



Raúl de Figueiredo Cordeiro de Magalhães Correia

Mestre em e-learning e ambientes virtuais de formação

Modelo de Evolução dos Laboratórios

Remotos e Virtuais

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Doutor José Manuel Fonseca,
Professor Associado com Agregação, FCT - UNL

Co-orientador: Doutor Gustavo Ribeiro Alves,
Professor Adjunto, ISEP

Júri:

Presidente: Doutor Paulo da Costa Luís da Fonseca Pinto, Professor Catedrático da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa;

Arguentes: Doutor Javier Garcia Zubia, Professor Catedrático da *Falculad de Ingenieria –
Universidad de Deusto – España;*

Doutor João Bosco da Mota Alves Professor Titular Voluntário da
Universidade Federal de Santa Catarina – Brasil;

Vogais: Doutor Paulo da Costa Luís da Fonseca Pinto, Professor Catedrático da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa;

Doutor Luís Filipe dos Santos Gomes, Professor Associado, com Agregação
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa;

Doutor Alberto Jorge Lebre Cardoso, Professor Auxiliar da Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra;

Doutor Gustavo Ribeiro da Costa Alves, Professor Adjunto do Instituto
Superior de Engenharia do Porto do Instituto Politécnico do Porto;

Modelo de Evolução dos Laboratórios Remotos e Virtuais

Copyright © Raúl de Figueiredo Cordeiro de Magalhães Correia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedicatória



Ao meu Visavô, José Cordeiro Júnior, Homem Livre e de Bons Costumes, minha inspiração de vida.

À minha Mãe, Maria Constança de Figueiredo Cordeiro de Magalhães Correia, por tudo o que me deu, me ensinou e por tudo o que hoje sou !

Ao meu filho Ricardo Magalhães.

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem o apoio incansável dos meus orientadores:

- Professor José Manuel Fonseca da FCT – UNL
- Professor Gustavo Ribeiro Alves do ISEP

Pela sua perseverança, dedicação e paciência tentando muitas vezes organizar o meu tempo e levar-me a “carrilar” outra vez na linha deste trabalho, pois os meus múltiplos afazeres profissionais levaram-me a muitos “descarrilamentos” na linha deste trabalho.

Não posso deixar de fazer um agradecimento em especial ao Prof. Gustavo Ribeiro Alves e à sua esposa Maria do Rosário (Ró), pelas enormes facilidades logísticas concedidas nas minhas inúmeras viagens ao Porto ao longo deste trabalho.

Uma palavra de agradecimento ao meu filho Ricardo Magalhães e à sua mãe, Alice Magalhães pela paciência que tiveram comigo, e o apoio concedido durante o tempo de execução deste trabalho. À Alice (Licas) que me acompanhou em muitos troços do meu caminho de peregrinação nesta vida, um obrigado muito especial pelos conselhos técnicos de Word.

À Clara Kila pelo seu trabalho de decifração dos meus “hieróglifos”, passagem do texto e construção das figuras deste trabalho, assim como pela constante revisão do mesmo.

Agradeço também ao CINEL, na pessoa do seu Director Dr. Octávio Oliveira e ao meu coordenador da actividade formativa, Dr. João Pedro Henriques pela compreensão, flexibilidade e ajuda profissional durante a execução deste trabalho.

Resumo

Nesta dissertação propõe-se um modelo que descreve e prevê a evolução dos sistemas e redes de laboratórios remotos e virtuais. Este modelo tem como base a *Teoria Geral de Sistemas* proposta por *Ludwig Von Bertalanffy* e o conceito de acoplamento estrutural proposto por *João Bosco de Mota Alves* no seu livro *Teoria Geral de Sistemas*. O autor introduz neste modelo o novo conceito de acoplamento energético, baseado na vontade e dinâmica de quem constrói e mantém os sistemas de laboratórios remotos e virtuais. Pretende-se mostrar assim através do modelo proposto que atendendo aos conceitos de acoplamento energético e acoplamento estrutural, os sistemas e redes de laboratórios remotos e virtuais seguem as premissas e postulados definidos por *Charles Darwin* na sua obra *The Origin of Species*.

Para conseguir este fim colocaram-se as seguintes questões centrais de pesquisa, sendo a primeira a principal e as duas seguintes complementares:

“É possível explicar e prever a evolução de um sistema de laboratórios remotos e virtuais analisando a sua história de desenvolvimento e as razões (acoplamentos estruturais e energéticos) que estão por detrás da sua adaptação ao ambiente envolvente?”

“Será que a evolução dos laboratórios remotos e virtuais também segue as leis da natureza?”

“Os laboratórios remotos e virtuais conseguem eles próprios adaptar-se ao ambiente envolvente?”

Para responder a estas questões, construir e desenvolver, validar e verificar o modelo apresentado, realizaram-se as seguintes etapas de trabalho: estudo da teoria da evolução das espécies de *Darwin*, assim como todos os seus fundamentos e conceitos; estudo da *General Systems Theory* de *Ludwig van Bertalanffy* e do livro *Teoria Geral de Sistemas* de *João Bosco*; definição do conceito de “Acoplamento Energético” como uma extensão dos conceitos do livro *General Systems Theory* baseado no conceito de “acoplamento estrutural” desenvolvido por *João Bosco* no livro *Teoria Geral de Sistemas*; consolidação do conceito de “laboratório remoto” ou “laboratório virtual”, como um sistema com “acoplamento estrutural” e “acoplamento energético”; análise das origens dos laboratórios remotos; produção de uma linha temporal que retrata a história dos laboratórios remotos e virtuais desde o seu início até aos nossos dias; análise das diferentes linhas de desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais e consequente apresentação do *estado-de-arte*; proposta do modelo e sua validação e verificação, considerando o “passado remoto” e o “passado recente”, para fazer uma projecção sobre a evolução futura em cada uma das linhas de desenvolvimento que estão “vivas” hoje; e, finalmente, apresentação das conclusões do estudo e previsão da evolução de linhas de desenvolvimento.

Do estudo desenvolvido, e da validação e verificação do modelo proposto, concluiu-se que é possível explicar e prever a evolução de um sistema de laboratórios remotos e virtuais analisando a sua história de desenvolvimento, os seus acoplamentos estruturais e energéticos, e a sua interação com o meio ambiente. Estas dimensões traduzem sempre uma adaptação do sistema ao meio envolvente, que aumenta as suas possibilidades de sobrevivência, confirmando-se assim a hipótese de que os sistemas de laboratórios remotos e virtuais seguem as leis da evolução *Darwiniana*, decorrente do desenvolvimento dum acoplamento energético real e funcional com as pessoas que os criaram e os mantêm em funcionamento.

Palavras-Chave:

Laboratórios Remotos, Laboratórios Virtuais, Acoplamento Energético, Acoplamento estrutural, Modelo, Sistema

Abstract

This dissertation proposes a model, that describes and anticipates the evolution of remote and virtual laboratory systems and networks.

This model is based on the General Theory of Systems proposed by Ludwig von Bertalanffy and the concept of structural coupling proposed by João Bosco de Mota Alves in his book *General Theory of Systems*.

The author introduces in this theory a new concept, energetic coupling based on the will and dynamics of who builds and maintains the systems of remote and virtual labs.

The aim of this work is to show that the systems and networks of remote and virtual laboratories follow the premises and hypotheses defined by Charles Darwin in his work *The Origin of Species*.

To achieve this end, the following main research questions were posed, the first being the main one and the following two complementary ones:

"Is it possible to explain and predict the evolution of a system of remote and virtual laboratories by analyzing their development history and the reasons (structural and energy couplings) behind their adaptation to the surrounding environment?"

"Does the evolution of remote and virtual laboratories also follow the laws of nature?"

"Are remote and virtual laboratories able to adapt themselves to the surrounding environment?"

In order to answer these questions, to construct and develop, validate and verify the presented model, the following work steps were carried out: study of Darwin's theory of evolution of the species, as well as all its foundations and concepts; study of *General Systems Theory* by *Ludwig van Bertalanffy* and the book *Teoria Geral de Sistemas* by *João Bosco*; definition of the concept of "Energy Coupling" as an extension of the concepts of *General Systems Theory* based on the concept of "structural coupling" developed by *João Bosco* in the book *Teoria Geral de Sistemas*; consolidation of the concept of "remote laboratory" or "virtual laboratory", as a system with "structural coupling" and "energetic coupling"; the origins of remote laboratories; production of a timeline that retraces the history of remote and virtual laboratories from its inception to the present day; analysis of the different lines of development of the remote and virtual laboratories and consequent presentation of the *state-of-art*; proposal of the model and its validation and verification, considering the "remote past" and the "recent past", to make a projection about the future evolution in each of the lines of development that are "alive" today; and, finally, presentation of the conclusions of the study and forecast of the evolution of lines of development.

From the study developed and the validation and verification of the proposed model, it was concluded that it is possible to explain and predict the evolution of a system of remote and virtual laboratories analyzing its development history, its structural and energetic couplings, and its interaction with the environment. These dimensions always translate an adaptation of the system to the surrounding environment, which increases their chances of survival, thus confirming the hypothesis that remote and virtual laboratory systems follow the laws of *Darwinian evolution*, resulting from the development of a real energy coupling and functional with the people who created them and keeps them going.

Keywords:

Remote Laboratories, Virtual Laboratories, Energetic coupling, Structural coupling, Model, System

CONTEÚDOS

Dedicatória	v
Agradecimentos.....	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice de figuras	xv
Índice de tabelas	xxi
Nota ao Leitor	xxiii
Lista de Acrónimos.....	xxv
1. Introdução e Fundamentação	1
1.1. Fundamentação e Motivação	1
1.2. Objetivo / Estratégia de Pesquisa	10
1.3. Estrutura da Tese	13
2. Laboratórios Remotos	15
2.1. Definições e desambiguação	15
2.2. Os pioneiros: 1990-2000 (e os primórdios)	25
2.3. O BOOM 2000-2010	41
2.4. Maturidade e adaptação aos meios envolventes: 2010 - presente	51
3. Abordagem do problema e “Questão Central de Pesquisa”	79
3.1. Estratégia de abordagem / Etapas de trabalho.....	79
3.2. Análise das linhas de desenvolvimento, sua evolução no passado	109
3.3. Definição da “Questão Central de Pesquisa”	131
4. Proposta do modelo de evolução.....	133
4.1. Desenvolvimento do modelo de evolução.....	133
4.2. Pontos de ligação com a teoria evolucionista de <i>Darwin</i>	153
5. Validação e verificação do modelo proposto	157
5.1. Desenvolvimento do modelo de evolução.....	157
5.2. Verificação do modelo proposto através de redes de VRLs	159
5.3. Verificação do modelo proposto através da análise dum artigo de referência	173
6. Conclusões e direcções futuras	207
Bibliografia/Referências	209
Anexo/Repositório Digital	223

Índice de figuras

Figura 1.1 - <i>Scala Naturae</i> [7]	2
Figura 1.2 - Lisboa Medieval - Um sistema emergente[10]	6
Figura 1.3 - Lisboa Pombalina, reconstruída após o terramoto de 1755 - um sistema teleológico[11]	6
Figura 1.4 - Sistema de <i>e-learning</i> integrado	8
Figura 1.5 - Acoplamento estrutural e energético	9
Figura 2.1 - Módulo <i>USB 6009</i> da <i>National Instruments</i> [20]	18
Figura 2.2 - <i>Interface</i> de programação do módulo <i>USB-6009</i> em Linguagem <i>G</i> do <i>Labview</i> [20]	18
Figura 2.3 – Arquitectura de sistema de <i>e-learning</i> com laboratórios remotos integrados existente	20
Figura 2.4 - Arquitectura de um sistema de laboratórios híbridos, com componentes de laboratórios reais e virtuais	21
Figura 2.5 - Arquitectura clássica de um sistema de laboratórios híbridos,	21
Figura 2.6 - Arquitectura <i>IP-Direct</i> de um sistema de laboratórios híbridos,	23
Figura 2.7 - Arquitectura <i>VPN Access</i> de um sistema de laboratórios híbridos,	23
Figura 2.8 - <i>Timeline</i> da evolução dos laboratórios remotos e virtuais.....	24
Figura 2.9 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais de 1898 até 1951.....	26
Figura 2.10 - Logotipo da aplicação <i>Labview da National Instruments</i> [20]	27
Figura 2.11 -Evolução dos laboratórios remotos e virtuais desde 1967 a 1986	28
Figura 2.12 -Evolução dos laboratórios remotos e virtuais desde 1990 a 1991	29
Figura 2.13 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais desde 1992 a 1993	30
Figura 2.14 -Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1994.....	31
Figura 2.15 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1995 e 1996.....	32
Figura 2.16 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais entre 1996 e 1997	33
Figura 2.17 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1998.....	34
Figura 2.18 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1999 (1ª parte).....	35
Figura 2.19 - <i>Breadboard</i> virtual do Sistema <i>VISIR</i> [39].....	37
Figura 2.20 - Matriz de cartas <i>VISIR na Universidade de Deusto</i> em Bilbao[39]	38
Figura 2.21 - Painel frontal de Osciloscópio do sistema <i>VISIR</i> no <i>ISEP</i> [40]	38
Figura 2.22 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1999 (2ª parte).....	40
Figura 2.23 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 2002.....	41
Figura 2.24 - Sistema <i>NetLab</i> da Austrália[42]	42
Figura 2.25 - Laboratório remoto <i>Marve</i> [48].....	43
Figura 2.26 - Ciclo de aprendizagem com experiência[48].....	45
Figura 2.27 - <i>Firewall</i> e <i>Honey pot</i>	46
Figura 2.28 - Laboratório remoto com tanques na <i>UNED</i> em Madrid[47]	46
Figura 2.29 - Laboratório remoto de controlo de Laser do projecto <i>I-labs</i> [31][44].....	47
Figura 2.30 - Elevador controlado remotamente na <i>Universidade de Ilmenau</i> na Alemanha[55]	48
Figura 2.31 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 2008.....	49
Figura 2.32 - Página de entrada do projecto de laboratórios remotos australiano <i>Labshare</i> [57]	50
Figura 2.33 - Página descritiva do projecto australiano <i>Labshare</i> [56].....	51
Figura 2.34 - Página de entrada da rede nacional indiana de laboratórios remotos <i>online</i> [58] .	53

Figura 2.35 - <i>Overview</i> da arquitectura do sistema <i>iLab</i> no sistema <i>weblab</i> da <i>Universidade de Deusto</i> em Bilbao[60][64]	60
Figura 2.36 - Arquitectura de <i>Clouds</i> da <i>VISIR OpenPlatform</i> [34]	67
Figura 2.37 - Laboratórios de Física e Eletrónica disponíveis na rede <i>RExLab</i>	70
Figura 2.38 - Laboratórios de Biologia disponíveis na rede <i>RExLab</i>	70
Figura 2.39 - Laboratórios de Robótica disponíveis na rede <i>RExLab</i>	71
Figura 2.40 - Entrada em laboratório remoto da rede <i>RExLab</i>	71
Figura 2.41 - Algoritmo do <i>Sistema Inteligente de Tutoria-IS&TS – Intelligent Support and Tutoring System</i> [97]	75
Figura 3.1 - Dados reais e projetados das conferências REV com indicação de equação de tendência e coeficiente de correlação.....	82
Figura 3.2 - Dados reais do número de artigos das temáticas RVL,HSI e EEP para os 3 fóruns de publicação escolhidos. Nitidamente IEEE Others tem um comportamento mais errático atípico.	82
Figura 3.3 - Número de artigos das temáticas RVL,HSI e EEP com números Reais e Projetados (para 2020 e 2025) referentes às Conferências EDUCON.....	83
Figura 3.4 - Dados reais das conferências <i>Frontiers in Education</i> para a área HSI com indicação da equação de tendência e coeficiente de correlação – 2º gráfico com optimização de coeficientes.....	83
Figura 3.5 - Ocorrência das <i>strings</i> indicadas no motor <i>Google Scholar</i> de 1995 a 2015	86
Figura 3.6 - Ocorrência das <i>strings</i> indicadas no motor <i>IEEE Xplore Digital Library</i> de 1995 a 2015.....	87
Figura 3.7 - Ocorrência das strings indicadas no motor <i>ACM Digital Library</i> de 1995 a 2015 em modo de procura simples e com amostragem de 5 em 5 anos	88
Figura 3.8 - Ocorrência das strings indicadas no motor <i>ACM Digital Library</i> de 1995 a 2015 em modo de procura <i>expanded</i> e com amostragem de 5 em 5 anos	89
Figura 3.9 - <i>String</i> gerada pelo <i>Google Scholar</i> e resultado da pesquisa apresentada	90
Figura 3.10 <i>String</i> (e páginas de pesquisa) gerada pelo <i>IEEE Xplore Digital Library</i> para a pesquisa avançada para o ano de 2010 acima apresentada	91
Figura 3.11 - <i>String</i> (e páginas de pesquisa) gerada pelo <i>ACM Digital Library</i> para a pesquisa avançada para o ano de 2010 acima apresentada.....	92
Figura 3.12 - Especificação da "Advanced Search" no "ACM Digital Library"	92
Figura 3.13 - <i>String</i> gerada pelo <i>ACM Digital Library</i> com a opção <i>Advanced Search</i> e resultados obtidos	93
Figura 3.14 - Gráfico de barras com escala logarítmica que mostra os resultados das "outras keywords"	96
Figura 3.15 – Grupo partilhado <i>bibliometric onlinelabs</i> organizado em árvore de ambiente <i>Mendeley</i> que servirá de repositório activo ao presente trabalho	98
Figura 3.16 - Detalhe da árvore <i>Mendeley</i>	99
Figura 3.17 - Detalhe de autores, conferências e publicações na árvore <i>Mendeley</i>	100
Figura 3.18 - Tratamento da informação na 3ª fase de pesquisa.....	101
Figura 3.19 - Pesquisa avançada no <i>Semantic Scholar</i> [1]	102
Figura 3.20 - Menu lateral do <i>Google Scholar</i> [2]	104
Figura 3.21 - Janela de pesquisa avançada do <i>Google Scholar</i> [2]	105
Figura 3.22 - Escolha do período temporal de pesquisa no <i>Google Scholar</i> [2]	105
Figura 3.23 - Exemplo de resultados de pesquisa básica no <i>Semantic Scholar</i> [1].....	106
Figura 3.24 - Resultados da pesquisa refinada no <i>Semantic Scholar</i> [1].....	107
Figura 3.25 – Excerto de tabela de registo em <i>Excel</i> dos resultados de pesquisa quantitativa no <i>Google Scholar</i>	108
Figura 3.26 – Excerto de tabela de registo em <i>Excel</i> dos resultados de pesquisa qualitativa no <i>Semantic Scholar</i>	108
Figura 3.27 - Sequência de ações para tratamento da informação no grupo <i>Mendeley GRC 2014</i> [3].....	112

Figura 3.28 - Evolução de autorias, autores e número de publicações [3].....	115
Figura 3.29 - Produção de artigos vs autores [3].....	116
Figura 3.30 – Tipo de publicações por ano[3].....	117
Figura 3.31 - Objetivos educacionais dos laboratórios presenciais (<i>hands-on</i>)[5].....	121
Figura 3.32 - Objetivos educacionais dos laboratórios simulados[5].....	122
Figura 3.33 - Objetivos educacionais a conseguir com os laboratórios remotos	122
Figura 4.1 - Stocks que alimentam o modelo.....	134
Figura 4.2 - <i>STOCKS</i> de um modelo para uma federação de <i>VRLs</i>	135
Figura 4.3- Logo do <i>software</i> Visual Paradigm para desenho de modelos	140
Figura 4.4 - <i>FLOW</i>	140
Figura 4.5 - Entidade Externa (External <i>Entity</i>).....	140
Figura 4.6 - Elemento <i>Data Store</i>	141
Figura 4.7 - Elemento <i>CONVERTOR</i> ou Processo Condicionador	141
Figura 4.8 - Proposta de modelo de vida de um <i>VRL</i>	142
Figura 4.9 - <i>STORE</i> "Pessoas"	144
Figura 4.10 - <i>STORE</i> de Tecnologia	145
Figura 4.11 - <i>FLOWS</i> ou processos principais do núcleo do modelo.....	146
Figura 4.12 - Variáveis externas que condicionam o <i>lobbying</i> que suporta o sistema.....	146
Figura 4.13 - Entidade externa que traduz os fatores geográficos	147
Figura 4.14 - Processo conversor nº 10.....	147
Figura 4.15 - Processo conversor nº 8.....	147
Figura 4.16 - Processo conversor nº 18.....	148
Figura 4.17 - Processo conversor nº 1.....	148
Figura 4.18 - Processo conversor nº 2.....	148
Figura 4.19 - Processo conversor nº 9.....	149
Figura 4.20 - Processo conversor nº 17.....	149
Figura 4.21 - Processos "acadêmicos" nº 22, 35 e 36.....	149
Figura 4.22 - Processos conversores finais e resultados	150
Figura 4.23 - Processo conversor nº 34.....	151
Figura 4.24 - Processo conversor nº 33.....	152
Figura 4.25 – Sub-modelo para detalhe do processo nº 6.....	155
Figura 5.1 - Página de entrada do site <i>WayBack Machine</i> [204].....	160
Figura 5.2 - Sequência de processos que levaram à morte do sistema <i>RemLab</i>	160
Figura 5.3 - Detalhe de desenvolvimento dos processos que levaram à possível integração do sistema <i>RemLab</i> noutro sistema de <i>VRLs</i>	160
Figura 5.4 - Sequência de processos que levou ao fim do sistema <i>NetroLab</i> , segundo o modelo proposto.....	161
Figura 5.5 - Sequência de processos conducentes a uma entropia do sistema	161
Figura 5.6 - Resultados da pesquisa por " <i>online laboratories</i> " nas páginas da <i>Oregon State university</i> [208]	162
Figura 5.7 - <i>Open Source Lab</i> da <i>Oregon State University</i> [208]	162
Figura 5.8 - Verificação da evolução do sistema de <i>VRLs</i> da <i>Oregon State University</i> pela sequência de processos mostrada.....	163
Figura 5.9 - Detalhe do processo 6 para verificação do desenvolvimento de <i>VRLs</i> pela <i>Oregon State University</i>	163
Figura 5.10 - Verificação do modelo com a sequência de processos do sistema <i>Labshare</i> em "modo de sobrevivência"	164
Figura 5.11 Atualizações do <i>site</i> do sistema de <i>VRLs</i> <i>Labshare</i> entre 2009 e 2018 [204]	164
Figura 5.12 - Atualizações do <i>site</i> da rede <i>VLAP</i> de 2009 a 2018[204]	165
Figura 5.13 - Sequência de processos que verifica o estado de dinâmica atual da rede <i>VLAP</i>	165
Figura 5.14 - Sequência de processos de detalhe do desenvolvimento da rede <i>VLAP</i> que verificam o modelo proposto	166

Figura 5.15 - Cronologia de atualização do site http://icampus.mit.edu [204]	166
Figura 5.16 - Cronologia de atualização do site http://wikis.mit.edu segundo a ferramenta <i>online WaybackMachine</i> [204]	167
Figura 5.17 - Sequência de processos que verificam a situação atual da Federação	167
Figura 5.18 - Sequência de processos que verificam o modelo durante o início de 2018	167
Figura 5.19 - Aspeto da página de entrada do site Lab2go em 2016[204].....	168
Figura 5.20 - Evolução cronológica das atualizações do site <i>Lab2go.net</i> ,.....	168
Figura 5.21 - Página de entrada da plataforma moodle que suporta a rede UNILABS[68].....	169
Figura 5.22 - Cronologia das atualizações do site da rede UNILABS segundo a ferramenta <i>online WaybackMachine</i> [204]	169
Figura 5.23 - Ocorrência de publicações sobre a rede UNILABS, segundo	170
Figura 5.24 - Sequência de processos que verifica o modelo proposto para a atual existência da rede UNILABS	170
Figura 5.25 - Sequência de processos que verificam o modelo proposto para o sistema VISIR	171
Figura 5.26 - Sequência de processos que verificam o modelo proposto para o detalhe do processo nº 6, no respeitante ao sistema VISIR e à rede VISIR Open Platform	172
Figura 5.27 - Historial da atualização do site do sistema RexLab desde 2003[204]	173
Figura 5.28 - Código da <i>query</i> utilizada no artigo [212]	176
Figura 5.29 - Número de publicações de artigos por ano (de 1993 a 2015) sobre VRLs [4] ...	178
Figura 5.30 – Distribuição do número de artigos sobre VRLs e citações por ano entre 1993 e 2015 [4].....	178
Figura 5.31 - Sequência de processos para verificação de uma intensa actividade de publicação de artigos científicos no modelo proposto	179
Figura 5.32 - FLOW de processos dentro do sub-modelo do processo nº 6 para verificar os caminhos de uma intensa atividade de expansão do sistema e de publicação de artigos científicos.....	179
Figura 5.33 - FLOW de processos de produção de artigos científicos e de intervenção da empresa associada ao sistema de VRLs (incluindo detalhe do processo nº 6)	180
Figura 5.34 – Autores que mais publicam na área de VRLs [4]	184
Figura 5.35 - Autores mais citados na área com maior índice H [4]	184
Figura 5.36 - Sequência de processos que verifica os resultados expressos nos gráficos figura 5.4 e 5.5, que mostram os investigadores que mais publicam e mais citações têm na área de VRLs.....	185
Figura 5.37 - Grafo que verifica no submodelo do processo nº 6 o desenvolvimento do sistema de VRLs por linhas divergentes	185
Figura 5.38 - Número de artigos por autor ao longo dos anos de 1993 a 2015 [4].....	186
Figura 5.39 - Caminhos que traduzem elevado acoplamento energético e dinâmica de aplicação	187
Figura 5.40 - Fóruns (conferências e journals) com mais publicações sobre esta área dos VRLs[4].....	187
Figura 5.41 - Grafo de verificação dos processos que podem levar à "morte" de um sistema de VRLs.....	188
Figura 5.42 - Verificação do modelo proposto com sistema de VRL a funcionar em "modo de sobrevivência"	189
Figura 5.43 - Algoritmo <i>simple-centers</i> utilizado na deteção e identificação de <i>clusters</i> [4]	190
Figura 5.44 - Rede temática para o período de 1993 a 2004 [4].....	191
Figura 5.45 - Evolução do tamanho da esfera V-LAB desde 1993 a 2013 (da esquerda para a direita).....	192
Figura 5.46 - Ciclo de processos com acoplamento energético positivo, em situação de aumento contínuo do número de publicações como a <i>keyword v-lab</i>	192
Figura 5.47 - sequência de processos com acoplamento energético negativo	192
Figura 5.48 - sequência de processos de <i>morte</i> dum sistema	192

Figura 5.49 - Sequência de processos para a evolução temporal dos laboratórios virtuais	193
Figura 5.50 - Detalhe do processo nº 6 para a evolução de laboratórios virtuais	194
Figura 5.51- Sequência de processos que verificam a evolução da keyword R-Lab de 1993 a 2009.....	194
Figura 5.52 - Sequência de processos para o detalhe do processo nº 6 para o grafo da figura 5.51.....	195
Figura 5.53 - Sequência de processos para o aparecimento do conceito de <i>Collaborative-learning</i>	195
Figura 5.54 - Sequência de processos para o detalhe do processo nº 6 para o grafo da fig. 5.53	196
Figura 5.55 - Sequência de processos referentes ao ambiente colaborativo nas redes de VRLs	196
Figura 5.56 - Sequência de processos do sub-modelo que conduzem.....	197
Figura 5.57 - Redes temáticas do período 2005-2009 [4]	197
Figura 5.58 - Redes temáticas identificadas para o período 2010-2015 [4]	199
Figura 5.59 - Sequência de processos que demonstra a grande dinâmica da <i>keyword V-Lab200</i>	
Figura 5.60 - Sequência de processos para verificação das três redes temáticas b) c) e d), ..	201
Figura 5.61 - Sequência de processos do detalhe do processo nº6, referente à figura nº 5.59	202
Figura 6.1 - Linhas de desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais	207

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Empresas associadas a cada rede VRL.....	72
Tabela 3.1 - Ações desenvolvidas em cada etapa	79
Tabela 3.2 - Resultados das pesquisas sobre o tema Remote & Virtual Labs com as conferências selecionadas e valores projetados por equações de tendência para 2020 e 2025. (FIE apresenta projeções com função polinomial de grau 2 e de grau 3.	80
Tabela 3.3 - Equações de tendência para os dados apresentados na tabela 3.2 em linhas diretamente correspondentes.....	81
Tabela 3.4 - Resultados da pesquisa para o ano de 2010	84
Tabela 3.5 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca Google Scholar	85
Tabela 3.6 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca IEEE Xplore.....	85
Tabela 3.7 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca ACM DL.....	86
Tabela 3.8 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca ACM DL Expandido	86
Tabela 3.9 - Resultados globais de pesquisa de todos os anos.....	93
Tabela 3.10 – Matriz de coincidências	94
Tabela 3.11 - Resultados da pesquisa de keywords menos comuns.....	96
Tabela 3.12 - keywords nas várias línguas	103
Tabela 3.13 - Tabela de percentagem de co-autores [3].....	115
Tabela 3.14 - Autores Core da área [3].....	116
Tabela 3.15 - Temas e metodologias nos 60 artigos analisados pelos autores [5].....	119
Tabela 3.16 - Objetivos educativos para o ensino de aptidões laboratoriais [5]	121
Tabela 3.17 - Visão alternativa do conceito de Presença [5].....	123
Tabela 3.18 - ARTIGOS hands-on, Laboratórios Presenciais clássicos	128
Tabela 3.19 - ARTIGOS “VIRTUAL LABORATORIES” Laboratórios Virtuais	129
Tabela 3.20 - ARTIGOS “REMOTE LABS”, Laboratórios Remotos	130
Tabela 5.1 - Artigos analisados em [6] com índice H maior ou igual a 50.....	181

Nota ao Leitor

Ao longo da escrita de um documento técnico desta natureza, é frequente o conflito entre o emprego de termos estrangeiros e a clareza de exposição. Embora seja possível optar por uma estratégia global de tudo ou nada, ou seja, empregarem-se todos os termos originalmente apresentados numa língua estrangeira, ou traduzirem-se todos para português, não é claro que o resultado final favoreça aquilo que se pretende com este documento: a apresentação clara dos conhecimentos adquiridos e do trabalho efectuado.

Opta-se, pois, por uma estratégia mista que privilegia a clareza de exposição. O conjunto de termos estrangeiros com utilização habitual na linguagem verbal é deste modo mantido, embora se favoreça a utilização de termos portugueses sempre que o seu emprego não suscite dúvidas.

Assim, ao longo deste trabalho os termos estrangeiros são sempre referidos em itálico, utilizando-se este mesmo estilo sempre que se pretende realçar uma determinada palavra ou expressão em português. Os acrónimos, sejam em português, sejam em estrangeiro, são sempre apresentados em maiúsculas, em estilo normal. Uma lista de acrónimos é incluída para facilitar a sua identificação.

Lista de Acrónimos

BTM - Business Technology Management
BTH – Blekinge Institute of Technology
CMS - Content Management System
DCL - Distributed Control Lab
EJS - Embedded JavaScript templating
GO-LAB - Global Online Science Labs
GOLC - Global Online Laboratory Consortium
IAOE – Internacional Association of online Engineering
ILS - Intelligent Learning System
LMS - Learning Management System
MIT – Massachusetts Institute of Technology
MLBS – Middleware Logging Booking System
OLR - Online Laboratory Research
PCB – Printed Circuit Board
RLMS - Remote Laboratory Management System
SIG – Special interest Group
TLI - The Labshare Institute
UNED - MADRID-Universidad Nacional de Ensino a Distancia em Madrid
VISIR - Virtual Instruments Systems in Reality
VLCAP – Virtual Labs Comparative Aecessibility Platform
VPN - Virtual Private Network (Rede Privada Virtual em Português)
VRL - Virtual and Remote Labs
WSRF - Web Services Resource Framework
XML - Extensible Markup Language

1. Introdução e Fundamentação

1.1. Fundamentação e Motivação

A Teoria Evolucionista de Darwin é a teoria científica mais genericamente aceita que traduz a origem e a evolução das várias espécies de seres vivos.

A evolução é a ideia mais enraizada no mundo científico desde há dois séculos e que traduz toda a existência e desenvolvimento da vida.

Esta teoria foi desenvolvida em detalhe em 1859 por Charles Darwin com a publicação do livro *A Origem das Espécies*.

Até à sua publicação havia três ideias dominantes acerca do mundo:

Nas sociedades tribais e primitivas, a ideia normalmente aceita é que o mundo sempre existiu, e gerou vários mitos acerca da sua criação e evolução, tocando normalmente as fronteiras da Religião e da Magia.

Quando as grandes religiões apareceram, guias, gurus e filósofos tentaram encontrar respostas e soluções para esta questão. Com o avanço dos estudos aparecerem três tipos de respostas para esta questão:

- Um mundo de infinita duração
- Um mundo constante de curta duração
- Um mundo evolutivo

Analisemos em detalhe cada uma destas respostas:

1. Um mundo de duração infinita:

Esta era uma teoria do filósofo grego Aristóteles que afirmava que o mundo sempre existiu. Houve outros filósofos que pensavam que o mundo evoluía segundo ciclos bem definidos de mudança. Isto queria dizer que o mundo passava por várias fases e passos, e depois de fechar o ciclo acabaria por retornar ao seu estado original. Então este seria um mundo que cumpria infinitamente um mesmo ciclo.

2. Um mundo constante de curta duração

Esta visão do mundo apareceu com o *Cristianismo* e é apresentado na Bíblia. Esta versão do mundo é aceita em toda a Europa durante a Idade Média e até ao século XIX.

Este mundo “constante” supõe naturalmente a crença num Ser Supremo ou Entidade, um Deus Todo-Poderoso que tudo criou.

Este Deus Todo-Poderoso criou absolutamente tudo, o planeta, as estrelas, o Cosmos, todos os animais, as plantas, e claro o género Humano.

O naturalista francês *Jean Batiste de Lamarck* propôs em 1809 uma teoria considerando um mundo sempre estável e que sempre existiu e sempre existirá, com todos os seres vivos no seu lugar próprio, sendo tudo devidamente organizado e estruturado por Deus.

Esta teoria primitiva acabava por fornecer uma resposta simples para todas as questões relacionadas com o “mundo existente”.

Neste modo de organização, todas as entidades do mundo estão corretamente “arrumadas” numa escada ascendente, que começa com as rochas e os minerais (os objetos inanimados), “subindo” depois para o reino vegetal, e finalmente para o reino animal, com o Homem naturalmente no topo da escala.

Esta *Scala Naturae* foi definida para nunca mudar (logo nesta teoria não existe evolução) e simplesmente reflete a mente do Criador que ordenou que tudo estivesse organizado numa sequência tendente à perfeição. (Lovejoy, 1936)

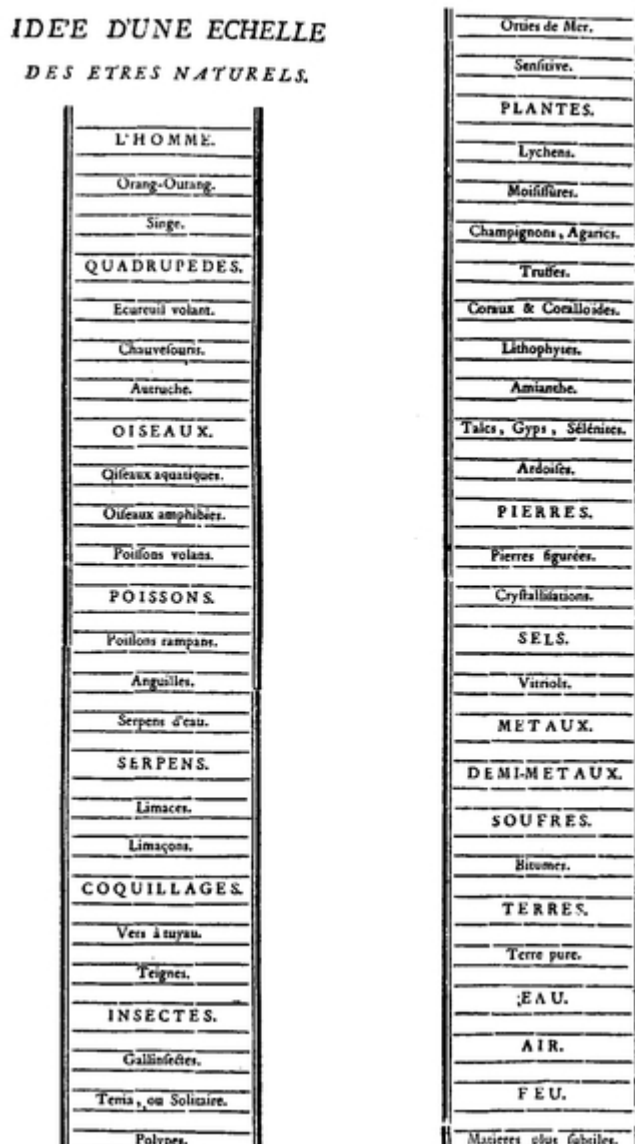


Figura 1.1 - *Scala Naturae*[7]

Tal como pode ser observado, o autor pretendeu aprofundar a sua classificação e abaixo do reino animal ele considerou também os metais e os primordiais quatro elementos da tradição alquímica.

Além destas duas visões do mundo, existe ainda uma terceira visão:

3. Um mundo em evolução

De acordo com esta terceira visão do mundo, este é um mundo de longa duração, que está constantemente em mudança, e está sempre em constante evolução.

Esta evolução é ditada pela natural selecção das espécies, e pela adaptação dos seres vivos ao ambiente envolvente, e também definido pelas leis da sobrevivência.

