e7dd38-e8e1-4b58-b255-0cc87dbc7f7c", "verb": { "id": "https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/moved", "display": { "en-US": "moved" } }, "object": { "id": "https://example.com/visir/component/", "objectType": "Activity", "definition": { "name": { "en-US": "R1k", "type": "http://example.com/activity-types/ onlinelaboratory" } } } } </pre>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39

O Caso de Uso 4 (Quadro 12) é outro caso que descreve *statements* importantes para a identificação da realização de uma experiência. Nesta situação, são capturadas informações referentes às movimentações dos fios dentro do sistema. Os fios ligam pontos entre a placa da prototipação, ou entre a placa de prototipação e os canais de instrumentos.

Quadro 12 – Caso de Uso 04: Estudante Moveu Um Fio

UC#04: Estudante Moveu Um Fio	
Descrição:	O estudante moveu um fio de posição
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O laboratório (LaaS) está operável - O estudante selecionou um fio
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. O estudante move o fio entre dois pontos 2. O verbo “moved” é enviado em um <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- Há conexão física entre os dois pontos nas matrizes do sistema - O <i>statement</i> é armazenado localmente no navegador para posterior envio ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao número de conexões que o estudante realizou - Métricas do posicionamento de cada conexão - Métricas de quantos usuários posicionaram correta ou erroneamente os fios - Conhecimento de em qual medição o fio foi movido
Exemplo de Statement	
<pre> { "context": { "platform": "VISIR HTML5", "language": "en", "extensions": { "https://example.com/visir/lab-information": { "labContext": { "https://example.com/visir/wire/": { "position": "W_X A17 DMM_1_2", "oldPosition": "W_X A14 DMM_1_2" } } } }, "https://example.com/visir/measurement": 5 }, "actor": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:lucas@mail.com", "name": "Lucas", }, "timestamp": "2019-12-23T17:23:05.274Z", "id": "26f7cddf-72f0-4ddf-89c6-3087b63fe4d7", "verb": { "id": "https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/moved", "display": { "en-US": "moved" } }, "object": { "id": "https://example.com/visir/wire", "objectType": "Activity", "definition": { "name": { "en-US": "wire", "type": "http://example.com/activity-types/ onlinelaboratory" } } } } </pre>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

Por vez, o Caso de Uso 05 (Quadro 13) expõe o processo de configuração do instrumento. Neste caso, tem-se uma variação entre o objeto e o contexto, de modo que o objeto pode ser qualquer instrumento disponível para uso no sistema, e o contexto é a configuração que foi aplicada a este.

Quadro 13 – Caso de Uso 05: Estudante Configura Um Instrumento

UC#05: Estudante Configura Um Instrumento	
Descrição:	O estudante configura um instrumento para medição
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O laboratório (LaaS) está operável - O instrumento está disponível
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. O estudante seleciona o instrumento que deseja usar 2. O estudante configura o instrumento 3. O verbo “set” é enviado em um <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- Há conexão física entre o instrumento e algum outro ponto - Existe conexão física entre o instrumento e o ponto de destino no sistema - O <i>statement</i> é armazenado localmente no navegador para posterior envio ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao número de vezes que o instrumento foi utilizado - Métricas do posicionamento de cada conexão - Métricas de como o instrumento é utilizado
Exemplo de Statement	
<pre> { "context": { "platform": "VISIR HTML5", "language": "en", "extensions": { "https://example.com/visir/lab-information": { "labContext": { "https://example.com/visir/sensor/multimeter": { "mode": "resistance" } } } }, "https://example.com/visir/masurement": 3 }, "actor": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:lucas@mail.com", "name": "Lucas" }, "timestamp": "2019-12-23T17:22:48.385Z", "id": "4801fe10-1a8e-4d75-a6c6-87e5a5b8a0f0", "verb": { "id": "https://example.com/visir/verbs/set", "display": { "en-US": "set" } }, "object": { "id": "https://example.com/visir/sensor/multimeter", "objectType": "Activity", "definition": { "name": { "en-US": "Fluke Multimeter", "type": "http://example.com/activity-types/ onlinelaboratory" } } } } </pre>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39

Já o Caso de Uso 6 (Quadro 14) envolve processo de medição. Neste processo o mesmo *statement* é enviado a dois contextos diferentes, o laboratório remoto e o sistema de recomendação. O laboratório remoto é responsável pela medição física no hardware, e o sistema de recomendação é faz a verificação do circuito e recomenda alguma informação referente á formulação do circuito.

Quadro 14 – Caso de Uso 06: Estudante Realiza Uma Medição

UC#06: Estudante Realiza Uma Medição	
Descrição:	O estudante realiza uma medição
Ator(es):	- Estudante
Pré-condição:	- O laboratório (LaaS) está operável - Há um circuito montado
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
1. Circuito e instrumentos são configurados 2. O verbo “set” é enviado em um <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- O estudante recebe uma resposta referente a sua experiência - O <i>statement</i> xAPI é armazenado localmente no navegador para posterior envio ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao número de vezes que medições foram realizadas
Exemplo de Statement	
<pre> { "context": { "platform": "VISIR HTML5", "language": "en", "extensions": { "https://example.com/visir/lab-information": { "labContext": { "https://example.com/visir/wire/": { "circuit": <CIRCUITO EM XML> } } }, "https://example.com/visir/measurement": 1 } }, "actor": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:lucas@mail.com", "name": "Lucas" }, "timestamp": "2020-01-17T00:36:45.641Z", "id": "9c7dcddb-15e3-4af4-b1e6-db3a6f4a4543", "verb": { "id": "https://w3id.org/xapi/dod-isd/verbs/set", "display": { "en-US": "set" } }, "object": { "id": "https://example.com/visir", "objectType": "Activity", "definition": { "name": { "en-US": "measurement", "type": "http://example.com/activity-types/ onlinelaboratory" } } } } </pre>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O Caso de Uso 7 (Quadro 15) traz um novo ator: o laboratório remoto. Este informa ao estudante o valor obtido por cada instrumento referente ao circuito enviado pelo usuário no momento em que ele pressionou o botão *Perform Measurement* ou um erro relacionado a curto gerado por um defeito na configuração dos componentes.

Quadro 15 – Caso de Uso 07: Laboratório Retorna os Valores da Medição

UC#07: Laboratório Retorna os Valores da Medição	
Descrição:	O laboratório retorna os valores da medição aos instrumentos
Ator(es):	- Laboratório Remoto
Pré-condição:	- O laboratório (LaaS) está operável - Há um circuito montado
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. O estudante montou o circuito 2. Circuito e instrumentos são configurados 3. O estudante realizou a medição 4. O estudante recebeu uma resposta referente a medição 5. O verbo "answered" é enviado em um <i>statement</i> xAPI 	
Pós-condição:	- O estudante recebe uma resposta referente a sua experiência - O <i>statement</i> xAPI é armazenado localmente no navegador para posterior envio ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao funcionamento do circuito
Exemplo de Statement	
<pre> { "context": { "platform": "VISIR HTML5", "language": "en", "extensions": { "https://example.com/visir/lab-information": { "labContext": { "https://example.com/visir/response/": { "response": <RESPOSTA EM XML> } } } }, "https://example.com/visir/mensurement": 1 }, "actor": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:VISIR@mail.com", "name": "VISIR" }, "timestamp": "2020-01-17T00:36:45.959Z", "id": "b310f2cc-43ee-4437-b2b0-afb0d7a7b130", "verb": { "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/answered", "display": { "en-US": "answered" } }, "object": { "id": "https://example.com/visir", "objectType": "Activity", "definition": { "name": { "en-US": "visir", "type": "http://example.com/activity-types/ onlinelaboratory" } } } } </pre>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39

Por fim, o Caso de Uso 8 (Quadro 16), descreve a recomendação provida ao estudante pelo sistema de recomendação. Nesta situação, o ator passa a ser o sistema de recomendação, e o objeto se volta ao estudante, identificado pela chave *mbox*. Por sua vez, a resposta do sistema de recomendação passa a compor o contexto do *statement* que é enviado ao LRS.

Quadro 16 – Caso de Uso 08: O Sistema de Recomendação Retorna Uma Recomendação

UC#08: Sistema de Recomendação Retorna Uma Recomendação	
Descrição:	O sistema de recomendação retorna uma recomendação
Ator(es):	- Sistema de Recomendação
Pré-condição:	- O laboratório (LaaS) está operável - O sistema de recomendação está ativo - Um circuito válido foi enviado
Cenário de Caso de Uso / Fluxo de Trabalho / Interfaces de Sistema: 1. O estudante montou o circuito 2. Circuito e instrumentos foram configurados 3. O estudante realizou a medição 5. O verbo “answered” é enviado em um <i>statement</i> xAPI	
Pós-condição:	- O estudante recebe uma resposta referente a sua experiência - O <i>statement</i> xAPI é armazenado localmente no navegador para posterior envio ao LRS
Impacto:	- Métricas relacionadas ao funcionamento do circuito - Erros comuns encontrados - Possibilidade de ajustes
Exemplo de Statement	
<pre> { "context": { "platform": "VISIR HTML5", "language": "en", "extensions": { "https://example.com/visir/lab-information": { "labContext": { "https://example.com/rs/response/": { "response": <MENSSAGEM DE RECOMENDACAO> } } } } }, "https://example.com/visir/measurement": 2 }, "actor": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:recommendersystem@mail.com", "name": "recommendersystem" }, "timestamp": "2020-01-26T21:57:40.706Z", "id": "567cd954-5e77-4fae-8de6-b179e0cfc6d6", "verb": { "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/answered", "display": { "en-US": "answered" } }, "object": { "objectType": "Agent", "mbox": "mailto:recommendersystem@mail.com", "name": "recommendersystem" } } </pre>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>9</p> <p>10</p> <p>11</p> <p>12</p> <p>13</p> <p>14</p> <p>15</p> <p>16</p> <p>17</p> <p>18</p> <p>19</p> <p>20</p> <p>21</p> <p>22</p> <p>23</p> <p>24</p> <p>25</p> <p>26</p> <p>27</p> <p>28</p> <p>29</p> <p>30</p> <p>31</p> <p>32</p> <p>33</p> <p>34</p>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4.3.2 Cenários passíveis de aplicação

Considerando os três cenários abordados no protótipo deste trabalho – associação de resistores em série, paralelo e misto –, esta seção se destinará a inferir sobre cada um dos cenários e a compreender o funcionamento de cada elemento da arquitetura elaborada por esta pesquisa.

