

3. Resultados e discussão

Os artigos selecionados para esta RSL foram publicados entre os anos de 2004 a 2018, porém não havia critério de exclusão quanto a data de publicação no protocolo da RSL. Os anos em que houve maior número de publicações foram em 2014 e 2018 com um total de 4 artigos em cada ano.

Os primeiros itens analisados foram o continente e país em que o laboratório foi desenvolvido. E, como se pode observar na Figura 2, o continente em que houve o maior número de publicações foi o Europeu com um total de 12 artigos [ID 1, 4, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 21 e 23], seguido do Americano com 6 [ID 5, 6, 18, 19, 20 e 22], Asiático com 4 [ID 2, 9, 12 e 16] e Africano com uma publicação [ID 3]. Os países que tiveram o número maior de publicações individualmente foram Espanha e Estados Unidos totalizando 4 estudos cada um.



Figura 2 - Regiões de incidência dos laboratórios remotos de FPGA

Devido às especificidades dos Kits FPGA, dos diversos modelos disponíveis e dos outros componentes que podem ser conectados a eles, cada um dos estudos propõem soluções bem distintas para o desenvolvimento do laboratório remoto de FPGA. E apenas dois deles disponibilizam o seu sistema como *software* livre [ID 21 e 22].

O público-alvo dos laboratórios desenvolvidos está dividido em nível superior [ID 1, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18 e 21]; ensino a distância [ID 3], sendo este, um laboratório remoto de FPGA adequado para cursos completos de *e-learning* em *design* de *hardware* de um curso de Engenharia da Computação; e ainda, há um laboratório destinado a treinamentos e aplicações industriais [ID 7], tratando-se de um laboratório de prototipagem remota que suporta o *design* de sistemas eletrônicos. Alguns dos artigos não deixaram explícito o público para o qual o seu laboratório foi desenvolvido [ID 2, 6, 8, 15, 17, 19, 20, 22 e 23].

Nem todos os estudos citam suas motivações, vantagens ou problemas enfrentados durante o projeto. Ainda assim, algumas das motivações para desenvolver o laboratório remoto podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Motivações identificadas nos artigos

Motivações	ID
Complementar e apoiar as aulas.	[1 e 2]
Limitação de recursos de laboratório técnicos e humanos.	[10]

Suprir carência de laboratório prático.	[9]
Maior mobilidade, menos riscos de segurança.	[21]
Tempo e espaço de laboratório restritos.	[22]

As funcionalidades do sistema são tarefas que o usuário poderá executar ao utilizar um sistema. Buscamos saber quais são as principais funcionalidades que estes sistemas disponibilizam aos alunos e professores e as mesmas são destacadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Funcionalidades existentes nos laboratórios remotos

Funcionalidades	ID
O sistema faz a correção automática dos trabalhos baseado em expressões regulares, o sistema testa a solução do aluno baseado em um arquivo padrão do professor.	[11]
Compartilhamento de resultados e materiais dos estudantes.	[12]
Serve para múltiplos laboratórios.	[10 e 15]
Suporta grupos de até 5 pessoas atuando na mesma atividade, permite trabalho colaborativo.	[5]
Apresenta os resultados da interação com o FPGA sem a necessidade de <i>webcam</i> .	[6, 9, 11, 16, 18 e 23]

Algumas das vantagens, decorrentes da implantação do laboratório remoto e listadas pelos autores, podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5: Vantagens e desvantagens identificadas nos artigos

Vantagens	ID
Poder ter turmas maiores com menor custo mínimo uso de banda de internet e compartilhamento de recursos.	[18]
Mínimo uso de banda de internet e compartilhamento de recursos de <i>hardware</i> .	[16]
Realizar o apoio à prototipagem sucessiva de módulos de um sistema e fazer a validação dos protótipos simulando o cenário de implantação.	[7]
Acessibilidade e escalabilidade.	[17]
Desvantagens	ID
Não há interface gráfica no sistema desenvolvido, tudo é feito por linha de comando.	[19]

Quanto a realização de testes e avaliação do sistema desenvolvido, em 9 dos trabalhos [ID 1, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14 e 19] foi apresentado algum tipo de *feedback* dos alunos com relação a sua experiência quanto ao uso dos laboratórios por meio de questionários de avaliação aplicados após a utilização do laboratório remoto. A Tabela 6 apresenta alguns dos resultados obtidos.