Esta visão do mundo é a pedra basilar do Darwinismo e da teoria exposta no livro *The Origin of Species*. Um pilar muito importante desta teoria é a denominada “Evolução”, por isso esta teoria é chamada Evolucionista, e contraria naturalmente a teoria Criacionista.

A “Evolução” na realidade consiste na mudança do “mais simples para o mais complexo”. Na verdade, a evolução é um fenómeno unidirecional (não é um ciclo) que evolui de um estado primitivo para um estado de maior complexidade.

O pensamento evolutivo começa a desenvolver-se na segunda metade do século XVIII e desenvolve-se ainda durante o século XIX. Claro que o mais importante *milestone* desta linha de pensamento é a publicação do livro *The Origin of Species* de *Charles Darwin* em 24 de Novembro de 1859.

A publicação deste livro constitui talvez o evento mais importante na evolução intelectual da humanidade.

Após a viagem de 5 anos no navio *HMS Beagle*, *Charles Darwin* fez uma grande e detalhada investigação que lhe permitiu refletir profundamente e pôr as suas ideias evolucionistas em ordem e expô-las na obra *The Origin of Species*. Todas estas ideias são também baseadas nas observações realizadas em vários espécimes animais e vegetais que *Darwin* recolheu durante a sua viagem de 5 anos.

Ele chegou a várias conclusões no seu estudo, mas uma das mais importantes conclusões, senão mesmo a mais importante, é o facto de todas as espécies desenvolverem uma adaptação ao ambiente onde vivem.

Este conceito de “adaptação ao ambiente” constitui uma das mais importantes conclusões e é justificada pelas observações que *Darwin* fez nos arquipélagos e ilhas visitadas durante a viagem do *HMS Beagle*, quando constatou que as mesmas espécies tiveram evoluções diferentes em locais diferentes.

Portanto uma das maiores conclusões da teoria da evolução é o facto de as espécies evoluírem e se desenvolverem e sempre em função do meio envolvente.

É possível, no entanto que este tipo de evolução e desenvolvimento não se aplique apenas a seres vivos...

Atualmente com o desenvolvimento de estudos sobre “A Teoria Geral de Sistemas”, iniciados por *Ludwig van Bertalanfy* e depois complementados por outros autores como João Bosco Alves da Universidade Federal de Santa Catarina no Brasil, os conceitos expostos nas teorias da evolução de *Darwin*, podem também ser aplicados a processos de desenvolvimento social, a processos de ciências naturais, e outros eventos evolutivos.

Podemos então admitir que os conceitos desenvolvidos por *Darwin* no século XIX quando escrevia e estabelecia a sua teoria da evolução, após analisar todos os espécimes e dados recolhidos na viagem do *HMS Beagle*, podem ser também aplicados a “Sistemas”, no sentido mais lato do termo.

Então poderemos ter um novo campo de aplicação da teoria da evolução e dos seus princípios em todo o tipo de “sistemas”, tal como definidos por João Bosco, mais de 100 anos depois.

Atualmente Bosco no seu livro *Teoria Geral de Sistemas* [8], publicado em 2012 e onde desenvolve os conceitos-chave de “sistema emergente” e “sistema teleológico”, mostra-nos que vários tipos de entidades no Universo podem ser considerados “sistemas”. Entre eles naturalmente dispositivos técnicos de engenharia que permitem analisar, medir e quantificar grandezas noutros processos e noutros sistemas.

Inseridos nesta categoria estão também os Laboratórios remotos e virtuais, e os seus vários tipos.

Então podemos afirmar que os sistemas de Laboratórios Remotos e Virtuais são influenciados pelo ambiente envolvente onde operam, e pelas pessoas que os operam e os mantêm funcionais.

Aqueles que trabalham e operam com os Laboratórios Remotos e Virtuais, são um grupo de pessoas, que de acordo com a visão de *Bertalanffy* e *João Bosco* também constituem um sistema, e são fortemente influenciados pelo ambiente envolvente porque as pessoas são na realidade muito influenciadas pelo grupo em que estão inseridas e pelo ambiente em que vivem. Os sistemas *hardware* de Laboratórios Remotos e Virtuais, e as pessoas que trabalham com eles, são influenciados pelo ambiente envolvente, e poderemos aplicar também a este “mundo” a *Teoria da Evolução de Darwin*.

Então os sistemas de Laboratórios Remotos e Virtuais e as redes podem obedecer e evoluir de acordo com as condições definidas pela *Teoria Evolucionista de Darwin*?

Um *Online Lab* é, portanto, um sistema. Hoje em dia qualquer sistema é também uma construção mental, um modelo mental. Alguns sistemas têm uma existência real, com componentes reais; este é o caso dos Laboratórios Remotos e Virtuais. Mas como todos os sistemas interagem com o ambiente externo, os Laboratórios Remotos e Virtuais são também um modelo mental de um sistema aberto.

O conceito de sistema é constituído por mais do que um simples modelo e o nível de abstracção é agora maior. Desde a publicação do livro de referência *General Systems Theory*[9] da autoria de *Bertalanffy*, que a “filosofia” do conceito de sistema mudou. O conceito de sistema apresenta um novo paradigma científico, já bastante longe da visão puramente mecanicista.

Agora o conceito de “sistema” pode ser aplicado a dispositivos científicos, mecânicos, elétricos, entre outros, mas também a eventos sociais e até emocionais. Todos estes fenómenos podem ser entendidos com um “sistema”.

A evolução de uma população num país ou numa região, ou a evolução de um determinado grupo social pode ser visto e analisado como um sistema, e também engloba aspetos meta-científicos e filosóficos.

No nosso caso de estudo acerca de Laboratórios Remotos e Virtuais além dos aspetos físicos e eletrónicos do laboratório disponível *online*, existe também um lado social relacionado com todas as pessoas e grupos que os construíram que trabalham com estes laboratórios, mantendo-os vivos e em funcionamento.

Os Laboratórios Remotos e Virtuais, são compostos por componentes técnicos, físicos e eletrónicos, assim como componentes sociais do sistema, que são constituídos pelas pessoas que os criaram e trabalham com eles. No fundo não só em sentido filosófico estabelecem a relação energética e anímica do homem com o “mundo”, também no sentido físico a concretizam através das suas componentes materiais. Esta “componente social” tem um impacto muito forte na criação e evolução das redes de Laboratórios Remotos e Virtuais,

na sua evolução e sobrevivência numa determinada linha de desenvolvimento ou escola. Se por qualquer razão, as pessoas não usam os Laboratórios Remotos e Virtuais, então eles não terão qualquer tipo de evolução e acabarão por definir e se extinguir.

Existe portanto um tipo de “ligação energética” (*energetic link*) entre a componente social e as componentes físicas do sistema de Laboratórios Remotos e Virtuais.

Um sistema de laboratórios remotos e virtuais interage fortemente com o ambiente externo. Um laboratório é um sistema que pretende apreciar, aferir e medir algum fenómeno, alguma realidade, recebendo informação e *inputs* do mundo exterior. O ambiente envolvente é o fenómeno que nós (os utilizadores) pretendemos observar e medir.

Então, porque interage muito e troca vários tipos de informação com o exterior, podemos concluir que os Laboratórios Remotos e Virtuais constituem um sistema aberto.

Um sistema pode ser caracterizado de várias e diferentes formas e sobre diferentes critérios.

A primeira característica que podemos utilizar para classificar um sistema é o seu grau de interacção com o exterior, e o Universo circundante. Então, nesta perspectiva, o sistema pode ser classificado como:

Aberto: É aquele que permuta e troca informação com o mundo exterior e o ambiente envolvente.

Fechado: Sem qualquer tipo de troca de informação com o mundo exterior, e outros sistemas. Esta situação tende a aumentar a entropia dentro do sistema.

Este nível de entropia pode levar o sistema ao colapso, porque não existe qualquer tipo de *feedback* do ambiente envolvente, acerca das acções do próprio sistema.

Num sistema aberto tal não acontece porque os sinais provenientes das reacções do ambiente envolvente permitem ao próprio sistema autocorrigir-se e assim tender para um modo de funcionamento equilibrado, e “viver” mais tempo.

Outro tipo de classificação que podemos aplicar aos sistemas é acerca da sua “memória”. Existem sistemas que têm memória, e outros que não. Os sistemas que têm memória chamam-se *dinâmicos*, e os que não têm essa capacidade chamam-se *estáticos*.

Num sistema dinâmico, é extremamente importante definir o seu estado inicial, pois o seu estado inicial pode condicionar todo o ciclo de funcionamento do sistema.

Podemos então concluir que segundo esta classificação um laboratório *online* é um sistema dinâmico e aberto, pois apresenta interacção com o exterior visto um laboratório ler e medir um qualquer tipo de fenómeno.

Os sistemas também podem ser classificados quanto ao seu processo de nascimento e desenvolvimento. Se um sistema, ou conjunto de sistemas, é construído de forma anárquica e espontânea, esse sistema é classificado como sendo *Emergente*, tal como por exemplo o traçado das ruas de uma cidade medieval, onde não existem regras nem planeamento para a sua construção.

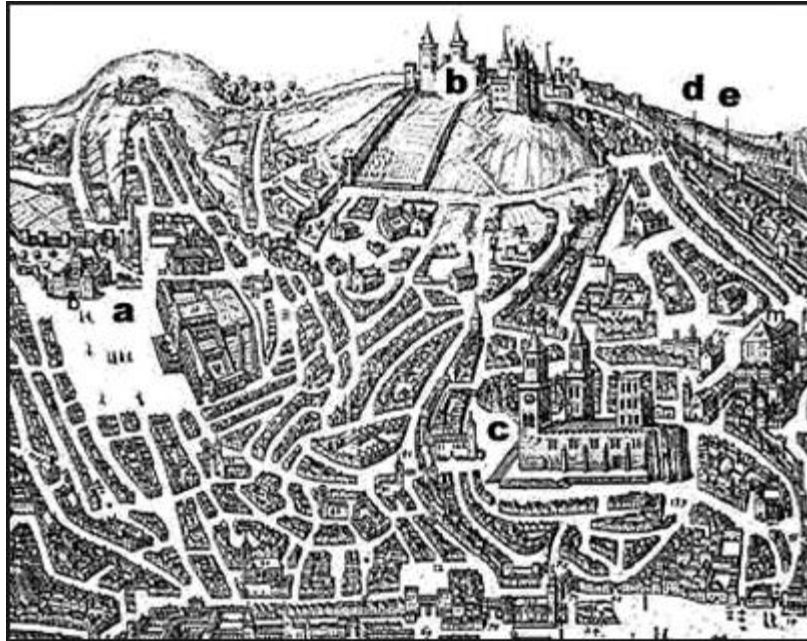


Figura 1.2 - Lisboa Medieval - Um sistema emergente[10]

Se um sistema, ou conjunto de sistemas é construído de forma organizada, como por exemplo a Lisboa Pombalina que foi reconstruída após o terramoto de 1755, ou como foi construída a cidade de *Washington* segundo as indicações de *Pierre "Peter" Charles L' Enfant*, fazendo uso de toda a geometria e leis maçónicas, então estamos perante um sistema *Teleológico*[8].

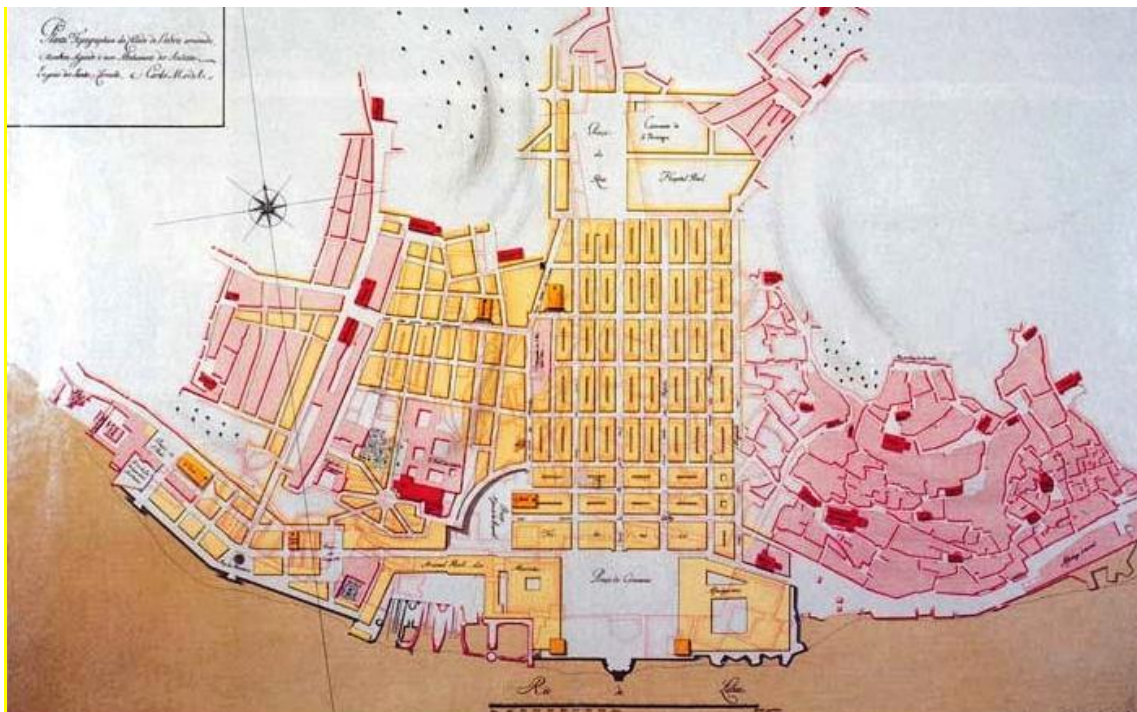


Figura 1.3 - Lisboa Pombalina, reconstruída após o terramoto de 1755 - um sistema teleológico[11]

Isto significa que nos Laboratórios Remotos e Virtuais é também possível encontrar dois tipos de laboratórios, os teleológicos e os emergentes[12].

Se uma rede de Laboratórios Remotos e Virtuais é planeada em conjunto com a construção de um curso numa determinada universidade e se as unidades curriculares já tiverem os trabalhos do curso todos previstos e distribuídos pelas várias unidades curriculares do curso de uma forma estruturada, então temos um sistema teleológico.

Se por outro lado os laboratórios começaram a ser desenvolvidos de uma forma anárquica e aleatória, cada professor a desenvolver os seus laboratórios de uma forma individual e sem ser estruturada e integrada com as outras unidades curriculares, então estamos perante um sistema emergente. Os sistemas “emergentes” seguem uma aproximação “bottom-up” e os “teleológicos” uma aproximação “top-down”[12].

No seu início os Laboratórios remotos e virtuais foram sistemas emergentes, porque foram sendo desenvolvidos passo a passo e independentemente por cada professor ou grupo de professores sem uma preocupação de integração em cursos estruturados ou em redes de Laboratórios remotos e virtuais. Cada grupo de investigação ia criando o seu próprio *online lab* ou grupo de Laboratórios remotos e virtuais, segundo os seus próprios métodos e quase sempre com soluções técnicas proprietárias, pois ainda não existia a internet. No entanto casos houve em que as duas formas de desenvolvimento coexistiram. Por exemplo, na Open University, do Reino Unido (UK), houve uma aproximação teleológica, com a discussão da importância dos laboratórios remotos e virtuais ao nível da Instituição[12].

Naturalmente, quando um sistema de Laboratórios Remotos e Virtuais se começa a desenvolver e começa a haver um conjunto considerável de laboratórios, trabalhos e experiências “emerge” a necessidade de estruturar o sistema, e organizar os vários laboratórios, trabalhos e experiências disponíveis. Nesse ponto passamos a ter tendencialmente uma estrutura de sistema teleológico.

Hoje em dia estamos inseridos numa sociedade e sistema mecanicista e materialista. O fator humano tende a ser desvalorizado e as pessoas são vistas como “recursos humanos”, que podem sempre ser substituídos. Os objetivos a atingir pelas organizações são sempre de ordem financeira, logo as pessoas que trabalham com os sistemas são normalmente esquecidas e desvalorizadas.

Então, o que encontramos em todos os sistemas é o *acoplamento estrutural* que não é mais do que a parte física dos sistemas, quer em *hardware*, quer em *software*. No entanto os sistemas têm também uma componente humana que por vezes se organiza em grupo, e trabalha com dinâmicas de grupo. O sistema depende também da energia que lhe é enviada pelas pessoas que trabalham com o sistema. Então a ligação entre a estrutura física do sistema e a energia dada pelas pessoas que trabalham com o sistema constitui o tal “*link perdido*”.

Este *link* é normalmente esquecido e o que encontramos sempre é o *acoplamento estrutural*. No entanto os sistemas também têm, portanto, uma componente humana que trabalha em dinâmicas de grupo. A ligação desta componente humana à própria estrutura física e lógica do laboratório constitui o que poderemos chamar um *acoplamento energético*.

O sistema depende da energia que as pessoas que o construíram e o usam. Essas pessoas atuam como um grupo e influenciam fortemente o comportamento de “vida e morte” dos sistemas de Laboratórios remotos e virtuais e sistemas de *e-learning* ou *b-learning* associados. Este sistema todo em conjunto (Laboratórios remotos e virtuais e sistema de *e-learning*) pode ser visto genericamente como um sistema único e integrado.

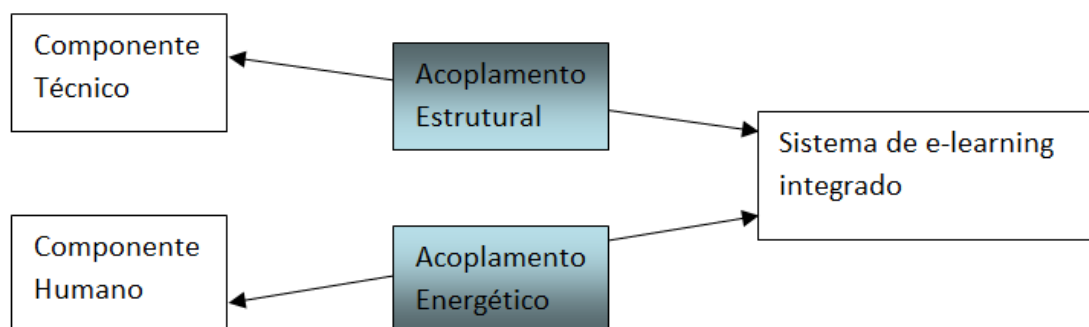


Figura 1.4 - Sistema de *e-learning* integrado

Sistema Integrado de e-learning

Atualmente, um sistema integrado de *e-learning* numa Universidade ou numa empresa, se for usado em contexto real ligado à indústria tem de incluir sempre uma componente de prática real. Esta componente de prática real é sempre obtida através da interação entre o sistema de *e-learning* ou *b-learning* que providencia o necessário suporte teórico às experiências realizadas e o sistema de Laboratórios Remotos e Virtuais que permite a realização dessas experiências reais.

Esta componente prática é sempre dada pela interação entre os sistemas *e-learning* ou *b-learning* que providenciam o necessário suporte teórico para um sistema de Laboratórios Remotos e Virtuais que permitem aos utilizadores realizarem as experiências e confirmar os seus resultados através do suporte teórico disponibilizado.

Um sistema integrado de *e-learning* inclui a componente teórica que pertence a um curso baseado num *LMS* (*Learning Management System*) ou *CMS* (*Course Management System*), e inclui também a componente prática materializada nos próprios Laboratórios Remotos e Virtuais.

O sistema de Laboratórios Remotos e Virtuais é assim normalmente acessível através de um *LMS* ou *CMS*, e quando o estudante vai fazendo a sua evolução e progressão através do sistema de aprendizagem, o próprio sistema propõe aos estudantes vários trabalhos práticos e outros componentes pedagógicos do processo de aprendizagem, comportando-se como um *ILS* (*Intelligent Learning System*)

Estas componentes práticas dos Laboratórios Remotos e Virtuais tanto podem ser virtuais como remotos (logo sistemas com existência real), mas com sistemas remotamente controlados.

Nesta situação existe acoplamento “estrutural” entre o sistema integrado de *e-learning* e os sistemas físicos que constituem o *online lab*.

O acoplamento energético é formado pelas pessoas que os construíram e mantêm o sistema, e constitui um reflexo dos objetivos e dos propósitos que os estudantes e os investigadores pretendem atingir.

Se considerarmos um laboratório virtual, o acoplamento estrutural é apenas composto por camadas de *software* existentes entre o suporte do sistema da plataforma de *e-learning*, o *CMS* ou *LMS*, o *software* de simulação e a *API* que representa o laboratório virtual.

O acoplamento energético é composto na realidade pelo código de programação que os seus programadores criaram e agora o mantêm, e os próprios utilizadores do sistema ao longo da sua existência.

Então, na realidade, esta interação de sistemas faz com que um sistema viva e evolua, adaptando-se sempre ao ambiente onde o sistema “vive”, e à vontade e conveniências das pessoas que o utilizam.



Figura 1.5 - Acoplamento estrutural e energético

Significa que vários Laboratórios Remotos e Virtuais têm a mesma origem, mas cada um deles trabalha no seu próprio ambiente e adaptando-se por si próprio, mantendo-se sempre em constante evolução e modificação, tal como uma espécie animal com o tipo de evolução que *Darwin* mostrou na sua teoria *evolucionista*.

Considerando esta proposta, poderemos então adaptar a teoria *evolucionista* ao nascimento e evolução dos Laboratórios Remotos e Virtuais.

Isto será possível, não porque existem seres vivos que obedecem à lei da *evolução das espécies*, mas porque estes sistemas são uma consequência natural dos seus criadores que são pertencentes a uma espécie do reino animal (o humano) que também segue a *lei da evolução das espécies*.

1.2. Objetivo / Estratégia de Pesquisa

No Ensino da Engenharia e das disciplinas técnicas, a utilização de laboratórios assume especial importância e relevância.

No entanto, hoje em dia o uso de laboratórios já não se resume às clássicas aulas práticas presenciais em laboratórios ditos clássicos.

No mundo dos laboratórios podemos hoje considerar 3 tipos [13]

- Clássico em sala (presencial)
- Controlado remotamente (normalmente via internet)
- Virtual, através de simulação por *software* (local ou remoto via internet)

Todos têm as suas características próprias, e apresentam vantagens e desvantagens. Este assunto foi já longamente discutido em vários trabalhos anteriores [13][14][15].

O cerne da discussão foca-se normalmente nas comparações entre laboratórios presenciais clássicos, ditos *hands-on* na terminologia inglesa, e laboratórios remotos e/ou virtuais, acessíveis normalmente via internet, por isso chamados genericamente *online* na terminologia inglesa.

O laboratório presencial clássico, é aquele que se desenrola numa sala de aula de laboratório presencial, com a presença simultânea do professor e dos alunos. Normalmente são apresentadas como vantagens vários factores pedagógicos, especialmente no respeitante ao trabalho colaborativo que é feito no local e na hora entre professor e alunos, ou mesmo entre vários alunos ou grupos de alunos.

Como desvantagem é normalmente apresentado o facto de nem sempre estarem disponíveis, pois os alunos têm de se sujeitar aos horários das aulas e naturalmente aos horários de funcionamento da universidade e do laboratório.

Outra desvantagem importante são os elevados custos de manutenção em equipamentos e funcionários necessários ao funcionamento deste tipo de laboratório.

Em relação aos Laboratórios Remotos e Virtuais as vantagens normalmente apresentadas são a considerável redução de custos que eles proporcionam, mas também o facto de estarem sempre disponíveis, de poderem ser acedidos e utilizados por estudantes de diferentes zonas geográficas, mesmo bastante distantes, poderem ser mais facilmente acedidos por pessoas de mobilidade reduzida, o seu elevado grau de observabilidade (das experiências realizadas); as sessões de laboratório podem ser facilmente observadas remotamente por outros estudantes e mesmo a execução das experiências serem gravadas e disponibilizadas *online* em plataformas de *e-learning* permitindo uma melhor e mais eficaz partilha de conhecimento entre todos os actores envolvidos no processo de aprendizagem.

Outra vantagem bastante importante e significativa é um nível mais elevado de segurança para equipamentos e pessoas, pois os pacotes de *software* que interagem e controlam os laboratórios impedem que se realizem experiências que danifiquem os equipamentos e conseqüentemente também origina a proteção dos operadores das experiências, sejam professores, alunos ou técnicos de laboratório.

Os Laboratórios Remotos e Virtuais são também ideais para possibilitar a pré-preparação de experiências laboratoriais e circuitos de teste (e.g. na área de electrónica).

No entanto estes laboratórios têm tido uma evolução algo errática ao longo da sua existência, e têm sido alvo de intensa discussão pedagógica. Urge, portanto entender o porquê dessa evolução e tentar também projetá-la no futuro uma vez que estes sistemas se assumem como um dos pilares do ensino técnico e científico no futuro.

Assim, este trabalho pretende fazer inicialmente uma análise bibliométrica dos trabalhos publicados entre 1995 até aos dias de hoje, sobre estes Laboratórios Remotos e Virtuais, e tendo como *outcomes* os seguintes itens e dados devidamente organizados:

- Avaliar o volume de artigos sobre várias palavras-chave, seleccionadas em 5 períodos distintos, nos anos entre:
 - 1995-1999
 - 2000-2004
 - 2005-2008
 - 2010-2014
 - 2015-2018

- Indicar quais os “artigos-chave” nesta área, logo as publicações mais importantes e mais influentes;
- Indicar quais os autores mais “produtivos” e que mais trabalhos publicam nesta área ao longo dos anos 1995-2018;
- Indicar quais os autores mais marcantes e relevantes nesta área;
- Indicar quais as conferências ou revistas que publicaram mais artigos na área de Laboratórios Remotos e Virtuais (*Virtual and Remote Labs, VRL*)
- Indicar quais os artigos e autores que tiveram mais citações;
- Indicar quais os tópicos principais estudados nesta área;
- Indicar como é que evoluiu o interesse em cada um desses tópicos ao longo dos anos;
- Indicar quais os artigos com maior factor de impacto ao longo de um certo período de tempo.

Para atingir este objectivo, as pesquisas quantitativas (número de artigos) foram realizadas através do motor de busca académico *Google Scholar*.

As pesquisas analíticas e qualitativas foram realizadas através do site académico *Semantic Scholar*.

Depois duma análise histórica à evolução dos Laboratórios Remotos e Virtuais, é apresentada a estratégia de abordagem ao problema e as várias etapas de trabalho que foram desenvolvidas.

A contribuição inovadora desta tese consiste na apresentação dum modelo que explica a evolução dos VRLs, e permite saber qual o ponto de evolução dum sistema de VRLs , e ainda antecipar futuras direcções em função dum conjunto de variáveis que podem ser objectivamente medidas.

Tal constitui a resposta à *Questão Central de Pesquisa*:

“É possível explicar e predizer a evolução de um sistema de laboratórios remotos e virtuais analisando a sua história de desenvolvimento e as razões (acoplamentos estruturais e energéticos) que estão por detrás da sua adaptação ao ambiente envolvente?”

Esta *questão central de pesquisa* será desenvolvida na secção 3.3, no fim do capítulo 3.

Optou-se por a apresentar nesta secção para permitir ao leitor integrar a evolução e *estado da arte* ao longo da leitura dos capítulos 2 e 3 e assim justificar a importância e premência da referida *questão central de pesquisa*.

1.3. Estrutura da Tese

Capítulo 1 - Introdução e Fundamentação

É apresentada uma introdução à teoria evolucionista de *Darwin*, e uma introdução à teoria de sistemas de *Bertalanffy*. É proposta a possível ligação entre a evolução dos *online labs* e a *Teoria Evolucionista de Darwin* através do conceito de acoplamento energético.

Capítulo 2 - Laboratórios Remotos

É abordada a temática dos laboratórios *online*, remotos e virtuais, apresentadas as suas várias classificações, feita uma análise histórica de evolução dos mesmos e apresentados exemplos de adaptação ao meio-ambiente.

Capítulo 3 - Abordagem do problema e *Questão central de pesquisa*

É apresentada a estratégia de abordagem ao problema e as várias etapas de trabalho. É feita uma análise das várias linhas de desenvolvimento dos *online labs* e apresentada a sua evolução no passado.

São apresentados exemplos concretos e previsões da adaptação da forma e das linhas de desenvolvimento dos Laboratórios Remotos e Virtuais ao meio-ambiente.

Capítulo 4 - Proposta do modelo de evolução

É proposto um modelo de evolução dos *online labs* em função do comportamento já observado.

São apresentados e realçados os vários conceitos de ligação entre a evolução das linhas dos *online labs* e a teoria evolucionista de *Darwin*.

Capítulo 5 - Verificação e validação do modelo proposto

É apresentada a validação do modelo proposto e as propostas de metodologia para a sua verificação.

Capítulo 6 - Conclusão e direcção futuras

São apresentadas as conclusões do trabalho e apontadas as direcções futuras de desenvolvimento dos Laboratórios Remotos e Virtuais.

Bibliografia/Referências:

É apresentada a bibliografia com referências no formato *IEEE*.

Tutoriais Anexos:

São tutoriais sobre itens a observar, para a criação e manutenção de sistemas de VRLs, e outro indicando instruções para utilização do modelo e geração de grafos.

Anexo/Repositório Digital:

São indicados os endereços para *download* dos anexos a esta dissertação.

2. Laboratórios Remotos

2.1. Definições e desambiguação

Actualmente os sistemas informáticos estão presentes em todas as áreas e em todas as actividades. O seu papel nas nossas vidas também está a mudar. Até ao fim da década de 1980, existia um computador central de grande capacidade de processamento, computador esse acessível por diferentes terminais onde os utilizadores se ligavam e era nesse computador central que todo o processamento se realizava, de modo centralizado e não distribuído.

Hoje em dia a realidade mudou. Vivemos num ambiente tecnológico em rede, (pois estamos na época da **IoT – Internet of Things**), tudo está ligado em rede, e muito especialmente com o desenvolvimento da Internet, já quase nenhum dispositivo se encontra isolado, estão todos em rede. Este facto permitiu desenvolver uma filosofia de “trabalho colaborativo” em várias localizações.

A realidade actual consiste em termos vários computadores interligados, e ter também outros sistemas ligados à rede, o que nos permite trabalhar com sistemas que operam em tempo real, e que são acessíveis de qualquer ponto através da Internet com as ferramentas apropriadas, que em geral não são mais do que um computador (ou dispositivo semelhante; tablet ou smartphone) e respectivo *browser*.

De um modo geral, também todas as Universidades e instituições de ensino têm sistemas de *e-learning* e ambientes completamente preparados para serem acessíveis remotamente através da Internet.

Este tipo de aproximação é também utilizada por várias empresas e indústrias, que assim disponibilizam vários serviços deste tipo, que podem ficar acessíveis *online*.

A experimentação e a utilização de laboratórios é um factor essencial na formação em engenharia, porque os engenheiros têm efectivamente de saber “**como fazer as coisas...**”

Um laboratório constitui uma ferramenta essencial nos processos de ensino em engenharia e na experimentação física de sistemas de laboratório, que normalmente são bastante caros de manter, com os espaços e equipamentos e múltiplos requisitos técnicos necessários.

No entanto é possível então atingir o mesmo nível técnico e pedagógico com um sistema mais económico, que também pode ser usado por vários utilizadores e estudantes. Esta solução denomina-se laboratório remoto. Este laboratório é instalado numa Universidade ou instituição similar, e pode ser acedido remotamente a partir de qualquer lugar via Internet.

A grande vantagem deste “laboratório remoto” é o facto de poder ser usado por vários utilizadores em vários países, e em vários modos de funcionamento. Este sistema resulta muito mais económico pois um único recurso técnico pode ser partilhado por vários utilizadores. O sistema será cada vez mais económico, quanto mais pessoas tiverem acesso aos seus recursos e experiências.

Outra grande vantagem deste sistema de laboratórios é o facto de as experiências estarem disponíveis 24 horas por dia 7 dias por semana, o que é um factor muito importante para os estudantes. Tal permite a este sistema ser utilizado pelo estudante como uma ferramenta de suporte do processo educativo centrado no estudante, e permite assim que o estudante organize o seu próprio tempo e realize a gestão completa do seu próprio processo de estudo. Esta é uma característica muito importante para sistemas de ensino de nível superior hoje em dia, nomeadamente para pós-graduações, mestrados e doutoramentos.

Podemos dizer que o laboratório remoto é um dispositivo que disponibiliza experiências reais aos seus utilizadores. Esta definição implica o controlo de dispositivos reais de *hardware* e a realização de medidas reais e a actuação de vários dispositivos remotamente.

É até aconselhável que nos primeiros semestres de um curso superior, os alunos utilizem laboratórios virtuais antes dos laboratórios reais (*hands-on*) ou remotos, para que entendam bem como utilizar os diferentes equipamentos sem os danificar, e sem pôr em causa a sua segurança.

Outra considerável vantagem dos laboratórios remotos e virtuais é a fácil gestão administrativa dos alunos, e laboratórios quando integrados num *LMS*[16], pois é feita através da *interface* da plataforma *e-learning* [2]. Também a gestão da avaliação se torna muito mais fácil e menos subjectiva do ponto de vista pedagógico, pois toda a actividade do aluno no laboratório fica devidamente registada nos *logs* do sistema, podendo ser facilmente consultada pelos professores e pelos próprios alunos em caso de pedidos de revisão de notas.

Também com os laboratórios remotos e virtuais se torna muito mais simples implementar um *ILS* – *Intelligent Learning System*, que conduza os alunos no seu próprio caminho de aprendizagem, *PLP* (*Personal Learning Pathway*) e criar o seu próprio *PLE* (*Personal Learning Environment*) [17], criando assim um modelo de ensino e aprendizagem muito mais centrado no aluno, e não no professor e na sua simples exposição de matéria, como advoga o modelo construtivista.

Esta possibilidade permite ao aluno construir o seu próprio modelo de aprendizagem, facilita em muito a mobilidade dos alunos entre várias universidades, (nomeadamente através do programa Erasmus+), pois podem sempre aceder aos vários trabalhos e laboratórios das universidades por onde foram passando.

Outra importante vantagem dos laboratórios remotos e virtuais é o permitir a sua utilização por universidades e instituições que por circunstâncias várias, como por exemplo se situem em zonas de conflitos políticos e militares, não poderem ter laboratórios clássicos e assim usarem os laboratórios remotos e virtuais, como foi o caso do uso do sistema *VISIR* do *ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto* pela *Universidade Al-Quds de Jerusalém*[18].

Os laboratórios remotos e virtuais ainda abrem a possibilidade de interagir com a realidade virtual e a realidade aumentada criando um ambiente imersivo com *Avatars* e *Second Life*, onde o estudante se move numa universidade virtual e se vai dirigindo aos vários laboratórios desta universidade virtual realizando os trabalhos nos seus laboratórios remotos ou virtuais.

Um exemplo desta situação é o ambiente *Second Lab* criado na *Universidade de Deusto* em *Bilbao-Espanha*[19].

Outra enorme vantagem dos laboratórios remotos e virtuais é a possibilidade de criação de *Federation Labs* e assim se poderem criar portais com vários laboratórios remotos e virtuais de várias instituições que podem estar distanciados por milhares de quilómetros sem que o utilizador final se aperceba. Assim, os alunos de uma instituição podem aceder aos recursos e laboratórios de todas as outras que estiverem incluídas na federação.

Como hoje em dia vivemos a *IoT – Internet of Things*, onde vários dispositivos estão ligados à Internet, telemóveis, notepads, e mesmo electrodomésticos como máquinas de lavar, frigoríficos, tudo pode ser monitorizado e pode fazer transmissões pela Internet. Por isso os laboratórios das universidades e outras instituições, também “vivem” na Internet e são acessíveis a um público muito mais vasto, em *sites* próprios ou integrados em *LMS's – Learning Management Systems*.

Assim, existe actualmente uma grande variedade de Laboratórios remotos e virtuais, que se podem dividir em Laboratórios Remotos e Laboratórios Virtuais. Estes tipos de Laboratórios remotos e virtuais podem mesmo ser integrados em sistemas de avaliação inteligente e interactiva em metodologia *e-learning* e *b-learning*.

Os Laboratórios remotos e virtuais apresentam também várias vantagens, além de suportarem a componente prática do processo de ensino-aprendizagem e complementarem sistemas de *e-learning* e *b-learning*, possibilitam ainda o acesso a esses laboratórios a qualquer dia ou hora (mesmo que seja com marcação prévia), e a partir de qualquer local com acesso à internet.

Os Laboratórios remotos e virtuais permitem também o acesso a pessoas com dificuldades de mobilidade, apresentando a vantagem de, através de simulação prévia de exercícios e circuitos, evitarem que haja destruição e danos em equipamentos por incorrecta execução das experiências de laboratório, uma vez que os simuladores avisam dos erros de desenho e execução das experiências.

Neste universo dos laboratórios a distância podemos normalmente considerar dois tipos principais de laboratórios:

Laboratório Remoto: Trata-se de uma experiência laboratorial que é conduzida e controlada remotamente através da internet, mas que utiliza componentes de *hardware* reais e instrumentos reais que estão localizados num local diferente daquele de onde está o operador que os está a controlar. No local onde se encontra, o utilizador tem apenas um computador (ou dispositivo similar) e um *browser* com acesso à Internet.