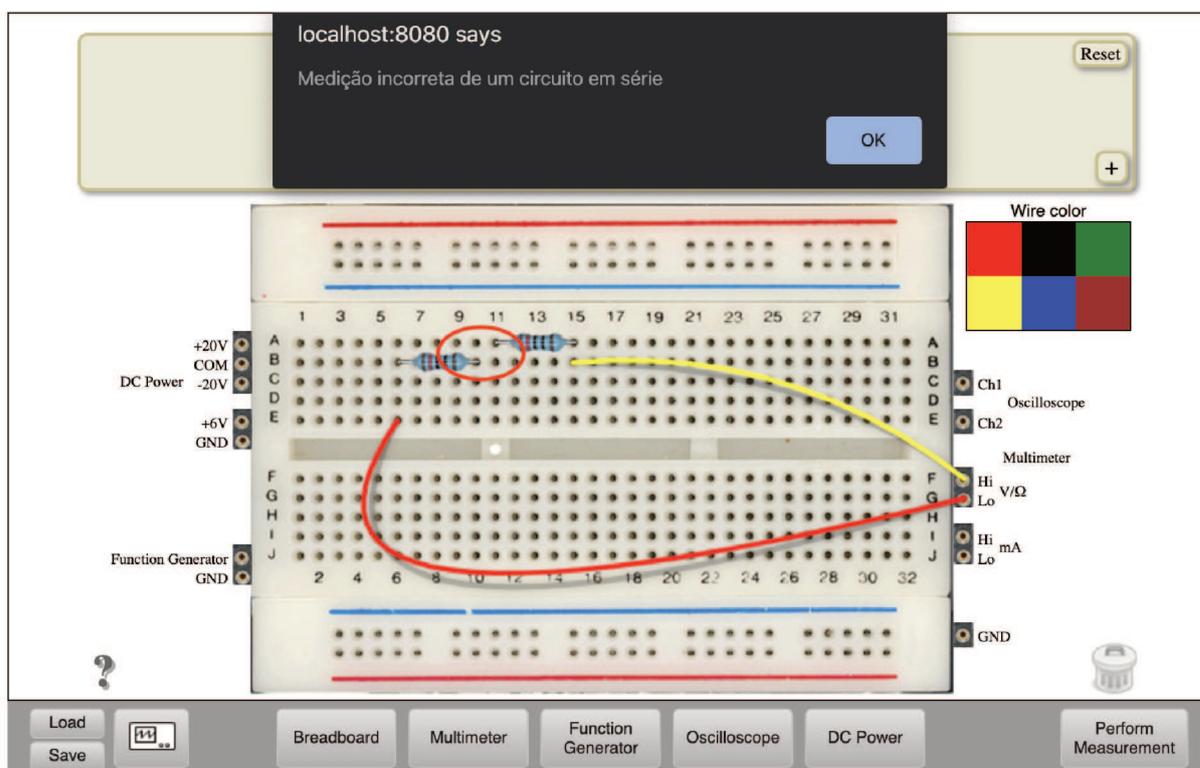
Nestes cenários, pode-se deduzir algum tipo de conhecimento por meio dos casos de uso 3 e 4, inicialmente, sendo possível acompanhar como o estudante moveu os componentes na plataforma e os configurou.

Pelo caso de uso 3, é viável identificar que um determinado estudante pode posicionar componentes em qualquer parte da placa de prototipação, até mesmo diretamente nos canais dos instrumentos.

As conexões, que são parte importante nas medições dos circuitos em paralelo e misto, podem ser monitoradas através do caso de uso 4. Logo, é possível inferir como foi realizado o comportamento das medições, uma vez que se pode identificar a atual e antiga posição de cada fio.

Ao exemplo da Figura 32 que exibe um erro identificado no circuito através da não existência de fechamento do circuito, entre as colunas 10 e 11 da placa de prototipação.

Figura 32 – Erro de medição em circuitos em série.



O sistema de detecção de erros exerce uma função extremamente importante na identificação de erros nos circuitos desenvolvidos pelo estudante. Tendo como cenário o estudante que configura um circuito em paralelo, quando se espera um circuito misto, o sistema de detecção de erros está apto a fornecer tal informação ao estudante.

Logo, na próxima tentativa e medição do circuito, será possível identificar a movimentação dos componentes e fios através dos casos de uso 3 e 4, ou ainda a adição de novos componentes, pelo caso de uso 1.

A atividade de *tracking* do usuário é possível de ser monitorada e explorada de maneira minuciosa na plataforma, de modo que é possível utilizar filtros para projetar *statements* que estejam de acordo com tal perspectiva de *tracking*.

A Figura 33 exibe a um exemplo descritivo de *tracking* através da filtragem de *statements* do ator *Lucas* que definiu - verbo *set* - ou moveu - verbo *moved* - na plataforma *VISIR HTML5*.

Figura 33 – Identificação da atividade de *tracking* do usuário.

The screenshot shows the 'Explore' interface of the VISIR HTML5 platform. On the left, there are filter sections: 'Who' (Actor: lucas), 'Did' (Verbs: set, moved), and 'Where' (Platform: VISIR HTML5). On the right, a list of actions is displayed, each with a timestamp:

> Lucas set measurement	7 minutes ago
> Lucas moved R120	7 minutes ago
> Lucas moved R120	7 minutes ago
> Lucas set measurement	8 minutes ago
> Lucas set wire	8 minutes ago
> Lucas set measurement	9 minutes ago
> Lucas set wire	9 minutes ago
> Lucas moved wire	9 minutes ago
> Lucas set measurement	9 minutes ago
> Lucas moved wire	9 minutes ago

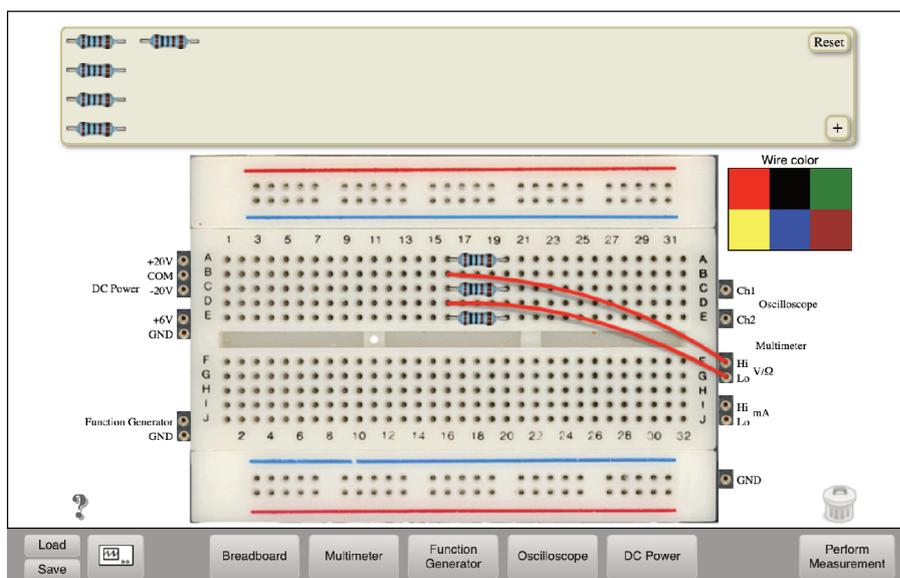
A 'Load more' button is visible at the bottom of the list.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Logo, erros em circuitos, como o representado na Figura 34 são reconhecido pelo sistema de recomendação em um circuito que por algum motivo possui um dado erro. Tal erro é identificado pelo sistema de recomendação como um erro em uma medição em paralelo. Desta forma, é passível de identificação ao docente qual foi a ação tomada pelo aluno. Se este realizou a ligação entre os hemisférios da placa de prototipação usando fios ou moveu os componentes de posição.