Tabela 6: Resultados dos laboratórios remotos

Resultado/Feedbacks	ID
Os estudantes aceitaram bem a combinação dos sistemas local e remoto.	[1]
O curso foi muito bem-sucedido entre os alunos, com 73% deles descrevendo-o como excelente e 27% como uma experiência muito boa.	[4]

A maioria dos alunos (88%) afirmou que esse ambiente os ajudou a obter conhecimentos mais práticos. A maioria dos alunos (90%) apreciou a maneira fácil de se conectar ao sistema.	[5]
Não foram recebidos muitos feedbacks positivos pois os menus de ajuda e tutoriais não existiam como instruções básicas de acesso ao sistema.	[6]
Todos apreciaram a simplicidade da configuração, a atraente relação custo-benefício e a liberdade de acessar os laboratórios a qualquer hora e em qualquer lugar.	[7]
Os alunos declararam que é possível usar o laboratório remoto sem a necessidade de trabalhar com o equipamento real. E, quanto à interface gráfica do usuário, afirmam que é fácil de usar e que são capazes de aprender rapidamente.	[11]
A iniciativa foi bem aceita pelos alunos, que deram o valor de positivo ou muito positivo à existência do laboratório remoto. No final das atividades, os alunos ficaram muito interessados em incluir essa ferramenta em cursos futuros.	[13]
A experiência foi muito popular entre os alunos e o resultado desejado foi alcançado.	[14]
A resposta dos alunos aos laboratórios remotos em geral foi positiva. Os alunos gostaram da flexibilidade de trabalhar de qualquer lugar no campus e a qualquer momento e também se sentiram livres para levar mais tempo para explorar os exercícios. Os alunos não responderam bem à falta de <i>feedback</i> físico e visual do sistema.	[19]

Outra questão que se buscava responder era se os laboratórios utilizavam uma *webcam* para mostrar seus resultados ou se havia sido desenvolvido algum outro meio de apresentar os resultados do FPGA na tela dos usuários. Os trabalhos [ID 6, 9, 11, 16, 18 e 23] afirmaram não utilizar a *webcam*, tendo para isto, desenvolvido alguma funcionalidade que apresenta os resultados do FPGA na tela do usuário. Observou-se que a solução tomada por alguns dos autores foi a de fazer a transmissão dos resultados apresentados no Kit FPGA pela porta de comunicação RS232 do Kit FPGA, pois, de acordo com [16] possibilita uma velocidade rápida de tráfego dos dados sem comprometer a banda de internet. Os trabalhos [ID 7, 10, 12, 15, 21 e 22] utilizam exclusivamente a *webcam* como opção de visualização dos resultados. E os trabalhos [ID 1, 2, 3, 4, 5, 8, 13, 14, 17, 19 e 20] não explicitaram como é realizada a apresentação de resultados em seu laboratório remoto. Este item é importante pois, dependendo da velocidade da internet do estudante, a atividade pode apresentar erros por causa da lentidão. Sendo assim, quanto mais eficiente e rápida a troca de dados entre cliente e servidor, melhor será a resposta ao usuário.

Quanto à possibilidade de colaboração no ambiente web de um sistema digital por meio de um laboratório remoto, foi verificado que em apenas um estudo [ID 5] os alunos podem fazer o *login* simultaneamente e interagir colaborativamente durante a realização das atividades.