Laboratório Virtual: Este sistema não é mais do que uma simulação do sistema real através de um pacote de *software* que simula as funcionalidades do sistema real com todos os seus componentes. O sistema mostrado ao utilizador não tem existência física real, é apenas uma simulação. Estes pacotes de *software* que permitem as simulações podem ser *Flash* ou *JavaScript*, no caso de ambientes exclusivamente *web*, ou mesmo um *software* específico de aquisição e processamento de sinal como o *Labview*. O *Labview* é um pacote de *software* muito complexo e com bastantes funcionalidades que permitem resolver uma série de questões e situações na área dos laboratórios, instrumentação, aquisição e processamento de sinal, controlo industrial, etc. O acrónimo *Labview* significa “*Laboratory Virtual Instrument Workbench*” e consiste num ambiente com programação gráfica na denominada linguagem *G*, que hoje em dia constitui praticamente um standard para a área de aquisição de dados e controlo de instrumentação.

Laboratório Híbrido: Este ambiente *Labview* permite construir um laboratório híbrido que tem um componente de laboratório remoto, e outro de laboratório virtual composto apenas por código produzido em linguagem *G*. A parte com existência física está ligado a um **DAQ – Data acquisition system**, que é um módulo de *interface* como o mostrado na figura 2.1, e que tem também uma *interface* de controlo por *software* que permite enviar e receber dados

de e para os dispositivos físicos ligados ao DAQ. Essa interface de controlo por software é sempre programada através de linguagem G.

As figuras seguintes mostram um exemplo de um DAQ, um dispositivo normalmente utilizado para fins académicos, um USB 6009 e a sua interface de programação em linguagem G.



Figura 2.1 - Módulo USB 6009 da National Instruments[20]

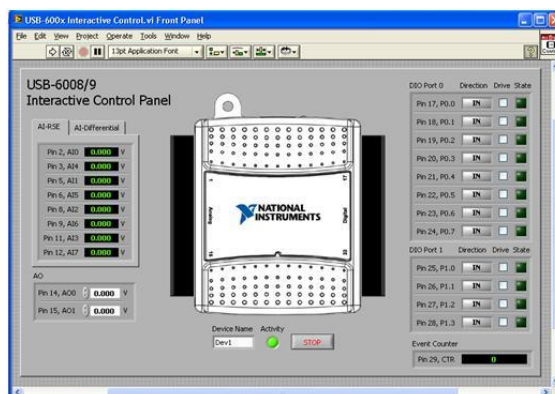


Figura 2.2 - Interface de programação do módulo USB-6009 em Linguagem G do Labview[20]

Em termos pedagógicos a grande vantagem dos laboratórios híbridos é também a possibilidade da sua utilização pelos estudantes em dois passos, ou em dois níveis, tendo em conta o seu nível de conhecimento e mestria sobre o hardware existente no laboratório remoto ligado fisicamente ao DAQ. Para os estudantes com menos experiência é melhor que não controlem directa e livremente os sistemas de hardware ligados ao DAQ, pois podem não conhecer ainda os limites de segurança e os parâmetros de segurança a respeitar no equipamento, para não danificar alguns componentes físicos.

Tal como já foi referido, numa primeira fase da aprendizagem os estudantes, por exemplo nos primeiros semestres do curso, deverão utilizar apenas o laboratório virtual, e não o remoto, pois esse tem componentes hardware que podem ser danificados. Esta é na verdade uma grande vantagem pois no início do seu processo de estudo os estudantes não têm normalmente o nível de conhecimento necessário para operar os equipamentos com segurança e correm o risco de os danificar, se os utilizarem de forma incorrecta.

Este sistema permite que os estudantes realizem a mesma experiência várias vezes sem reter o material de laboratório necessário à experiência que assim fica disponível também para outros estudantes.

Numa fase posterior, após os estudantes terem ganho mais conhecimentos técnicos, e terem adquirido mais experiência com o equipamento laboratorial do laboratório remoto, já

podem utilizá-los sem os danificar, e aí poderão trabalhar sobre os laboratórios remotos ou reais.

Para colocar um sistema destes a funcionar, por exemplo um laboratório remoto de electrónica é necessário resolver várias questões, como construir os circuitos electrónicos que vão ser testados no laboratório remoto. Uma das soluções mais eficazes é utilizar uma matriz de relés no laboratório remoto de modo a interligar por comandos de *software* os vários componentes do circuito. É esta a solução adoptada pelas placas do sistema *VISIR*.

Outra situação que é necessário definir e acautelar é se o laboratório deve usar apenas o modo *read*, isto é apenas ler resultados de uma experiência, ou se é para usar no modo *read & write*, ou seja actuar também sobre o laboratório, podendo alterar a configuração do sistema onde se vai realizar a experiência. No caso dos laboratórios electrónicos utilizar o modo *read & write* significa que o utilizador pode alterar a configuração do circuito e posteriormente fazer as suas medidas sobre esse circuito.

É também necessário prever um sistema de marcação das sessões de Laboratórios remotos e virtuais para os estudantes, para que um estudante não possa utilizar um laboratório ao mesmo tempo que um colega seu, especialmente em modo *read & write* pois poderão ocorrer acções contraditórias no sistema provenientes dos comandos dos utilizadores. Em modo *read & write* tem portanto de ser garantida a exclusividade no acesso a determinadas experiências.

A inclusão de laboratórios remotos, em sistemas híbridos é sempre feita em conjunto com sistemas de simulação. Devemos recordar que um *software* de simulação permite-nos ter sempre uma representação do comportamento do circuito ou fenómeno a estudar, mas naturalmente não considera todos os efeitos reais do seu circuito, nem todos os fenómenos físicos da interacção entre todos os seus componentes (como por exemplo os maus contactos no caso da electrónica) e o ambiente envolvente.

Podemos então afirmar que os laboratórios híbridos são realmente um tipo de laboratórios que consistem num misto de laboratórios remotos e de laboratórios virtuais. Um bom exemplo deste tipo de laboratório é o ambiente *Labview webserver*, pois pode ser dividido em duas partes, uma de simulação por *software* e outra através do controlo de sistemas *hardware* ligados a um *interface* como uma placa *RIO* ou o *módulo USB 6009*.

Outro exemplo muito interessante de laboratórios híbridos é a solução utilizada pela *UNED* (*Universidad Nacional de Ensino a Distancia – España*). Esta universidade tem um ambiente *web* onde são implementados laboratórios virtuais e laboratórios remotos conjuntamente. Tal como na maior parte dos casos, os estudantes começam por utilizar os laboratórios virtuais e só depois os laboratórios remotos, quando atingem um nível mais profundo de conhecimento sobre o laboratório que vão utilizar.

Mesmo como medida de segurança o sistema pode ser configurado de modo a que o acesso público seja permitido apenas aos laboratórios virtuais. Os laboratórios remotos apenas poderão ser acedidos por estudantes e por utilizadores registados. O sistema de laboratórios remotos e virtuais pode ser suportado e enquadrado num *LMS* (*Learning Management System*), neste caso particular numa plataforma *moodle* como acontece no sistema da *UNED*.

A arquitectura de sistema utilizada no caso particular (da *UNED*) é a seguinte:

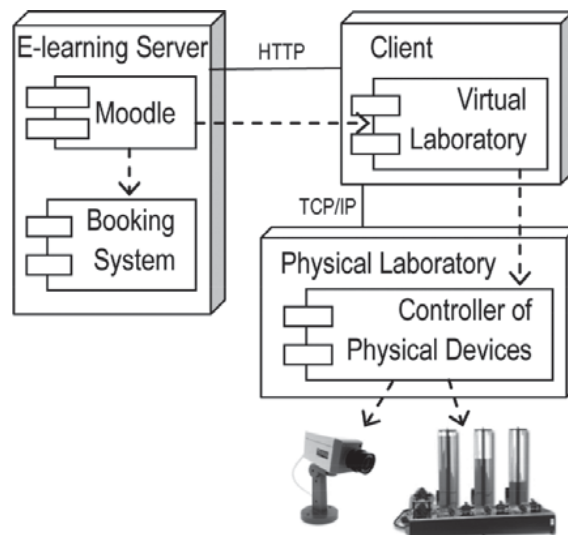


Figura 2.3 – Arquitectura de sistema de e-learning com laboratórios remotos integrados existente na UNED em Madrid[21]

Descrevendo detalhadamente cada um dos blocos, e a sua função no sistema, teremos:

E-learning Server: Este bloco inclui a plataforma *moodle* utilizada como *LMS* de base nesta arquitectura e também o sistema de marcação de experiências e laboratórios remotos. A plataforma *moodle* disponibiliza aos estudantes todo o suporte teórico dos cursos onde estão integrados todos os laboratórios remotos. Inclui e define todos os protocolos a seguir em todas as tarefas a desenvolver, assim como informação complementar sobre canais de comunicação entre estudantes e professores. O sistema de marcação da utilização dos laboratórios é responsável por realizar o agendamento da utilização das experiências por parte dos estudantes nos laboratórios remotos e dos seus recursos de *hardware* e componentes a utilizar.

Client Module: Este bloco implementa os laboratórios virtuais, realiza o *interface* com os laboratórios remotos, e consegue também implementar a estrutura dos laboratórios híbridos. A linguagem em que o *software* deste bloco é desenvolvido é *EJS* e funciona como um *Java Applet*.

Physical Node Laboratory Server: Este bloco inclui o controlador de dispositivos físicos, é implementado com *Labview* e controla fisicamente os componentes reais dos laboratórios remotos.

Em jeito de conclusão, podemos afirmar em relação aos laboratórios híbridos:

Laboratório Híbrido – É um laboratório disponível *online* que combina a utilização de um laboratório virtual com tecnologias de laboratórios remotos. Este sistema no fundo disponibiliza experiências reais de *hardware* e simulações de *software*. O sistema será algo semelhante ao que é apresentado na imagem seguinte:

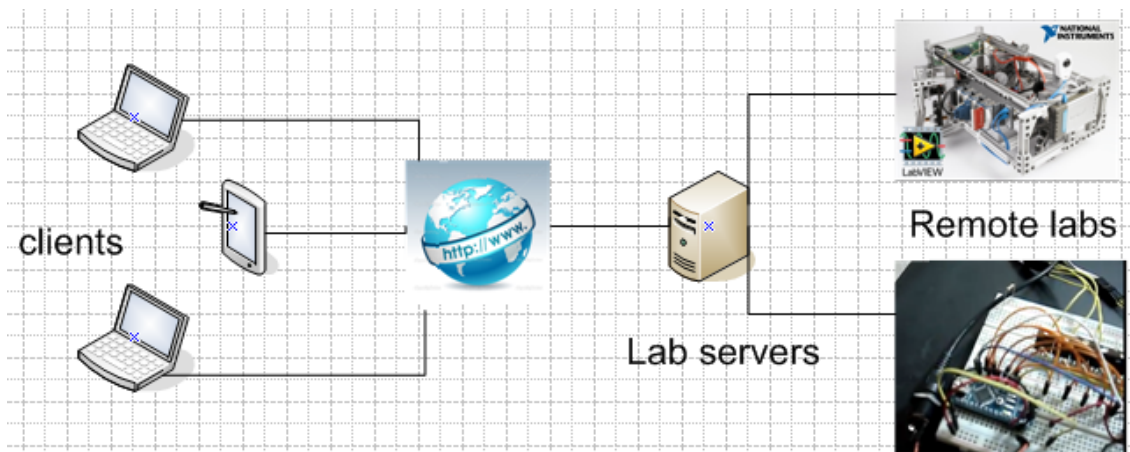


Figura 2.4 - Arquitetura de um sistema de laboratórios híbridos, com componentes de laboratórios reais e virtuais

Se tivermos um **webserver** com uma aplicação que implementa laboratórios virtuais, mas que também tenha uma componente real e esteja ligada a um sistema *hardware* de laboratórios remotos, então podemos afirmar que este **webserver**, implementa um laboratório híbrido. É possível que para o mesmo trabalho ou experiência uma parte decorra em ambiente virtual, portanto com simulação de *software* e outra parte decorra num laboratório remoto ligado a dispositivos reais e físicos.

Outro ponto bastante importante a ter em conta é qual a arquitectura utilizada para estabelecer a ligação ao laboratório remoto (parte física). Em termos genéricos podemos considerar 3 tipos de arquitecturas:

1ª A denominada “Arquitectura Clássica”, onde o laboratório remoto é ligado directamente a um computador que por sua vez se liga ao servidor **Middleware**, que tem como função gerir as funcionalidades de *login*, agendamento e marcação dos trabalhos. Este servidor **Middleware** está por sua vez ligado directamente à internet.

Arquitectura Clássica

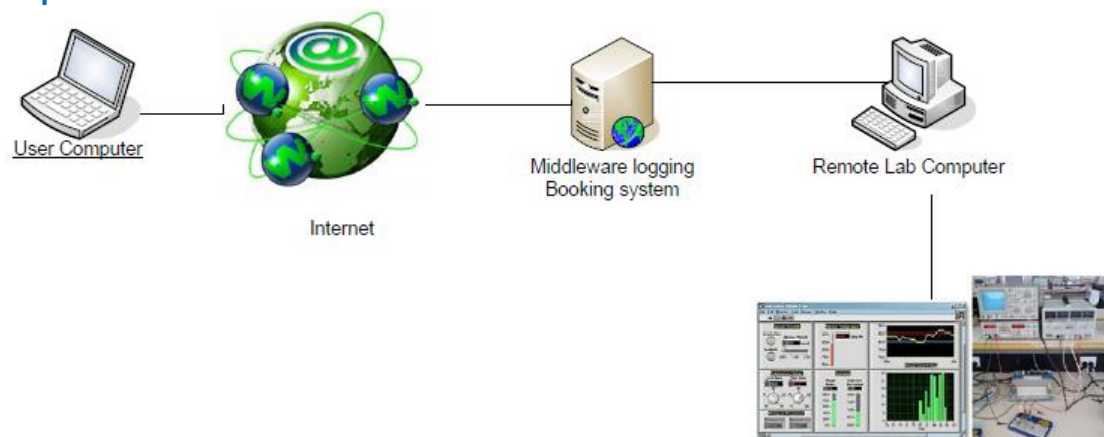


Figura 2.5 - Arquitectura clássica de um sistema de laboratórios híbridos, com componente de laboratórios reais e virtuais

No caso da chamada “arquitectura clássica” o acesso ao sistema é feito de modo tradicional. O computador que se encontra ligado à internet e constitui o Middleware Server, também pode ser chamado MLBS Block – Middleware logging booking system, cuja função

é gerir o acesso aos **Laboratórios remotos e virtuais** do sistema onde está ligado, que pode ainda ter como suporte de integração dos **Laboratórios remotos e virtuais**, um *LMS* ou *CMS* que os enquadra num curso ou percurso formativo.

O **Middleware Server** estabelece o contacto com o computador onde o laboratório remoto ao qual queremos aceder está fisicamente ligado.

O *MLBS* é responsável pelas seguintes acções de *interface* com o laboratório remoto:

- Agendamento das reservas de trabalho pedidas pelos utilizadores.
- Selecção do dispositivo exacto que o utilizador pretende aceder, e respectivo endereçamento em *IPv4* ou *IPv6*.
- *Login* no sistema, identificação e validação da identidade do utilizador.
- Sistemas de segurança contra intrusões e funcionalidades de *Firewall*
- Gestão do acesso às seguintes bases de dados do sistema:
 - Utilizadores
 - Laboratórios e experiências
 - Agendamento de reservas de utilização

Arquitectura IP Direct

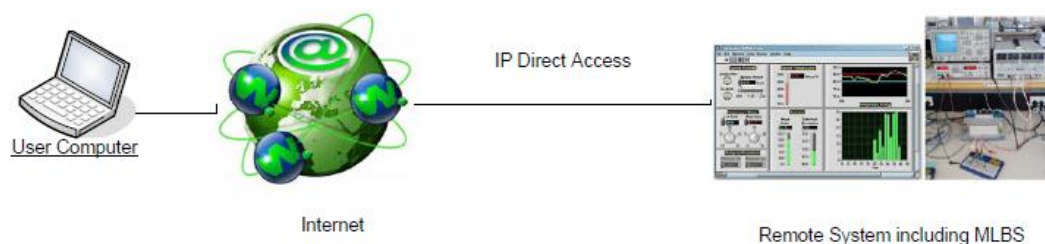


Figura 2.6 - Arquitectura *IP-Direct* de um sistema de laboratórios híbridos, com componentes de laboratório reais e virtuais

Neste segundo caso, na arquitectura IP Direct o MLBS está incluído no dispositivo remoto a ser acedido. Esta arquitectura é aplicada em sistemas simples só com um ou poucos laboratórios a serem acedidos directamente da internet ou intranet, e por vezes esse acesso é feito apenas através do endereço IP. Esta é uma situação típica utilizada muitas vezes em fase de testes.

Arquitectura VPN Access

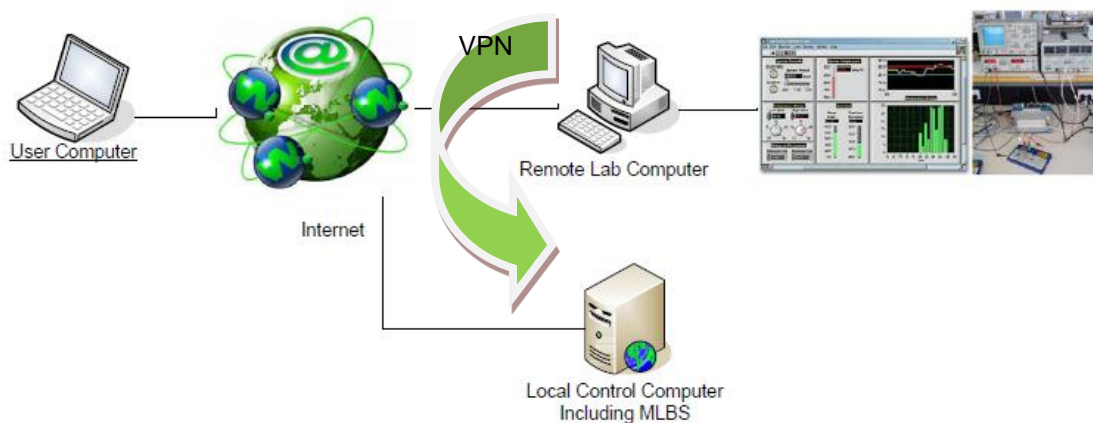


Figura 2.7 - Arquitectura *VPN Access* de um sistema de laboratórios híbridos, com componente de laboratórios reais e virtuais

Na arquitectura **VPN Access**, existe um acesso por **VPN (Virtual Private Network)**. O servidor ou computador que está ligado ao sistema de laboratórios remotos algures na Internet, mas distante fisicamente dos dispositivos a contactar e que acedem aos laboratórios remotos físicos. A ligação entre o computador onde estão localizados o **Middleware Server** e os laboratórios remotos (ou mais especificamente, o computador que lhes permite aceder), é feita através de **tunnelling**, através da internet utilizando uma VPN. No outro “extremo” da **VPN** está colocado o **Remote Lab Computer** que permite aceder directamente ao dispositivo físico que constitui o laboratório.

O objectivo principal do presente trabalho é realizar uma análise da evolução temporal dos vários *remote labs*, e propor um modelo da sua evolução futura; e por isso para termos uma ideia da evolução temporal dos sistemas ao longo especialmente do século XX. Apresentamos de então uma *Timeline* genérica da evolução dos *laboratórios remotos e virtuais*:

Evolução cronológica →

1900's	1950's	1980's	1990's	1990-2000	2000-2010	Hoje
Cursos por correspondência por correio	Ensino a distância usando televisão	Ensino a distância usando cassetes de vídeo	BOOM da Internet	E-learning: LMS & CMS	Filosofia e sistemas B-learning	Sistemas integrados de e-learning com LMS, suporte pedagógico e laboratórios online
Missil controlado por ondas rádio de Nikolas Tesla	1º Artigo: "Electrically controlled manipulator"	Labview da National Instruments	Laboratórios remotos começam a surgir em várias universidades Artigo de Carisa Bohus: "2nd Best thing..."	Projeto Mercury, RemLab, Netro Lab, VISIR	Laboratórios Online aplicados ao ensino e à indústria	

Figura 2.8 - *Timeline* da evolução dos laboratórios remotos e virtuais

Nos pontos seguintes apresentaremos a sua evolução dividida por vários períodos de tempo.

Distinguimos três períodos distintos da evolução dos *online* e *remote labs*:

- 1º Os pioneiros e os primórdios: 1890 até 1989, e depois mais concretamente 1990-2000
- 2º O "BOOM": 2000 – 2010
- 3º Maturidade e adaptação ao meio envolvente: 2010 – presente

2.2. Os pioneiros: 1990-2000 (e os primórdios)

Começamos a analisar a nossa *timeline* em 1898, com o primeiro registo existente de um sistema remotamente operado através de ondas rádio. Trata-se de um torpedo teleguiado inventado em 1898 para a *Marinha de Guerra Americana* pelo grande físico *Nikolas Tesla*[22][23].

Na época em que foi desenvolvido, este dispositivo estava realmente à frente do seu tempo. Foi desenvolvido num ambiente de grande secretismo, e após pouco tempo do seu início o projecto foi abandonado porque a *Marinha de Guerra Americana* temia que o míssil fugisse ao seu controlo, e atacasse as suas próprias forças.

Após este registo inicial existe um intervalo de 40 anos em que não há registo de sistemas de laboratórios remotos, quer usando rádio controlo ou outro dispositivo electrónico.

Após este grande intervalo, alguns dispositivos surgiram nos anos 1930 (especialmente entre 1935-39) por causa dos preparativos para a *2ª Guerra Mundial*, mas eram quase todos dispositivos militares e portanto, rodeados de grande secretismo, devido ao estado de pré-guerra que então se vivia. Desses dispositivos nada se sabe, pois, toda a informação de projecto e desenvolvimento se perdeu nos processos de ocultação e destruição ocorridos durante e após a segunda guerra mundial.

Durante a *2ª Guerra Mundial*, vários sistemas alemães foram construídos, especialmente na área da aeronáutica e do lançamento de foguetes, de que são exemplos as bombas *V1* e *V2*, mas mesmo elas registavam vários problemas de comunicação e controlo[24]. Todos estes sistemas eram protegidos por segredo militar, e foi bem conhecida a “caça” aos cérebros alemães após o fim da *2ª Guerra Mundial*, quer por parte dos Estados Unidos, quer por parte da União Soviética, e os seus conhecimentos desses sistemas foram colocados ao serviço dessas potências, mas também sobre regras rígidas de segredo militar.

O mais conhecido desses “cérebros” foi *Werner Von Braun*, que foi para os Estados Unidos onde desenvolveu todo o programa espacial da *NASA* que culminou com as expedições à Lua nas décadas de 1960 e 1970.

Apresentam-se de seguida vários *croquis* que pretendem realçar o que de mais importante ocorreu nas décadas dos séculos XX e XXI em termos de laboratórios remotos (e em alguns casos também com virtualização).

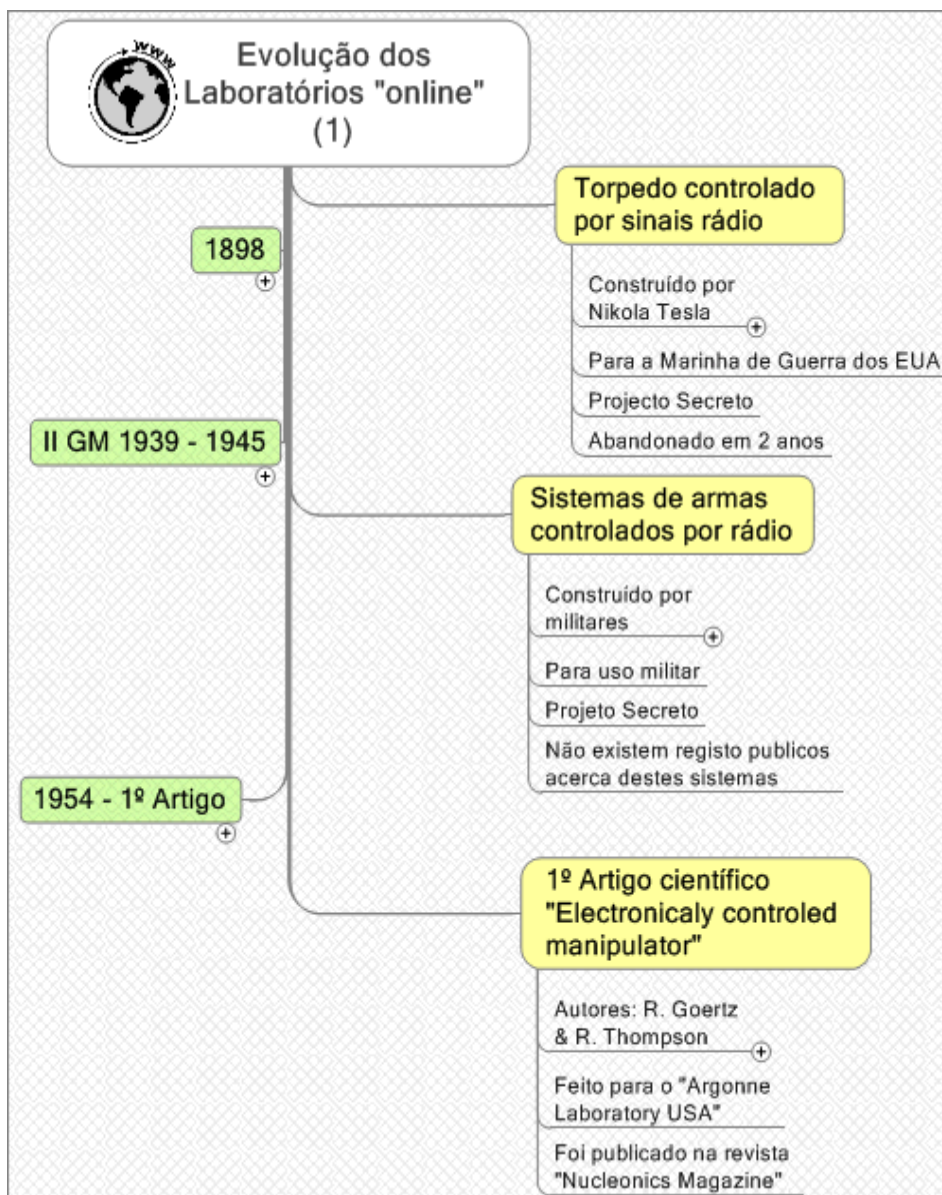


Figura 2.9 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais de 1898 até 1951

De facto, o primeiro artigo que descreve um sistema que podemos considerar como um laboratório remoto, após a 2ª Guerra Mundial, foi publicado em 1954 na revista científica *Nucleonics* da autoria de R. Goertz e R. Thompson, e descreve um sistema chamado *Electronically Controlled Manipulator*. O trabalho foi desenvolvido no *Argonne National Laboratory* nos Estados Unidos. No seu tempo este trabalho foi aceite pela comunidade científica e académica como um artigo que analisava um dispositivo controlado remotamente.

Alguns anos mais tarde em 1967, um novo artigo veio abordar o mesmo tema. Foi denominado *Teleoperators* e foi escrito por William Ferrel e Thomas Sheridan, *Supervisory control of remote manipulation* [25].

Também durante os anos 1960 a *HP Corporation (Hewlett-Packard)* desenvolveu um sistema de comunicações entre computadores e outros dispositivos de medida, que viria a ser considerado um *standard* absoluto em instrumentação e processamento de sinal, o *GPIB Protocol – General Purpose Interface Bus*.

Um grande passo que foi dado no desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais em 1986, quando a multinacional National Instruments lançou um software denominado: Virtual Instrument Engineering *Workbench* (*LabVIEW*). O *Labview* veio a impôr-se como o *software* de instrumentação e aquisição de dados em tempo real por definição. Também passou a ser um *standard* para controlo industrial a distância via Internet.



Figura 2.10 - Logotipo da aplicação *Labview* da *National Instruments*[20]

Alguns exemplos actuais e concretos de aplicações do *Labview* são:

- Controlo do Aeroporto de Denver, USA[20]
- Airbus 380[20]
- TGV – Train à Grand Vitesse[20]
- Controlo de grandes petroleiros[20]

O *Labview* é um *software* que alia várias potencialidades e características, desde a programação, ao *design* de interfaces, à aquisição, ao processamento de dados matemáticos, à publicação de conteúdos e relatórios técnicos na web, entre outros.

Foi desenvolvido para quase todos os sistemas operativos, e as suas principais funções são:

- Aquisição de dados
- Controlo de instrumentação
- Análise e processamento de sinais
- Controlo de sistemas industriais
- Produção em tempo real de relatórios técnicos de monitorização
- Controlo remoto através da Internet

No início dos anos 1990 dá-se o grande **boom** da Internet. A filosofia e paradigmas dos *Laboratórios remotos e virtuais* mudam completamente, assim como o seu modo de acesso. As novas versões de *Labview* já incluem todas as ferramentas para a Internet, para que todo o controlo de sistemas remotos ser feito via Internet. Exemplos dessas ferramentas são:

- Labview Web server
- Transmissão de alarmes via Internet
- Geração de relatórios técnicos e seu envio pela Internet.
- Funções específicas para endereçamento por *TCP-IP*

Em conjunto com o *Labview*, a *National Instruments* desenvolveu uma linguagem de programação gráfica chamada linguagem G, a qual permite desenvolver todas as aplicações nos vários ambientes onde o *Labview* é utilizado. É nesta linguagem que são criados os laboratórios virtuais e as interfaces com os laboratórios remotos.

Entretanto em todo o mundo, mas especialmente nos Estados Unidos, Europa e Austrália começam a surgir, nomeadamente nas universidades, vários laboratórios remotos, normalmente dirigidos aos seus alunos, mas todos independentes uns dos outros, sem possibilidade de interligação entre eles, e com sistemas proprietários.

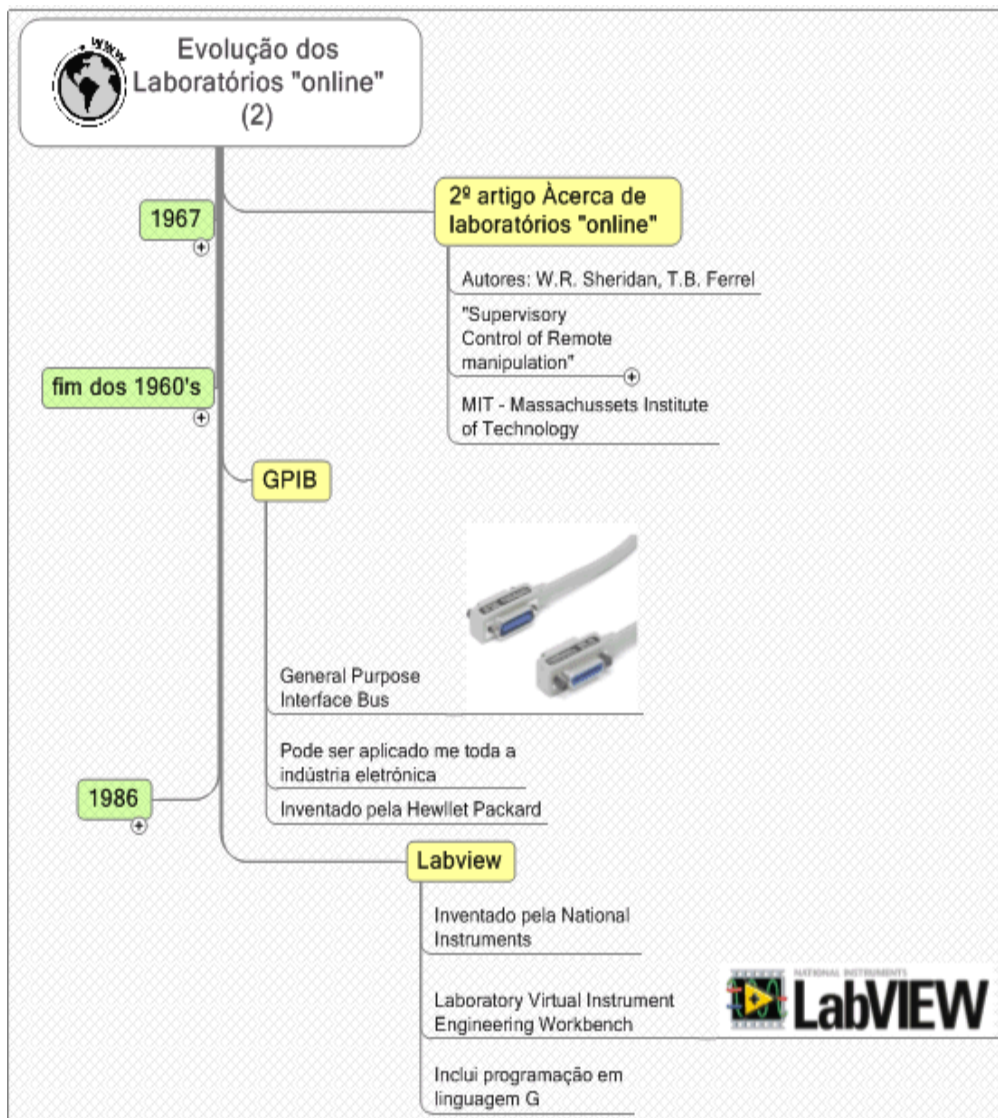


Figura 2.11 -Evolução dos laboratórios remotos e virtuais desde 1967 a 1986

Também com a enorme expansão e desenvolvimento alguns problemas começaram a surgir, nos laboratórios remotos e virtuais, como por exemplo a questão de utilização simultânea do mesmo laboratório por vários alunos. Os alunos podem fazer acções diferentes e contraditórias e o mesmo sistema físico não pode responder. Por isso há que criar um sistema de marcações no tempo das experiências, para que cada experiência só seja atribuída a um utilizador de cada vez, e assim não ocorram conflitos de comandos de utilização do sistema.

Esta é uma questão que assume muita importância, especialmente quando os *laboratórios remotos e virtuais* estão integrados num *LMS (Learning Management System)*, e fazem parte de um curso estruturado com exercícios.

Um dos artigos que descreve esta situação foi escrito por *Abardene MF e Mastascusa* da *Universidade de Lewisburg* nos Estados Unidos e o seu título era *Remote share control systems laboratory* [26].

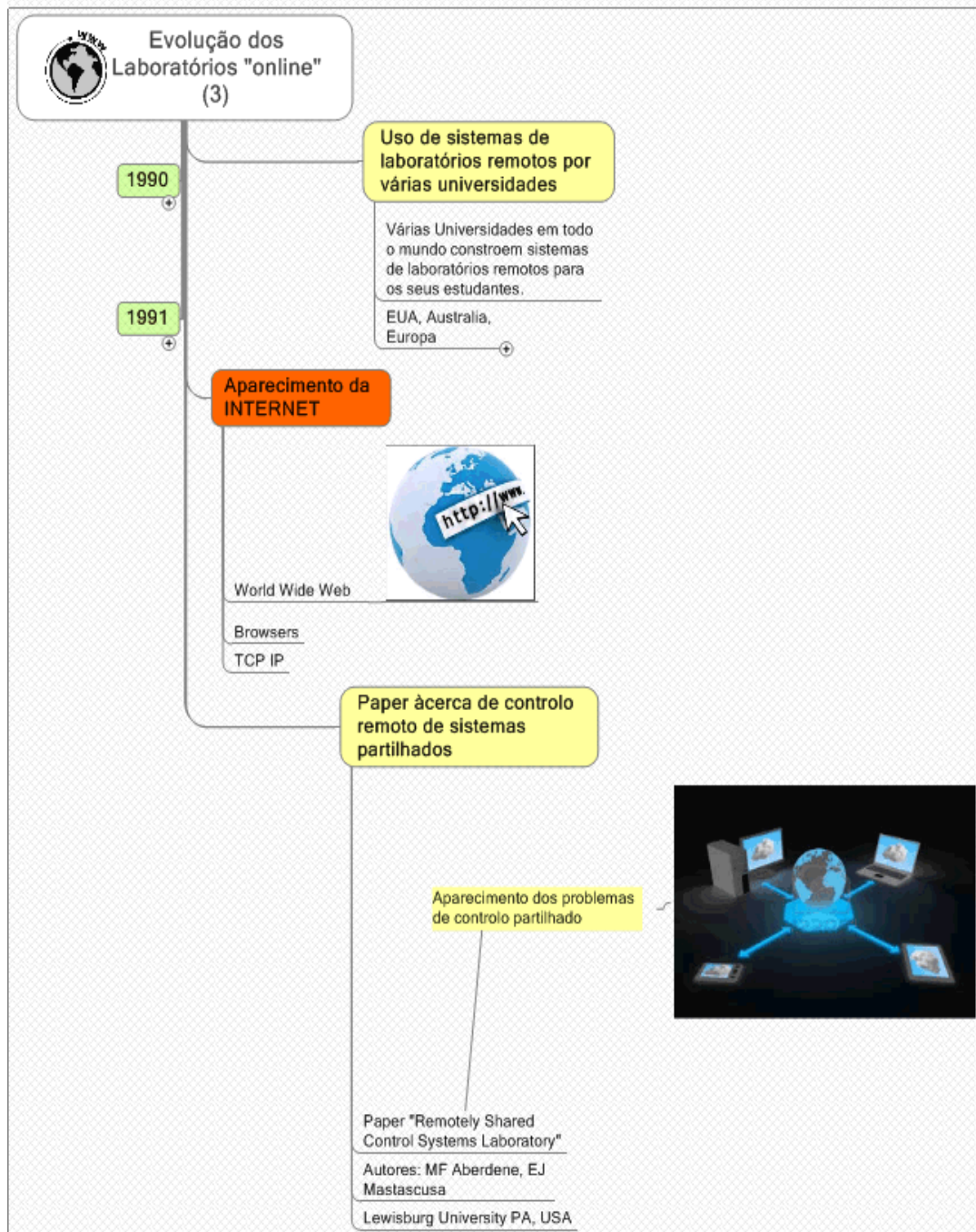


Figura 2.12 -Evolução dos laboratórios remotos e virtuais desde 1990 a 1991

Em 1992, cinco instituições de renome (*Texas A&M University, Univ. Texas & Austin, Rice University, University of Arlington, e a NASA – Johnson Space Center*) deram um grande impulso no desenvolvimento dos **Laboratórios remotos e virtuais** para a robótica nos Estados Unidos. Nesse ano, essas cinco instituições criaram o *Space Automatic/Robotics*

Consortium (USA/RC) para conjuntamente desenvolverem uma série de laboratórios remotos com sistemas robóticos acessíveis através da Internet.