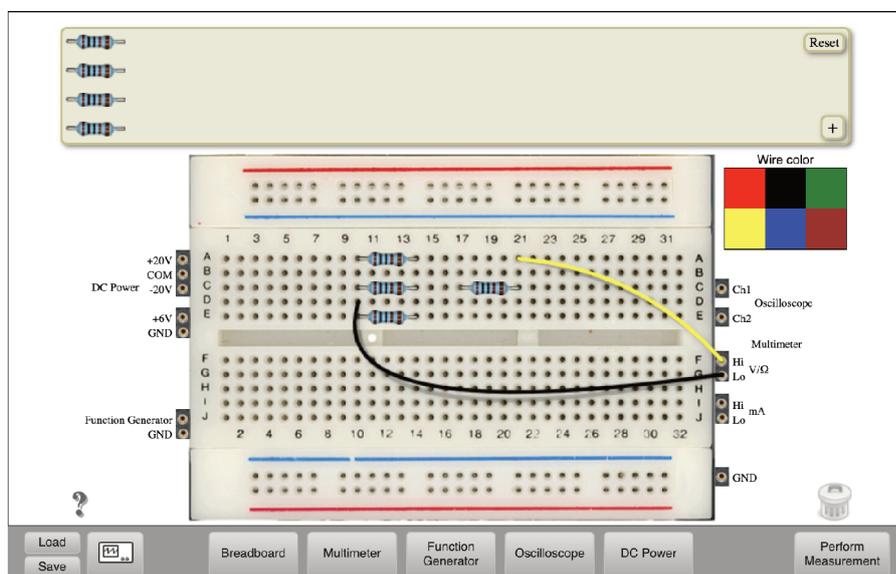
Já, em circuitos mistos a medição pode dar incorreta pela falta de resistência na ligação dos pontos na placa de prototipação (Figura 35), ou ainda pela forma com que as ponteiros do multímetro foram posicionadas medindo o circuito apenas em uma malha, não no todo, conforme exibe a Figura 36.

Figura 34 – Erro de medição em circuitos em paralelo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

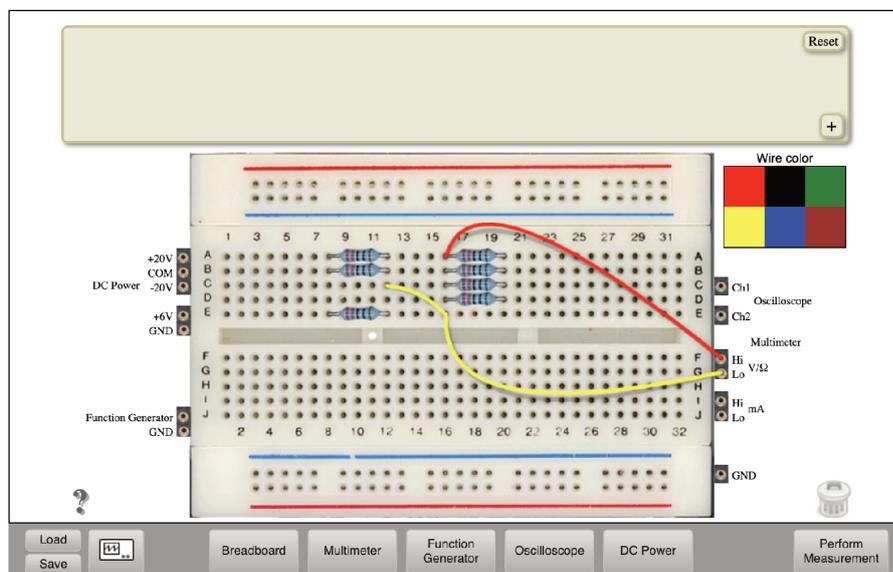
Figura 35 – Erro de medição em circuitos misto pela falta de resistência.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Como resultado final, haverá um comparativo entre a primeira e as medições posteriores do estudante. Neste sentido, é possível reconhecer todos os passos efetuados pelo estudante no desenvolvimento de sua prática de modo a acompanhar seus erros (primeira tentativa) e como ele desenvolveu a correção para o erro reportado pelo sistema de recomendação na primeira tentativa em novas oportunidades de

Figura 36 – Erro de medição em circuitos misto pelo mau posicionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

mensuração junto ao laboratório remoto.

Outros cenários ainda podem ser abordados, mediante a alimentação de novos *inputs* ao sistema de recomendação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As implicações das TIC na vida contemporânea tem corroborado em muito para a grande difusão de muitas áreas não relacionadas diretamente a tecnologia, como por exemplo, na agricultura, biblioteconomia, dentro outras. Levando, assim, a tecnologia para um outro patamar, que não se imaginava em séculos anteriores.

No campo da educação, tais ponderações não foram apenas pontuais, uma vez que condizem desde a automatização da infraestrutura física até a modernização da forma com que docentes ensinam, por conseguinte, transformando o aprendizado.

Assim, buscando responder a pergunta de pesquisa antes definida neste trabalho de: "Como a análise de aprendizagem utilizando métodos analíticos em laboratórios remotos pode auxiliar o processo de ensino-aprendizagem?", tem-se tais ponderações foram explicitadas neste trabalho com a aproximação cada vez maior do docente e do aluno em tarefas executadas a distância.

Condizente com tal, este trabalho se deu pela análise das padronizações existentes na área de laboratórios remotos e assim buscando integrar novas soluções e visões ainda pouco exploradas na área, levando a possibilidade de avaliar a aprendizagem junto ao laboratório remoto em casos de usos explicitados.

Esta trabalho teve por objetivo propor uma arquitetura para análise da aprendizagem no uso de laboratórios remotos buscando aprofundar-se nas interações com o laboratório remoto. Interações que podem ir a um grau muito minucioso em termos de granularidade da informação.

No tocante a esta pesquisa, ela descreveu a continuidade do trabalho realizado por Simão (2018), oriundo do PPGTIC e RExLab da UFSC em parceria com o L@d da TELUQ University, Canadá.

A grande granularidade da informação em seu registro, aliado ao uso de sistemas de detecção de erros torna a informação educacional ainda mais valiosa.

Em termos de padronizações existentes, os pequenos trechos de perfil especificado pela norma IEEE 1876® auxiliaram na implementação deste modelo, de modo que a escolha da tecnologia permitiu que o protótipo fosse executando, não estando tal modelo atrelado a uma única tecnologia de laboratório remoto ou de sistema de recomendação.

No que diz a respeito da integração com sistemas de detecção de erros, as contribuições deste trabalho se exprimem através da total compatibilidade entre os *statements* xAPI e sistemas de detecção de erros, não sendo necessário desenvolver outros padrões de integração. Os protocolos suportados por xAPI e as integrações em diferentes clientes são facilitadores de tal processo.

O protótipo implementado comprova que é possível integrar os elementos e realizar interações com os mesmos, estando pendente a alimentação do sistema de detec-

ção de erros com diferentes cenários e laboratórios. No presente trabalho, explorou-se apenas cenários relacionados à associação de resistores em formato série, paralelo e misto.

A expansão sem muitos esforços deste trabalho pode acontecer com o acréscimo de recomendações para diferentes tipos de circuitos que combinem diferentes componentes, como por exemplo transistores, capacitores, indutores, entre outros.

A partir disso, foi atingido o objetivo de propor um caso de uso inédito na literatura, de integrar sistemas de detecção de erros junto a interação com laboratórios remotos. Assim, este trabalho contribui ao permitir que sistemas de detecção de erros ou outras ferramentas e técnicas de *learning analytics* possam fazer o emprego de métricas que são oriundas diretamente da interação com o laboratório remoto.

A partir de tal forma, é possível que o sistema de detecção de erros interno ao laboratório remoto - presente no modelo proposto - possa sugerir apontamentos pertinentes a experiência do estudante, podendo ainda tais *inputs* da prática se tornarem novos *inputs* para um outro elemento de recomendação complementar que vá além dos objetivos deste trabalho.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

A partir de uma análise do presente estudo, sugere-se que novos trabalhos neste campo abordem o uso *hands-on* da solução, utilizando o laboratório VISIR e outros, suportados pelo modelo de laboratório interativo. Laboratórios não-interativos e de sensores pecam em termos de interatividade por não ofertar um sistema de recomendação que ofereça informações condizentes com a experiência, visando á agregar ainda mais na prática do estudante.

Outra sugestão de desenvolvimento que correlaciona com os objetivos deste trabalho seria o desenvolvimento, em conjunto com o grupo de trabalho IEEE-SA P2834 - *Standard for Secure and Trusted Learning Systems*®, para validar a integridade e confiabilidade das informações trafegadas entre os atores do modelo de arquitetura proposto aqui.

Como grande apontamento a continuidade deste trabalho, sugere-se a avaliação prática do protótipo implementado com diferentes níveis de usuários em *focus groups* a qual esta pesquisa não se destinou objetivamente. Ademais, sugere-se ainda para a adição de um segundo elemento de recomendação para tratar dos *inputs* gravados no LRS para recomendar conteúdos que possam agregar na composição do conhecimento dos discentes.

Ainda, alerta-se para a integração com laboratórios não-interativos e de sensores pelo fato destes pecarem em termos de interatividade para serem passíveis de emprego de um sistema de recomendação que vise a oferta de informações condizentes com à experiência prática do estudante.

5.2 CONSIDERAÇÕES CORRELATAS AO TRABALHO

Durante o desenvolvimento deste estudo, ressalta-se a participação no programa de Líderes Emergentes das Américas, promovido pelo governo canadense, bem como o suporte ofertado pela CAPES/FAPESC.

Ademais, logo ao início deste trabalho, ressalta-se a publicação do artigo "Um olhar sob a interatividade em laboratórios online" em periódico nacional. Fruto do Líderes Emergentes das Américas deu-se a publicação do capítulo de livro "*Design and Implementation of an Architecture for Hybrid Labs*"¹ em evento na Índia e o artigo "*Model for Recording Learning Experience Data from Remote Laboratories Using xAPI*"² publicado em evento internacional.