As principais fabricantes de FPGA são a Xilinx e a Altera. A Xilinx, fundada em 1984 na Califórnia, é a primeira inventora do FPGA e primeira empresa de semicondutores a se especializar na fabricação de hardware. Atualmente é a maior fornecedora do mundo de dispositivos lógicos programáveis. Por sua vez, a Altera, uma empresa fabricante de dispositivos lógicos programáveis. Ela, foi fundada em 1984 e foi comprada pela Intel Corporation em 2015. Seus principais produtos são as FPGAs Stratix, Arria e Cyclone e o *software* Quartus Prime. Quanto ao kit de FPGA utilizado nos laboratórios remotos, a maioria utiliza vários modelos do FPGA da Xilinx [3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 21 e 22] e em menor número os modelos da Altera/Intel [ID 2, 4, 9,

12, 12 e 20]. Alguns dos trabalhos, no entanto, não descreveram qual foi o modelo de FPGA utilizado no projeto.

Uma linguagem de descrição de *hardware* (*Hardware Description Language* – HDL) pode ser utilizada para descrever o funcionamento de um sistema digital, a sua concepção e organização. Uma HDL pode também testar o *hardware* para verificar seu funcionamento por meio de simulação. Um sistema descrito em linguagem de *hardware* pode ser implementado em um dispositivo programável como o FPGA. As linguagens de descrição de *hardware* utilizadas para a realização das atividades nos laboratórios remotos encontrados são VHDL [ID 4, 7, 11, 13, 14, 15, 18, 21 e 23], Verilog [ID 9, 12 e 18] e em 11 estudos a linguagem utilizada não foi descrita [ID 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 16, 17, 19, 20 e 22].

E, finalmente, buscávamos saber quanto a integração do laboratório com um ambiente virtual de aprendizagem. Foi identificado em apenas três estudos [ID 4, 11, 17] o acesso ao laboratório remoto por meio de um AVA, sendo que em apenas um deles se utiliza o *Moodle* e, nos outros dois se utiliza outros sistemas proprietários. Nos outros trabalhos o acesso ao laboratório remoto é feito diretamente pelo sistema do laboratório remoto, não possuindo integração com nenhum ambiente virtual de aprendizagem.

4. Conclusões

Diante das respostas obtidas nesta RSL retomamos a questão de pesquisa “Quais são as principais características dos laboratórios remotos de FPGA dedicados ao ensino de Sistemas Digitais?”, e podemos respondê-la da seguinte forma: foi observado que as pesquisas sobre laboratórios remotos exclusivos de FPGA não são em grande número e estão sendo realizadas em países estrangeiros. A Europa é onde mais se pesquisa sobre laboratórios remotos de FPGA. Os cursos onde se aplicam os laboratórios são basicamente os de exatas como as Engenharias, Mecatrônica e Computação. A implantação dos laboratórios tem ocorrido para acompanhar a evolução da tecnologia, para motivar os alunos a estudar, para oferecer outras formas de acesso ao sistema, devido a melhor flexibilidade e acessibilidade, para promover um melhor uso dos equipamentos e também por razões de espaço físico e questões financeiras.

Os Kits FPGA mais utilizados são os das fabricantes Xilinx (em maior número) e seguidos pela Altera/Intel. E as linguagens de descrição de *hardware* utilizadas são VHDL (em maior número) seguida pela linguagem Verilog. Alguns dos laboratórios possuem funcionalidades interessantes como ter a correção automática das atividades baseada em um arquivo padrão, manter a interação entre os alunos e apresentar os resultados do FPGA de outras formas que não sejam com a webcam. Os testes e pesquisas realizados com os alunos indicaram que o laboratório remoto tem sido bem aceito e que os alunos manifestam o interesse em manter os laboratórios em funcionamento.

Por fim, vale ressaltar que a maioria dos softwares destinados aos laboratórios remotos de FPGA não estão disponíveis para *download* e o seu uso ocorre de forma proprietária não gratuita ou extremamente restrita, dificultando ou impossibilitando a difusão desses laboratórios para outros contextos e realidades educacionais. Deve-se trabalhar o uso de *software* livre e o desenvolvimento de laboratórios remotos de FPGA abertos para que todos possam usufruir dos benefícios desse sistema, com vistas a intensificar uma cultura de pesquisa e projeto na área de sistemas digitais bem como na área de desenvolvimento de soluções em FPGA, disseminando-os, principalmente, em territórios que possuem pouca infraestrutura ou recursos financeiros.