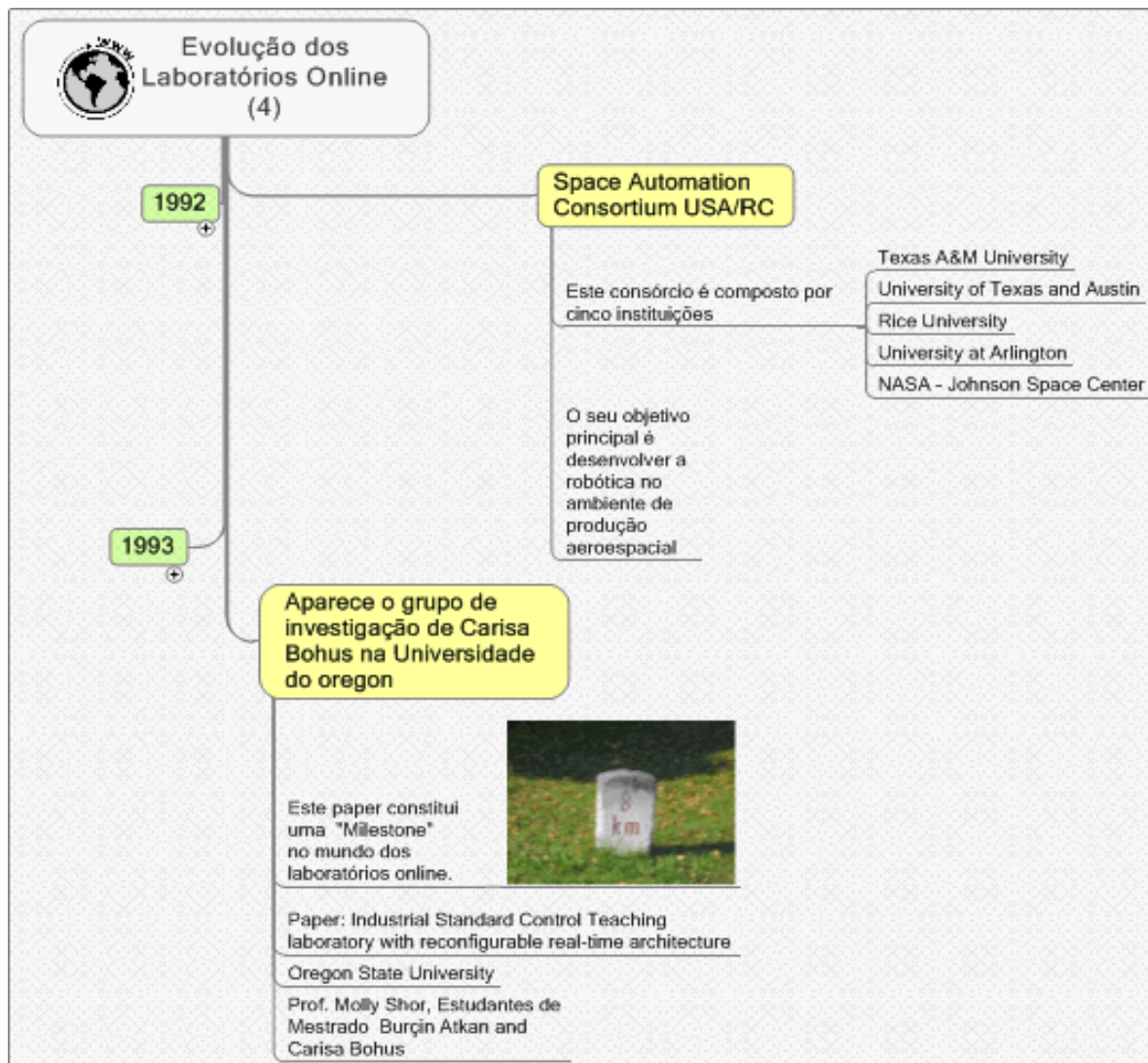


Figura 2.13 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais desde 1992 a 1993

Em 1993 na *Oregon State University* foi implementado um laboratório remoto chamado *Industrial State Control Teaching Laboratory*, o qual foi construído numa arquitectura reconfigurável em tempo real. Este projecto foi desenvolvido por pessoas que mais tarde foram consideradas pioneiras na área dos laboratórios remotos, concretamente a Prof^a *Molly Shor* e os seus dois estudantes de Mestrado, *Burcin Atkan* and *Carisa Bohus*.

Em 1994 a *University of Southern California (USA)* lançou o projecto *Mercury*, que era essencialmente um robô controlado remotamente através da Internet. No seu tempo foi o primeiro sistema que podia ser controlado através da Internet por qualquer utilizador.

Este projecto também constituiu a primeira implementação com sucesso de um sistema de controlo remoto de um robô com um *Computer Graphics Interface (CGI)* via Internet, e com ligação vídeo com uma câmara. O Prof. *Goldberg* da *University of Southern California*, foi responsável por este sistema o qual esteve *online* desde Setembro de 1994 a Março de 1995[27].

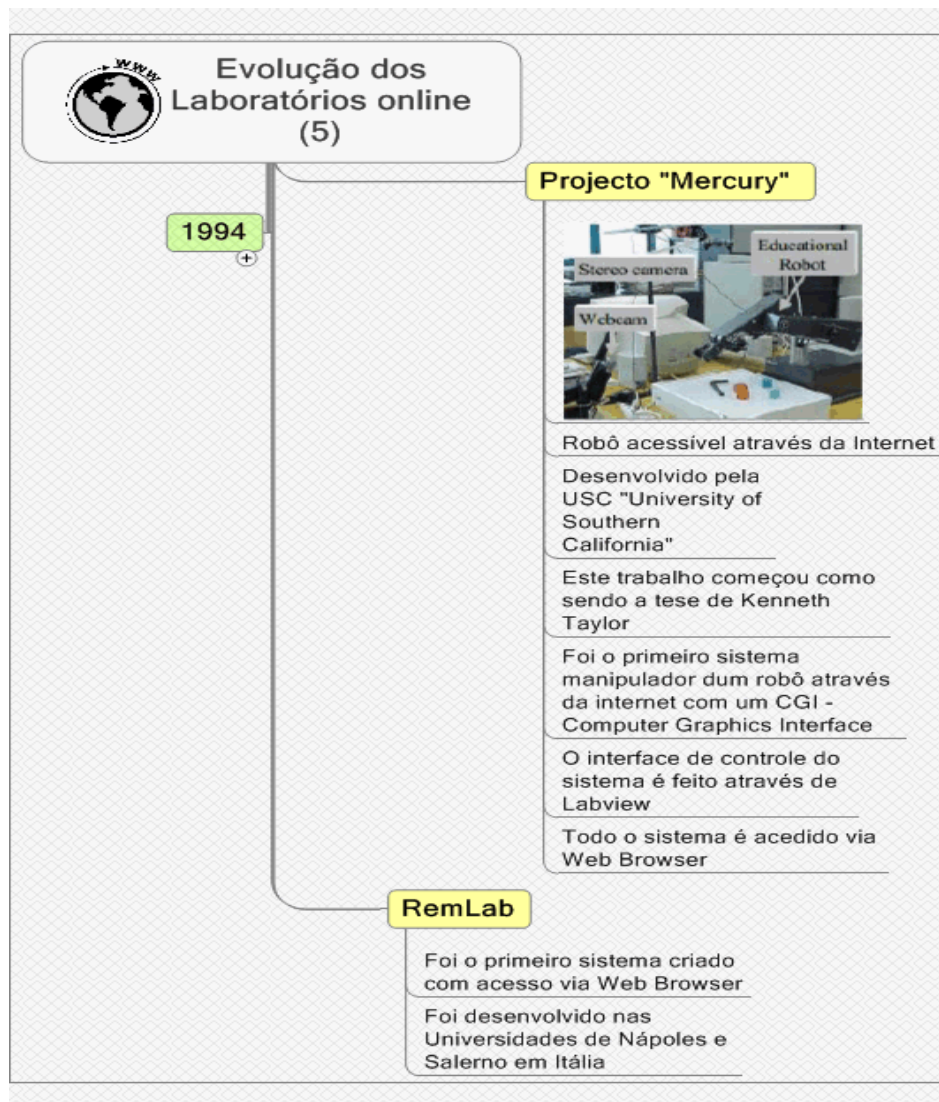


Figura 2.14 -Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1994

Também em 1994 a *Universidade de Nápoles* e de *Palermo*, ambas em Itália, desenvolveram o primeiro laboratório remoto com acesso via Internet. Este laboratório remoto é chamado *RemLab*[28].

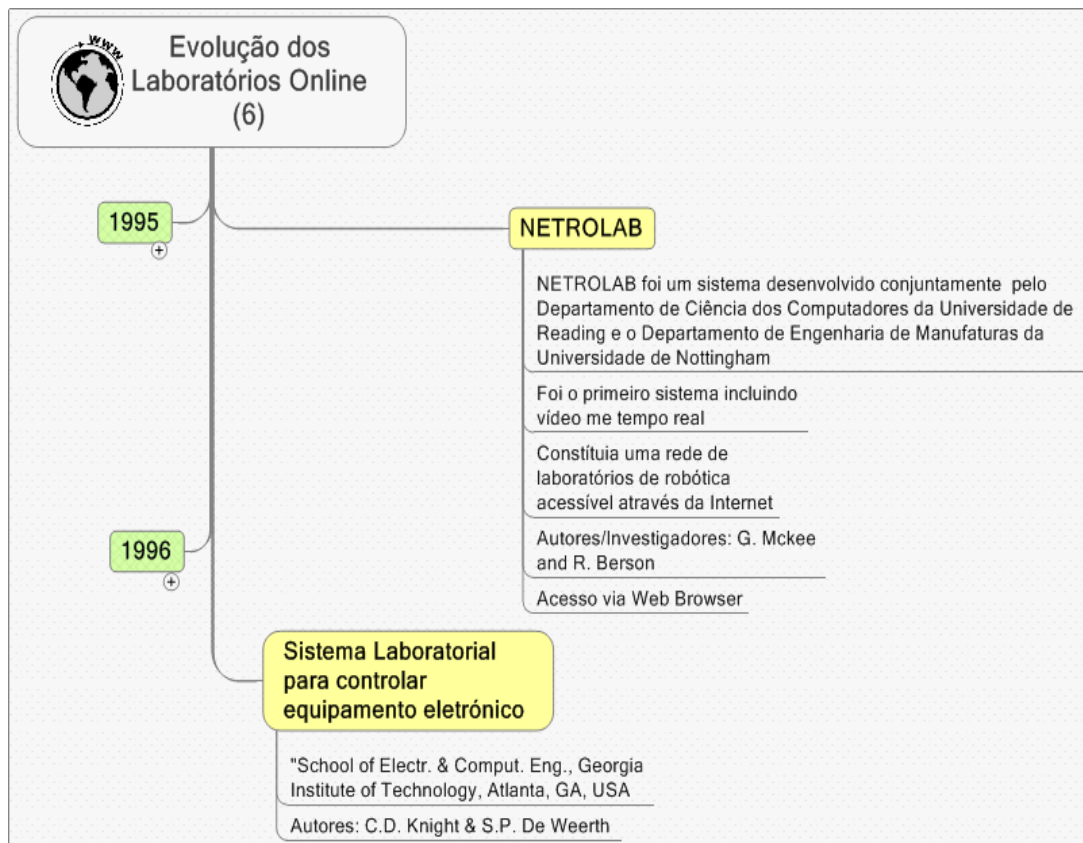


Figura 2.15 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1995 e 1996

Em 1995 os Professores *Mckee* e *Berson* na *Universidade de Reading* no Reino Unido construíram a primeira rede de sistemas robóticos, acessível via Internet, que foi denominada *NETROLAB*[22][29].

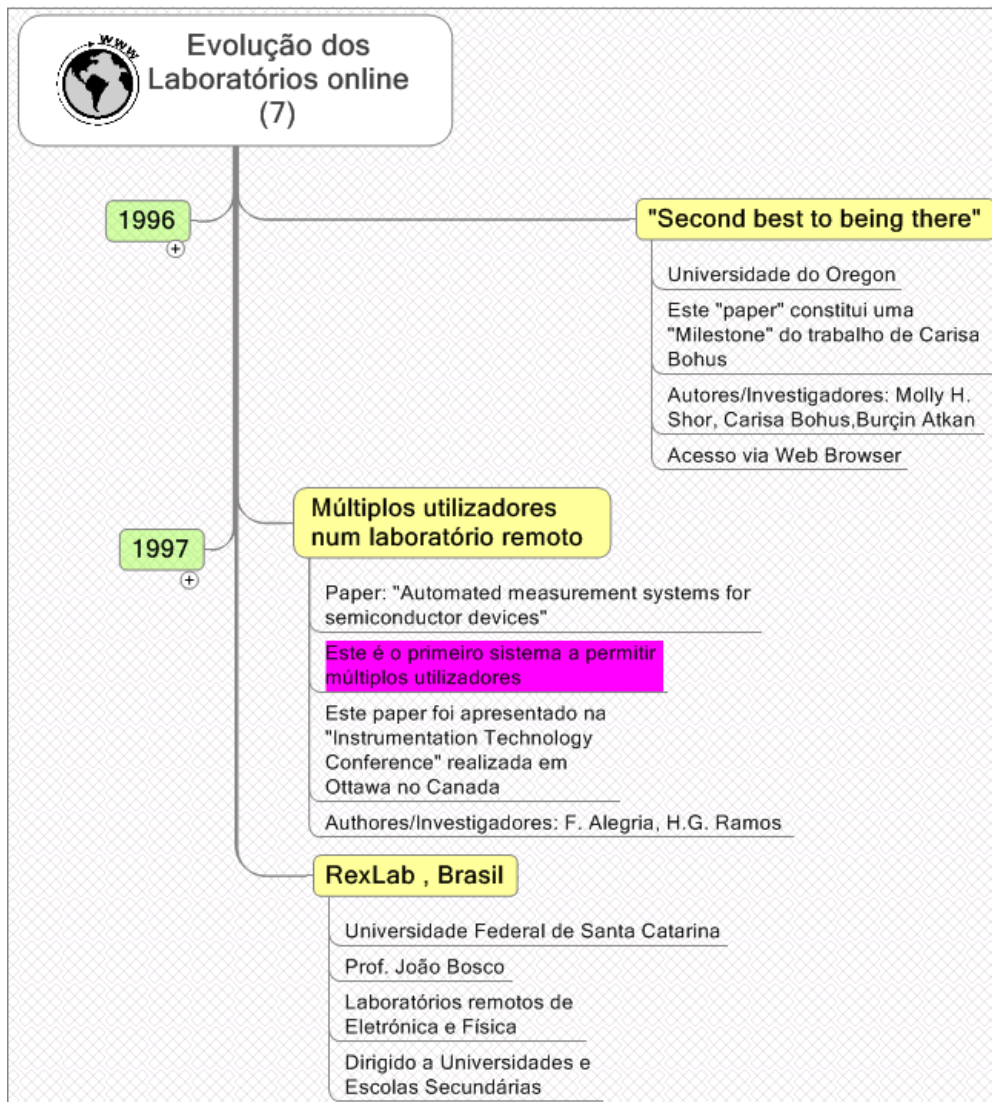


Figura 2.16 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais entre 1996 e 1997

Em 1996 Shor, Bohus e Aktan da Oregon State University (EUA), publicaram o artigo mais citado de sempre acerca deste assunto[30], e o qual ficou marcado pela expressão *Second Best to Being There - SBBT*. Este artigo foi muito justamente reconhecido por Froyd, Wankat e Smith [30] como o primeiro a descrever um laboratório remoto sendo usado para educação em engenharia. Também no mesmo ano, C.D. Knight e Stevens P. De Weerth do Georgia Institute of Technology, em Atlanta (USA), construíram o *Laboratory system to control electronic equipment*[22][31].

Em 1997, F. Alegria e H.F. Ramos apresentaram na conferência *Instrumentation and Measurement Technology* que teve lugar em Ottawa no Canadá o primeiro sistema que permitia vários utilizadores simultâneos. O sistema denominado *Automated measurement technology* foi o primeiro a suportar um mecanismo de agendamento e marcação de tempo para realizar as várias experiências.

Também em 1997 na Universidade de Santa Catarina no Brasil, João Bosco funda o Rexlab que é a maior rede brasileira de laboratórios remotos e virtuais. São disponibilizados vários trabalhos na área da Física, electricidade e electrónica. Esta rede foi construída para apoiar não só as universidades, mas também todas as escolas secundárias do Brasil, que assim passaram a ter acesso a todos os seus laboratórios *online*[32].

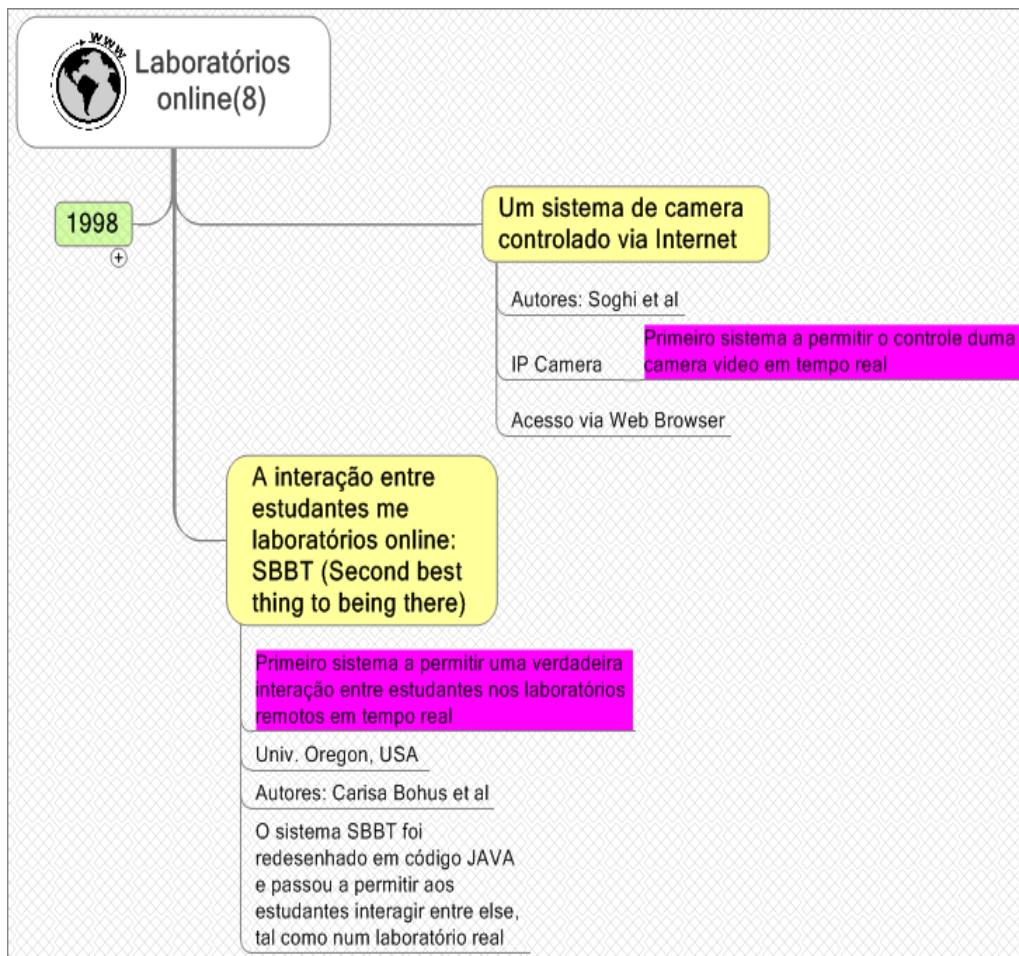


Figura 2.17 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1998

Em 1998, o sistema *SBBT* (*Second Best to Being There*) do sistema da *Oregon University* foi redesenhado com código *Java*, permitindo aos estudantes interagir entre eles tal como num laboratório real. Outra melhoria importante que ocorreu nesse ano foi a generalização dos acessos aos laboratórios remotos, através de um simples *web browser*, sem ter de instalar *software* complementar no cliente [21].

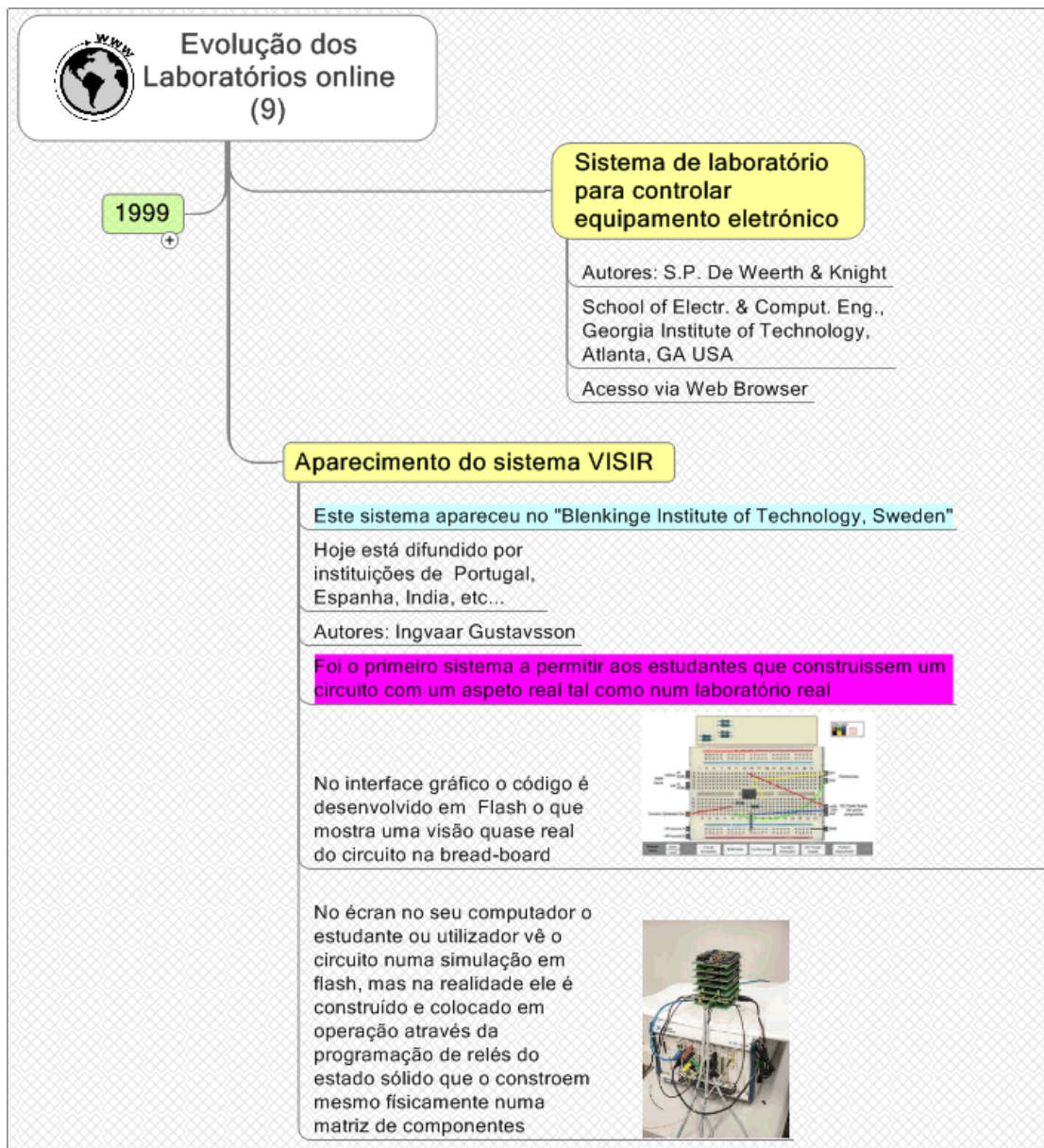


Figura 2.18 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1999 (1ª parte)

O ano de 1999 foi muito importante, tendo-se registado muitas melhorias e desenvolvimentos na área dos Laboratórios remotos e virtuais. Neste ano nasceu o sistema *Virtual Instruments Systems in Reality (VISIR)*, o qual é hoje em dia utilizado em vários países dos vários continentes. Foi o Professor *Ingvar Gustavsson* que iniciou este sistema na Suécia no *Blekinge Institute of Technology (BTH)*. Este projecto foi iniciado em cooperação com a *National Instruments* nos Estados Unidos da América, e a empresa *Axiom Edutech*, também na Suécia, com o propósito de disseminar o conceito dos *online laboratories*, conceito que foi iniciado e criado na *BTH* e depois desenvolvido em colaboração com outras universidades e organizações usando sempre *open source technologies*. Este conceito consiste em adicionar uma opção de controlo remoto a laboratórios tradicionais, tornando-os mais acessíveis a estudantes dentro e fora do *campus* [33], em regime presencial ou não.

A opção da BTH foi criar um único interface que permite aos estudantes reconhecer nos seus próprios écrans de computador, os instrumentos que normalmente utilizam no laboratório. A primeira opção de controlo remoto foi feita para um laboratório de electrónica

e a segunda para um laboratório de processamento de sinais com especial ênfase em experiências envolvendo a análise de vibrações mecânicas.

O sistema de laboratório de electrónica é composto por um écran com uma *breadboard* virtual onde se fazem as ligações, como se estivéssemos numa *breadboard* real, e uma matriz de relés que permite construir os circuitos “desenhados” na *breadboard* virtual [33].

O Projecto *VISIR* foi lançado de modo a permitir haver laboratórios abertos a qualquer utilizador em modo de acesso remoto.

Para suportar a investigação, discussão e melhoria dos sistemas *VISIR* foi criado o *VISIR SIG (Special Interest Group)* onde é possível partilhar ideias, equipamento e materiais pedagógicos de apoio, assim como discutir o desenvolvimento futuro da *VISIR Open Lab Platform*[34].

Existem exemplos de projectos que geram grande interesse, como laboratórios *VISIR* integrados no sistema *iLabs* do *MIT*, e que permitem a partilha de exercícios de laboratório, elaboração e desenvolvimento de uma rede *VISIR*, e integração com tecnologia *LXI*[33].

Um objectivo a atingir é conseguir uma standardização entre os vários sistemas de Laboratórios remotos e virtuais e *remote labs* localizados em todas as universidades à volta do globo, construindo assim uma rede de laboratórios remotos e *online* para os estudantes dentro e fora dos *campus* [35] das universidades e instituições participantes no projecto.

Tal como foi referido antes, e seguindo este objectivo, os utilizadores da rede *VISIR (Virtual Instrument Systems in Reality)*, criaram um *SIG (Special Interest Group)* ligado ao *IAOE (International Association of Online Engineering)*, e que é acessível a todos os utilizadores do sistema *VISIR* e, especialmente aos interessados em ter laboratórios sempre abertos e acessíveis 24/7. Quando os estudantes passam mais tempo no laboratório, tornam-se verdadeiros técnicos e desenvolvem as capacidades de teste e reparação de alguns equipamentos com que trabalham normalmente, e desenvolvem também a capacidade de projectar sistemas que venham a permitir a existência de uma sociedade sustentável [35].

Uma das instituições que mais desenvolveu novas soluções técnicas para o sistema *VISIR* é a *Universidade de Deusto* em Bilbao, que introduziu componentes *VXI* no sistema *VISIR* [33].

O sistema *VISIR* consiste numa arquitectura *client-server*, onde as medidas são feitas utilizando um servidor, e um *Virtual Instrument* com painéis de comando frontais que são mostrados no écran do computador-cliente [36][37].

O que provoca uma diferença significativa entre um estudante remoto e um estudante presencial no laboratório é no fundo a forma como são ligados fios e instrumentos na montagem das experiências. Um estudante remoto utiliza um simulador, ou aplicação em *Flash* (caso do *VISIR*) para permitir ao estudante “ver” um ambiente exactamente igual ao que tem em laboratório, concretamente visualiza uma *breadboard* virtual onde faz as ligações com o rato [36][38], tal como é mostrado na fig. 2.19.

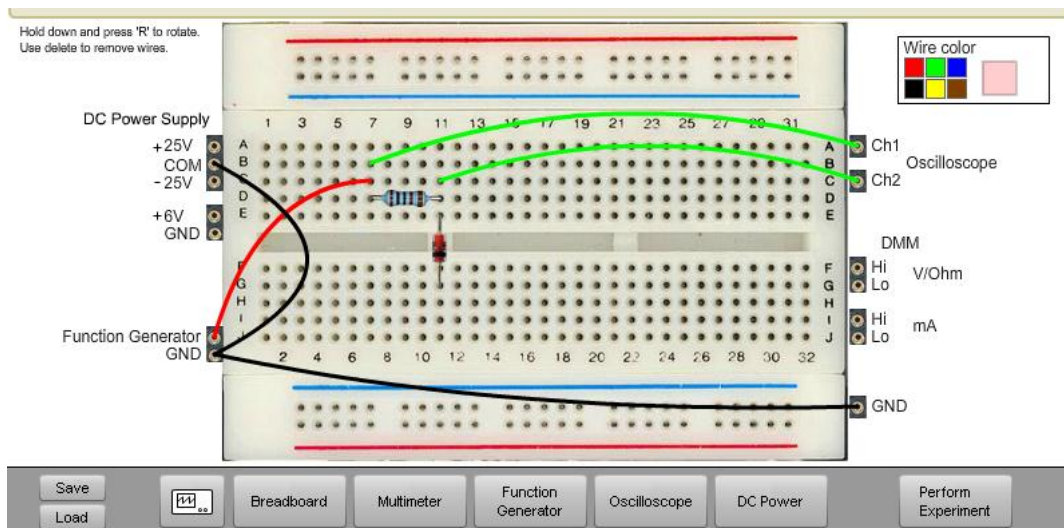


Figura 2.19 - Breadboard virtual do Sistema VISIR[39]

Na realidade este *interface* de *software* vai actuar uma matriz de relés que vão construir o circuito utilizando os componentes existentes na matriz[36][38]. Um aluno em laboratório real faz as ligações directamente com os fios e equipamentos de laboratório real, normalmente também numa *breadboard* ou placa de contactos com soldaduras.

O único equipamento necessário para utilizar este laboratório remoto é um computador com acesso à internet com um *web browser* e um *Flash Player* instalado como *plug-in* do *browser* [37][36]. Assim, o estudante ou utilizador fica com acesso a todas as experiências disponíveis no sistema VISIR. O *software* do cliente é automaticamente descarregado de um *webserver*.

A matriz de relés, mostrada na fig. 2.20, é um circuito controlado remotamente ligado ao servidor por *interface USB* (ou outra), através da qual o circuito que o estudante vai desenhando no seu écran em *Flash* vai sendo construído, com a actuação dos relés que estabelecem as ligações definidas no circuito desenhado no écran.

Fisicamente esta matriz de relés é construída como uma pilha de placas *PCB*, com um *BUS* partilhado que as interliga todas. Os componentes são ligados nas respectivas cartas e interligados aos relés de modo a permitirem as várias combinações que permitem construir fisicamente os circuitos que o aluno vai desenhando na sua *breadboard* virtual, que inclui pinos de ligação aos vários instrumentos de medida, fontes de alimentação, geradores de sinais, etc. Nestes módulos podem ser adicionadas novas cartas com novos componentes, quando é necessário expandir o sistema [36].

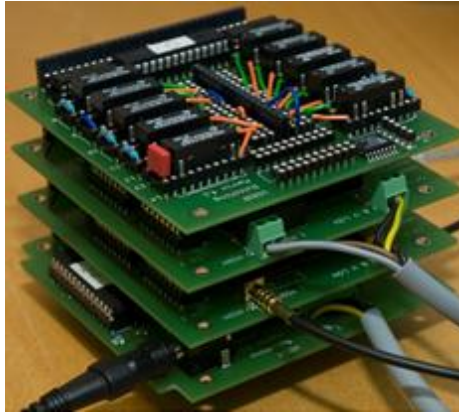


Figura 2.20 - Matriz de cartas VISIR na Universidade de Deusto em Bilbao[39]

Existem nas placas PCB, vários componentes disponíveis (resistências, potenciômetros, díodos, bobinas, amplificadores operacionais, etc). Interligados a esta matriz existem também diferentes instrumentos; Osciloscópio, oscilador, multímetro digital e fonte de tensão DC.

O *software* para a aplicação que corre no cliente é escrito utilizando *Adobe Flash*, que tem vindo gradualmente a ser substituído por *HTML5*. O *software* do lado do cliente é responsável por mostrar a *breadboard* virtual e as suas ligações entre componentes, assim como virtualizar o comando nos painéis frontais dos vários equipamentos de medida, de modo a que o estudante construa os circuitos na *breadboard*, e veja nos aparelhos de medida as respostas às tensões e sinais que aplicou através da fonte DC e do gerador de sinais.

Os painéis frontais de cada instrumento são baseados no aspecto físico do verdadeiro aparelho e tem os comandos reais do aparelho, tal como mostrado no exemplo de osciloscópio da fig. 2.21. Cada painel frontal é baseado no instrumento real e deve parecer o mais idêntico possível e apresentar um comportamento o mais parecido possível em termos dos botões e dos comandos do modelo real [36].

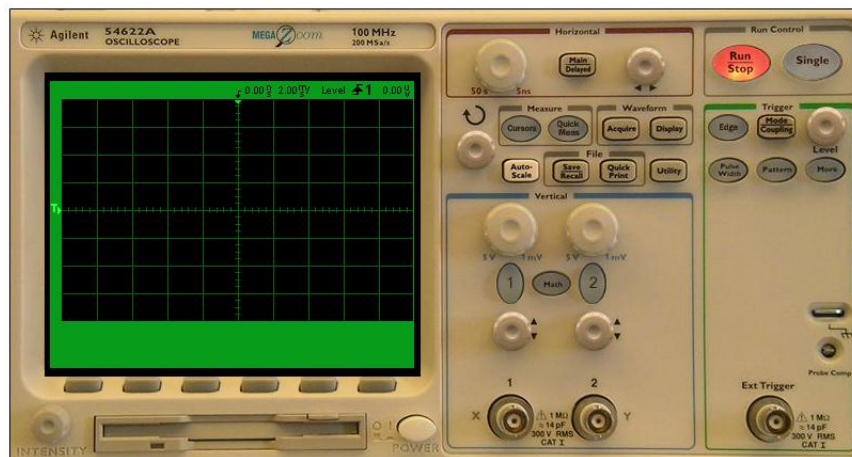


Figura 2.21 - Painel frontal de Osciloscópio do sistema VISIR no ISEP[40]

A seta do rato é usada para actuar os botões tal como se usássemos os dedos ao manipular os comandos dos aparelhos no laboratório real.

O *Graphical User Interface (GUI)* mostra os instrumentos com um elevado grau de realismo e funcionalidades muito semelhantes aos instrumentos físicos reais. Os painéis frontais são feitos propositadamente precisamente para cada instrumento, logo quando queremos mudar de instrumento de medida surge imediatamente o painel frontal desse outro instrumento [36].

Presentemente e além da *BTH (Blekinge Institute of Technology)* existem 12 instituições de Ensino Superior, que integram a rede *VISIR*, e há outras nos EUA e em Marrocos em processo de negociação de adesão à rede:

- Universidade de Ciências Aplicadas (FH), Campus Viena, na Áustria
- Universidade Carinthia de Ciências Aplicadas (CUAS), na Áustria
- Instituto Politécnico do Porto – Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), em Portugal
- Universidade de Deusto em Bilbao, Espanha
- Universidade Nacional de Ensino a Distância (UNED), em Espanha
- Indian Institute of Technology (IIT), em Madras na Índia
- Universidade Nacional de Rosário (Argentina)
- Universidade Nacional de Santiago del Estero (Argentina)
- Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil)
- Instituto Federal de Santa Catarina (Brasil)
- Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro
- Universidade Nacional de Ensino a Distância - UNED – Costa Rica

No sistema *VISIR*, o circuito que está a ser testado é realmente implementado numa matriz de relés, que usa relés do estado sólido para realizar as ligações entre os componentes, e realizar medições de modo fidedigno das grandezas envolvidas.

Continuando a estudar a evolução dos Laboratórios remotos e virtuais, também em 1999, foi iniciado o *Telelabs Project* na *University of Western Australia (UWA)*. Este laboratório é uma aplicação em *Labview*, e requer a instalação do *Labview Runtime Engine*, e também a instalação de várias livrarias do lado do cliente[41].

Também neste ano de 1999 a *Universidade Nacional de Singapura (NUS)* implementou o sistema: *Virtual laboratory with Oscilloscope*, que é um laboratório remoto acessível via Internet através da execução de código *Java*[22].