Ainda como fruto do mesmo programa, registra-se a coordenação de uma seção especial na Austrália intitulada de "*Special Session-Online Laboratories in Engineering Education: Innovation, Disruption, and Future Potential*"³ na conferência Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE).

Fruto da parceria entre UFSC, Instituto de Engenharia do Porto (ISEP) e TELUQ Univeristy teve-se a publicação "*Learning Analytics and Recommender Systems toward Remote Experimentation*" em periódico.

Já "*Personalized Student Assessment based on Learning Analytics and Recommender Systems*"⁴, "*Remote Experimentation supported by Learning Analytics and Recommender Systems*"⁵, "Análise de Aprendizagem e Sistemas de Recomendação como Suporte à Experimentação Remota" em eventos, respectivamente.

O tema das publicações retratou o contexto geral do estado da arte da interação em laboratórios online e fez parte da IEEE-SA, junto ao grupo de trabalho P1876, na publicação de artigos e organização de seções especiais em eventos internacionais. Artigos com relação direta a este trabalho foram publicados condizentes com a criação do sistema de recomendação e na definição dos seus *inputs* e *outputs*.

Salientam-se, ainda, as participações junto aos grupos de trabalho na IEEE-SA P1876 e P2834, bem como as três moções de reconhecimento pelas contribuições prestadas junto ao desenvolvimento da norma 1876, por parte da IEEE *Standard Association*® e pelo Chair do grupo de trabalho da norma 1876.

¹ 10.1007/978-3-030-23162-0_13

² 10.1109/LACLO.2018.00081

³ 10.1109/TALE.2018.8615131

⁴ 10.1109/cispee.2018.8593493

⁵ 10.1145/3284179.3284236

REFERÊNCIAS

- ABBOUD, Mira *et al.* Towards using KDD for an interactive software architecture extraction. *In: PROCEEDINGS - 2017 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, IRI 2017.* [S.l.: s.n.], ago. 2017. p. 127–136. DOI: 10.1109/IRI.2017.38.
- ADL. **Experience xAPI Overview.** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://adlnet.gov/projects/xapi/>.
- AKTAN, B *et al.* Distance learning applied to control engineering laboratories. **IEEE Transactions on Education**, v. 39, n. 3, p. 320–326, ago. 1996. ISSN 0018-9359. DOI: 10.1109/13.538754.
- ALEXANDER, B. *et al.* **EDUCAUSE Horizon Report: 2019 Higher Education Edition.** Edição: Bryan Alexander. 282 Century Place, Suite 5000 Louisville, CO 80027, 2019. p. 44. ISBN 978-1-933046-02-0. Disponível em: <https://library.educause.edu/-/media/files/library/2019/4/2019horizonreport.pdf?la=en&hash=C8E8D444AF372E705FA1BF9D4FF0DD4CC6F0FDD1>.
- ANGULO, I *et al.* Integral Remote laboratory for Programmable Logic. *In: 2019 5th Experiment International Conference (exp.at'19).* [S.l.: s.n.], jun. 2019. p. 253–255. DOI: 10.1109/EXPAT.2019.8876561.
- ANGULO, I *et al.* RoboBlock: A remote lab for robotics and visual programming. *In: 2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17).* [S.l.: s.n.], jun. 2017. p. 109–110. DOI: 10.1109/EXPAT.2017.7984373.
- ANTHONY, Poonam; AGGARWAL, Kushagra; BHOWMICK, Plaban Kumar. Architecture for User Experience Tracking and Analytics in National Digital Library (NDL). *In: PROCEEDINGS - IEEE 8th International Conference on Technology for Education, T4E 2016.* [S.l.: s.n.], dez. 2017. p. 176–179. DOI: 10.1109/T4E.2016.044.
- APRAKSIN, Dmitry; STYLIANOU, Ermina; SHCHERBININ, Nikolay. Business intelligence and learning analytics as contributors to a data driven education industry. *In: PROCEEDINGS - 2018 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science, EnT 2018.* [S.l.: s.n.], mar. 2018. p. 11–13. DOI: 10.1109/EnT.2018.00008.
- ASEEY, Anne A.; ANDOLLO, Agnes Anyango. Electronic Mobile Devices, Transformative Pedagogy and Learning: Higher Education and Changing Times in Kenya. **Journal of Educational and Social Research**, Walter de Gruyter GmbH, v. 9, n. 3, p. 54–61, set. 2019. ISSN 22400524. DOI: 10.2478/jesr-2019-0022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2478/jesr-2019-0022>.

BAKHARIA, Aneesha *et al.* Recipe for Success: Lessons Learnt from Using xAPI Within the Connected Learning Analytics Toolkit. *In: PROCEEDINGS of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (LAK '16), p. 378–382. DOI: 10.1145/2883851.2883882. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2883851.2883882>.

BAKHOUYI, Abdellah; DEHBI, Rachid; TALEA, Mohamed. Toward an Adaptive Architecture for Integrating Mobile Apps with LMS using Next Generation of SCORM. *In: 2ND International Conference on Computer Applications and Information Security, ICCAIS 2019*. [S.l.: s.n.], mai. 2019. p. 1–7. DOI: 10.1109/CAIS.2019.8769575.

BROCKE, Jan vom; MAEDCHE, Alexander. The DSR grid: six core dimensions for effectively planning and communicating design science research projects. **Electronic Markets**, Springer Science e Business Media LLC, v. 29, n. 3, p. 379–385, jul. 2019. ISSN 1422-8890. DOI: 10.1007/s12525-019-00358-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12525-019-00358-7>.

BRYMAN, Alan. **Social research methods**. Oxford; New York: Oxford University Press, 2012. ISBN 9780199588053 0199588058.

CABERO-ALMENARA, J *et al.* Educational uses of augmented reality (AR): Experiences in educational science. **Sustainability (Switzerland)**, MDPI AG, v. 11, n. 18, 2019. ISSN 20711050. DOI: 10.3390/su11184990. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85072623993&doi=10.3390%2Fsu11184990&partnerID=40&md5=36f38e5d37259fdc8449df6265f6e5e4>.

CALVO-MORATA, A *et al.* Game Learning Analytics, Facilitating the Use of Serious Games in the Class. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje**, v. 14, n. 4, p. 168–176, nov. 2019. ISSN 2374-0132. DOI: 10.1109/RITA.2019.2952296.

CARLOS, Lucas Mellos. **Proposta de Arquitetura para Laboratórios Móveis Baseada no Paradigma de Dispositivos Inteligentes**. 2017. f. 82. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

CARLOS, Lucas Mellos *et al.* Design and Implementation of an Architecture for Hybrid Labs. *In: LECTURE Notes in Networks and Systems*. [S.l.]: Springer International Publishing, jul. 2020. v. 80. p. 123–142. ISBN 9783030231620. DOI: 10.1007/978-3-030-23162-0_{_}13. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-23162-0_13
http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-23162-0_13.

CARLOS, Lucas Mellos *et al.* Um olhar sob a interatividade em laboratórios online. **Revista Tecnologias na Educação**, v. 24, n. 1, p. 1–12, 2018. Disponível em: <http://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2018/06/Art9-vol.24-Edi%C3%A7%C3%A3o-Tem%C3%A1tica-VII-Junho-2018.pdf>.

CETIC.BR. **TIC Educação**. [S.l.: s.n.], 2008. Disponível em:
<https://www.cetic.br/pesquisa/educacao/>.

CHIU, Hsin-Yi *et al.* The Role of Active Engagement of Peer Observation in the Acquisition of Surgical Skills in Virtual Reality Tasks for Novices. **Journal of Surgical Education**, v. 76, n. 6, p. 1655–1662, 2019. ISSN 1931-7204. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2019.05.004>. Disponível em:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1931720419300558>.

CLAESSON, Lena; HÅKANSSON, Lars. Using an Online Remote Laboratory for Electrical Experiments in Upper Secondary Education. **International Journal of Online Engineering (iJOE)**, International Association of Online Engineering (IAOE), v. 8, S2, mar. 2012. ISSN 1868-1646. DOI: 10.3991/ijoe.v8is2.1941. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.3991/ijoe.v8is2.1941>.

CLARIN, J A; ROMANA, C L C S; FELISCUZO, L S. Academic Analytics: Applying C4.5 Decision Tree Algorithm in Predicting Success in the Licensure Examination of Graduates. *In*: 2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS). [S.l.: s.n.], fev. 2019. p. 193–197. DOI:
10.1109/CCOMS.2019.8821710.

COMENDADOR, Benilda Eleonor V.; RABAGO, Lorena W.; TANGUILIG, Bartolome T. An educational model based on Knowledge Discovery in Databases (KDD) to predict learner's behavior using classification techniques. *In*: ICSPCC 2016 - IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing, Conference Proceedings. [S.l.: s.n.], ago. 2016. p. 1–6. DOI:
10.1109/ICSPCC.2016.7753623.

COSTA, Christiane Ogg; PELEGRINI, Alexandre Vieira. O Design dos Makerspaces e dos Fablabs no Brasil: um mapeamento preliminar. **Design e Tecnologia**, v. 7, n. 13, p. 57, 2017. ISSN 2178-1974. DOI: 10.23972/det2017iss13pp57-66.