5. Referências

- ALI, Md Liakot; RAHMAN, Md Habibur; RAHAMAN, Md Abu Nayeem Redwanur. Development of a remote digital system laboratory. In: **2012 15th International Conference on Computer and Information Technology (ICIT)**. IEEE, 2012. p. 575-580.
- AMARAL, Érico et al. Laboratório virtual de aprendizagem: uma proposta taxonômica. **RENOTE**, v. 9, n. 2, 2011.
- BRITO, Lélis Maia de et al. Ambientes virtuais de aprendizagem como ferramentas de apoio em cursos presenciais e a distância. **RENOTE**, v.11, n.1, 2013.
- CALDEIRA, Ana Cristina Muscas. Avaliação da aprendizagem em meios digitais: novos contextos. In: **XI Congresso Internacional de Educação a Distância**. 2004.
- COSTA, C. Projetos de Circuitos Digitais com FPGA. [S.l.: s.n.], 2014. ISBN 978-85-365-0585-5.
- CURRICULA, Computing. The Joint Task Force on Computing Curricula IEEE Computer Society and the Association for Computing Machinery. 2001.
- CURRÍCULO de referência da SBC para cursos de Graduação em Bacharelado em Ciência da Computação e Engenharia de Computação. SBC - Sociedade Brasileira de Computação. 2005.
- DE FREITAS, Alfredo Américo; BAUCHSPIESS, Adolfo; BORGES, Geovany Araújo. Laboratório de ensino de automação remoto da UnB. In: **Anais: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Brasília**. 2004.
- DE SOUZA, Antonio Lopes; DE OLIVEIRA, José Carlos; DE LIMA SANTOS, Marcelo Paulino. Recursos da computação gráfica para o desenvolvimento de um laboratório virtual de Teoria Eletromagnética. In: **Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Porto Alegre, Setembro de**. 2001.
- DUARTE MEDINA, Roseclea; TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach; AMORETTI, Suzana. Laboratório Virtual ASTERIX—resultados decorrentes da sua utilização como ferramenta cognitiva. In: **X Congresso Argentino de Ciencias de la Computación**. 2004.
- FERENHOF, Helio Aisenberg; FERNANDES, Roberto Fabiano. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB**, v. 21, n. 3, p. 550-563, 2016.
- FROZZA, Rejane et al. Agentes pedagógicos emocionais atuando em um ambiente virtual de aprendizagem. **RENOTE**, v. 9, n. 1, 2011.
- GALVÃO, C. M.; SAWADA, N. O.; TREVISAN, M. A. Revisão sistemática: recurso que proporciona a incorporação das evidências na prática da enfermagem. *Rev Lat Am Enferm*. 2004; 12 (3): 549-56. **Rev Esc Enferm USP**, v. 43, n. 2, p. 465-71, 2009.
- GOMES, Luis et al. Remote experimentation for introductory digital logic course. In: **2009 3rd IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)**. IEEE, 2009. p. 98-103.
- GUAITA, Renata Isabelle; GONÇALVES, Fábio Peres. A experimentação na educação à distância: reflexões para a formação de professores de ciências da natureza. In: **XI Congresso Brasileiro do Ensino Superior à Distância**. 2014. p. 1461-1475.
- INDRUSIAK, Leandro Soares; GLESNER, Manfred; REIS, Ricardo. On the evolution of remote laboratories for prototyping digital electronic systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 54, n. 6, p. 3069-3077, 2007.
- KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. EBSE Technical Report. 2007. Disponível em: <https://elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf>. Acesso em: 16 de set. 2019.



PARECER CNE/CES n. 136, de 09 de março de 2012, que trata sobre as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Computação.

PERSIANO, Giovanni Vito et al. Distance learning in digital electronics: Laboratory practice on FPGA. In: **2007 IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference IMTC 2007**. IEEE, 2007. p. 1-6.

RAJASEKHAR, Yamuna et al. Teaching FPGA system design via a remote laboratory facility. In: **2008 International Conference on Field Programmable Logic and Applications**. IEEE, 2008. p. 687-690.

ZUBIA, J.-G. Programmable Logic and Weblabs. In: **Microelectronics Education**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 277-281.