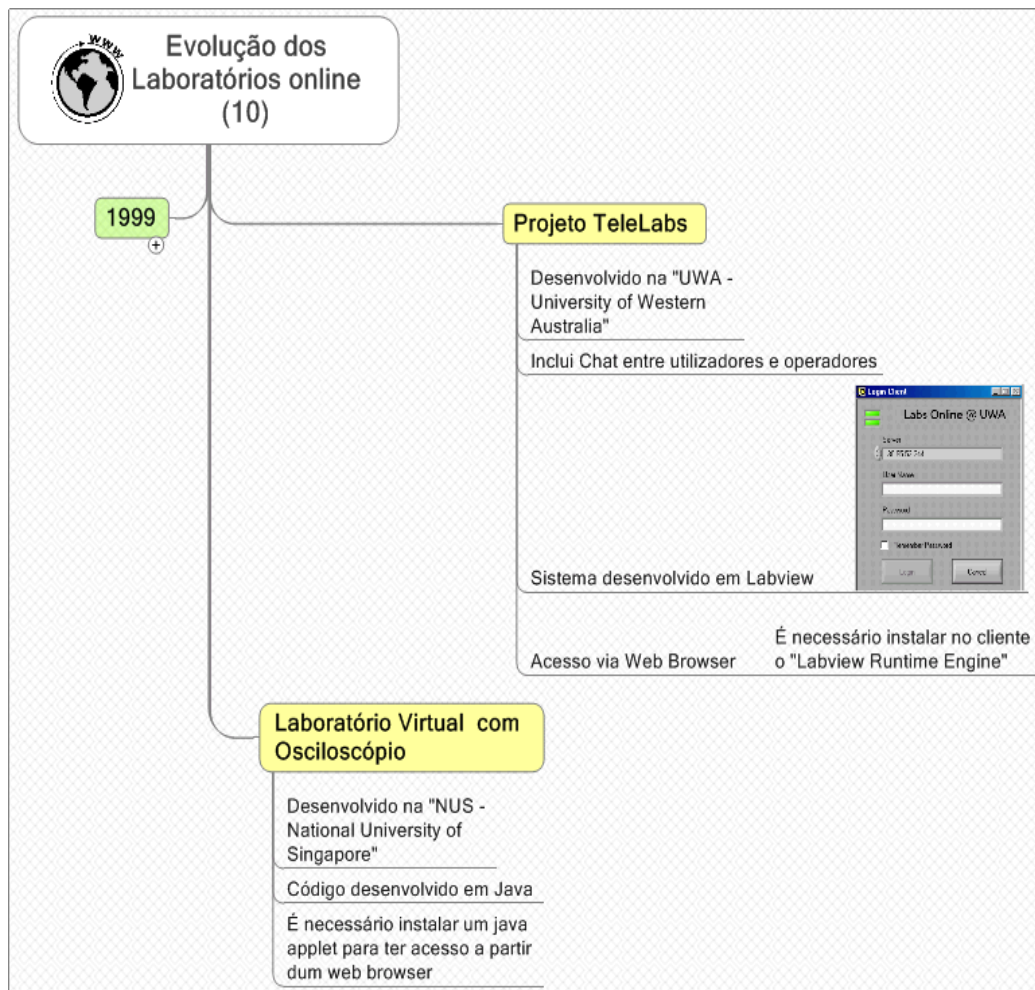


Figura 2.22 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 1999 (2ª parte)

2.3. O BOOM 2000-2010

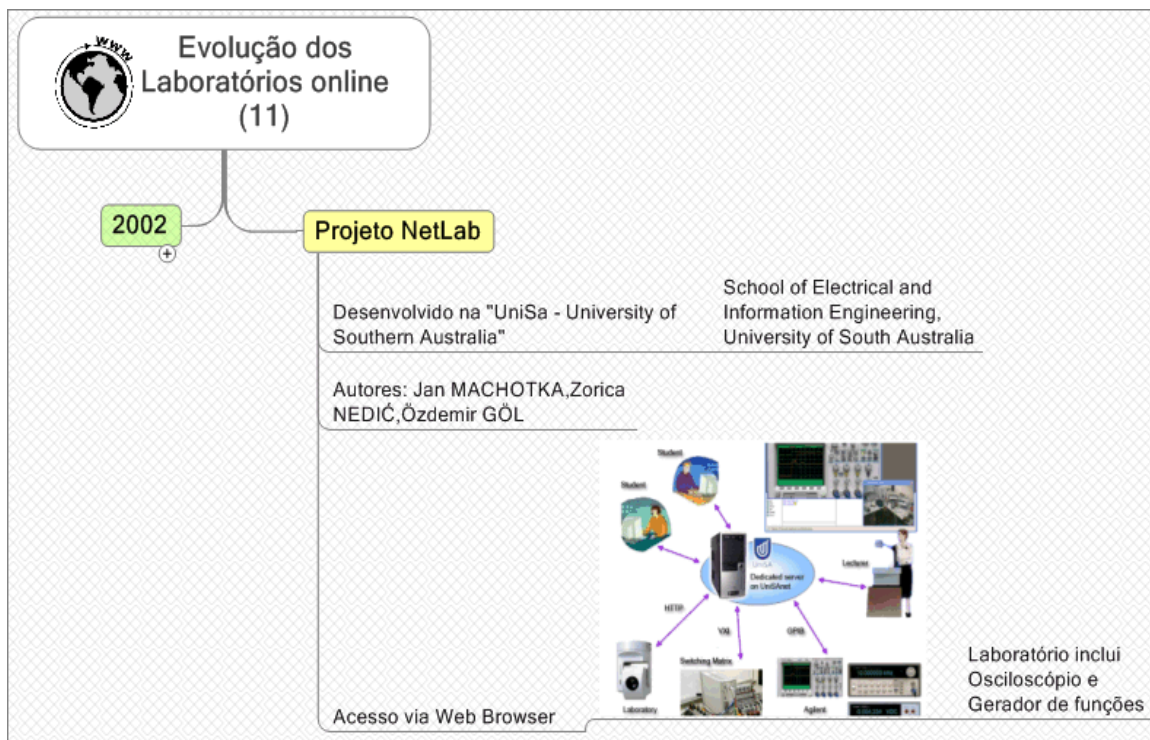


Figura 2.23 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 2002

Em 2002 a *Unisa, Universidade da Austrália do Sul* lançou o projecto *NetLab*, que era composto por uma série de Laboratórios remotos e virtuais, todos controlados através da Internet.

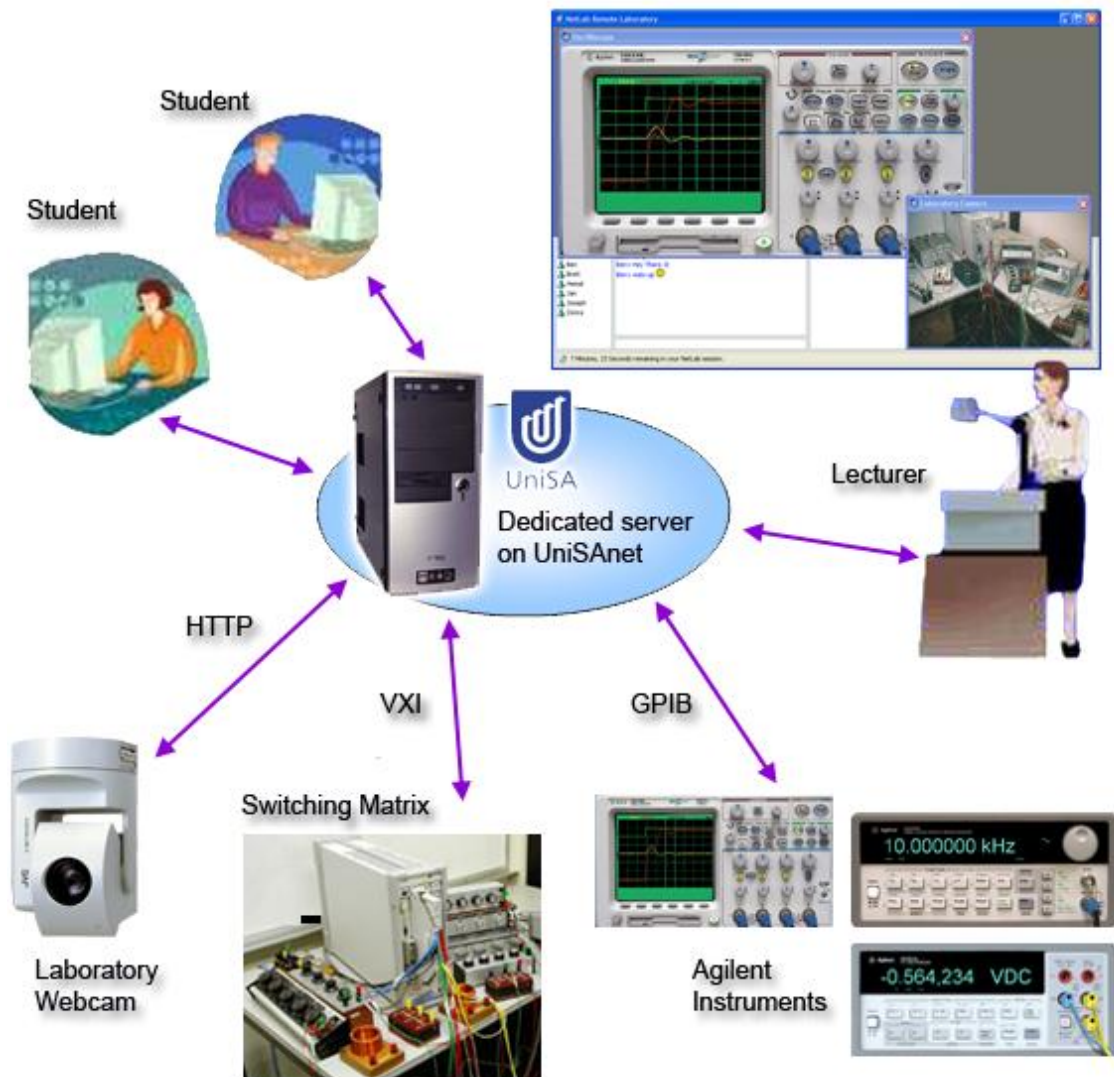


Figura 2.24 - Sistema *NetLab* da Austrália[42]

O sistema **NetLab** (<http://netlab.unisa.edu.au/index.xhtml>) inclui vários dispositivos tais como um gerador de funções, um osciloscópio, vários aparelhos de medida, etc. Na sua cerimónia de apresentação na demo apresentada na 6th *Baltic Region Seminar in Engineering Education* o sistema foi controlado durante 6 Horas a partir de Weismar na Alemanha[42][43].

Este período temporal entre 2000 e 2010 é o período em que mais laboratórios remotos e virtuais surgem, sendo efectivamente o *BOOM* desta tecnologia[12].

Nesta fase estes sistemas vão atingindo a maturidade [44][12], são desenvolvidas várias tecnologias [45][46] e testadas várias integrações de *online labs* e especificamente laboratórios remotos com *LMS's* [47].

Uma característica que traduz a maturidade deste período é o facto de já não se usarem *softwares* proprietários no acesso aos laboratórios e quase todos eles serem acessíveis através de *browsers* sem a necessidade de instalação de qualquer *software* adicional.

Uma área que também é bastante desenvolvida é o *Scheduling*, no fundo a marcação e agendamento dos laboratórios a utilizar por parte dos alunos e outros utilizadores.

Nesta fase são disponibilizados vários sistemas de *online labs* de onde podemos destacar:

- Sistema *MARVEL* [48][49] trata-se de laboratórios muito variados que abrangem as áreas das energias renováveis [48], e mecatrónica [49] entre outros.

O sistema *Marvel* está baseado na *Universidade de Bremen* na Alemanha, e esteve disponível em [50]. Disponibilizava também uma biblioteca técnica *online*. Deste projecto resultou a publicação de um livro *Inputs Marvel Mechatronics Training in Real and Virtual Environments* [51], da autoria de *Dieter Müller*, foi um projecto suportado pelo *Programa Leonardo da Vinci* da União Europeia.

As áreas principais dos laboratórios disponibilizadas eram: o controlo de processos, a robótica e o *CIM (Computer Integrated Manufacturing)* logo foi um projecto bastante ligado à indústria que dispunha de laboratórios remotos e virtuais como podemos aferir da figura seguinte.

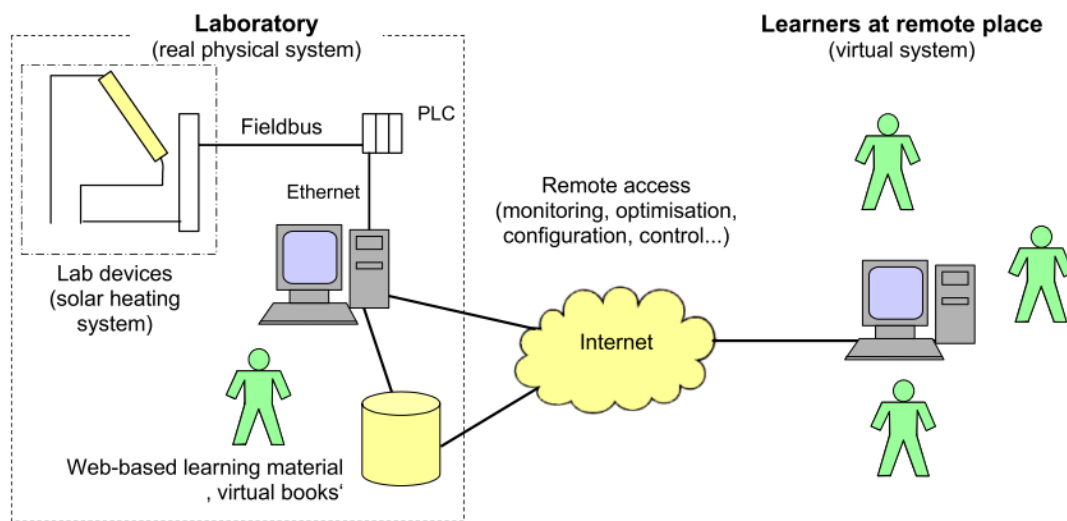


Figura 2.25 - Laboratório remoto *Marvel*[48]

Este projecto como podemos aferir da figura anterior incluía um *PLC*, e permitia trabalhar com o *software SCADA* e com o package *WinCC*, ambos usados na aplicação de controlo de processos industriais.

Os seus objectivos principais eram:

1. Conhecimento teórico e competência operacional para monitorizar processos complexos em locais remotos (usando ferramentas de tecnologia e inovação para monitorizar e controlar os processos)[48].
2. Conhecimento teórico e competência operacional para mostrar a eficiência das diferentes configurações do sistema (usando ferramentas de tecnologia e inovação para a aquisição de dados)[48].
3. Competência para manter sistemas complexos (por exemplo, encontrar falhas) através de métodos adequados e das ferramentas de tecnologia e inovação[48].
4. Capacidade para colaborar com técnicos que falam línguas diferentes e têm antecedentes culturais e profissionais diferentes (por exemplo, numa empresa com várias filiais por toda a Europa)[48].

Neste momento este projecto e ambiente de *online labs* já não se encontra disponível.

A nível pedagógico pedagógico, este projeto pretendia fazer uma auto-avaliação dos resultados obtidos, colocando as seguintes questões:

1. Será que a estrutura pedagógica proposta estará de acordo com os critérios de funcionalidade e usabilidade da *MARVEL*?
2. Até que ponto as necessidades dos estudantes, assim como as dos colaboradores atuais e futuros e dos centros de formação profissionais, serão satisfeitas, como resultado da maior flexibilidade para criar ambientes de aprendizagem?
3. Será que a ligação de sistemas virtuais e reais (ou seja, objetos de aprendizagem virtuais e reais, bem como salas de aula abstractas e ambientes de trabalho concretos) melhora a eficácia pedagógica do processo de aprendizagem?
4. Que diferenças culturais relevantes podem ser observadas?
5. Quais são as vantagens e desvantagens específicas criadas pelo novo ambiente de aprendizagem e da sua configuração, relativamente às diferenças culturais entre os países participantes?

Todas as respostas a estas questões foram aferidas através de questionários a alunos, professores e especialistas das indústrias onde se aplicava o projecto [48].

Em termos pedagógicos o projecto propôs um ciclo de aprendizagem baseado nas experiências que se pode traduzir pelas etapas expressas na seguinte figura:

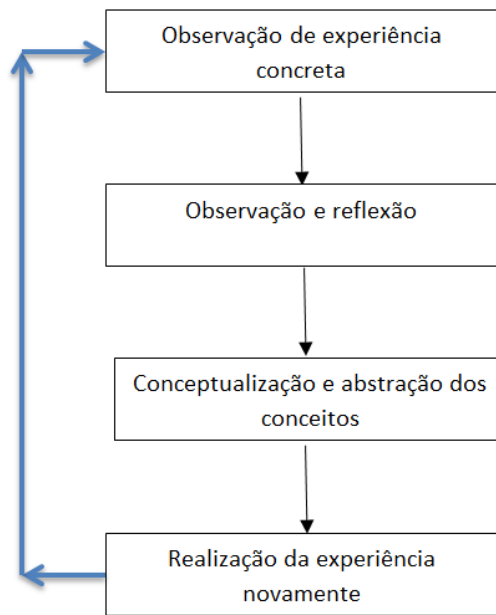


Figura 2.26 - Ciclo de aprendizagem com experiência[48]

Entretanto também durante este período a *Universidad de Ensino a Distância de Madrid (UNED)* foi desenvolvendo vários projectos e tecnologias, como *XML*, *Labview* e *Classes Java* [45], e foi desenvolvido um laboratório de controlo de um servomotor [45], que é um laboratório híbrido, com componentes remotos e virtuais, remoto com o *hardware* envolvido e virtual com a programação e simulação em *Labview*, *Java* e *XML*.

Também na Alemanha, na *Universidad de KaiserLautern* foi desenvolvido um conjunto de laboratórios remotos de física e electricidade baseados em tecnologia *Labview* [52] e com *Java Script*.

Continuam também nesta altura as preocupações com *scheduling* (agendamento) de trabalhos e mesmo preocupações de cibersegurança, para preservar a segurança dos equipamentos e dos operadores contra o uso indevido, intencional ou não.

Por isso são apresentados trabalhos sobre *Firewalls* e proteção de sistemas de *Remote Labs* [53].

Uma boa solução para esta questão é a implementação de um *HoneyPot* à entrada do sistema acessível pela *Firewall* para onde será divergido o tráfego nocivo e *malware*. [54]

Este *HoneyPot* deve correr numa máquina virtual dentro de um dos servidores de controlo dos laboratórios remotos que está "blindado" de todo o restante *software* que corre no *Webserver* que pode ser o *Middleware Controller*.

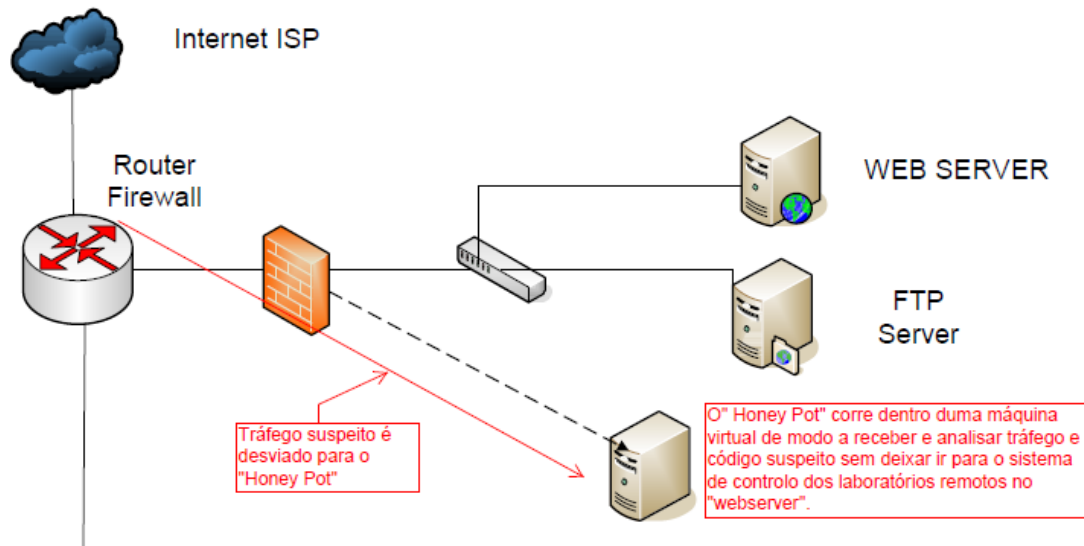


Figura 2.27 - Firewall e Honey pot

Claro que nos laboratórios remotos com *hardware* "sensível", estes sistemas têm de ser mais elaborados para garantir um maior grau de segurança como é o caso de um sistema de controlo de tanques de líquidos desenvolvido na UNED [47] e acessível para o exterior. Claro que normalmente estes sistemas só podem ser acedidos por utilizadores registados e têm sistemas adicionais de segurança, tais como os canos de escoamento que observamos no centro figura seguinte:

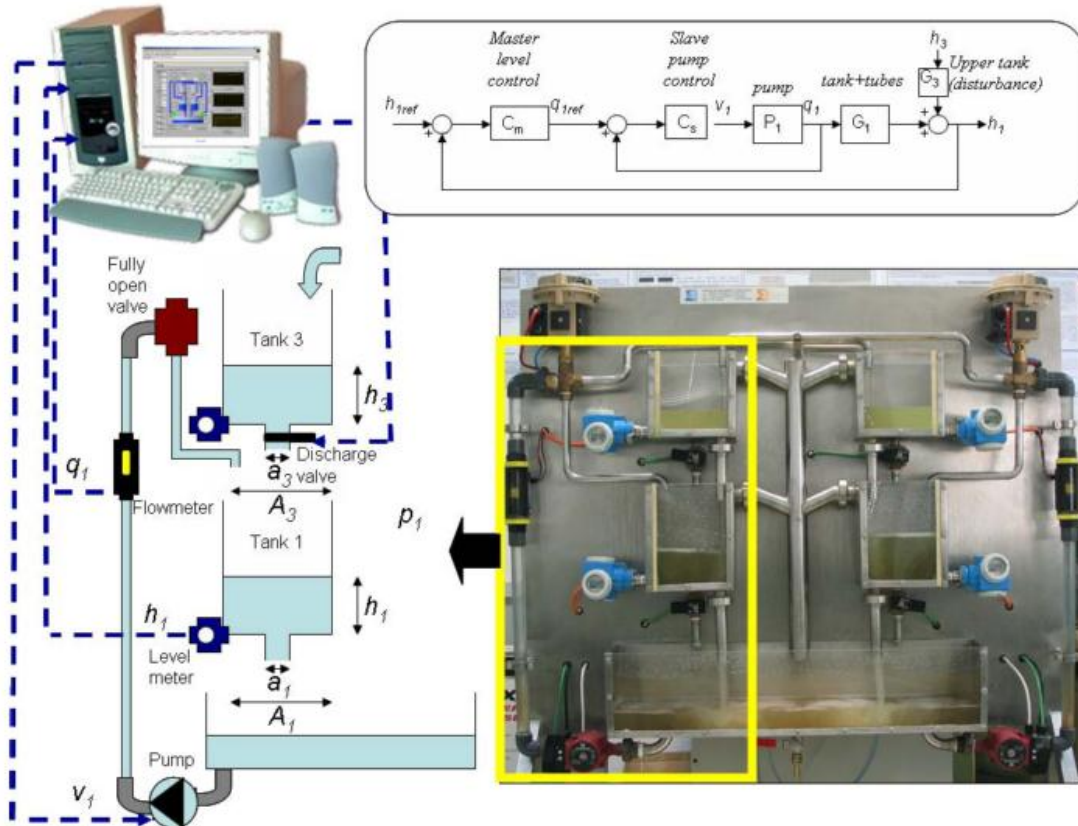


Figura 2.28 - Laboratório remoto com tanques na UNED em Madrid[47]

Também no início de 2002 foi desenvolvido o *I-Labs Project (Internet Assisted Labs)* entre um centro de investigação da *Universidade de Stanford* e uma rede de laboratório *online* alemã da Baixa Saxónia. Foram desenvolvidas experiências na área da óptica e da mecatrónica nesta rede.

As experiências consistem no controlo de laboratórios através de *PLC*'s.

Na área da óptica são realizadas experiências com lasers, como o que é mostrado a seguir:

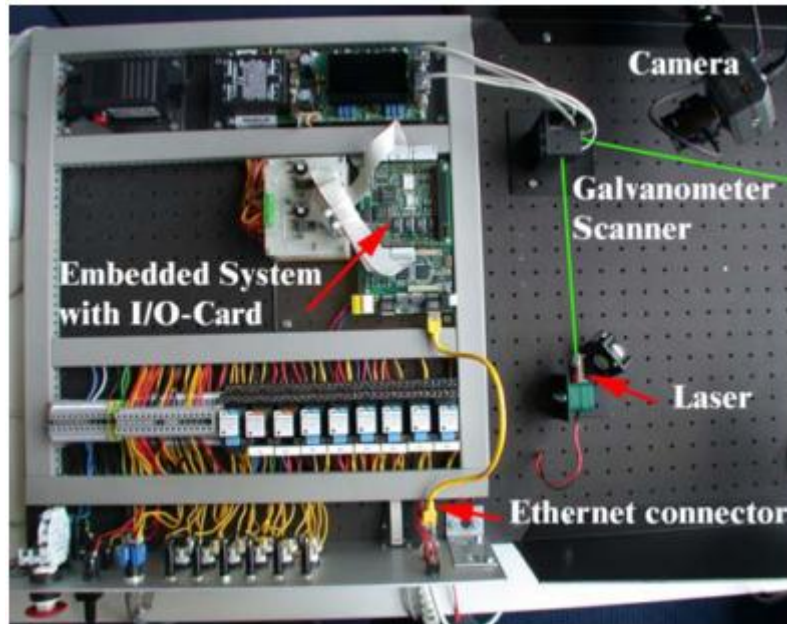


Figura 2.29 - Laboratório remoto de controlo de Laser do projecto *I-labs*[31][44]

Também na *Universidade de Siena* em Itália foi desenvolvido um laboratório remoto, o *ACT Automatic Control Telelab*, [44][31] que utiliza o *software Matlab/Simulink* para simular processos de controlo.

Na Austrália foram desenvolvidos vários laboratórios como o *TeleRobot* de 1994 a 2004, que depois foi complementado com outras experiências desenvolvidas em *Labview* e *Java*, um ferro eléctrico de engomar, uma máquina de manipulação de areia, controlos de posição e de torção de vários dispositivos. [41] [55]

Na *Universidade Técnica de Ilmenau* na Alemanha foi construído o laboratório remoto *IHS (Integrated Hardware and Software Systems)* que permite controlar um elevador como é mostrado na figura seguinte [55]:

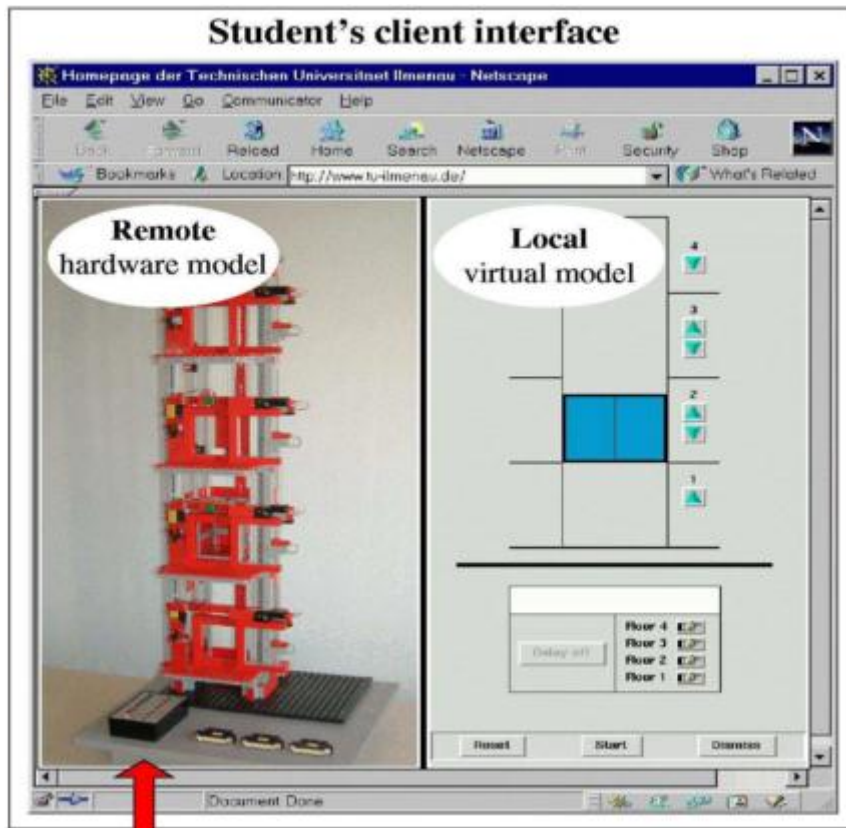


Figura 2.30 - Elevador controlado remotamente na *Universidade de Ilmenau* na Alemanha[55]

O dispositivo dispõe de uma câmara *web* que mostra o dispositivo físico real ao mesmo tempo que é mostrado em simulação num modelo virtual no écran do cliente.

Estes são alguns exemplos de sistemas de laboratórios remotos desenvolvidos neste período de 2002 a 2007.

Em 2008 foram iniciadas as grandes redes australianas apresentadas a seguir e que tiveram patrocínio e apoio do governo australiano.

Em 2009 na *Universidade de Buckwell* na Austrália foi desenvolvido o projecto *LabShare*, disponível em (<http://www.labshare.edu.au/>) que foi construído por um conjunto de 5 universidades: *Buckwell University*, *University of South Australia*, *Curtin University*, *RMIT University* e *University of Technology, Sidney*[56].

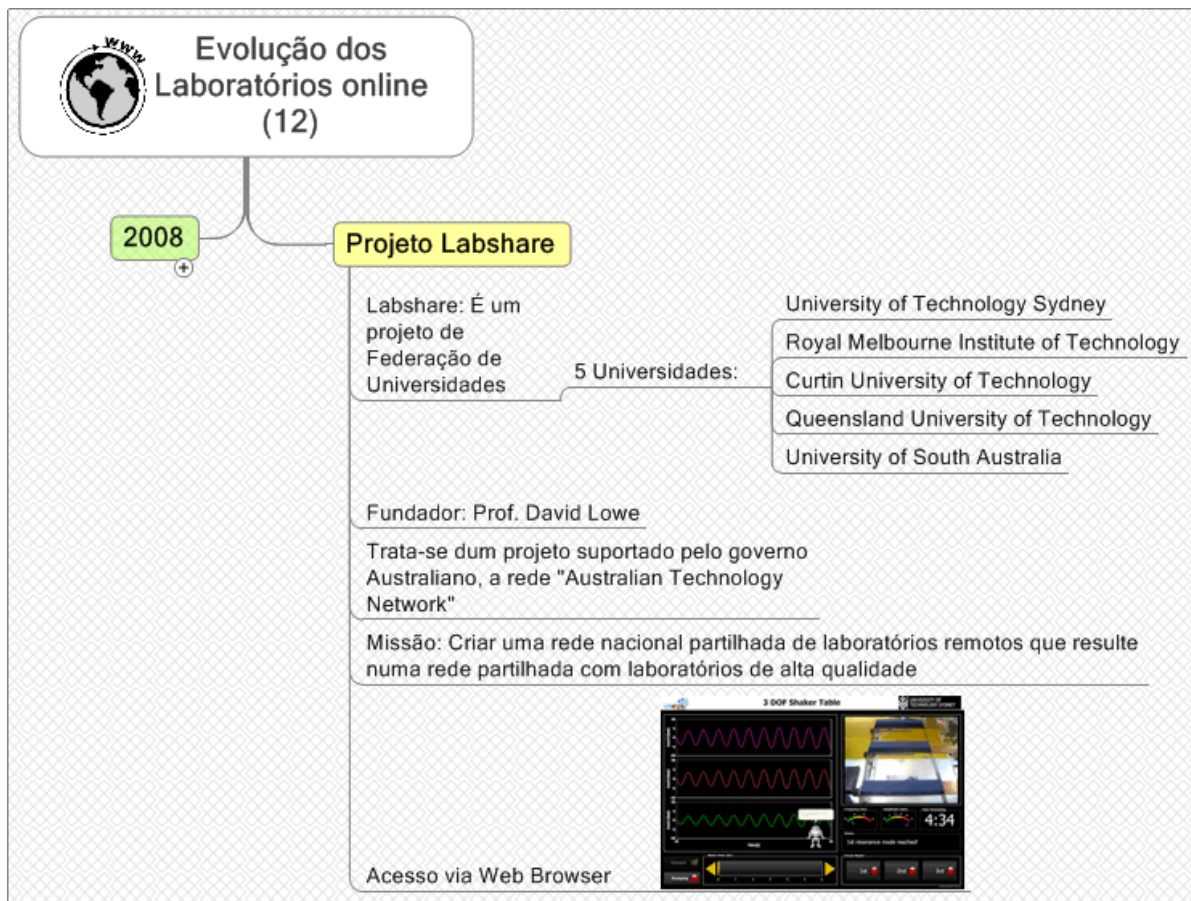


Figura 2.31 - Evolução dos laboratórios remotos e virtuais em 2008

Este projecto cujo responsável é o Prof. *David Lowe* tem laboratórios essencialmente na área da Física e é de livre acesso para alunos registados. O seu écran de acesso tem o seguinte aspecto:

Remote Labs

Enriching digital education

<p>Coupled Tanks - Generation II</p> <p>This rig was designed to allow students to develop a simplified >>more..</p>	<p>Shake Table 2DOF</p> <p>The shake table rig with base displacement measurement allows advanced >>more..</p>	<p>Labshare Channel</p> <p>Click here to see additional videos of the experiments in action</p>

The Labshare Institute

The Labshare institute was wound up by mutual agreement in early 2015. This website, the rig catalogue and the Labshare helpdesk are now maintained by the UTS remotelab group. Please submit requests for trials, feedback and support requests as per instructions 'getting started'. If you require UTS remotelab consulting services, please proceed as for 'support' but change the subject line to 'request consulting services'.

Partnered with:



As seen in:



Figura 2.32 - Página de entrada do projecto de laboratórios remotos australiano *Labshare*[57]

Tem ao dispor dos utilizadores várias experiências na área de electrónica, física, mecânica, e até mesmo um túnel de vento. Apresenta uma série de vídeos explicativos das experiências.

No entanto, outra página (<http://www.labshare.edu.au/project>) referida no projecto, diz-nos que o mesmo foi concluído em Julho de 2011 e não será mais actualizado, no entanto o site mantém-se no ar e operacional, pelo que o acoplamento energético mantém-se apesar disso.

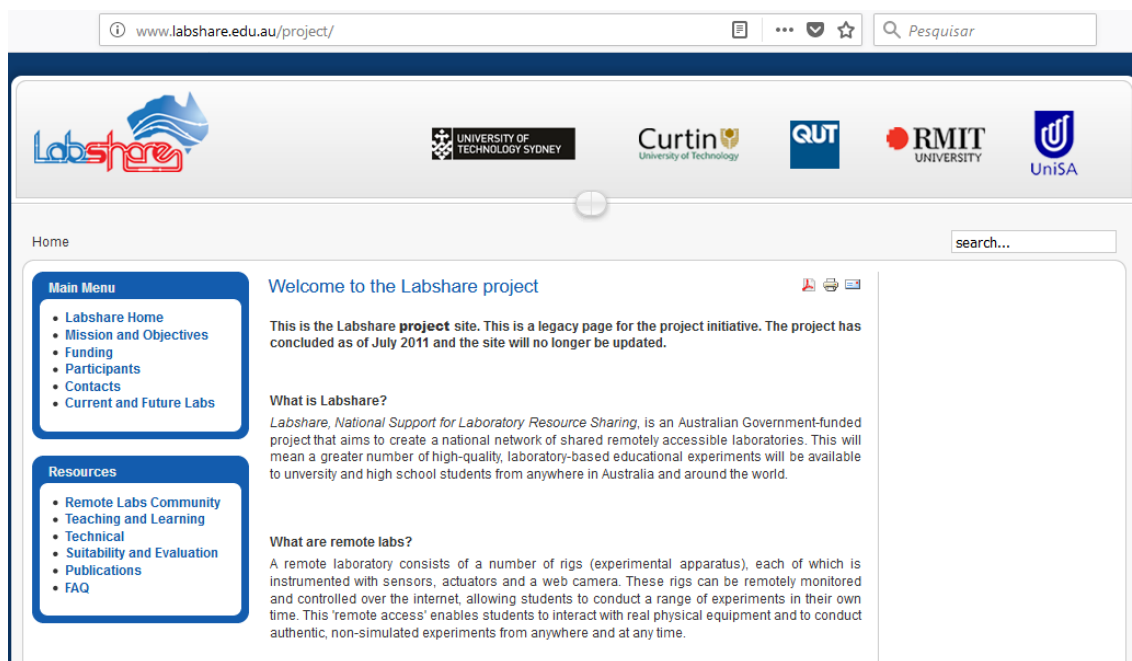


Figura 2.33 - Página descritiva do projecto australiano Labshare[56]

2.4. Maturidade e adaptação aos meios envolventes: 2010 - presente

Tal como na *Lei de Darwin* da teoria da *Origin of Species*, na qual as espécies animais se vão adaptando por elas próprias ao ambiente envolvente, o mesmo princípio e forma de adaptação parece observar-se no mundo dos Laboratórios remotos e virtuais.

Podemos então defender que as linhas de desenvolvimento dos Laboratórios remotos e virtuais são influenciadas por dois factores principais:

1. O acoplamento energético entre o sistema, e os seus atores... i.e. as pessoas que o construíram, mantêm e usam o sistema de Laboratórios remotos e virtuais.
2. As condições políticas, geográficas, e económicas do ambiente envolvente, os quais constituem um dos factores mais determinantes para a evolução dos Laboratórios remotos e virtuais, e que no fundo são as condicionantes do meio ambiente.