CRISTIANO, Marta Adriana Da Silva *et al.* Using TPACK to assess integration of remote experiments in Basic Education. **exp.at 2015 - 3rd Experiment International Conference: Online Experimentation**, IEEE, p. 325–330, jun. 2016. DOI:
10.1109/EXPAT.2015.7463289. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1109/EXPAT.2015.7463289>.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES, José Antônio Valle. Design Science Research. **Design Science Research**, Springer International Publishing, p. 67–102, ago. 2014. DOI: 10.1007/978-3-319-07374-3_{_}4. Disponível em:
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3_4.

FAYYAD, Usama; PIATETSKY-SHAPIRO, Gregory; SMYTH, Padhraic. The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data. **Communications of the ACM**, ACM, New York, NY, USA, v. 39, n. 11, p. 27–34, nov. 1996. ISSN 00010782.

DOI: 10.1145/240455.240464. Disponível em:
<http://doi.acm.org/10.1145/240455.240464>.

FERGUSON, Rebecca. Learning analytics: Drivers, developments and challenges. **International Journal of Technology Enhanced Learning**, Inderscience Publishers, v. 4, n. 5-6, p. 304–317, set. 2012. ISSN 17535255. DOI: 10.1504/IJTEL.2012.051816. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1504/IJTEL.2012.051816>.

FILHO, R L C Silva; ADEODATO, P J L. Data Mining Solution for Assessing the Secondary School Students of Brazilian Federal Institutes. *In: 2019 8th Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)*. [S.l.: s.n.], out. 2019. p. 574–579. DOI: 10.1109/BRACIS.2019.00106.

FORBES. **E Learning Climbing To \$325 Billion By 2025 UF Canvas Absorb Schoology Moodle**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em:

<https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2018/07/31/e-learning-climbing-to-325-billion-by-2025-uf-canvas-absorb-schoology-moodle/#39a2023a3b39>.

FREEMAN, A; ADAMS BECKER, S; HALL, C. **2015 NMC Technology Outlook for Brazilian Universities: A Horizon Project Regional Report**. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2015. p. 29. ISBN 978-0-9968527-4-6.

FREEMAN, A *et al.* **NMC/CoSN horizon report: 2017 K-12 edition**. Austin, Texas: The New Media Consortium Austin, TX, 2017. ISBN 978-0-9988650-3-4.

Disponível em: <https://library.educause.edu/~media/files/library/2017/11/2017hrk12EN.pdf>.

FUENTEALBA, Carmen. The role of assessment in the student learning process. **Journal of Veterinary Medical Education**, University of Toronto Press Inc. (UTPress), v. 38, n. 2, p. 157–162, jun. 2011. ISSN 0748321X. DOI: 10.3138/jvme.38.2.157. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3138/jvme.38.2.157>.

GARCIA-ZUBIA, Javier *et al.* Dashboard for the VISIR remote lab. *In: PROCEEDINGS of the 2019 5th Experiment at International Conference, exp.at 2019*. [S.l.: s.n.], jun. 2019. p. 42–46. DOI: 10.1109/EXPAT.2019.8876527.

GARCÍA-ZUBÍA, Javier *et al.* Learning to Program in K12 Using a Remote Controlled Robot: RoboBlock. **Lecture Notes in Networks and Systems**, Springer International Publishing, p. 344–358, set. 2017. ISSN 2367-3389. DOI: 10.1007/978-3-319-64352-6_{_}33. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6_33.

GARCÍA-ZUBÍA, J *et al.* Archimedes remote lab for secondary schools. *In: 2015 3rd Experiment International Conference (exp.at'15)*. [S.l.: s.n.], jun. 2015. p. 60–64. DOI: 10.1109/EXPAT.2015.7463215.

GOLLER, M.; HUMER, M.; SCHREFL, M. Beneficial sequential combination of data mining algorithms. *In: ICEIS 2006 - 8th International Conference on Enterprise Information Systems, Proceedings*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 135–143.

GONÇALVES, A L *et al.* Learning analytics and recommender systems toward remote experimentation. *In: CEUR Workshop Proceedings*. x: [s.n.], 2018. p. 26–37. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053068573&partnerID=40&md5=46fb50185082d5abd05e37546a3f0ba0>.

GONCALVES, Alexandre L. *et al.* Personalized student assessment based on learning analytics and recommender systems. *In: 3RD International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education, CISPEE 2018*. [S.l.: s.n.], jun. 2018. DOI: 10.1109/CISPEE.2018.8593493.

GONÇALVES, Alexandre L. *et al.* Remote experimentation supported by learning analytics and recommender systems. **ACM International Conference Proceeding Series**, ACM Press, p. 313–319, 2018. DOI: 10.1145/3284179.3284236. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1145/3284179.3284236>.

GUSTAVSSON, Ingvar *et al.* On objectives of instructional laboratories, individual assessment, and use of collaborative remote laboratories. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 2, n. 4, p. 263–274, out. 2009. ISSN 19391382. DOI: 10.1109/TLT.2009.42.

GUSTAVSSON, I *et al.* Lab sessions in VISIR laboratories. *In: 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. [S.l.: s.n.], fev. 2016. p. 350–352. DOI: 10.1109/REV.2016.7444499.

HARWARD, V J *et al.* The iLab Shared Architecture: A Web Services Infrastructure to Build Communities of Internet Accessible Laboratories. **Proceedings of the IEEE**, v. 96, n. 6, p. 931–950, jun. 2008. ISSN 0018-9219. DOI: 10.1109/JPROC.2008.921607.

HERODOTOU, Christothea *et al.* A large-scale implementation of predictive learning analytics in higher education: the teachers' role and perspective. **Educational Technology Research and Development**, v. 67, n. 5, p. 1273–1306, out. 2019. ISSN 1556-6501. DOI: 10.1007/s11423-019-09685-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09685-0>.

IBM. The four V's of big data. *In: BIG Data*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 53. p. 1689–1699. ISBN 9788578110796. DOI: 10.1017/CB09781107415324.004. Disponível em: http://www.ibmbigdatahub.com/sites/default/files/infographic_file/4-Vs-of-big-data.jpg.

IEEE P1876, Working Group. **IEEE Std 1876-2019: IEEE Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories**. New York, NY, USA: IEEE-SA,

mai. 2019. v. 1, p. 57. ISBN 9781504456777. DOI: 10.1109/IEEESTD.2019.8723446. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8723446>.

IEEE-SA. **P2834 - Standard for Secure and Trusted Learning Systems**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://standards.ieee.org/project/2834.html#Working>.

INDARYANI, Emy; MUCHTAR, Hartati; NOMIDA MUSNIR, Diana. Application of Performance Assessment in Competence Learning and Test in Beauty Program Vocational School, SMKN 3 Bogor. **American Journal of Educational Research**, v. 6, n. 10, p. 1372–1378, 2018. ISSN 2327-6126. DOI: 10.12691/education-6-10-6.

INEP. **Censo Da Educação Básica**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/resultados-e-resumos>.

JACINTO, Maria Luíza. **Produção de energia por Synechococcus sp. em células biofotovoltaicas em diferentes ânodos**. 2019. f. 40. Universidade Federal de Santa Catarina.

Jl, Hyesung *et al.* Mining students activities from a computer supported collaborative learning system based on peer to peer network. **Peer-to-Peer Networking and Applications**, v. 9, n. 3, p. 465–476, 2016. ISSN 19366450. DOI: 10.1007/s12083-015-0397-0. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84959489629&doi=10.1007%2Fs12083-015-0397-0&partnerID=40&md5=c3157be4a7b9c3ebf1c6f13688369327>.

JOHNSON, L *et al.* **Horizon Report - 2016 Higher Education Edition**. Edição: The New Media Consortium. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2016. p. 52. ISBN 9780989733557. DOI: ISBN978-0-9968527-5-3. Disponível em: <http://www.nmc.org/publications/2014-horizon-report-higher-ed>.

JONA, Kemi; UTTAL, David. Don't forget the teacher: New tools to support broader adoption of remote labs. *In: 2013 10th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2013*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–2. DOI: 10.1109/REV.2013.6502910. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6502910/>.

KADOIC, N; ORESKI, D. Analysis of student behavior and success based on logs in Moodle. *In: VRDOLJAK B. TIJAN E., Grbac T G Sruc V Cicin-Sain M Ribaric S Skala K Koracic M Mauher M Gros S Pale P Janjic M (Ed.). 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2018 - Proceedings*. [S.l.]: Institute of Electrical e Electronics Engineers Inc., 2018. p. 654–659. DOI: 10.23919/MIPRO.2018.8400123. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050206547&doi=10.23919%2FMIPRO.2018.8400123&partnerID=40&md5=7436a8dbd157159c18348df8da082aec>.

KAY, J *et al.* MOOCs: So Many Learners, So Much Potential ... **IEEE Intelligent Systems**, v. 28, n. 3, p. 70–77, mai. 2013. ISSN 1941-1294. DOI: 10.1109/MIS.2013.66.

KELLY, Niamh. Student perceptions and attitudes towards the use of Facebook to support the acquisition of Japanese as a second language. **Language Learning in Higher Education**, Walter de Gruyter GmbH, v. 8, n. 2, p. 217–237, set. 2018. ISSN 2191-6128. DOI: 10.1515/cercles-2018-0014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1515/cercles-2018-0014>.