Como um resultado directo de uma linha da *Research Question* proposta (“**Os laboratórios remotos adaptam-se ao ambiente envolvente?**”), outra linha de estudo que pode ser seguida para ajudar a tirar as conclusões e as predições pretendidas, será estudar o ambiente envolvente de cada instituição e/ou federação e o conjunto de Laboratórios remotos e virtuais que ela desenvolveu, assim como a sua história de desenvolvimento. Assim, teremos como objecto de estudo pares: Escola/Laboratórios remotos e virtuais. Este estudo levará em consideração a capacidade de adaptação ao ambiente envolvente e os acoplamentos energéticos existentes com as pessoas que criaram e mantêm cada conjunto de laboratórios, e que vão ser objecto do estudo.

Um exemplo típico desta situação é a Austrália, onde os Laboratórios remotos e virtuais registaram um grande desenvolvimento, devido às longas distâncias entre cidades australianas, e também devido ao facto de as universidades australianas terem um número

considerável de alunos *offshore*, por exemplo em Singapura, na Malásia, na Indonésia, etc... Com este tipo de ambiente envolvente, é natural que as universidades australianas desenvolvam formas de chegar mais perto a todos os estudantes que fisicamente não residem nos seus *campus*.

Rede Nacional Australiana de Laboratórios remotos e virtuais

Na Austrália tem-se registado um grande desenvolvimento dos Laboratórios remotos e virtuais, porque as distâncias entre cidades são muito grandes, e naturalmente as universidades e instituições de ensino superior australianas tentam encontrar sempre formas de atrair mais estudantes, mantendo uma elevada qualidade no ensino ministrado, especialmente através de um sistema muito evoluído de *e-learning* e *b-learning*.

Neste contexto, o governo australiano tem encorajado e financiado um programa nacional de desenvolvimento dos Laboratórios remotos e virtuais. Este programa, levou à construção de uma rede nacional de Laboratórios remotos e virtuais chamada *Labshare Network or Labshare Consortium* [56]. Esta rede foi constituída no Verão de 2008 pelo governo Australiano com o propósito principal de disponibilizar uma rede nacional de laboratórios remotos que resulte numa rede de laboratórios de alta qualidade, sempre disponíveis para os estudantes. Esta rede não tem fins comerciais e o seu propósito é suportar o ensino da engenharia na Austrália.

O responsável por esta rede é o Prof. *David Lowe* e esta rede é suportada num consórcio que inclui as seguintes instituições:

- *University of South Australia*
- *Royal Melbourne Institute of Technology*
- *University of Technology Sydney*
- *Royal Melbourne Institute of Technology*
- *Curtin University of Technology*
- *Queensland University of Technology*

Rede Nacional Indiana

Existe também uma iniciativa governamental na Índia para desenvolvimento dos Laboratórios remotos e virtuais, revelando mais uma vez uma situação de adaptação ao meio ambiente. Na Índia as universidades não têm meios financeiros para adquirir os equipamentos necessários para construir laboratórios totalmente equipados. Por isso, o governo indiano tomou a decisão de financiar uma rede nacional de laboratórios remotos com vários equipamentos e vários tipos de laboratórios remotos e virtuais, cobrindo várias áreas da ciência. Matemática (*STEM*), Electrónica, física, química, etc... Esta rede é usada não só pelas Universidades, mas também por toda a rede de escolas do ensino secundário. Assim esta rede adaptou-se ao ambiente envolvente, servindo todo o universo de pessoas que precisam de utilizar laboratórios, conseguindo assim uma grande racionalização de recursos humanos e materiais, ao permitir a partilha de todos estes equipamentos por um número tão grande de utilizadores.

Este projecto é uma iniciativa do Ministério Indiano do Desenvolvimento dos Recursos Humanos em colaboração com a missão nacional da educação através da implementação das novas tecnologias, e é acessível na Internet através do endereço: <http://www.vlab.co.in>

Figura 2.34 - Página de entrada da rede nacional indiana de laboratórios remotos *online*[58]

O projecto inclui as seguintes instituições:

- *ITT* em Delhi, Mumbai, Kanpur, Kharagpur, Madras, Roorkee, Guwahati, and Hyderabad
- *Amrita University*
- *Dayalbagh University*
- *Nit Karnataka*
- *Coe Pune*

Tal como foi mencionado antes, estes Laboratórios remotos e virtuais, são aplicáveis a vários níveis de educação, secundário, pré-universitário, universitário sendo também aplicáveis a mestrados e doutoramentos, assim como a actividades de investigação. Logo a rede tem uma absoluta abrangência nacional na Índia. Adicionalmente, porque os alunos podem usar estas experiências para actividades de auto-estudo e desenvolvimento pessoal, conduzindo as suas próprias experiências, esta rede apresenta a grande vantagem de aumentar o interesse dos alunos pelo conhecimento, e aumentar a sua curiosidade pelos temas a aprender. Tal ajuda os alunos a adquirirem novas competências práticas e experimentais e a desenvolver conceitos e competências mais avançadas em actividades experimentais.

Estes laboratórios remotos e virtuais podem ser incluídos em cursos acessíveis através de *LMS* (*Learning Management Systems*) que incluem várias ferramentas de aprendizagem, tais como vários recursos da *web*, aulas teóricas em vídeo, apresentações animadas, fóruns, questionários diversos e auto-avaliações.

Outra grande vantagem destes Laboratórios remotos e virtuais, é claramente económica, pois permitem a partilha de equipamentos e recursos, que doutra forma estariam apenas acessíveis a um número limitado de utilizadores, numa área geográfica específica e reduzida. Assim podem ser partilhados entre um grande número de utilizadores dispersos por uma grande área geográfica.

Federações de Laboratórios Remotos

Hoje em dia existe uma tendência para criar federações de Laboratórios remotos e virtuais, uma vez que esta estratégia tem várias vantagens, e permite partilhar *sharable education architectures* (Arquitecturas de educação partilhadas).

Alguns exemplos de federações de Laboratórios remotos e virtuais na internet com acesso público livre são:

1. *iLab Shared Architecture from MIT (Massachusetts Institute of Technology)* [59][60][61][62]
2. *CASPiE Project* [59]
3. *Lila Project* [63][62]
4. *Lab2Go* [63][62]
5. *ISILab* [63]
6. *DCL* [63]
7. *WebLabDeusto* [63][60][64][65][61][62]
8. *Labshare (Sahara)* [63][60][64][65][61][62]
9. *VLCAP (Indian National Network of Remote Labs)* [66][61]
10. *UNILABS*[67][68]
11. *ComPADRE*[69]
12. *Go-Lab* [17][62]
13. *VISIR Open Platform 5.0* [21] [70]
14. *RexLab* [32][71][72][73][74]

Considerando a lista acima apresentada, podemos concluir que as federações de Laboratórios remotos e virtuais estão a crescer no universo dos laboratórios remotos e virtuais.

Este tipo de federações apresenta várias vantagens, tais como [33]: a inclusão de várias ferramentas de desenvolvimento e modelos num mesmo ambiente; a existência de documentação de suporte num ambiente *cloud*; um alto nível de escalabilidade que permite a partilha de vários recursos pedagógicos, que podem ser usados por todos os estudantes e professores das organizações que compõem a federação [66]; a melhoria do serviço no acesso a laboratórios remotos. Isto permite também o uso de várias *authoring tools* que podem ser usadas para produzir os conteúdos interactivos que suportam a federação.

O conceito de federação torna também possível desenvolver módulos de *virtual labs* interactivos, suportados numa vasta documentação pedagógica como apresentações, simulações, animações, peças de áudio e vídeos técnicos, que podem ser usados por todos os estudantes de todas as instituições.

O uso de federações de laboratórios pode também contribuir para reduzir os custos de construção dos laboratórios remotos e virtuais, e permitir o uso de diferentes tecnologias para publicação de conteúdos pedagógicos na web.

Torna-se então possível construir uma *framework* que inclua várias funções do servidor de **service broker** tais como agendamento de trabalhos e experiências, sistemas de *login* e autenticação, e gestão de bases de dados de utilizadores e trabalhos. Essa *framework* poderá também conter sistemas de busca de trabalhos e experiências por indexação de vários temas.

Outra grande vantagem da organização dos laboratórios em federação é o aumento do nível de cibersegurança do ambiente em que os utilizadores trabalham, pois pode ser criada uma entrada comum para todos os trabalhos e experiências, como também é possível avisar os estudantes e utilizadores sobre as condições de segurança dos seus *browsers* e das actualizações de segurança que devem fazer para aumentar o nível de segurança [75] dos seus próprios computadores.

Finalmente podemos referir que as federações de Laboratórios remotos e virtuais permitem a implementação de uma política comum de segurança e a integração dos seus laboratórios num LMS, CMS ou RLMS (*Remote Laboratory Management System*) [61] para servir de suporte pedagógico aos vários laboratórios, disponibilizando variada documentação de apoio.

Análise das Federações de Laboratórios Existentes

1. *iLab Shared Architecture from MIT (Massachusetts Institute of Technology)* [59][60][61][62][76]

O MIT - *Massachusetts Institute of Technology*, desenvolveu um *software* que suporta uma série de funcionalidades necessárias à gestão de uma rede de Laboratórios remotos e virtuais, incluindo funções de *middleware*. Este sistema completo de gestão de *Laboratórios remotos e virtuais*, tomou o nome de *iLab*, e permite disponibilizar e partilhar laboratórios remotos e virtuais através de escolas e universidades de todo o mundo [59].

A arquitectura *iLab* é uma plataforma independente extremamente rápida, com uma elevada escalabilidade, pois podem ser adicionadas experiências e módulos de uma forma relativamente fácil sempre que tal seja necessário. Permite uma gestão eficiente dos recursos (os *laboratórios remotos e virtuais*) pelos seus fornecedores (quem os cria e mantém), enquanto preserva também a autonomia da faculdade e dos seus estudantes que os usam, pois cria um ambiente “local”, quase uma *VPN*, para os seus professores e estudantes [59].

Os objectivos principais deste Projecto *iLab* são disponibilizar uma *framework* e *interface* unificada que permita suportar o acesso a uma grande variedade de *online laboratories* [59].

Os princípios subjacentes ao projecto *iLab* são:

- Permitir o livre ensino a faculdades, universidades e estudantes
- Providenciar o acesso dos estudantes a equipamentos reais de laboratório.
- Manter um ambiente técnico com um elevado grau de escalabilidade dentro da federação e servir assim um número potencialmente ilimitado de utilizadores e laboratórios remotos e virtuais.
- Através da arquitectura *ISA (Internet Shared Architecture)* é proporcionada uma fácil administração para todos os participantes no sistema: entidades proprietárias dos laboratórios, administradores de sistema, professores e estudantes.
- O ambiente *ISA* deve permitir que o equipamento de laboratório possa ser acedido através de diferentes *interfaces*, adaptados a diferentes níveis de abordagem pedagógica e também em termos técnicos a diferentes ambientes de computador, ou seja diferentes sistemas operativos para diferentes utilizadores.
- O *iLab Project* começou a ser desenvolvido no MIT em 1998 por J.A. de Alamo. O primeiro dos *Online Labs* que foi desenvolvido sobre o ambiente *ISA* foi uma nova versão do *Microelectronics WebLab* no fim de 2004 [59].

Do ponto de vista técnico, existem dois tipos de experiências disponíveis no *iLab*:

- **Batched:** Este é o tipo de experiência em que a mesma é completamente definida antes do início da execução [59].
- **Interactive:** Neste tipo de experiência o utilizador pode observar e modificar o decurso da experiência em tempo real [59].

O sistema *iLab Network* está espalhado ao longo de todo o mundo. O primeiro registo que há do uso internacional deste sistema data do fim de 2000, no contexto de colaboração entre o *MIT* e duas universidades em Singapura, o qual foi chamado *SMA – Singapore MIT Alliance* [59]. Outra parceria foi formada com a *Universidade Calmers* na Suécia o que permitiu que 350 estudantes desta universidade pudessem utilizar este ambiente[59].

Hoje em dia o ambiente *iLabs* está disseminado por todo o mundo, e as experiências dos sistemas *iLabs* são utilizadas em diferentes cursos em 18 universidades na Europa, Austrália, África e Estados Unidos [59].

Num período de quatro anos e meio o sistema registou mais de 73.000 experiências realizadas por 240 estudantes do *MIT* e 3.300 estudantes à volta do mundo [59].

O sistema *Isa* é também utilizado na China num grupo liderado pela *Universidade Dalian*[59].

Este sistema está especialmente difundido na Austrália com especial incidência na *Universidade de Queensland*, que lidera a parceria composta pelo *RMIT (Royal Melbourne Institut of Technology)* e a *UTS (University of Technology Sydney)*.

O sistema *iLab* também está a crescer em África, e é agora utilizado numa parceria formada por 3 universidades africanas: *Obafemi Awolowo University* na Nigéria, *Makarere University* no Uganda e a *Universidade de Dar-es-Salaam* na Tanzânia.

Esta parceria destas 3 universidades africanas é patrocinada pela *Fundação Canergie* de Nova York [59].

2. Projecto *CASPIE* [77] [59]

O Centro para a “autêntica prática da ciência na educação” - ***Center for Authentic Science Practice in Education (CASPIE)*** é uma colaboração multinacional que tem como objectivo aumentar a investigação autêntica na área da química no ensino secundário[77].

Os principais objectivos deste projecto são explorar a química utilizando diversos métodos e experiências, tal como a seguir se descreve:

- O Projecto *CASPIE* tira vantagem das diferentes potencialidades e necessidades de cada um dos diferentes parceiros, de modo a desenvolver um programa que:
 - Forneça aos estudantes do primeiro e segundo ano acesso a experiências que permitam desenvolver algumas linhas de investigação básica;
 - Crie um grupo de investigação em ambiente colaborativo entre os estudantes num laboratório.
 - Providencie o acesso a instrumentação avançada para todos os membros de uma rede colaborativa que possa ser usada para experiências a nível secundário;
 - Facilite às faculdades o desenvolvimento de projectos de investigação de modo a permitir aos seus estudantes participar nestas investigações.

- Crie linhas de investigação dirigidas a mulheres e minorias adaptadas a cada instituição ou parceiro [77].

3. Projecto *Lila* [63][62] [78]

O Projecto *Lila* [79] é outro projecto que consiste numa biblioteca de laboratórios remotos e virtuais que usam mundos virtuais para permitirem aos estudantes que trabalhem num ambiente colaborativo.

O projecto *Lila* é constituído por um consórcio de oito universidades e três companhias que construíram a plataforma. Os estudantes fazem *login* no seu próprio ambiente de mundo virtual (*Open Wonderland*) utilizando os seus próprios *Avatars*. Naturalmente uma boa *interface* gráfica constitui por si só uma vantagem para uma correta visualização das experiências a realizar e motiva muito mais os estudantes, permitindo-lhes verificar com clareza as acções que estão a realizar e os seus resultados. O ambiente acaba por ser algo semelhante a um jogo *online*. Outra grande vantagem é a possibilidade de os estudantes trabalharem e interagirem em tempo real, usando os seus próprios *Avatars*, tal como num ambiente semelhante a *Second Life*.

O uso de ambientes virtuais no ensino da engenharia são uma boa opção, pois permitem visualização 3D, utilizar ambientes colaborativos e apresentam um elevado potencial para adicionar informação de contextualização nos vários ambientes.

O Projecto *Lila* [80] cria um repositório num portal onde estão incluídos laboratórios remotos e virtuais disponibilizados por várias universidades. Todas as experiências são disponibilizadas em ambiente *SCORM* (*Sharable Content Object Reference Model*), e todos os objectos pedagógicos podem ser descarregados com *SCO's* - *Sharable Content Objects*, de tal forma que lhes permite a reutilização noutro ambiente compatível com *SCORM*, quer seja um *CMS* ou *LMS*.

O portal do projecto *Lila* permite o acesso a sistemas de marcação e controlo dos laboratórios disponíveis, como sendo uma parte integrante do *SCO*, que é “entregue” ao portal *Lila* através de um *LMS*[63].

O acesso às experiências é possível através do portal *Lila*, ou do *LMS* ligado ao sistema e acessível através de *URL* próprio.

Quando o utilizador é autenticado para entrar no ambiente no *LMS*, ele é automaticamente autenticado no ambiente de acesso às experiências. Antes do estudante aceder ao sistema para realizar a experiência, o professor deve previamente fazer a marcação da experiência para o estudante no sistema de gestão do *LMS* [63].

4. *Lab2go* [63][62] [81]

O sistema *Lab2go* é um portal disponibilizado pelo *GOLC* [82], que funciona também como um repositório, e disponibiliza uma estrutura comum para entidades disponibilizadoras de Laboratórios remotos e virtuais de todo o mundo [63][62]. Este portal regista uma importante participação.

O projecto *Lab2go* é inspirado pela semântica da *Web 3.0*.

O principal objectivo deste projecto é reunir *designers*, investigadores, professores e estudantes na área de laboratórios remotos e virtuais e oferecendo uma plataforma *web* para

partilhar as suas experiências. A descrição que é feita dos laboratórios remotos e virtuais na base de dados do sistema, permite simplificar o processo de procura por determinada informação ou tipo de experiência. Tal é conseguido através das tecnologias de análise semântica que permitem uma procura eficaz dos dados pretendidos. Para que tal ocorra é adicionada meta-informação à estrutura de dados sobre os laboratórios de modo a facilitar a procura. Tal introduz uma maior facilidade de utilização e traduz-se numa enorme melhoria no recurso a utilizar, neste caso o laboratório em questão [81].

Para garantir que a procura de informação e dos laboratórios é fácil e eficiente, o sistema *Lab2go* criou uma ontologia nodal genérica baseada em várias propriedades dos laboratórios (virtuais, remotos e híbridos), das experiências, dos *URLs* de acesso, dos *RLMI* (*remote management laboratories interface*), das suas características, etc.

A ontologia que foi desenvolvida consiste nas propriedades das experiências, na sua descrição científica, na sua terminologia, na sua documentação de suporte, e nos tipos de dados definidos para o *DublinCore*[83].

A contribuição portuguesa para este portal consiste nas páginas *web* desenvolvidas pela *Universidade de Coimbra* [84], e pela *FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto* [85], e pela *Universidade do Minho*.

5. *ISILab*[63] [86]

O *ISILab* é um sistema de laboratórios remotos educacionais utilizados essencialmente para o ensino da electrónica. O seu nome em inglês é *Internet Shared Instrumentation Laboratory on.NET framework* [63][87].

O *ISILab.NET* é construído em *WSRF.NET* [31], é um conjunto de ferramentas utilizado para o desenvolvimento de *web-services* compatíveis com *WSRF*. O *WSRF.NET* é um projecto *open-source* que “corre” sobre a plataforma *Microsoft.NET*. Este sistema de laboratórios tem como alvo a execução de medidas em circuitos electrónicos compostos por amplificadores, filtros, conversores *AD*, etc...

O circuito seleccionado é dinamicamente ligado aos instrumentos quando o utilizador o define e mantém-se ligado o tempo necessário para realizar as medidas necessárias [87].

6. *DCL* [63]

O sistema denominado *Distributed Control Lab (DCL)*, é um laboratório virtual existente no *Hasso-Plattner-Institute* em Potsdam, o qual permite a utilização de experiências disponibilizadas nos seus laboratórios remotos para fins de ensino [88].

A infra-estrutura e o sistema *DCL system* foram utilizados no projecto europeu *Vetrend*.

Esta federação de laboratórios disponibiliza experiências nas áreas de física, electrónica e automação, e a filosofia destes Laboratórios remotos e virtuais é: *Experiment as a Service* [88].

A federação *DCL* disponibiliza também um sistema de marcações para os utilizadores, que lhes permite escolher a data e a hora em que irão realizar as experiências. Existe também uma autenticação do sistema que garante o acesso às experiências e implementa sistemas de prioridade, que permite definir quais os utilizadores autorizados a realizar as experiências primeiro, dependendo da sua identidade e do seu papel no sistema.

7. **WebLabDeusto** [63][60][64][65][61][62]

O sistema de laboratórios remotos disponibilizado pela *Universidad de Deusto*, conhecido como *WebLab Deusto* constitui hoje uma referência para os sistemas de laboratórios remotos e virtuais de todo o mundo.

Na *Universidad de Deusto*, em Bilbao, existe hoje em dia uma equipa tecnicamente muito empenhada e competente que trabalha com todos os sistemas de laboratórios remotos disponibilizados nesta universidade, o que constitui um “acoplamento energético” muito forte.

Em termos técnicos, o sistema *WebLab Deusto* constitui hoje um local onde existe a tecnologia de ponta mais desenvolvida nesta área, e os seus laboratórios são constituídos pelos equipamentos mais avançados na área de laboratórios remotos.

Uma *bridge* (sistema de partilha de recursos com autenticação única) experimental de *iLab labs*, a funcionar em modo *batch* entre o MIT e a *Universidad de Deusto* foi implementada. Desta forma é possível a utilizadores do MIT aceder a experiências e laboratórios remotos da *Universidad de Deusto*, como se de uma instância dos laboratórios internos do MIT se tratasse.

Então para processar os pedidos enviados pelos clientes do sistema *iLab* do MIT, foi desenvolvido um *interface de web services* para tratar os pedidos dos clientes do sistema *iLab* do MIT, de modo a transformá-los em pedidos correspondentes do sistema do *Weblab-Deusto*. Quando os pedidos chegam ao sistema da *Universidad de Deusto* já sob a forma de pedidos do sistema da *Universidad de Deusto* são processados normalmente e agendados. Na realidade estes pedidos foram traduzidos através de um *plug-in* desenvolvido para a sua integração a partir do sistema *iLab* sendo assim perfeitamente integrados e processados segundo a dinâmica do sistema *Weblab Deusto*.

Este *plug-in* converte os pedidos de novo para o formato *iLab* e reenvia-os para um servidor *iLab* externo, actuando então o sistema *WebLab-Deusto* como um *service-broker* [60]. Sendo implementado como um *plug-in*, também permite ao sistema *WebLab-Deusto* utilizar outros *plug-ins* que permitam construir outras federações interinstitucionais [60]. Um *overview* da integração do sistema *iLab* no ambiente *WebLab Deusto* está ilustrado na figura 2.35 [60].

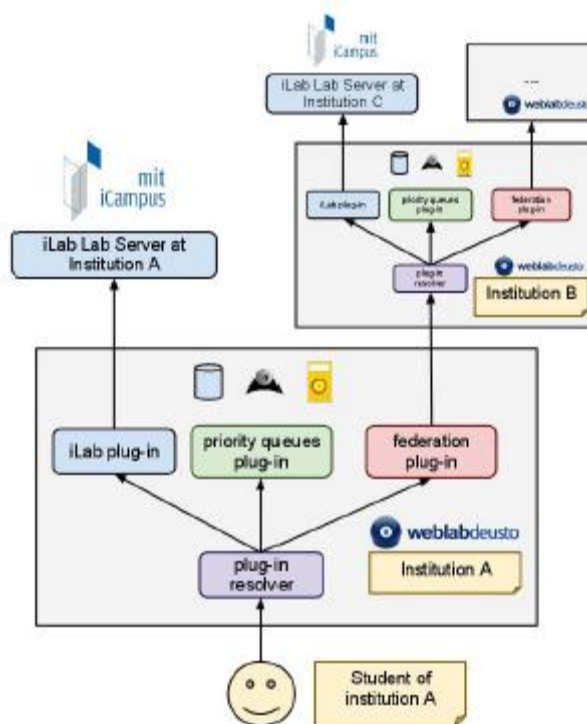


Figura 2.35 - Overview da arquitetura do sistema *iLab* no sistema *weblab* da *Universidade de Deusto* em Bilbao[60][64]

Esta arquitetura de *bridging* permite utilizar as seguintes facilidades disponibilizadas pelo sistema *WebLab*:

- Este modelo de federação permite aos utilizadores de um *iLab service broker* utilizar os laboratórios remotos numa instância dos *WebLab Deusto* na *Universidade de Deusto* em Bilbao.
- A linha de espera das marcações de laboratórios tem como base laboratórios interactivos com o utilizador.
- O sistema faz um balanço ponderado das várias cópias ou instâncias de funcionamento do mesmo laboratório remoto ou experiência.
- O sistema de gestão da federação através de *plug-ins* permite que três instituições partilhem os laboratórios, ou seja a primeira instituição partilha os seus laboratórios com a segunda instituição e a segunda instituição vai “repartilhar” o mesmo laboratório com uma terceira instituição [64]. Então neste caso este sistema pode ser referido como uma partilha-transitiva.

8. *Labshare (Sahara)* [63][60][64][65][61][62]

O *Labshare* é um sistema da *UTS – University of Technology* em Sydney com outros parceiros como a *Curtin University*, a *University of South Australia*, o *RMIT – Royal Melbourne Institute of Technology* e a *QU – Queensland University of Technology*.

Esta parceria foi estabelecida e denominada *The Labshare Institute – TLI*. A *TLI* é uma organização não lucrativa cujo objectivo é fornecer serviços para a rede nacional australiana de partilha de laboratórios remotos. A *TLI* garante uma série de serviços na área dos laboratórios remotos, tais como:

- A marcação de trabalhos e experiências num catálogo de laboratórios e experiências com aplicação educacional e pedagógica.
- Serviços de consultoria para o desenvolvimento de laboratórios e instalação de *software* relacionado.
- Negociação de acordos e protocolos de partilha, definição de condições de acesso a laboratórios e recursos.
- Suporte técnico a projectos em desenvolvimento.
- Etc..

A rede *Labshare* foi fundada através de um acordo entre instituições e é financiada através de uma combinação de garantias, parcerias, cotas de membros, doações e suporte filantrópico [89].

Tal como foi anteriormente mencionado a comunidade *Labshare* desenvolveu também uma federação com *Weblab Deusto* da *Universidad de Deusto* em Bilbao, e o utilizador de um dos sistemas pode livremente utilizar os laboratórios remotos de um outro sistema, utilizando sempre o mesmo sistema de autenticação e de agendamento de trabalhos e experiências [64].

A implementação desta federação contribuiu para detalhar e detectar alguns problemas e também veio evidenciar as vantagens de cada um dos sistemas, *WebLab Deusto* e *Labshare* e das duas integrações que foram realizadas (em ambas as direcções), e veio ajudar a clarificar alguns casos particulares [66][61] deste processo de integração.

9. *VLCAP (Indian National Network of Remote Labs)* [66][61]

O sistema nacional indiano de laboratórios remotos e virtuais [58] é uma iniciativa do Ministério Indiano do Desenvolvimento de Recursos Humanos seguindo a *Mission on Education through ICT*.

A plataforma de colaboração em laboratórios virtuais e acessibilidade (*VLCAP*) fornece ferramentas para cumprir um projecto denominado *India's National Mission*: a construção de 150 laboratórios virtuais que irão servir mais de 1450 laboratórios e experiências para alunos do ensino superior e do ensino secundário.

A plataforma *VLCAP* optimiza a distribuição dessas experiências sob a forma de laboratórios virtuais que garantem assim uma experiência de aprendizagem de elevada qualidade a nível técnico e pedagógico.

Esta arquitectura de um sistema com elevada escalabilidade com múltiplas camadas permite aos construtores dos laboratórios virtuais que se focalizem no desenvolvimento e construção das suas experiências, pois devido ao grau de escalabilidade do sistema este pode ser sempre

enriquecido passo-a-passo. Os seus módulos (laboratórios virtuais, conteúdos acessíveis por ambientes colaborativos, repositórios de documentos), são acessíveis através de *interfaces* muito eficientemente desenhados para permitir um elevado grau de acessibilidade aos recursos e aplicações rápidas em termos de processamento e comunicação de dados.

A sua integração (desses *interfaces*) nas tarefas normais do utilizador (*login*, acesso a ambiente personalizado na sua área, etc.) aumenta a flexibilidade da aplicação sem comprometer a sua segurança [66].

Os principais objectivos operacionais deste sistema são [90]:

- Garantir acesso remoto a várias experiências em várias disciplinas e em várias áreas da ciência e engenharia. Estes laboratórios virtuais podem ser utilizados por vários estudantes quer universitários, quer do ensino secundário, e também por vários investigadores de todas as instituições de ensino superior e secundário.
- Estimular nos estudantes a vontade de investigação e aprofundar o seu conhecimento, através da construção e teste de experiências construídas pelos próprios estudantes em ambiente de desenvolvimento proporcionado pela *interface* desta plataforma que proporciona o acesso a todos os ambientes de experiências remotas.
- Proporcionar um ambiente de aprendizagem completamente integrado, estas experiências e laboratórios estão integrados num *LMS – Learning Management System*, que consiste num ambiente de aprendizagem completo e integrado de modo a possibilitar ao estudante uma completa interação com as matérias que pretende estudar e desenvolver. Este ambiente proporciona aos estudantes várias ferramentas e recursos para completar a sua aprendizagem, sob a forma de vários recursos *web*, vídeos de várias aulas teóricas e práticas, demonstrações animadas e testes de auto-avaliação.
- Partilhar e rentabilizar equipamentos e recursos que doutra forma não estariam disponíveis para todos estes alunos, devidos a constrangimentos geográficos e temporais, pois assim os alunos podem usar todos estes recursos mesmo a partir de casa ou doutro local onde tiverem acesso à internet.

Tal como já foi afirmado este sistema é resultado de uma federação de vários sistemas *online* sediados nas seguintes universidades e instituições:

- *ITT* em Delhi, Mumbai, Kanpur, Kharagpur, Madras, Roorkee, Guwahati, and Hyderabad
- *Universidade de Amrita*
- *Universidade de Dayalbagh*
- *Nit Karnataka*
- *Coe Pune*

Nesta rede de laboratórios remotos e virtuais, existem diferentes laboratórios, prontos a ser utilizados [90]. As diferentes áreas abrangidas por estes laboratórios são:

- Electrónica e telecomunicações
- Engenharia e computadores
- Engenharia mecânica
- Engenharia química
- Engenharia biomédica
- Engenharia Civil
- Física
- Química

10. UNILABS (*University Network of Interactive Labs*)

A federação de laboratórios *UNILABS* é uma rede composta de várias universidades de Espanha e do Brasil que partilham entre si os seus recursos de laboratórios (virtuais e remotos) nas áreas de:

- Engenharia de comando e controlo
- Automação Industrial
- Física
- Impacto ambiental e engenharia do ambiente
- Telecomunicações
- Informática industrial e robótica
- Álgebra
- Análise Matemática
- Sistemas Fotovoltaicos
- *Design* Digital
- Máquinas Eléctricas
- Sistemas Lineares

Várias universidades espanholas e uma universidade brasileira participam nesta federação:

- *UNED – Universidad Nacional de Ensiño a Distancia*
- *UH – Universidad de Huelva*
- *UCM – Universidad Complutense Madrid*
- *UM – Universidad de Murcia*
- *UA – Universidad de Alicante*
- *UAL – Universidad de Almeria*
- *UL – Universidad de León*
- *UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil)*

Os laboratórios desta rede são desenvolvidos e programados utilizando aplicações *Java* para as simulações e para controlo remoto de laboratórios.

11. *ComPADRE (Digital library and virtual laboratories)*

A biblioteca digital *ComPADRE* [69] permite criar, alojar e manter colecções de recursos pedagógicos acessíveis à comunidade de utilizadores e focalizados nos campos da Astronomia e Física[69].

A biblioteca digital *ComPADRE* é uma rede de colecções de recursos e sites da comunidade científica ligada às áreas da Física e Astronomia.

Cada colecção de recursos pedagógicos contém um catálogo de materiais para ensino e aprendizagem, cujos materiais são seleccionados pelos editores para corresponder às expectativas dos utilizadores da área técnica a que se destinam os conteúdos. Estas colecções também fornecem informações sobre recursos e ferramentas colaborativas para as comunidades de estudo e investigação na área da física e dos projectos de educação na astronomia [69].

Alguns exemplos de recursos pedagógicos e ferramentas colaborativas disponíveis na rede *ComPADRE* são:

- Simulações, animações, imagens ilustrando sistemas físicos e processos.
- Tutoriais para estudantes, actividades e laboratórios desenhados e construídos para aumentarem a qualidade das ferramentas de aprendizagem dos estudantes.
- Resultados de pesquisas e investigações que descrevam boas práticas em ciências da educação.
- Ferramentas e conteúdos de suporte à aprendizagem para professores de física.
- Bases de dados de oportunidades de investigação e pesquisa para estudantes e professores nestas áreas.
- Colecções de tópicos de recursos organizados para ensinar conceitos básicos e clássicos de Física.
- Colecções de *websites*, com artigos, *abstracts* e apresentações de conferências sobre Física.

A biblioteca digital *ComPADRE* vem preencher um papel de organização e gestão importante em conjunto com a *National Science Digital Library* para a área de recursos educacionais utilizados em amplas comunidades em física e astronomia.

Estas parcerias com a *American Association of Physics Teachers (AAPT)*, a *American Astronomical Society (AAS)*, o *American Institute of Physics/Society of Physics Students (AIP/SPS)*, e a *American Physical Society (APS)*, ajudam os professores e os alunos a encontrar e depois utilizar recursos de alta qualidade científica e pedagógica presentes em colecções de recursos pedagógicos feitos à medida das suas necessidades específicas. Muitos autores e organizações estão a contribuir para criar e manter este património educacional valioso e também esta mostra de oportunidades de cursos em faculdades e outras instituições, mas ainda é necessário providenciar uma acessibilidade mais ampla e fácil e uma disseminação mais eficaz destes recursos.

Os autores estão ainda a desenvolver simulações, documentação e recursos multimédia, de várias áreas e vários níveis de educação para permitir que estudiosos e investigadores da área de ciências da educação possam desenvolver modelos métodos pedagógicos a aplicar nas suas aulas. Estas organizações estão a desenvolver *workshops* para professores, para os

ajudar a melhorar o seu conhecimento da área e competências; e os estudantes estão a comunicar entre eles usando as ferramentas colaborativas desenvolvidas para a aprendizagem da Física.

A biblioteca digital *ComPADRE* suporta todas essas comunidades que evoluem através da descoberta, organização, descrição e partilha dos seus recursos que irão permitir atingir maior eficácia no ensino da Física e Astronomia[69]. A biblioteca digital *ComPADRE* também é um membro da *National Science Digital Library* dos Estados Unidos da América.

Em conclusão podemos afirmar que na área dos laboratórios remotos e virtuais, a biblioteca digital *ComPADRE* oferece o acesso a vários laboratórios virtuais com simulações em Astronomia e Física.

12. Portal Go-Lab (Global Online Science Labs) [17][62]

O portal *Go-Lab* [91] e o projecto *Go-Lab (Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School)* são iniciativas da Comissão Europeia no âmbito da *Seventh Framework Programme* sendo composta por 19 organizações de 12 países. A rede *Go-Lab* tem como principal objectivo proporcionar o acesso a laboratórios remotos e virtuais de modo a enriquecer a experiência lectiva nas salas de aula assim como fora delas no tempo de auto-estudo dos alunos que pode ser em casa ou em qualquer outro local com acesso à internet. O grande objectivo do projecto *Go-Lab* é fornecer aos estudantes uma oportunidade para ganhar experiência na utilização de laboratórios, utilizando equipamentos modernos, permitindo assim aprofundar o seu conhecimento em ciências, e motivando-os a seguir uma carreira científica [91].

O Portal *Go-Lab* cria uma infra-estrutura que permite o acesso a um conjunto de laboratórios remotos e virtuais de várias instituições de renome na área da investigação, tais como a *Agência Espacial Europeia (ESA na Holanda)*, a *Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN na Suíça)*, o *Núcleo Interactivo de Astronomia (NUCLIO em Portugal)*, assim como várias outras universidades e instituições. Todos estes laboratórios remotos e virtuais podem ser livremente utilizados por universidades, escolas, estudantes, professores, formadores, que podem utilizar todos estes recursos nas suas actividades de aprendizagem, através de experiências científicas que podem ser conduzidas não só por professores, como demonstrações, como também pelos próprios estudantes oferecendo-lhes experiências reais de trabalho científico [91].

Para suportar aspectos pedagógicos e metodológicos desta forma de estudo e partilha de conhecimento, o portal *Go-Lab* inclui também uma rede social que permite aos professores estabelecer fóruns de discussão e partilhar experiências, suportando-se assim mutuamente na sua experiência lectiva e troca de conhecimento.

Mais ainda, a comunidade de professores interessados na utilização e desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais oferece nas suas próprias aulas *workshops*, introduzindo a utilização de experiências com laboratórios virtuais, assim como técnicas de ensino de matérias científicas, baseadas em técnicas de inquérito e avaliação aos estudantes, para permitir avançar na exposição das matérias através do *feedback* directo recebido da parte dos alunos.

Isto possibilita aos professores e formadores que utilizam esta ferramenta aumentarem consideravelmente a sua experiência nestas práticas pedagógicas e envolver fortemente os seus estudantes em assuntos de ciência, utilizando guias activos de experiência que utilizam

técnicas de experimentação mais evoluídas e elaboradas possíveis ao nível científico e tecnológico [91].