KUECHLER, Bill; VAISHNAVI, Vijay. On theory development in design science research: anatomy of a research project. **European Journal of Information Systems**, Informa UK Limited, v. 17, n. 5, p. 489–504, out. 2008. ISSN 1476-9344. DOI: 10.1057/ejis.2008.40. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1057/ejis.2008.40>.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: Método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestao e Producao**, scielo, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013. ISSN 18069649. DOI: 10.1590/S0104-530X2013005000014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000400001&nrm=iso.

LAU, Raymond Y K. Belief Revision for Adaptive Recommender Agents in E-commerce. *In*: LIU, Jiming; CHEUNG, Yiu-ming; YIN, Hujun (Ed.). **Intelligent Data Engineering and Automated Learning**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003. p. 99–103.

LENHART, Amanda. Teens, Social Media, 2015. Disponível em: <http://www.pewinternet.org/2015/04/09/teens-social-media-technology-2015/>.

LIIKANEN, Eeva; BJÖRN, Marko; NIELSEN, Marianne. Use of information and communications technology by teachers and students in biomedical laboratory science educations in the Nordic countries. **Education and Information Technologies**, v. 23, n. 6, p. 2867–2878, nov. 2018. ISSN 1573-7608. DOI: 10.1007/s10639-018-9746-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9746-y>.

LIMA, João Paulo Cardoso de *et al.* Design and implementation of a remote lab for teaching programming and robotics. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 30, p. 86–91, 2016. ISSN 24058963. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.11.133.

LOWE, D. MOOLs: Massive Open Online Laboratories: An analysis of scale and feasibility. *In*: 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). [S.l.: s.n.], fev. 2014. p. 1–6. DOI: 10.1109/REV.2014.6784219.

LUSTEK, A; JEDRINOVIC, S; RUGELJ, J. Supporting teachers in higher education for didactic use of the learning environment moodle. *In*: RUGELJ J., Lapina M (Ed.). **CEUR Workshop Proceedings**. [S.l.]: CEUR-WS, 2019. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85075311738&partnerID=40&md5=fa7eebd43b460d5dcf00fa7f71f6f58d>.

MANSO-VAZQUEZ, Mario; CAEIRO-RODRIGUEZ, Manuel; LLAMAS-NISTAL, Martin. xAPI-SRL: Uses of an Application Profile for Self-regulated Learning Based on the Analysis of Learning Strategies. *In: PROCEEDINGS of the 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2015. (FIE '15), p. 1–8. DOI: 10.1109/FIE.2015.7344049. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/FIE.2015.7344049>.

MATARRITA, C A; BEATRIZ CONCARI, S. Remote laboratories used in physics teaching: A state of the art. *In: 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. [S.l.: s.n.], fev. 2016. p. 385–390. DOI: 10.1109/REV.2016.7444509.

MENDES, L A *et al.* Experiment lab server architecture: A web services approach to supporting interactive LabVIEW-based remote experiments under MIT's iLab shared architecture. *In: 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. [S.l.: s.n.], fev. 2016. p. 293–305. DOI: 10.1109/REV.2016.7444486.

MISHRA, Punya; KOEHLER, Matthew J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. English. **Teachers College Record**, v. 108, n. 6, p. 1017–1054, 2006. ISSN 14679620. DOI: 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x. Disponível em: www.scopus.com.

MONTRIEUX, Hannelore *et al.* Teaching and learning with mobile technology: A qualitative explorative study about the introduction of tablet devices in secondary education. Edição: Andrew R. Editor Dalby. **PLoS ONE**, Public Library of Science (PLoS), v. 10, n. 12, e0144008, dez. 2015. ISSN 19326203. DOI: 10.1371/journal.pone.0144008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0144008>.

MOSCOSO, Javier Nunez. ABDUCTIVE REASONING: A CONTRIBUTION TO KNOWLEDGE CREATION IN EDUCATION. **Cadernos de Pesquisa**, FapUNIFESP (SciELO), v. 49, n. 171, p. 308–329, mai. 2019. ISSN 0100-1574. DOI: 10.1590/198053145255. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/198053145255>.

NEPROKINA, Irina V; MEDVEDEVA, Olga E; PEREVEZENTSEVA, Ekaterina D. Intergenerational Education Development Trends. *In: POPKOVA, Elena G (Ed.). Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 849–855. ISBN 978-3-030-15160-7. DOI: 10.1007/978-3-030-15160-7_{_}85. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-15160-7_85.

NYASULU, Chimango; DOMINIC CHAWINGA, Winner. Using the decomposed theory of planned behaviour to understand university students' adoption of WhatsApp in

learning. **E-Learning and Digital Media**, SAGE Publications, v. 16, n. 5, p. 413–429, mar. 2019. ISSN 20427530. DOI: 10.1177/2042753019835906. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/2042753019835906>.

OECD. OECD Digital Economy Outlook 2017. **OECD Digital Economy Outlook 2017**, OCDE, out. 2017. DOI: 10.1787/9789264276284-en. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264276284-en>.

OFFERMANN, Philipp *et al.* Outline of a Design Science Research Process. *In*: PROCEEDINGS of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology. New York, NY, USA: ACM, 2009. (DESRIST '09), 7:1–7:11. DOI: 10.1145/1555619.1555629. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1555619.1555629>.

ORDUÑA, Pablo *et al.* The WebLab-Deusto Remote Laboratory Management System Architecture: Achieving Scalability, Interoperability, and Federation of Remote Experimentation. **Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education**, Springer International Publishing, p. 17–42, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-76935-6_{_}2. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76935-6_2.

ORDUÑA, Pablo *et al.* Towards federated interoperable bridges for sharing educational remote laboratories. **Computers in Human Behavior**, v. 30, p. 389–395, jan. 2014. ISSN 07475632. DOI: 10.1016/j.chb.2013.04.029. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563213001416%20https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563213001416>.

ORDUÑA, Pablo *et al.* WebLabLib: New Approach for Creating Remote Laboratories. **Cyber-physical Systems and Digital Twins**, Springer International Publishing, p. 477–488, jul. 2019. ISSN 2367-3389. DOI: 10.1007/978-3-030-23162-0_{_}43. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-23162-0_43.

ORDUÑA, Pablo *et al.* WebLabLib: New Approach for Creating Remote Laboratories. **Cyber-physical Systems and Digital Twins**, Springer International Publishing, p. 477–488, jul. 2020. ISSN 23673389. DOI: 10.1007/978-3-030-23162-0_{_}43. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-23162-0_43.

ORDUÑA, P *et al.* Generic integration of remote laboratories in learning and content management systems through federation protocols. *In*: 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). [S.l.: s.n.], out. 2013. p. 1372–1378. DOI: 10.1109/FIE.2013.6685057.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, jul. 2018. ISSN 15728145. DOI: 10.1007/s10845-018-1433-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>.

PEFFERS, Ken *et al.* A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, Informa UK Limited, v. 24, n. 3, p. 45–77, dez. 2007. ISSN 1557-928X. DOI: 10.2753/mis0742-1222240302. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>.

PÖTTKER, Luciana Maria Vieira; FERNEDA, Edberto; MOREIRO-GONZÁLEZ, José Antonio. Mapeamento relacional entre padrões de metadados educacionais. **Perspectivas em Ciência da Informação**, FapUNIFESP (SciELO), v. 23, n. 3, p. 25–38, set. 2018. ISSN 1413-9936. DOI: 10.1590/1981-5344/2843. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-5344/2843>.

PPGTIC. **Linhas de Pesquisa**. [S.l.]: PPGTIC, 2019. Disponível em: <https://ppgtic.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/>.

PPGTIC. **Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação**. [S.l.]: PPGTIC, 2019. Disponível em: <https://ppgtic.ufsc.br/sobre-o-ppgtic/>.

PRATIWI, Oktariani Nurul. Predicting student placement class using data mining. *In*: PROCEEDINGS of 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering, TALE 2013. [S.l.: s.n.], ago. 2013. p. 618–621. DOI: 10.1109/TALE.2013.6654511.

RABELO, Thomas *et al.* Comparative study of xAPI validation tools. *In*: PROCEEDINGS - Frontiers in Education Conference, FIE. [S.l.: s.n.], out. 2017. p. 1–5. DOI: 10.1109/FIE.2017.8190729.

RAMAN, Arumugam; THANNIMALAI, Raamani; ISMAIL, Siti Noor. Principals' Technology Leadership and its Effect on Teachers' Technology Integration in 21st Century Classrooms. **International Journal of Instruction**, v. 12, n. 4, p. 423–442, out. 2019. ISSN 1694609X. DOI: 10.29333/iji.2019.12428a. Disponível em: http://www.e-iji.net/dosyalar/iji_2019_4_28.pdf.

REXLAB. **Lab Package**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: https://github.com/RExLab/lab_package.

REXLAB. **GT-MRE - RExLab**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://rexlab.ufsc.br/gt-mre/>.

RIEDEL-KRUSE, Ingmar H. Incorporating a Commercial Biology Cloud Lab into Online Education. **Lecture Notes in Networks and Systems**, Springer International Publishing, p. 331–343, set. 2017. ISSN 2367-3389. DOI: 10.1007/978-3-319-64352-6_{_}32. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6_32.

ROCHA, Carol Francia *et al.* Prediction of university desertion through hybridization of classification algorithms. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 2029, p. 215–222, 2017. ISSN 16130073.