O portal *Go-Lab* disponibiliza laboratórios remotos e virtuais nas áreas de:

- Química
- Astronomia
- Física
- Ciências Computacionais
- Psicologia

Os parceiros do consórcio *Go-Lab* são:

- *Universidade de Twente*
- *Escola Politécnica Federal de Lausanne*
- *imc information multimedia communication AG*
- *UNED – Universidade Nacional de Educação a Distância (Madrid)*
- *Universidade de Chipre*
- *Centro de investigação e tecnologia Hellas*
- *Universidade de ciências aplicadas de Carinthia*
- *CERN – Organização europeia de pesquisa nuclear*
- *Universidade de Gales do Sul*
- *Núcleo Interactivo de Astronomia*
- *Ellinogermaniki Agogi*
- *European Schoolnet*
- *MENON Network*
- *Universidade de Leicester*
- *Universidade de Duisburg-Essen*
- *Universidade de Deusto*
- *Universidade de Tartu*
- *Agência Espacial Europeia*
- *Instituto de Aceleração de Sistemas e Aplicações*

13. VISIR Open Platform 5.0 [21][70]

A nova distribuição do VISIR, a VISIR Open Platform 5.0 foi construída para suportar uma nova funcionalidade: **Federações de Laboratórios online VISIR**. A VISIR Open Platform 5.0 foi desenvolvida no departamento de Engenharia Electrotécnica (AET) do Blekinge Institute of Technology (BTH) na Suécia, e é uma arquitectura que permite abrir diferentes tipos de laboratórios remotos e virtuais com acesso remoto controlado em “contexto preservado”, o que quer dizer que existem diferentes níveis de utilizadores, e cada um só poderá aceder às funcionalidades que o seu perfil permitir. No entanto por se tratar duma federação cada utilizador terá acesso a muito mais recursos dos que os disponibilizados pela sua instituição e poderá aumentar bastante o leque de experiências, conhecimentos e dados científicos a que pode aceder [34].

A VISIR Open Platform 5.0, além de suportar uma federação de laboratórios remotos e virtuais, também inclui um repositório para permitir a partilha de materiais pedagógicos e documentos de suporte à formação e às matérias leccionadas [34]. O modo normal de operação de um laboratório baseado na VISIR Open Platform 5.0 é apenas um utilizador por *workbench*, i.e., não existe *time-sharing*, porque a maior parte das experiências têm de ser feitas em tempo real, e têm de fornecer resultados na hora ao utilizador. No entanto, o *workbench 5.0* para experiências eléctricas suporta a opção de *time-sharing*[34].

A estrutura da VISIR Open Platform 5.0 é composta por duas “nuvens” tal como ilustrado na figura 2.36.

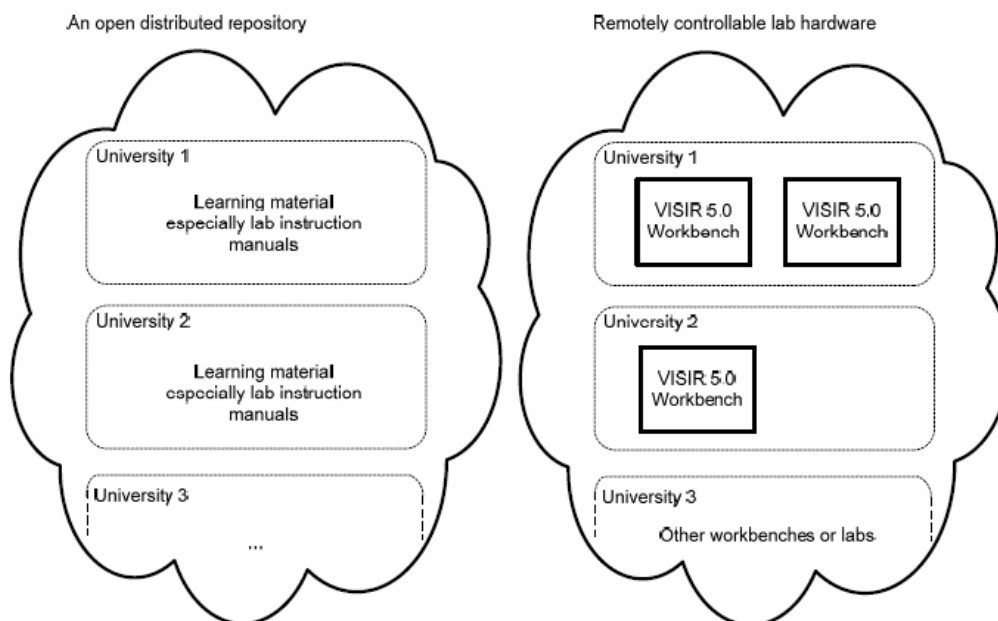


Figura 2.36 - Arquitectura de Clouds da VISIR OpenPlatform[34]

Uma das *clouds* é composta por vários *workbenches* experimentais, e a outra é um repositório aberto de livre acesso com instruções laboratoriais, tutoriais, e outros materiais de suporte das várias experiências de laboratórios remotos e virtuais.

Este material pedagógico é fornecido por instituições de ensino que integram a comunidade VISIR. As escolas e universidades são convidadas a contribuir com material didáctico para o

repositório da comunidade. A outra *cloud* é composta por vários laboratórios baseados na *VISIR Open Platform 5.0* em vários servidores localizados nas várias instituições pertencentes à rede de laboratórios remotos. Cada uma das instituições colabora com uma ou mais colecções de experiências e laboratórios[34].

A tecnologia adoptada para esta federação corresponde a um ambiente cooperativo e colaborativo entre as várias instituições que formam a comunidade, envolvendo diferentes *LMS* (Learning Management Systems) e a própria federação de laboratórios *VISIR* [34].

Naturalmente mesmo as instituições que não tenham laboratórios *VISIR* podem também beneficiar dos serviços desta rede, actuando simplesmente como “consumidores de laboratórios”, clientes no fundo, e podem também fornecer conteúdos pedagógicos para a outra *cloud* que tem o repositório de conteúdos pedagógicos que podem ser consultados livremente.

Qualquer utilizador da internet pode ter acesso às páginas de uma experiência ou conteúdo desta plataforma aberta *VISIR*. Cada professor no seu próprio *LMS* (*Learning Management System*) pode criar um ambiente próprio com um conjunto de *links* para os vários conteúdos de interesse que estejam disponíveis na *cloud* dos conteúdos de apoio pedagógico e ainda para outros sites de interesse e laboratórios remotos e virtuais com laboratórios remotos fora da rede *VISIR*. Cada professor vai organizar o seu próprio ambiente sobre a forma de várias páginas web com indicações específicas para um *PLE - Personal Learning Environment* para cada estudante.

Os primeiros *links* a ser incluídos nesse ambiente devem naturalmente fornecer o necessário suporte teórico para a experiência, depois os *links* seguintes devem dar acesso a manuais de instruções para a execução da experiência de laboratório. A página final deve encaminhar o formando para o laboratório *online* cuja experiência deverá executar.

Após terminar a execução das experiências laboratoriais, os estudantes são levados a responder a vários questionários e testes de auto-avaliação para verificar se efectivamente adquiriram o conhecimento necessário sobre o assunto em questão.

O Professor pode construir um sistema onde os estudantes possam submeter as suas respostas aos questionários e testes realizados, e indicar se os estudantes podem submeter as suas respostas e exercícios resolvidos. Assim, consoante os resultados recebidos nos testes o sistema indica ao estudante se realmente entendeu os conceitos expostos numa determinada lição, ou se pelo contrário é necessário repetir todos ou apenas alguns dos passos da lição já estudada, para que o necessário nível de conhecimento possa ter sido atingido.

Na realidade este sistema pode ser considerado um *ITS – Intelligent Tutoring System*.

14. **REXLAB** [32][71][72][73][74]

O *RExlab* é uma rede de laboratórios remotos que foi fundada em 1997 pelo *Professor João Bosco da Mota Alves* da *UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina* no Brasil [74].

Actualmente a rede *RExLab* é composta, além da *Universidade Federal de Santa Catarina*, por 12 Universidades estrangeiras em 8 países diferentes:

- *WebLab-Deusto University of Deusto* - Espanha
- *Ulster University* – Irlanda do Norte
- *Université TÉLUQ*– Canadá
- *LabsLand Network For Remote Experimentation* - Espanha
- *CITIC - Centro de Investigaciones en Tecnologías de la Información y Comunicación* - Costa Rica
- *Universidad Catolica de Temuco* – Chile
- *Universidad Nacional De Santiago Del Estero* - Argentina
- *Universidad Nacional de Rosario* – Argentina
- *CUAS - Carinthia University of Applied Sciences* - Áustria
- *CIETI - Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia Industrial* – Portugal
- *LIM - Laboratório de Instrumentação para Medição* - Portugal
- *UNED | Universidad Nacional de Educación a Distancia* - Espanha

O objectivo de fundo com que foi fundada a rede *RExLab* é incentivar os jovens a seguirem carreiras científico-tecnológicas, de modo a generalizar o mais possível o conhecimento tecnológico e científico de qualidade. Pretende-se através dos laboratórios disponíveis a todos os níveis de educação e aprendizagem desenvolver acções que venham valorizar a criatividade, a prática de experiências laboratoriais e a interdisciplinaridade [74].

Os responsáveis do *RExLab* entendem como sendo sua missão gerar e generalizar o saber através do estudo e pesquisa científica nas áreas de:

- Sistemas de Computação
- Robótica e Inteligência Artificial

Esta generalização do saber irá contribuir para a formação de profissionais que venham a ser cidadãos capazes de desenvolver e transformar a sociedade de modo a que a difusão do saber através desta rede de laboratórios remotos contribua para uma sociedade melhor e mais justa [74].

Em termos científicos os criadores da rede *RExLab* pretendem que esta rede de laboratórios remotos se venha a tornar uma referência nacional (para o Brasil) e internacional pela excelência das suas actividades no campo científico.

Em termos de acoplamento energético é intenção e desejo dos fundadores que o *RExLab* em termos sociais contribua para o avanço do conhecimento técnico e científico de todos os seus membros e assim permita a colaboração conjunta e cooperação entre todos os profissionais que utilizem a rede e consequentemente melhorar a sua vida quer profissionalmente quer socialmente pelos contactos estabelecidos e conhecimentos adquiridos através da rede [74].

Actualmente a Rede *RExLab* disponibiliza laboratórios remotos [74] nas áreas da:

- Física, electricidade, electrónica e óptica.
- Biologia, através da observação de microscópios
- Robótica

Na área da física e electrónica a rede *REXLab* disponibiliza os seguintes laboratórios:

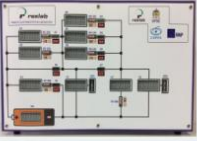





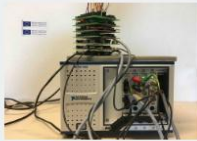

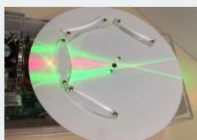
 <p>Painel Elétrico CC Estudo das associações em série, paralela e mista em redes de corrente de contínua.</p> <p>Acessar</p>	 <p>Painel Elétrico CA Estudo das associações em série, paralela e mista em redes de corrente alternada.</p> <p>Acessar</p>
 <p>Meios de Propagação de Calor Estudo dos meios de propagação de calor por convecção e irradiação</p> <p>Acessar</p>	 <p>Plano Inclinado Estudo da segunda lei de Newton do movimento e decomposição de forças em vetores</p> <p>Acessar</p>
 <p>Conversão de Energia Luminosa em Elétrica A energia luminosa incide na célula solar e é convertida em energia elétrica pelo efeito fotovoltaico.</p> <p>Acessar</p>	 <p>Condução de calor em barras metálicas Este experimento estuda o modelo de propagação do calor em barras metálicas.</p> <p>Acessar</p>
 <p>VISIR Módulos Educacionais para Teoria e Prática de Circuitos Elétricos e Eletrônicos</p> <p>Acessar</p>	 <p>Experimento de Thomson Experimento que permite a determinação da razão carga/massa do elétron</p> <p>Em Teste</p>
 <p>Banco Óptico Estudo do comportamento da luz nas lentes mais comuns e com formatos variados</p> <p>Em Teste</p>	

Figura 2.37 - Laboratórios de Física e Eletrônica disponíveis na rede *REXLab*

Estando alguns ainda em fase de testes.

Na área de Biologia, os laboratórios disponibilizados são os seguintes:

 <p>Microscópio Remoto Microscopia de pigmentação foliar</p> <p>Acessar</p>	 <p>Microscópio Remoto LTE (2) Que tecido é esse?</p> <p>Em Teste</p>
 <p>Observando a água (1) Investigação da relação entre ambiente e biodiversidade.</p> <p>Em Teste</p>	

Figura 2.38 - Laboratórios de Biologia disponíveis na rede *REXLab*

Na área de Robótica, são disponibilizados dois laboratórios baseados em Arduino.



Figura 2.39 - Laboratórios de Robótica disponíveis na rede RExLab

Quando se entra num dos laboratórios aparece-nos o seguinte ecrã descritivo do laboratório em causa e com outras opções:

- Avaliar a experiência que escolhemos
- Ver um vídeo explicativo de experiência
- Ver o tutorial da experiência
- Aceder a outra documentação sobre a experiência
- É-nos fornecido ainda o código html necessário se quisermos incluir o acesso à experiência numa página web que estejamos a construir ou alterar
- Consultar laboratórios relacionados
- Aceder ao laboratório

Painel Elétrico CC

Descrição: Estudo das associações em série, paralela e mista em redes de corrente de contínua.

Disciplina: Física

Duração: 5 minutos

Tags: quadro elétrico

Incorporar: `<object width="100%"`

Acessar

Outros Laboratórios



Painel Elétrico CA

Estudo das associações em série, paralela e mista em redes de corrente alternada.



Meios de Propagação de Calor

Estudo dos meios de

Avalie este Experimento

Vídeo



Tutorial

Material Didático

Documentação

Figura 2.40 - Entrada em laboratório remoto da rede RExLab

Todos os laboratórios são acompanhados por um guião de trabalho que fornece o apoio teórico necessário e é completamente ilustrado com fotografias do laboratório, permitindo ao aluno executar a experiência sem dúvidas.

O site da rede RExLab permite ainda acesso LMS de suporte GT-MRE, da rede RExLab que também está preparado para ser acedido a partir de um dispositivo móvel, como um smartphone.

O site possui também uma página de documentação de apoio onde é disponibilizada toda a documentação de suporte dos laboratórios, onde é explicado também como se inscrever como utilizador de rede e ainda é possível gerar relatórios para alguns dos laboratórios.

Todas estas opções são de acesso livre.

Noutra página do site são ainda disponibilizadas uma série de informações sobre o ambiente *RELLE* da rede *RExLab*. *RELLE* significa “*Remote Labs Learning Environment*”, que é o ambiente desenvolvido pelo *GT-MRE* que é o *Grupo de Trabalho em Experimentação Remota do Laboratório de Experimentação Remota (RExLab)* da *Universidade de Santa Catarina* no Brasil [74].

O ambiente *RELLE* permite ainda ao utilizador/professor criar a sua própria experiência e disponibilizá-la para os seus alunos no *RExLab* [74].

Como o *RELLE* tem código aberto é possível também instalar o *RELLE* num servidor próprio do utilizador.

Esta apresenta-se assim como uma das redes que melhor suporte e mais serviços oferece (literalmente) ao utilizador, que apenas terá de desenvolver o seu acoplamento energético com a rede.

Uma situação que ocorre com alguma frequência, é quando o sistema ou rede de laboratórios remotos e virtuais atinge um certo nível de desenvolvimento e dinâmica, por vezes surge uma empresa ligada à rede de laboratórios, que dá apoio aos próprios laboratórios, e por vezes os patrocina, tendo também como vantagem proporcionar emprego aos alunos que estão a terminar os cursos.

Ou seja, a empresa desenvolve-se, melhora o sistema de laboratórios remotos e virtuais, aumenta a empregabilidade dos alunos que por sua vez também fazem a sua manutenção.

A empresa terá também naturalmente a sua vertente comercial de vendas para o exterior.

Exemplos desta situação são:

Tabela 2.1 - Empresas associadas a cada rede VRL

Rede VRL	Empresa associada	Site
Deusto (Espanha)	LabsLand	https://labsland.com/en
VLCAP (India)	Eletronosolutions	http://electronosolutions.com/
VLCAP (India)	RemoteLabs.In	http://remotelabs.in/remotelabs/
LabShare (Austrália)	RemoteLaboratory.com	https://remotelaboratory.com/

Outra questão muito importante a abordar neste meio, é a motivação dos estudantes para utilizar este tipo de filosofia de ensino, com laboratórios remotos e virtuais a garantir a componente prática do processo de ensino-aprendizagem. Um dos factores mais importantes que pode garantir esse interesse é a possibilidade de os estudantes colaborarem entre eles à medida que realizam as experiências nos laboratórios, e ainda até a possibilidade de assistirem *online* às experiências doutros colegas [5][92], como se tratasse de uma demonstração de uma experiência num laboratório clássico. Com esta maior flexibilidade no método e recursos de ensino, nota-se portanto um maior interesse e apetência dos estudantes pelo estudo de matérias técnicas e de engenharia nestes ambientes [15][5][93]. Torna-se também possível assim ter mais estudantes de múltiplos locais e instituições de ensino a realizar as experiências.

Nesta questão dos laboratórios remotos e virtuais já vimos que um factor importante é a motivação quer dos estudantes, quer da equipa científica que constrói e mantém os laboratórios, isto pode ser entendido como um acoplamento energético entre o sistema e as pessoas que o mantêm [93], no entanto também é muito importante para manter “vivo” um sistema de *Online Labs*, que o mesmo seja eficaz e atractivo para os estudantes, e tal como já foi referido, uma forma de o conseguir é incluir nesse sistema funcionalidades colaborativas. Essas funcionalidades permitem aos estudantes interagir entre eles antes, durante e após os trabalhos realizados.

Assim, a palavra *collaboratories* [5] ganha uma nova importância neste contexto, pois consiste no termo em inglês que expressa a relação entre “colaboração” e “laboratórios”, podemos assim falar de laboratórios colaborativos, e num sentido mais lato de ambientes colaborativos.

Estes ambientes permitem e pretendem interligar professores, cientistas, investigadores, engenheiros e estudantes de locais distantes geograficamente de modo a acederem a diferentes dispositivos num ambiente e modelo de estudo colaborativo [5][94].

A estes ambientes com a possibilidade de implementar um modelo de estudo colaborativo convencionou-se chamar *collaboratories* pois é a junção dos termos de língua inglesa *collaborative* e *laboratories*. O número de *collaboratories* registou um aumento importante nos Estados Unidos após uma *call* do governo dos EUA para melhorar, avaliar a importância e eficiência do conceito de *colaboratory* [5][95] e foi difundida nos meios académicos dos EUA a ideia de que modo esta prática de interacção pode melhorar os resultados de aprendizagem [5][6].

O *Grid Project* em 2001 construiu uma série de recursos partilhados entre várias instituições de ensino e os resultados obtidos foram muito positivos a nível pedagógico, resultantes da actividade conjunta entre laboratórios remotos e *collaboratories* [5] [95][96].

Esta filosofia de aprendizagem colaborativa tem naturalmente a sua influência pedagógica no processo de aprendizagem, a experiência de trabalhar directamente e colaborar com outros alunos geograficamente distantes é muito enriquecedora, e a experiência leva a diferentes modos de abordagem e resolução de um mesmo problema, o que compensa largamente quaisquer limitações impostas pela tecnologia de comunicação utilizada [5].

Desta forma as ferramentas colaborativas associadas aos laboratórios remotos e virtuais contribuem para aumentar o número de intervenientes, beneficiando assim mais estudantes em cada experiência ou trabalho prático realizado [97].

Em alguns sistemas de laboratórios remotos foram criadas camadas de *software* com aplicações de análise das ferramentas colaborativas para permitir aos investigadores aferir dos resultados nos estudantes deste tipo de colaboração pedagógica nos seus processos de ensino-aprendizagem [5][98].

Aplicando esta prática os estudantes podem ser convidados num *LMS* através da sua programação de aprendizagem a realizar uma determinada experiência num dia, e no dia seguinte ser convidados a discutir os resultados obtidos num fórum em ambiente colaborativo. Os trabalhos desenvolvidos por *Pea* [5] em 1993 [99], 1994 [100] e 2002 [92] mostram que a comunicação rápida e efectiva entre estudantes e entre estudantes e professores é um processo-chave para a obtenção de bons resultados pedagógicos.

Estes trabalhos demonstram, portanto que um grupo de actividades bem construído em conjunto com simulações, laboratórios remotos e virtuais, permite aos estudantes desenvolverem

substancialmente as suas capacidades e competências, [5] utilizando assim um sistema mais complexo denominado *ILS (Intelligent Learning System)* [97].

Fica portanto bastante claro que os estudantes não aprendem apenas nas aulas teóricas e na manipulação de equipamentos, mas também na interacção com os outros alunos e com os professores. Este tipo de interacção vem compensar largamente o isolamento físico que por vezes é imposto ao estudante em ambiente de *e-learning* e *b-learning* [5].

Além disso, pesquisas de foro psicológico sugerem que os resultados obtidos pelos estudantes advêm muito da sua motivação que é fortemente condicionada pelo tipo de *interface* que têm à sua disposição. As ferramentas colaborativas constituem um óptimo acompanhamento ao ambiente de *online labs*.

Efectivamente a evolução lógica de integração dos sistemas de *LMS* com laboratórios remotos e virtuais leva a que seja necessário definir para os alunos um percurso de aprendizagem que não seja estático, mas sim dinâmico, ou seja que se vá adaptando às capacidades e competências demonstradas pelo aluno em cada instante.

Isto é, consoante os seus resultados, pode-se fazer o aluno avançar de nível no curso, ou pode-se levá-lo a retroceder para estudar de novo matérias que ainda não apreendeu devidamente, e mesmo a repetir exercícios e/ou trabalhos práticos em ambientes remotos ou virtuais.

A um sistema com estas características, que no fundo “guia” o aluno ao longo do seu processo de aprendizagem chama-se um *ILS – Intelligent Learning System*, como já foi referido anteriormente.

Um *ILS* é portanto um sistema inteligente de suporte e apoio ao estudo e ao processo de ensino- aprendizagem que vai “guiando” o estudante ao longo dos trabalhos práticos e provas a cumprir e utilizando os suportes pedagógicos disponibilizados no sistema de aprendizagem [97].

O próprio tempo que o aluno demora a executar os trabalhos ou a ler os suportes teóricos é analisado e se for excessivo, isto é, superior ao tempo definido pelo tutor quando construiu e desenhou o curso, pode inferir dificuldades de compreensão do aluno e o sistema vai ter isso em consideração para propôr actividades de revisão ao aluno.

Se por exemplo, o tempo de execução de um trabalho prático de laboratório for excessivo, o *ILS* pode interromper o trabalho, e convidar o aluno a repetir a consulta dos suportes teóricos, necessários à execução do trabalho prático.

A aplicação de um *ILS* é uma enorme melhoria no funcionamento de um sistema de *Online Labs*, pois torna-o quase tão interactivo como uma aula clássica de laboratório presencial, uma vez que há “alguém” a dar conselhos ao aluno sobre o caminho a seguir no desenvolvimento do seu trabalho. Na verdade o que um sistema *ILS* faz é analisar os comportamentos do aluno enquanto ele usa o laboratório remoto ou virtual e assim detetar quais as suas dificuldades na execução dos trabalhos e propor soluções técnicas e pedagógicas para as resolver [97].

Naturalmente será muito mais fácil de conseguir atingir este objectivo, se os laboratórios remotos ou virtuais estiverem incluídos num *LMS (Learning Management System)*, ou utilizando terminologia portuguesa numa *plataforma de e-learning*, pois aí é possível definir previamente o percurso de aprendizagem e depois alterá-lo, através de algoritmos de *Inteligência Artificial*, tomando algumas acções e decisões relativamente ao percurso que o aluno tem de cumprir e onde o seu desempenho está a ser analisado.

Tal é resumizado na seguinte figura:

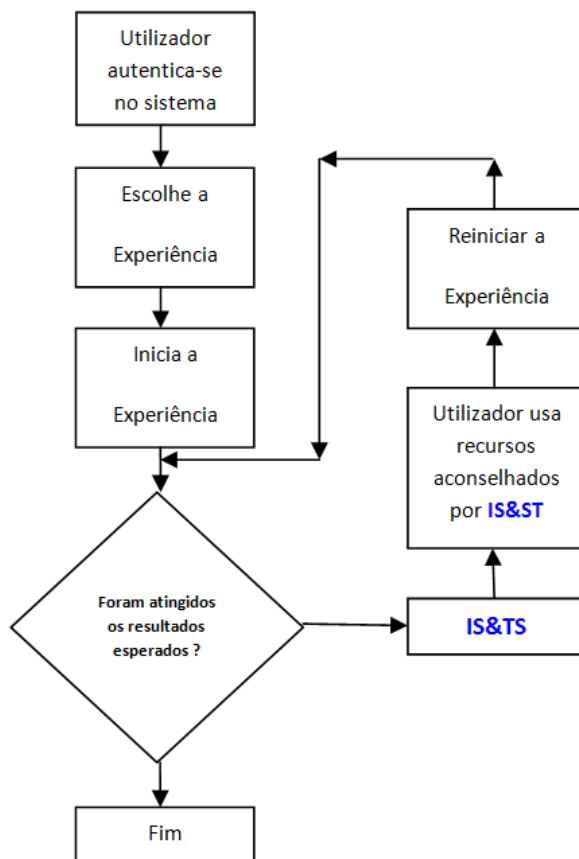


Figura 2.41 - Algoritmo do Sistema Inteligente de Tutoria-IS&TS – Intelligent Support and Tutoring System[97]

Este algoritmo traduz as acções genéricas e decisões a tomar ao analisar o desempenho de um aluno ao longo do seu caminho de aprendizagem, mostrando genericamente o retrocesso que o aluno tem de realizar no seu caminho pessoal de aprendizagem se não atingir em determinado ponto do percurso os resultados expectáveis, para então depois com os conhecimentos cimentados prosseguir o seu percurso formativo.

Claro que nos ambientes onde cada aluno tenha um *PLE* [101][17] torna-se muito mais difícil implementar este algoritmo, pois cada aluno tem definido o seu próprio caminho de aprendizagem (*PLP – Personal Learning Pathway*), e o sistema *IS&TS* tem de ser suficientemente “inteligente” para o conseguir, porque neste ambiente cada aluno é um caso particular[97].

Portanto no mundo actual da educação e formação os laboratórios remotos e virtuais surgem como uma peça-chave para os sistemas de *e-learning* e *b-learning*, pois vieram contribuir para a solução do problema de se conseguir leccionar aulas práticas em ensino a distância. Tal merece algumas reflexões de índole pedagógica.

No sistema de ensino a distância o percurso de estudo é normalmente definido pelo aluno, completamente ou parcialmente, por isso também tem de criar um *PLE-Personal Learning Environment* [17][101]. Logo todo este grau de autonomia leva o estudante a um comportamento muito mais cognitivista que construtivista [102][103], seguindo em tempo

próprio os próprios estímulos que lhe são fornecidos, mas devida e previamente estruturados por todo o ambiente de *e-learning* que é apresentado ao aluno e que o leva a definir o seu próprio *PLE-Personal Learning Environment* [101]. Tal leva o estudante a um envolvimento muito mais activo no processo de aprendizagem. Por sua vez o professor tem de ter um papel muito mais activo e interventivo, estando atento ao percurso de cada aluno e à sua evolução [104] e dando conselhos sobre o mesmo em função das opções apresentadas pelo aluno.

Relacionado com os modelos pedagógicos de aprendizagem, o processo de ensino-aprendizagem através de laboratórios remotos e virtuais, e que deve ser precedido do necessário estudo teórico prévio, para construir e consolidar uma base sólida sobre os assuntos a tratar numa perspectiva cognitivista [102][103], pois o cognitivismo tal como o *behaviorismo* enfatiza o ambiente envolvente e os meios que são fornecidos ao estudante para que ele possa criar as suas próprias estruturas e métodos de aprendizagem, [102][103].

Assim poderá construir o seu próprio percurso e ambiente de aprendizagem, o *PLE-Personal Learning Environment* [101]. Deste modo a perspectiva cognitivista no estudo através de laboratórios remotos é enfatizada, pois é o aluno que define as próprias experiências e trabalhos que vai realizar para aprender sobre determinado tema. É portanto possível através de um ambiente *b-learning* permitir ao estudante que defina o seu próprio percurso e projecto de aprendizagem [101] para atingir um determinado objectivo. Aqui o professor terá um papel mais de orientador do caminho a seguir, mas dando liberdade ao aluno para o escolher [104].

Pois é o que sucede em todos os ambiente de *e-learning* e *b-learning*, o professor tem de ser mais um observador dos comportamentos e do caminho próprio de aprendizagem, mas não os impôr, deixando assim o aluno reagir aos estímulos que recebe do sistema [104] e manifestar as suas capacidades cognitivas e behavioristas [104][103].

No entanto os laboratórios remotos e virtuais também podem ser perfeitamente enquadrados num processo de aprendizagem construtiva [103], onde o conhecimento já está todo estruturado pelos concetores do curso (apoio teórico e trabalhos práticos na ordem correcta) [104], especialmente se os vários trabalhos dos laboratórios remotos e virtuais estiverem integrados num *LMS (Learning Management System)*, [105][106][61][17] como por exemplo uma plataforma *Moodle*, ou em *MOOC's*. [101]

Assim sendo verificamos que o enriquecimento pedagógico trazido pelos laboratórios remotos e virtuais tanto se aplica a uma filosofia de ensino cognitivista como construtivista [103][107].

Em termos técnicos este trabalho também pretende enumerar e quantificar quantos tipos de laboratórios remotos e virtuais *online* existiram e existem, e qual a sua distribuição ao longo do tempo e do espaço (o seu acoplamento estrutural) e quais as equipas científicas que os construíram e os mantêm (o seu acoplamento energético).

Pretende-se neste trabalho analisar as suas linhas de desenvolvimentos (“escolas” e equipas científicas), e qual o rumo que aparentemente levam. As linhas de desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais acabam por ser função essencialmente das equipas científicas e de investigação que os constroem e mantêm, e da sua disponibilidade para tal.

Tal como nas questões e discussões entre o ensino presencial e o ensino a distância, onde alguns autores consideram que o ideal para grande parte das situações, entre eles especialmente o ensino da engenharia, é ter um modelo misto, entre o ensino presencial e o ensino a distância, e que se convencionou chamar *blended-learning* ou *b-learning*. Também na questão dos laboratórios a resposta deverá ser uma situação de equilíbrio, entre os laboratórios presenciais ou *hands-on* e os laboratórios remotos e virtuais, ou genericamente referidos como *online labs*.

Já em 1999 o sistema de ensino integrado da *Universidade do Colorado* em *Boulder* mostrou-nos um exemplo de como combinar laboratórios presenciais *hands-on* e laboratórios remotos e virtuais neste caso com simulação [5] [108][109].

Também foram realizadas em 2004 vários trabalhos e estudos de comparação e análise entre laboratórios reais *hands-on* e simulados que chegaram a várias e até diferentes comparações [15][5] [110][111][112].

Já nessa altura em 1993, houve uma intensa discussão sobre a utilização dos laboratórios remotos e virtuais, e o seu enquadramento pedagógico no processo do ensino-aprendizagem.

Como resultado destes vários estudos o consenso generalizado destes estudos comparativos, com a excepção do artigo com autoria de *Engum et al*[112], é que não se regista uma diferença apreciável e significativa nos resultados obtidos pelos alunos nos diferentes tipos de laboratórios, logo os laboratórios a distância não prejudicam em nada o processo de apreensão de conhecimento por parte dos alunos [5], muito pelo contrário, criam uma muito maior flexibilidade no processo de aprendizagem, pois podem utilizar esses laboratórios a qualquer hora do dia ou da noite, repetir as experiências as vezes que entenderem para aferição de resultados e permite aos alunos uma abordagem muito mais construtivista do seu processo de aprendizagem, pois pode definir as suas várias tarefas de aprendizagem e a sua ordem cronológica.

3. Abordagem do problema e “Questão Central de Pesquisa”

No capítulo anterior apresentou-se uma visão geral do desenvolvimento dos laboratórios remotos, e das suas ferramentas pedagógicas complementares, desde os seus primórdios até ao momento actual.

Do conjunto vasto de exemplos apresentados, que dão uma perspectiva qualitativa, por amostragem, das várias direcções de desenvolvimento seguidas, não é possível retirar informação quantitativa, de nível global e determinístico, de todas as direcções seguidas.

O presente capítulo foca-se neste problema, apresentando a estratégia de abordagem e as etapas de trabalho conduzido, nomeadamente da análise sistemática das linhas de desenvolvimento, da sua evolução no passado, e, finalmente na definição da “Questão Central de Pesquisa”.

3.1. Estratégia de abordagem / Etapas de trabalho

A estratégia de abordagem ao problema proposta consistiu no desenvolvimento e concretização das seguintes etapas:

Tabela 3.1 - Ações desenvolvidas em cada etapa

Etapa	Ações Desenvolvidas
1	Estudo da teoria da evolução das espécies de <i>Darwin</i> , assim como todos os seus fundamentos e conceitos.
2	Estudo da <i>General Systems Theory</i> de <i>Ludwig van Bertalanfy</i> e do livro <i>Teoria Geral de Sistemas</i> de <i>João Bosco</i> .
3	Definição do conceito de “Acomplamento Energético” como uma extensão dos conceitos do livro <i>General Systems Theory</i> baseado no conceito de “acoplamento estrutural” desenvolvido por <i>João Bosco</i> no livro <i>Teoria Geral de Sistemas</i> .
4	Consolidação do conceito de “laboratório remoto” ou “laboratório virtual”, como um sistema com “acoplamento estrutural” e “acoplamento energético”.
5	Apresentação de uma análise das origens dos laboratórios remotos.
6	Produção de uma <i>timeline</i> que retrace a história dos laboratórios remotos e virtuais desde o seu início até aos nossos dias.
7	Análise das diferentes linhas de desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais.
8	Proposta de um Modelo para a vida (e morte) dum sistema de laboratórios remotos e virtuais..
9	Validação do Modelo.
10	Verificação do Modelo.
11	Consolidação de resultados.
12	Apresentação das conclusões do estudo, e direcções futuras dos laboratórios remotos e virtuais.

No respeitante à pesquisa necessária, para concretizar a etapa 7 ela foi realizada e organizada da seguinte forma:

Inicialmente realizou-se uma pesquisa que podemos referir como *1ª fase* e que consistiu na divisão dos resultados de pesquisa por 3 grandes temas bastante abrangentes:

- *RVL – Remote and Virtual Labs*
- *HSI – Hardware and Software Interface*
- *EEP – Engineering Educations and Pedagogy*

Foi feita uma pesquisa manual artigo a artigo com leitura individual de cada um e análise individual com classificação por critérios pessoais, baseados no estudo e conhecimento de todo esta realidade ao longo do tempo de investigação deste trabalho.

Para cada um destes temas foram escolhidas criteriosamente as conferências e publicações a ter em conta, atendendo à maior relevância de cada conferência ou número de publicações no tema em questão.

Foram realizadas amostras no número de artigos publicados para 5 anos chave: 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015.

Com estes dados foi calculada uma regressão (linear ou polinomial) que permitiu projetar dados para 2 anos no futuro: 2020 e 2025.

Foi a partir destes dados reais de 1995 a 2015 e dados projetados (2020 e 2025) que foram construídos gráficos para cada conferência.

São apresentados alguns dados a título de exemplo, assim como as funções de regressão obtidas.

Os dados completos e gráficos associados em formato excel estão disponíveis para download no repositório digital deste trabalho em: www.rcc7.net/phd/1fase_pesquisa.rar

Nestas páginas apenas são apresentados os dados referentes ao tema RVL (*Remote and Virtual Labs*), mas na folha *Excel* produzida constam todos os dados sobre os temas e sobre todas as conferências consideradas para os 3 temas.

São também apresentados alguns gráficos obtidos da análise da evolução destes dados com a indicação das correspondentes funções de regressão obtidas.

Foram mesmo consideradas na tabela da folha de cálculo duas linhas por cada conferência de cada tema, cada uma com a sua própria função de regressão, uma linha só com os dados reais e outra com os dados reais e projetados, pois ao se considerarem os dados projetados o coeficiente de correlação sofre um ajuste, assim como por vezes alguns termos da equação, especialmente no termo independente.

Para se conseguir uma evolução de dados (número de artigos escritos) houve casos em que se considerou mais do que uma linha de tendência, concretamente regressão linear e funções polinomiais de grau 2 e 3 de modo a se conseguir uma evolução o mais próxima possível da realidade aferida para tentar fazer uma projeção o mais realista e fiável possível.

Tabela 3.2 - Resultados das pesquisas sobre o tema Remote & Virtual Labs com as conferências selecionadas e valores projetados por equações de tendência para 2020 e 2025. (FIE apresenta projeções com função polinomial de grau 2 e de grau 3.

Registo do n. de artigos de cada fórum para cada ano		DADOS REAIS					DADOS PROJETADOS	
Índice para projecção:		1	2	3	4	5	6	7
Temas	Fórum / Ano	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025
RVL	Conferências "REV"	0	0	25	44	74	113	159
	Conferências "REV"	-	-	25	44	74		
	Conferências "Frontiers in Education"	0	4	11	14	26	35	48
	Conferências "Frontiers in Education"	0	4	11	14	26	36	48
	Conferências "Frontiers in Education"	0	4	11	14	26		
	Publicações IEEE "others" (*)	13	52	39	138	147	157	112
Publicações IEEE "others" (*)	13	52	39	138	147			

Tabela 3.3 - Equações de tendência para os dados apresentados na tabela 3.2 em linhas diretamente correspondentes.