RODRIGUES, Diogo Duarte. Design Science Research como caminho metodológico para disciplinas e projetos de Design da Informação. **Info Design - Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 15, n. 1, p. 111–124, 2018. Disponível em: <https://infodesign.org.br/infodesign/article/view/564>.

RODRIGUEZ-GIL, L *et al.* Advanced integration of OpenLabs VISIR (Virtual Instrument Systems in Reality) with Weblab-Deusto. *In: 2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. [S.l.: s.n.], jul. 2012. p. 1–7. DOI: 10.1109/REV.2012.6293150.

RODRÍGUEZ-GIL, L *et al.* An Open and Scalable Web-Based Interactive Live-Streaming architecture: The WILSP Platform. **IEEE Access**, v. 5, p. 9842–9856, 2017. ISSN 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2710328.

ROMERO, Susana *et al.* New challenges in the Bologna Process using Remote Laboratories and Learning Analytics to support teachers in continuous assessment. *In: 2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*. [S.l.]: IEEE, nov. 2014. p. 227–230. DOI: 10.1109/SIIE.2014.7017735. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7017735/%20http://ieeexplore.ieee.org/document/7017735/>.

ROSA, Carla Regina Mazia; STEINER, M. T.A.; STEINER NETO, P. J. Knowledge discovery in data bases: A case study in a private institution of higher education. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 7, p. 2027–2032, jul. 2018. ISSN 15480992. DOI: 10.1109/TLA.2018.8447372.

SALIAH-HASSANE, Hamadou *et al.* Special Session-Online Laboratories in Engineering Education: Innovation, Disruption, and Future Potential. *In: PROCEEDINGS of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1228–1232. DOI: 10.1109/TALE.2018.8615131.

SALZMANN, C *et al.* The Smart Device specification for remote labs. *In: PROCEEDINGS of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. [S.l.: s.n.], fev. 2015. p. 199–208. DOI: 10.1109/REV.2015.7087292.

SCHLICK, J. Cyber-physical systems in factory automation - Towards the 4th industrial revolution. *In: 2012 9th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*. [S.l.: s.n.], mai. 2012. p. 55. DOI: 10.1109/WFCS.2012.6242540.

- SHIBATA, T. Virtual reality in education: How schools use VR in classrooms. Edição: Tartaglia R Albolino S Fujita Y Alexander T. Bagnara S. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, Springer Verlag, v. 827, p. 423–425, 2019. ISSN 21945357. DOI: 10.1007/978-3-319-96059-3{_}48. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85051761454&doi=10.1007%2F978-3-319-96059-3_48&partnerID=40&md5=3acb609784239d88cd8833ffec2db406.
- SHUM, Simon Buckingham; FERGUSON, Rebecca. Social learning analytics. *In*: 3. EDUCATIONAL Technology and Society. New York, NY, USA: ACM, 2012. (LAK '12, 3), p. 3–26. DOI: 10.1145/2330601.2330616. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2330601.2330616>.
- SILVA, Cícero Benedito da; OLIVEIRA, Ivan Carlos Alcântara de. Learning Analytics : Revisão Da Literatura E O Estado Da Arte, p. 10, 2016. Disponível em: <http://www.abed.org.br/congresso2016/trabalhos/329.pdf>.
- SILVA, Juarez Bento *et al.* Utilization of NICTs Applied to Mobile Devices. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje**, v. 8, n. 3, p. 97–102, ago. 2013. ISSN 1932-8540. DOI: 10.1109/RITA.2013.2273108. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6560385/>.
- SIMÃO, J. P. S. **Modelo para registro de dados de experiência de aprendizagem em laboratórios remotos**. Nov. 2018. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá.
- SIMÃO, J. P. S. **RELLE: SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE EXPERIMENTOS REMOTOS**. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina.
- SIMÃO, J. P.S. *et al.* A remote lab for teaching mechanics. *In*: PROCEEDINGS of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2016. [S.l.: s.n.], 2016. p. 176–182. DOI: 10.1109/REV.2016.7444460.
- SIMAO, Jose Pedro Schardosim *et al.* Model for Recording Learning Experience Data from Remote Laboratories Using xAPI. **2018 XIII Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)**, IEEE, p. 450–457, out. 2019. DOI: 10.1109/laclo.2018.00081. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/LACLO.2018.00081>.
- SORDI, José Osvaldo De; AZEVEDO, Marcia Carvalho; MEIRLES, Manuel. A Pesquisa Design Science no Brasil segundo as Publicações em Administração da Informação. **Journal of Information Systems and Technology Management**, TECSI, v. 12, n. 1, mai. 2015. ISSN 1807-1775. DOI: 10.4301/s1807-17752015000100009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4301/S1807-17752015000100009>.

SWARTLING, Mikael *et al.* Simulations of the VISIR Open Lab Platform. **2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**, IEEE, jul. 2012. DOI: 10.1109/rev.2012.6293108. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/REV.2012.6293108>.

TAWFIK, Mohamed *et al.* **Defining the Critical Factors in the Architectural Design of Remote Laboratories**. v. 10. [*S.l.: s.n.*], 2015. p. 269–279. ISBN 1932-8540. DOI: 10.1109/RITA.2015.2486388. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/RITA.2015.2486388>.

TAWFIK, M *et al.* **Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR) for Remote Wiring and Measurement of Electronic Circuits on Breadboard**. v. 6. [*S.l.*]: Institute of Electrical e Electronics Engineers (IEEE), 2013. p. 60–72. ISBN 1939-1382. DOI: 10.1109/tlt.2012.20. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TLT.2012.20>.

TOMAZ, Ruana *et al.* A Experimentação Remota como Recurso Pedagógico no Ensino de Energias Renováveis. **Revista Tecnologias na Educação**, v. 21, n. 9, p. 1–13, 2017.

TRICKER, Tony *et al.* Evaluating Distance Education Courses: The student perception. **Assessment & Evaluation in Higher Education**, v. 26, n. 2, p. 165–177, jun. 2001. ISSN 0260-2938. DOI: 10.1080/02602930020022002. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02602930020022002>.

UNESCO. **Information and communication technology (ICT) in education**. [*S.l.: s.n.*], 2019. Disponível em: <https://learningportal.iiep.unesco.org/en/issue-briefs/improve-learning/curriculum-and-materials/information-and-communication-technology-ict>.

USLU, Nilüfer Atman; USLU, Yasemin Koçak. Predicting technology integration based on a conceptual framework for ICT use in education. **Technology, Pedagogy and Education**, Routledge, v. 28, n. 5, p. 517–531, 2019. DOI: 10.1080/1475939X.2019.1668293. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1475939X.2019.1668293>.

VENABLE, John; PRIES-HEJE, Jan; BASKERVILLE, Richard. FEDS: a Framework for Evaluation in Design Science Research. **European Journal of Information Systems**, Informa UK Limited, v. 25, n. 1, p. 77–89, jan. 2016. ISSN 1476-9344. DOI: 10.1057/ejis.2014.36. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1057/ejis.2014.36>.

VENANT, Rémi; VIDAL, Philippe; BROISIN, Julien. Evaluation of Learner Performance during Practical Activities: An Experimentation in Computer Education. *In*: **PROCEEDINGS - IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2016**. [*S.l.: s.n.*], jul. 2016. p. 237–241. DOI: 10.1109/ICALT.2016.60.

- VIBERG, Olga *et al.* The current landscape of learning analytics in higher education. **Computers in Human Behavior**, Elsevier BV, v. 89, p. 98–110, dez. 2018. ISSN 07475632. DOI: 10.1016/j.chb.2018.07.027. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2018.07.027>.
- VIDAL, Juan C.; RABELO, Thomas; LAMA, Manuel. Semantic description of the experience API specification. *In: PROCEEDINGS - IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies: Advanced Technologies for Supporting Open Access to Formal and Informal Learning, ICALT 2015*. [S.l.: s.n.], jul. 2015. p. 268–269. DOI: 10.1109/ICALT.2015.128.
- VIEGAS, Clara; MARQUES, Arcelina; ALVES, Gustavo R. 21st Century Challenges in Engineering and Technological Learning. *In: ACM International Conference Proceeding Series*. [S.l.]: ACM Press, 2017. DOI: 10.1145/3144826.3145359. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1145/3144826.3145359>.
- VIEGAS, Clara *et al.* **Improving Students Experimental Competences Using Simultaneous Methods in Class and in Assessments**. New York, NY, USA: ACM, 2014. p. 125–132. ISBN 978-1-4503-2896-8. DOI: 10.1145/2669711.2669890. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2669711.2669890> <http://dx.doi.org/10.1145/2669711.2669890>.
- WANG, Wei *et al.* Shifu: Deep Learning Based Advisor-advisee Relationship Mining in Scholarly Big Data. *In: PROCEEDINGS of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*. Republic e Canton of Geneva, Switzerland: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017. (WWW '17 Companion), p. 303–310. DOI: 10.1145/3041021.3054159. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3041021.3054159>.
- WISINTAINER, MA. **RExLab–Laboratório de Experimentação Remota com o Microcontrolador 8051**. 1999. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81085>.
- ZAPATA-RIVERA, Luis Felipe; PETRIE, Maria M.Larrondo. XAPI-based model for tracking on-line laboratory applications. *In: PROCEEDINGS - Frontiers in Education Conference, FIE*. [S.l.: s.n.], out. 2019. p. 1–9. DOI: 10.1109/FIE.2018.8658869.
- ZAPATA-RIVERA, Luis F *et al.* Scalable. Ad Hoc, Low Cost, Mobile, Online Laboratories. **2018 Learning With MOOCS (LWMOOCS)**, IEEE, set. 2018. DOI: 10.1109/lwmoocs.2018.8534612. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/LWMOOCS.2018.8534612>.
- ZHANG, Tiantian; YUAN, Bo. Visualizing MOOC User Behaviors: A Case Study on XuetangX. *In: YIN, Hujun et al.* (Ed.). **Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2016**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 89–98.

APÊNDICE A – EXEMPLO DE *RESPONSE* DO LABORATÓRIO REMOTO VISIR

```

<response>
  <functiongenerator>
    <fg_waveform value="sine"></fg_waveform>
    <fg_amplitude value="5.000000e-001"></fg_amplitude>
    <fg_frequency value="1.000000e+003"></fg_frequency>
    <fg_offset value="0.000000e+000"></fg_offset>
    <fg_startphase value="0.000000e+000"></fg_startphase>
    <fg_triggermode value="continous"></fg_triggermode>
    <fg_triggersource value="immediate"></fg_triggersource>
    <fg_burstcount value="0"></fg_burstcount>
    <fg_dutycycle value="5.000000e-001"></fg_dutycycle>
  </functiongenerator>
  <oscilloscope>
    <osc_autoscale value="0"></osc_autoscale>
    <horizontal>
      <horz_samplerate value="2.500000e+004"></horz_samplerate>
      <horz_refpos value="5.000000e+001"></horz_refpos>
      <horz_recordlength value="500"></horz_recordlength>
    </horizontal>
    <channels>
      <channel number="1">
        <chan_enabled value="1"></chan_enabled>
        <chan_coupling value="dc"></chan_coupling>
        <chan_range value="8.000000e+000"></chan_range>
        <chan_offset value="0.000000e+000"></chan_offset>
        <chan_attenuation value="1.000000e+000"></chan_attenuat
        <chan_gain value="4.115200e-002"></chan_gain>
        <chan_samples encoding="base64">BwwRFRcZGRYUDwoF/vjz7+v
      </channel>
      <channel number="2">
        <chan_enabled value="1"></chan_enabled>
        <chan_coupling value="dc"></chan_coupling>
        <chan_range value="8.000000e+000"></chan_range>
        <chan_offset value="0.000000e+000"></chan_offset>
        <chan_attenuation value="1.000000e+000"></chan_attenuat
        <chan_gain value="4.107400e-002"></chan_gain>

```

```

        <chan_samples encoding="base64">AQAAAAEBAQABAAEBAAAAAQA
    </channel>
</channels>
<trigger>
    <trig_source value="channel_1"></trig_source>
    <trig_slope value="positive"></trig_slope>
    <trig_coupling value="dc"></trig_coupling>
    <trig_level value="3.730000e-004"></trig_level>
    <trig_mode value="autolevel"></trig_mode>
    <trig_delay value="0.000000e+000"></trig_delay>
    <trig_received value="1"></trig_received>
</trigger>
<measurements>
    <measurement number="1">
        <meas_channel value="channel_1"></meas_channel>
        <meas_selection value="none"></meas_selection>
        <meas_result value="0.000000e+000"></meas_result>
    </measurement>
    <measurement number="2">
        <meas_channel value="channel_1"></meas_channel>
        <meas_selection value="none"></meas_selection>
        <meas_result value="0.000000e+000"></meas_result>
    </measurement>
    <measurement number="3">
        <meas_channel value="channel_1"></meas_channel>
        <meas_selection value="none"></meas_selection>
        <meas_result value="0.000000e+000"></meas_result>
    </measurement>
</measurements>
</oscilloscope>
<dcpower>
    <dc_outputs>
        <dc_output channel="6V+">
            <dc_voltage value="0.000000e+000"></dc_voltage>
            <dc_current value="5.000000e-001"></dc_current>
            <dc_voltage_actual value="0.000000e+000"></dc_voltage_a
            <dc_current_actual value="0.000000e+000"></dc_current_a
            <dc_output_enabled value="1"></dc_output_enabled>
            <dc_output_limited value="0"></dc_output_limited>
        </dc_output>
    </dc_outputs>
</dcpower>

```

```
</dc_output>
<dc_output channel="25V+">
  <dc_voltage value="0.000000e+000"></dc_voltage>
  <dc_current value="5.000000e-001"></dc_current>
  <dc_voltage_actual value="0.000000e+000"></dc_voltage_a
  <dc_current_actual value="0.000000e+000"></dc_current_a
  <dc_output_enabled value="1"></dc_output_enabled>
  <dc_output_limited value="0"></dc_output_limited>
</dc_output>
<dc_output channel="25V-">
  <dc_voltage value="0.000000e+000"></dc_voltage>
  <dc_current value="5.000000e-001"></dc_current>
  <dc_voltage_actual value="0.000000e+000"></dc_voltage_a
  <dc_current_actual value="0.000000e+000"></dc_current_a
  <dc_output_enabled value="1"></dc_output_enabled>
  <dc_output_limited value="0"></dc_output_limited>
</dc_output>
</dc_outputs>
</dcpower>
</response>
```

APÊNDICE B – EXEMPLO *RESPONSE* SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO

```
[  
  {  
    "description": "Nenhum_erro_foi_identificado.",  
    "id": 0  
  }  
]
```

APÊNDICE C – EXEMPLO DE *REQUEST* DO LABORATÓRIO REMOTO VISIR

```

<protocol version="1.3">
  <request sessionkey="7438e6775a0834faff11e614d11b6881">
    <circuit>
      <circuitlist>W_X PROBE1_1_1 VFGENA_1_1
        PROBE1_1 PROBE1_1_1\nVFGENA_1 VFGENA_1_1
        0\n</circuitlist>
    </circuit>
    <functiongenerator id="1">
      <fg_waveform value="sine"></fg_waveform>
      <fg_frequency value="1000"></fg_frequency>
      <fg_amplitude value="0.5"></fg_amplitude>
      <fg_offset value="0"></fg_offset>
    </functiongenerator>
    <oscilloscope id="1">
      <horizontal>
        <horz_samplerate value="500"></horz_samplerate>
        <horz_refpos value="50"></horz_refpos>
        <horz_recordlength value="500"></horz_recordlength>
      </horizontal>
      <channels>
        <channel number="1">
          <chan_enabled value="1"></chan_enabled>
          <chan_coupling value="dc"></chan_coupling>
          <chan_range value="1"></chan_range>
          <chan_offset value="0"></chan_offset>
          <chan_attenuation value="1"></chan_attenuation>
        </channel>
        <channel number="2">
          <chan_enabled value="1"></chan_enabled>
          <chan_coupling value="dc"></chan_coupling>
          <chan_range value="1"></chan_range>
          <chan_offset value="0"></chan_offset>
          <chan_attenuation value="1"></chan_attenuation>
        </channel>
      </channels>
    </oscilloscope>
  </request>
</protocol>

```

```
<trig_source value="channel_1"></trig_source>
<trig_slope value="positive"></trig_slope>
<trig_coupling value="dc"></trig_coupling>
<trig_level value="0"></trig_level>
<trig_mode value="autolevel"></trig_mode>
<trig_timeout value="1"></trig_timeout>
<trig_delay value="0"></trig_delay>
</trigger>
<measurements>
  <measurement number="1">
    <meas_channel value="channel_1"></meas_channel>
    <meas_selection value="none"></meas_selection>
  </measurement>
  <measurement number="2">
    <meas_channel value="channel_1"></meas_channel>
    <meas_selection value="none"></meas_selection>
  </measurement>
  <measurement number="3">
    <meas_channel value="channel_1"></meas_channel>
    <meas_selection value="none"></meas_selection>
  </measurement>
</measurements>
<osc_autoscale value="0"></osc_autoscale>
</oscilloscope>
<dcpower id="1">
  <dc_outputs>
    <dc_output channel="6V+">
      <dc_voltage value="0"></dc_voltage>
      <dc_current value="0.5"></dc_current>
    </dc_output>
    <dc_output channel="25V+">
      <dc_voltage value="0"></dc_voltage>
      <dc_current value="0.5"></dc_current>
    </dc_output>
    <dc_output channel="25V-">
      <dc_voltage value="0"></dc_voltage>
      <dc_current value="0.5"></dc_current>
    </dc_output>
  </dc_outputs>
</dcpower>
```

```
    </dcpower>  
  </request>  
</protocol>
```

APÊNDICE D – EXEMPLO DE ERRO MAPEADO EM CIRCUITO SALVO

```
<save version="2">
  <instruments htmlinstruments="Breadboard|FlukeMultimeter|
  HPFunctionGenerator|AgilentOscilloscope|TripleDC">
  </instruments>
  <circuit>
    <circuitlist>
      <component>W 16776960 416 208 544.7 209.3 637 299
      </component>
      <component>W 16776960 637 312 503.1 213.2 338 234
      </component>
      <component>R 1k 78 13 0</component>
      <component>R 47k 78 39 0</component>
      <component>R 10k 78 65 0</component>
      <component>R 10k 78 91 0</component>
      <component>R 5.6k 143 13 0</component>
      <component>R 150k 208 39 0</component>
      <component>R 15k 208 13 0</component>
      <component>R 6.8k 143 91 0</component>
      <component>R 3.9k 377 221 0</component>
      <component>R 2.2k 143 39 0</component>
    </circuitlist>
  </circuit>
</save>
```