Equação da tendência	Coef. Correlação inicial sem dados projetados	Coef. Correlação final com dados projetados	Tipo de Regressão
$y = 3,8571x^2 - 3,9429x - 2$	$R^2 = 0,9867$?	Polinomial grau 2
$y = 0,0333x^3 + 0,4572x^2 + 2,4239x - 2,8002$	$R^2 = 0,995$	$R^2 = 0,9949$	Polinomial grau 3
$y = 0,8571x^2 + 1,0571x - 1,6$	$R^2 = 0,9769$	$R^2 = 0,9949$	Polinomial grau 2
$y = -3,1667x^3 + 32,214x^2 - 61,619x + 50,8$	$R^2 = 0,8705$	$R^2 = 0,906$	Polinomial grau 3

NOTAS:

1. O item escolhido “Conferências *IEEE-Others*” é muito lato e abarca muitos tipos e publicações constantes da Biblioteca Digital *IEEE Xplore*, pelo que os dados apresentados não terão o grau de exatidão e rigor dos dados referentes às conferências *REV* e *Frontiers in Education*.
2. Para as conferências *REV* foram consideradas várias equações para tentar encontrar o mais correto coeficiente de correlação.
3. As equações de tendência são apresentadas para as linhas com dados projetados.
4. Além destas conferências existem outras que poderiam ter sido consideradas como por exemplo as conferências “Experiment@” [85][113] organizadas de 2 em 2 anos pela Universidade de Coimbra e Universidade do Porto (FEUP) que são muito significativas especialmente nas publicações de autores portugueses e na sua qualidade, no entanto apresentavam no total menor volume de publicações que as escolhidas e logo menos dados para analisar. A próxima terá lugar na Universidade da Madeira de 12 a 14 de Junho de 2019. Destaque-se por exemplo o conjunto de artigos acerca do VISIR publicados neste fórum: [114]–[120]

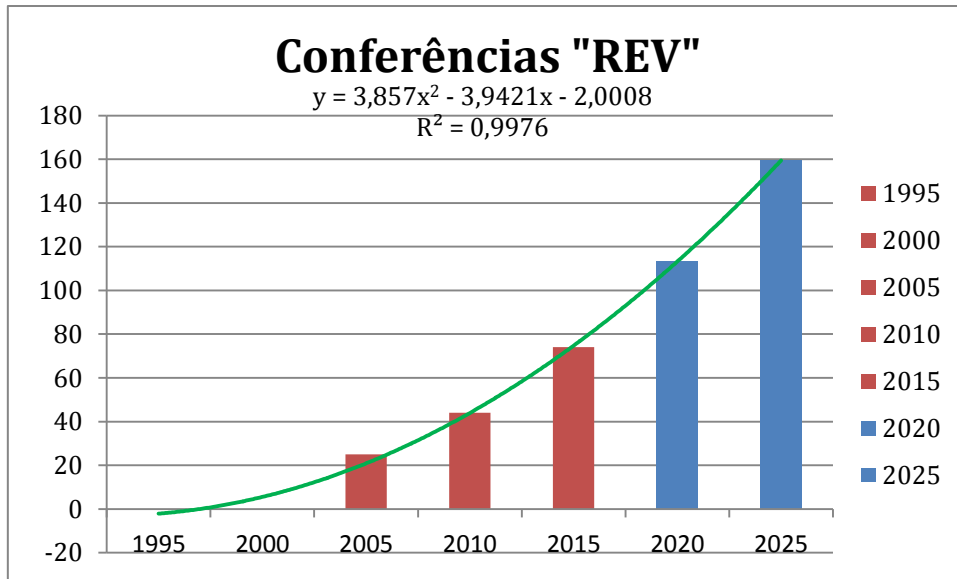


Figura 3.1 - Dados reais e projetados das conferências REV com indicação de equação de tendência e coeficiente de correlação

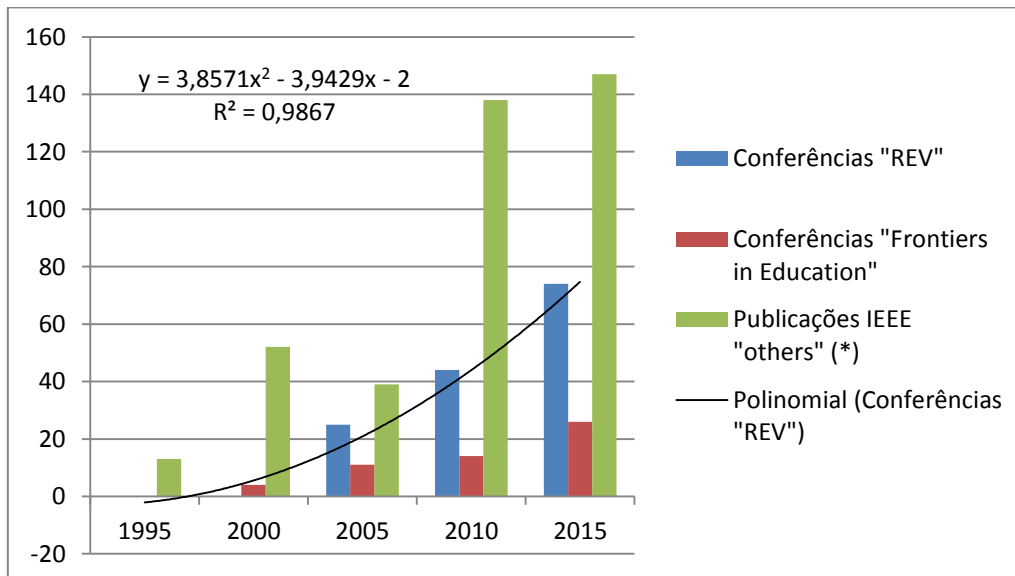


Figura 3.2 - Dados reais do número de artigos das temáticas RVL, HSI e EEP para os 3 fóruns de publicação escolhidos. Nitidamente IEEE Others tem um comportamento mais errático atípico.

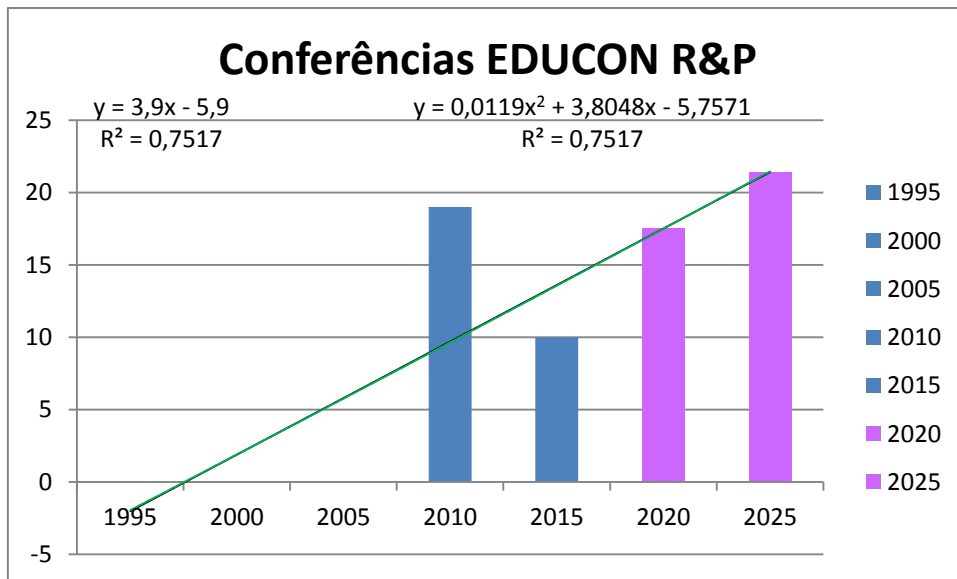


Figura 3.3 - Número de artigos das temáticas RVL, HSI e EEP com números Reais e Projetados (para 2020 e 2025) referentes às Conferências EDUCON

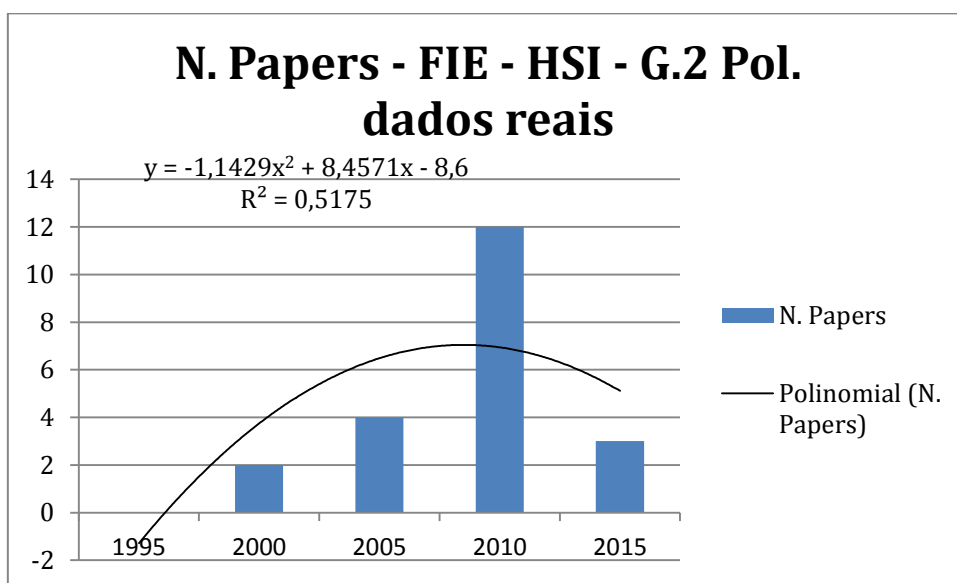


Figura 3.4 - Dados reais das conferências *Frontiers in Education* para a área HSI com indicação da equação de tendência e coeficiente de correlação – 2º gráfico com otimização de coeficientes

Os resultados destas pesquisas inicialmente realizadas com uma base de menos rigor científico na 1ª e 2ª fase de pesquisa, são confirmadas pelas pesquisas posteriormente realizadas de modo muito mais exato na 3ª fase de pesquisa, esta realizada através dos motores de busca *Google Scholar* e *Semantic Scholar* com as várias palavras-chave extras expressas nas várias línguas, o que confirma que mesmo nestas pesquisas iniciais, realizadas de forma mais subjetiva, pois baseando-se nos critérios do doutorando (após leitura detalhada dos artigos), validados pelos resultados obtidos pela utilização dos motores de busca *Google Scholar* e *Semantic Scholar*, confirmou-se que a análise inicial (mais subjetiva) estava a seguir na direção certa da pesquisa e a considerar fóruns (conferências e publicações) relevantes para cada uma das temáticas e áreas técnicas consideradas.

Por esta 1ª fase de pesquisa se revelar muito lata e pouco precisa, foi iniciada uma 2ª fase de pesquisa com uma metodologia centrada em strings de procura definidas para em 4 motores de busca:

- Google Scholar (<https://scholar.google.pt>)
- IEEE Xplore (Digital Library) (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>)
- ACM DL (<https://dl.acm.org>)
- ACM DL Expandido (<https://dl.acm.org>)

A Metodologia desta 2ª fase de pesquisa foi a seguinte:

Foram estabelecidas *strings* de procura referentes a:

- “Remote Laboratories”
- “Online Laboratories”
- “Virtual Laboratories”
- “Web Labs”
- “Internet Based Labs”

Concretamente as *strings* definidas para as operações de procura foram as seguintes:

- String 1 = "remote lab" OR "remote laboratory" OR "remote laboratories"
- String 2 = "online lab" OR "online laboratory" OR "online laboratories"
- String 3 = "virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "virtual laboratories"
- String4 = "weblab" OR "web-based laboratory" OR "web-based laboratories" OR web-accessible labs OR "web-accessible laboratory" OR "web-accessible laboratories"
- String5 = "internet-based labs" OR "internet-based laboratory" OR "internet-based laboratories" OR "internet-accessible labs" OR "internet-accessible laboratory" OR "internet-accessible laboratories"

Com estas *strings* assim definidas foram realizadas pesquisas para 5 anos diferentes, distanciados também de 5 anos entre si, que serviram de amostra, foram escolhidos concretamente os seguintes anos: 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015. Na coluna correspondente é mostrado o número de artigos.

A título de exemplo mostram-se os resultados para a pesquisa do ano de 2010:

Tabela 3.4 - Resultados da pesquisa para o ano de 2010

ANO 2010	Google Scholar	IEEE Xplore (1)	ACM DL simples	ACM DL expandido
String 1 – Remote	405	6	2	15
String 2 -Online	350	11	1	5
String 3 – Virtual	2950	72	10	57
String 4 - weblab OR web-accessible	363	12	0	5
String 5 - internet-based OR internet-accessible	66	1	0	0

(1) - Procura feita por “Metadata Only” para evitar por exemplo referências a outros artigos

Depois foram reunidos todos os dados e obteve-se uma evolução do número de artigos sobre as várias temáticas ao longo dos anos, em cada um dos 4 motores de busca utilizados, como é mostrado nas tabelas 3.5 a 3.8.

Tabela 3.5 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca Google Scholar

Google Scholar	1995	2000	2005	2010	2015
String 1 – Remote	39	125	405	405	1130
String 2 - <i>online</i>	3	51	169	350	745
String 3 – Virtual	225	869	1680	2950	3490
String 4 - weblab OR web-accessible	0	161	299	363	331
String 5 - internet-based OR internet-accessible	0	8	41	66	51

Tabela 3.6 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca IEEE Xplore

IEEE Xplore	1995	2000	2005	2010	2015
String 1 – Remote	ND	ND	1	6	9
String 2 - <i>online</i>	ND	ND	7	11	26
String 3 – Virtual	1	21	52	72	85
String 4 - weblab OR web-accessible	ND	2	5	12	7
String 5 - internet-based OR internet-accessible	ND	1	1	1	ND

ND – Não Disponível

Tabela 3.7 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca ACM DL

ACM DL	1995	2000	2005	2010	2015
String 1 – Remote	0	0	3	2	3
String 2 - <i>online</i>	0	0	2	1	3
String 3 – Virtual	1	1	5	10	7
String 4 - weblab OR web-accessible	0	0	0	0	0
String 5 - internet-based OR internet-accessible	0	0	0	0	0

Tabela 3.8 - Resultados quantitativos da pesquisa no motor de busca ACM DL Expandido

ACM DL Expandido	1995	2000	2005	2010	2015
String 1 – Remote	0	2	15	15	15
String 2 - <i>online</i>	0	0	4	5	7
String 3 – Virtual	1	16	42	57	41
String 4 - weblab OR web-accessible	0	0	1	5	0
String 5 - internet-based OR internet-accessible	0	1	0	0	0

Destes dados foram extraídos os seguintes gráficos, que mostram a evolução do máximo de artigos das várias temáticas e ocorrência das respetivas *strings* ao longo dos anos, tendo sido produzido um gráfico para cada motor de busca considerado.

O primeiro gráfico apresentado refere-se ao motor de busca Google Scholar:

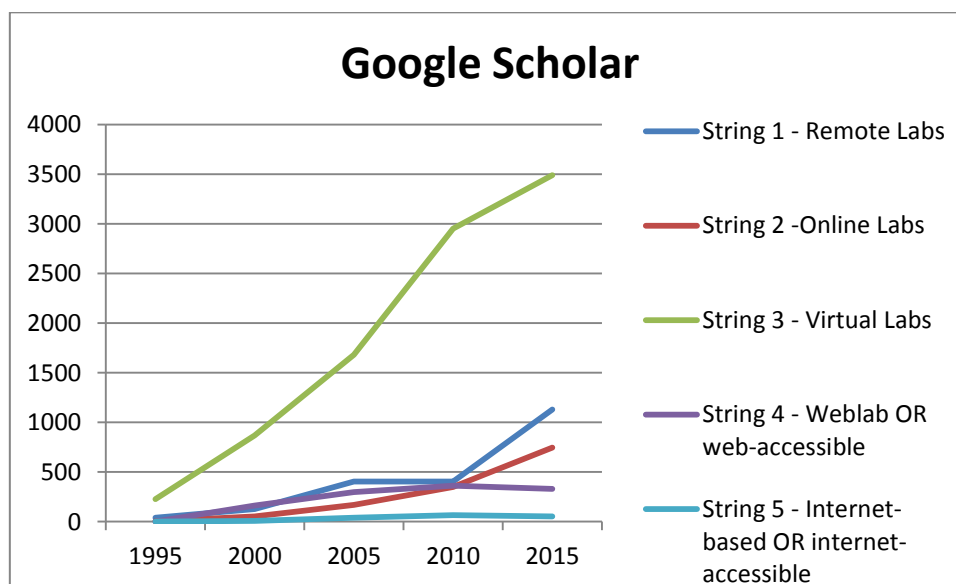


Figura 3.5 - Ocorrência das *strings* indicadas no motor Google Scholar de 1995 a 2015 (amostragem de 5 em 5 anos)

As conclusões diretas que podemos tirar são:

- 1- A *string* com mais ocorrências é a referente aos *Virtual Labs*;
- 2- Todas as *strings* exceto a 4 atingem o seu máximo em 2015;
- 3- A *string weblab OR web-accessible* começou a cair em desuso após 2010.

O segundo gráfico apresentado refere-se ao motor de busca da IEEE, concretamente a *IEEE Xplore Digital Library*, que é um dos maiores repositórios mundiais sobre artigos de engenharia.

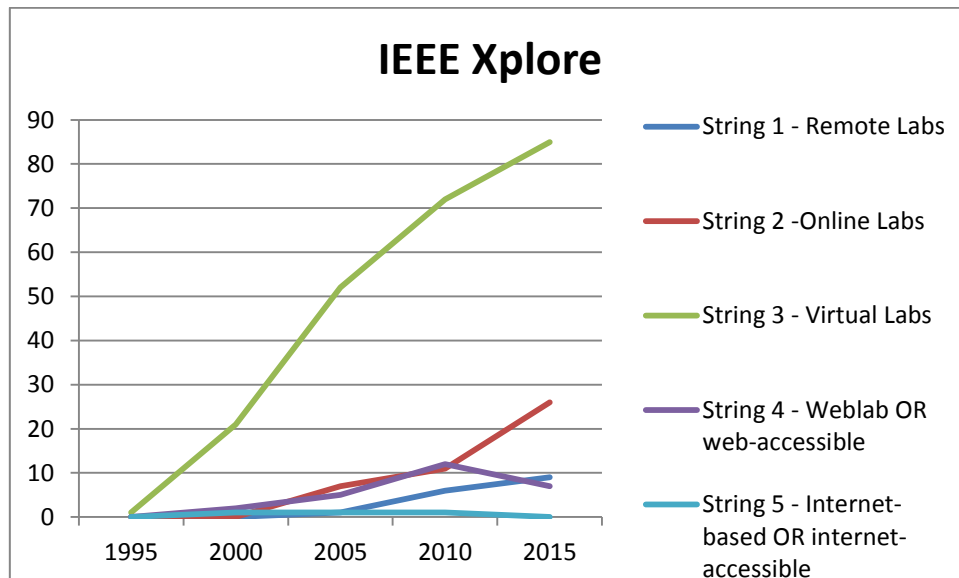


Figura 3.6 - Ocorrência das *strings* indicadas no motor *IEEE Xplore Digital Library* de 1995 a 2015 (amostragem de 5 em 5 anos)

Deste gráfico podemos também tirar as seguintes conclusões imediatas:

- 1- A *string* com mais ocorrências é a referente aos *Virtual Labs*;
- 2- Todas as *strings* exceto a 4 atingem o seu máximo em 2015;
- 3- A *string weblab OR web-accessible* começou a cair em desuso após 2010;
- 4- A *string* referente aos *online labs* tem um considerável acréscimo entre 2010 e 2015, pelo que aparenta ser um termo que entrou novamente em uso nos trabalhos científicos produzidos.

O terceiro gráfico apresentado refere-se ao motor de busca da *ACM Digital Library*, que é um repositório mundial sobre artigos científicos. Apresenta dois modos de busca o simples e o *expanded*, este terceiro gráfico refere-se ao modo simples e o quarto gráfico ao modo *expanded*.

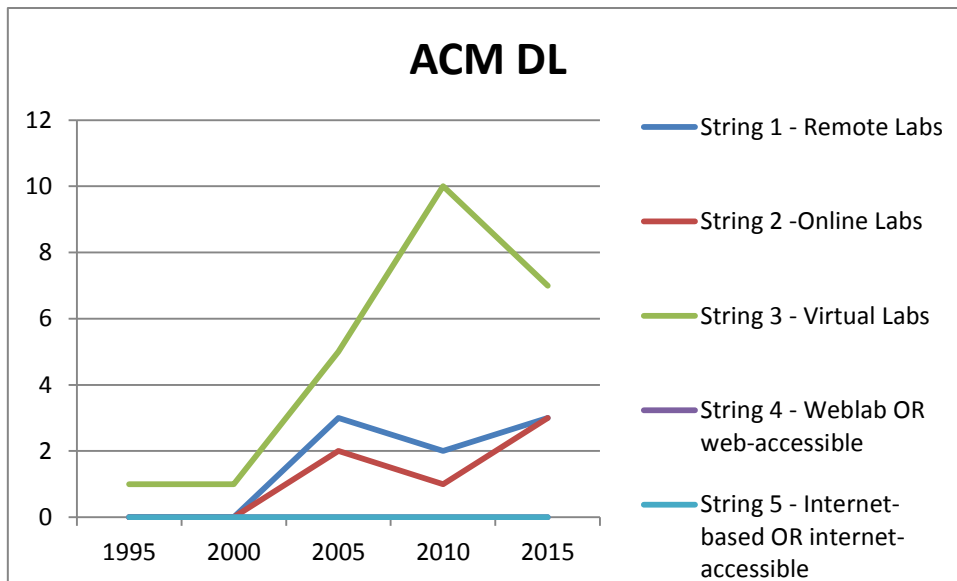


Figura 3.7 - Ocorrência das strings indicadas no motor *ACM Digital Library* de 1995 a 2015 em modo de procura simples e com amostragem de 5 em 5 anos

Deste gráfico podemos inferir as seguintes conclusões imediatas:

- 1- A *string* com mais ocorrências é a referente aos *Virtual Labs*;
- 2- A *string* 3 atinge o seu máximo em 2010, tendo depois uma forte descida até 2015;
- 3- As *strings* 4 e 5 nunca foram utilizadas. Por isso no gráfico não aparece linha violeta, está “escondida” debaixo da azul clara;
- 4- A *strings* referentes aos *remote labs* e *online labs* apresentam um máximo em 2005, entrando depois progressivamente em desuso até 2010 e depois aumentam ligeiramente as suas ocorrências até 2015.

O quarto gráfico refere-se aos resultados da busca no motor de busca da *ACM Digital Library* no modo *expanded*.

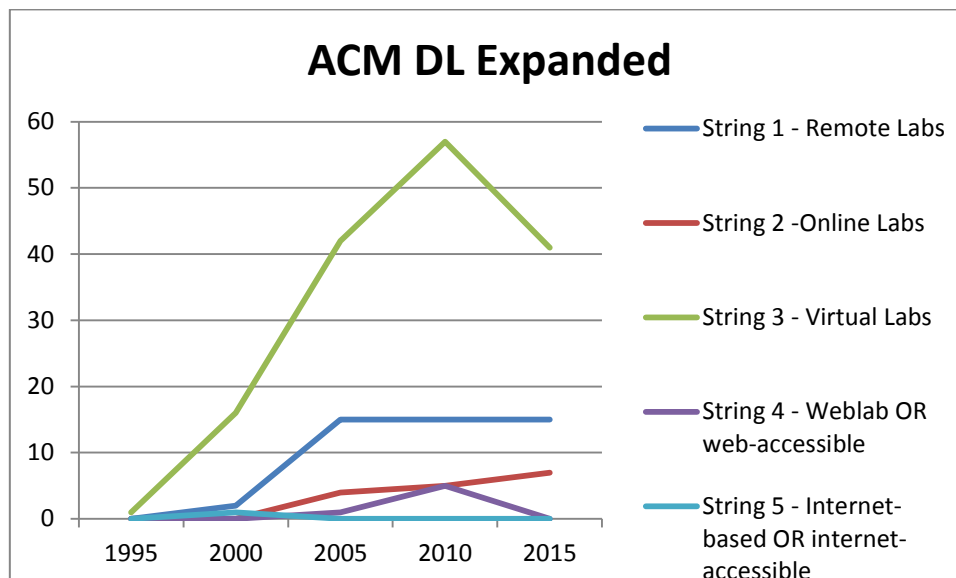


Figura 3.8 - Ocorrência das strings indicadas no motor *ACM Digital Library* de 1995 a 2015 em modo de procura *expanded* e com amostragem de 5 em 5 anos

Deste quarto gráfico podemos inferir as seguintes conclusões imediatas:

- 1- A *string* com mais ocorrências é a nº 3, referente aos *Virtual Labs*;
- 2- A *string* 3 atinge o seu máximo em 2010, tendo depois uma forte descida até 2015;
- 3- A *string* 5 nunca foi utilizada;
- 4- A *string* 4 apresenta o seu máximo em 2010 e depois decai até 2015;
- 5- A *string* 2 tem um comportamento discreto mas sempre crescente;
- 6- A *string* 1 referente aos *remote labs* sobe até 2005 e depois estabiliza, não aumenta as referências.

Da análise dos 4 gráficos acima apresentados foi possível inferir as seguintes conclusões genéricas:

- Os registos do *ACM* e *ACM DL* registam um pico em 2010 da keyword dos *Virtual Labs*
- O *Google Scholar* é o que apresenta maior número de entradas
- A *string* com mais entradas é a *Virtual lab* nos 4 sistemas
- *Google Scholar* e *IEEE Xplore* estão num crescendo contínuo ao longo dos anos
- A *string* *Online Labs* ocorre cada vez mais nos 4 sistemas
- No *Google Scholar* e no *ACM* a 2ª *string* com mais ocorrências é *remote labs*
- No *IEEE Xplore* a 2ª maior ocorrência é *Online Labs*
- A *string* 5 - *internet-based OR internet accessible* é quase inexistente
- A *string* 4 - *weblab OR web-accessible* tem um pico em 2010 e depois diminui
- No *Google Scholar* há um aumento de todas as *strings* em 2015

A título de exemplo são apresentados para o ano de 2010 o código das *strings* de procura geradas pelos 4 motores de busca considerados para a *string 1* original: **“remote lab” OR “remote laboratory” OR “remote laboratories”**, assim como um *screenshot* do resultado obtido:

Google Scholar. 748 resultados

É apresentada em nota de rodapé *string* gerada pelo Google Scholar.¹

The screenshot shows the Google Académico search interface. The search bar contains the query: "remote lab" OR "remote laboratory" OR "remote laboratories". Below the search bar, it indicates "Artigos" and "Cerca de 748 resultados (0,12 seg)". On the left side, there are filters for "Sempre" (Always), "Desde 2018", "Desde 2017", "Desde 2014", and "Intervalo específico..." (Specific interval) with a date range set to "2010" to "2010". There is a "Pesquisar" (Search) button. Below the filters, there are options to "Ordenar por relevância" (Sort by relevance), "Ordenar por data" (Sort by date), "Qualquer idioma" (Any language), "Pesquisar páginas em Português" (Search pages in Portuguese), and checkboxes for "incluir patentes" (include patents) and "incluir citações" (include citations). The main content area displays a list of search results. The first result is titled "An integrated reusable remote laboratory to complement electronics teaching" by N Sousa, GR Alves, and MG Gericota, published in IEEE Transactions on Education in 2010. The second result is "Virtual and remote laboratory development: A review" by X Chen, G Song, and Y Zhang, published in Earth and Space in 2010. The third result is "Collaboration in the remote laboratory NetLab" by J Machotka, Z Nedić, A Nafalski, and Ö Göl, published in search.ror.unisa.edu.au in 2010. The fourth result is "Secondlab: A remote laboratory under second life" by J Garcia-Zubia, J Irurzun, and I Angulo, published in Education in 2010.

Figura 3.9 - *String* gerada pelo Google Scholar e resultado da pesquisa apresentada

De seguida apresentam-se exemplos de pesquisa pelos vários motores de busca, com as páginas onde se definem os critérios de pesquisa e a *string* gerada:

É apresentada em nota de rodapé a *String* gerada pelo IEEE Xplore.²

1

https://scholar.google.com/scholar?as_q=&as_epq=&as_oq=%22remote+lab%22+%22remote+laboratory%22+%22remote+laboratories%22&as_eq=&as_occt=any&as_sauthors=&as_publication=&as_ylo=2010&as_yhi=2010&hl=en&as_sdt=1,5&as_vis=1

2

http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?queryText=%E2%80%9Cremote%20lab%E2%80%9D%20OR%20%E2%80%9Cremote%20laboratory%E2%80%9D%20OR%20%E2%80%9Cremote%20laboratories%E2%80%9D&ranges=2010_2010_Year

Agora usando a opção *Advanced Search*:

IEEE.org | IEEE Xplore Digital Library | IEEE-SA | IEEE Spectrum | More Sites | Cart (0) | Create Account | Personal Sign In

IEEE Xplore[®] Digital Library | Institutional Sign In | IEEE

Browse ▾ | My Settings ▾ | Get Help ▾ | Subscribe

Advanced Search Options

Advanced Keyword/Phrases | Command Search | Citation Search | Preferences

ENTER KEYWORDS OR PHRASES, SELECT FIELDS, AND SELECT OPERATORS
Note: Refresh page to reflect updated preferences.

Search : Metadata Only Full Text & Metadata

"Remote lab" OR "Remote Laboratories" OR "Re]' in Metadata Only

AND [] in Metadata Only

AND [] in Metadata Only

+ Add New Line | Reset All | SEARCH

PUBLICATION YEAR

Search latest content update (01/10/2018)

Specify Year Range From: 2010 To: 2010

All Available Years

SEARCH

IEEE.org | IEEE Xplore Digital Library | IEEE-SA | IEEE Spectrum | More Sites | Cart (0) | Create Account | Personal Sign In

IEEE Xplore[®] Digital Library | Institutional Sign In | IEEE

Browse ▾ | My Settings ▾ | Get Help ▾ | Subscribe

All ▾ | Enter keywords or short phrases (searches metadata only by default) | Advanced Search | Other Search Options ▾

Search within results | Show: All Results ▾ | Per Page: 25 ▾ | Export ▾ | Set Search Alerts ▾ | Search History

Displaying results 1-25 of 48 for ("Remote lab" OR "Remote laboratories" OR "Remote laboratory") and refined by Year: 2010

Conferences (43) | Journals & Magazines (5)

Author

Enter Author Name

Karel Jezernik (3)

Andreja Rojko (3)

Select All on Page

Web Based Fluid Mechanics Experimental System

Sumei Dai; Zhiying Song; Ruiqing Jia

2010 International Conference on Electrical and Control Engineering

Year: 2010

Pages: 3134 - 3137

Sort By: Relevance ▾

Need Full-Text
access to IEEE Xplore for your organization?
REQUEST A FREE TRIAL >

Figura 3.10 *String* (e páginas de pesquisa) gerada pelo *IEEE Xplore Digital Library* para a pesquisa avançada para o ano de 2010 acima apresentada

Searched for (+“remote +lab” +OR +“remote +laboratory” +OR +“remote +laboratories”) [new search] [edit/save query] [advanced search]

Searched The ACM Guide to Computing Literature: 2,741,774 records [Limit your search to The ACM Full-Text Collection: 487,592 records] ?

Refinements [remove all] *click each refinement below to remove*
Published in: 2010

22 results found Export Results: [bibtex](#) | [endnote](#) | [acmref](#) | [csv](#)

Refine by People

- Names ▶
- Institutions ▶
- Authors ▶
- Reviewers ▶

Refine by Publications

- Publication Names ▶
- ACM Publications ▶
- All Publications ▶
- Content Formats ▶
- Publishers ▶

Refine by Conferences

- Sponsors ▶
- Events ▶
- Proceeding Series ▶

Result 1 – 20 of 22

Sort by: **relevance** ▼

1 [Distance network learning with real network devices](#)
[Resul Kara, Zehra Karapinar, Pakize Erdoomus](#)
 April 2010 ITHET'10: Proceedings of the 9th international conference on Information technology based higher education and training
Publisher: IEEE Press
Bibliometrics: Citation Count: 0
 Network education given in the universities and in the other education areas constitutes the backbone of computer science. This education is provided not only in theoretical form but also in the practical way. Since it is hard to settle some information of computer networks in learners' mind practices are the ...
Keywords: remote laboratory, distance network, network laboratory
[\[result highlights\]](#)

Result page: **1** 2

Figura 3.13 - String gerada pelo ACM Digital Library com a opção Advanced Search e resultados obtidos

Obtemos neste caso 22 resultados.

Os resultados de todas estas pesquisas, reunindo os dados de todos os anos considerados, são mostrados na tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Resultados globais de pesquisa de todos os anos

TOTAIS DA PESQUISA DE TODOS OS ANOS	Google Scholar	IEEE Xplore (1)	ACM DL Advanced	ACM DL
String 1 - Remote	13300	49 (*)	258	49
String 2 -online	6860	214	80	19
String 3 - Virtual	17100	1054	690	120
String 4 - weblab OR web-accessible	6600	114	43	8
String 5 - internet-based OR internet-accessible	922	23	11	0
Total:	44782	1405	1082	196

(*) - Impõe procura de 2001 a 2017 (1) - Procura feita por Metadata Only para evitar por exemplo referências a outros artigos

Nota: O motor de busca ACM DL realiza pesquisas de 1947 a 2018

Devido ao facto de haver artigos que preenchem os requisitos de duas ou mais strings, foi construída uma “matriz de coincidências”, abrangente para os 5 anos considerados no estudo, e baseado no motor de busca mais abrangente de todos, que é o Google Scholar, sem considerar patentes e citações (para não ter entradas falsas).

Foram construídas estas matrizes de coincidências para cada um dos motores de busca em particular e finalmente outra que agrega os resultados dos quatro motivos de busca e cujos resultados são mostrados de seguida:

Tabela 3.10 – Matriz de coincidências

String 2	1720			
String 3	4680	752		
String 4	1710	675	1350	
String 5	38	14	66	180
	String 1	String 2	String 3	String 4

Esta tabela interrelaciona as várias *strings* com outras de modo a realçar o número de repetições da ocorrência de *strings*.

Nas linhas e colunas de tabela aparecem as *strings* simples já enunciadas antes:

- *String 1* = "remote lab" OR "remote laboratory" OR "remote laboratories"
- *String 2* = "online lab" OR "online laboratory" OR "online laboratories"
- *String 3* = "virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "virtual laboratories"
- *String 4* = "weblab" OR "web-based laboratory" OR "web-based laboratories" OR "web-accessible labs" OR "web-accessible laboratory" OR "web-accessible laboratories"
- *String 5* = "internet-based labs" OR "internet-based laboratory" OR "internet-based laboratories" OR "internet-accessible labs" OR "internet-accessible laboratory" OR "internet-accessible laboratories"

As intersecções da matriz de coincidências, traduzem as seguintes *strings* compostas:

- *string2 AND string1* = ("online lab" OR "online laboratory" OR "online laboratories") AND ("remote lab" OR "remote laboratory" OR "remote laboratories")
- *string3 AND string1* = ("virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "virtual laboratories") AND ("remote lab" OR "remote laboratory" OR "remote laboratories")
- *string4 AND string1* = ("weblab" OR "web-based laboratory" OR "web-based laboratories" OR "web-accessible labs" OR "web-accessible laboratory" OR "web-accessible laboratories") AND ("remote lab" OR "remote laboratory" OR "remote laboratories")
- *string5 AND string1* = ("internet-based labs" OR "internet-based laboratory" OR "internet-based laboratories" OR "internet-accessible labs" OR "internet-accessible laboratory" OR "internet-accessible laboratories") AND ("remote lab" OR "remote laboratory" OR "remote laboratories")
- *string3 AND string2* = ("virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "virtual laboratories") AND ("online lab" OR "online laboratory" OR "online laboratories")
- *string4 AND string2* = ("weblab" OR "web-based laboratory" OR "web-based laboratories" OR "web-accessible labs" OR "web-accessible laboratory" OR "web-accessible laboratories") AND ("online lab" OR "online laboratory" OR "online laboratories")
- *string5 AND string2* = ("internet-based labs" OR "internet-based laboratory" OR "internet-based laboratories" OR "internet-accessible labs" OR "internet-accessible laboratory" OR "internet-accessible laboratories") AND ("online lab" OR "online laboratory" OR "online laboratories")
- *string4 AND string3* = ("weblab" OR "web-based laboratory" OR "web-based laboratories" OR "web-accessible labs" OR "web-accessible laboratory" OR "web-accessible laboratories") AND ("virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "virtual laboratories")
- *string5 AND string3* = ("internet-based labs" OR "internet-based laboratory" OR "internet-based laboratories" OR "internet-accessible labs" OR "internet-accessible laboratory" OR "internet-accessible laboratories") AND ("virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "virtual laboratories")

- *string5 AND string4 = ("internet-based labs" OR "internet-based laboratory" OR "internet-based laboratories" OR "internet-accessible labs" OR "internet-accessible laboratory" OR "internet-accessible laboratories") AND ("weblab" OR "web-based laboratory" OR "web-based laboratories" OR "web-accessible labs" OR "web-accessible laboratory" OR "web-accessible laboratories")*

Estas *strings* permitem-nos tirar as seguintes conclusões do número de artigos escritos, após excluirmos as repetições.

Soma de todas as células (nº total de coincidências): 11185

Total artigos = total do *Google Scholar* - soma coincidências:

44782 – 11185 = 33597 Total de artigos escritos desde sempre (condicionado à abrangência temporal do *Google Scholar*)

NOTA:

A *String 5* nunca é considerada na totalidade com outra, excede os limites de caracteres do *Google Scholar*

Os resultados poderão não ser totalmente corretos, especialmente no 2º termo

Concluimos também que existem cerca de 75% de publicações não-redundantes

total de não coincidências / total = nº publicações não redundantes

33597 / 44782 = 75,02%

Foram ainda feitas pesquisas com outras *keywords* menos comuns, e os resultados obtidos, em número de publicações, foram os seguintes:

Tabela 3.11 - Resultados da pesquisa de keywords menos comuns

Strings de procura	GS(*)	IEEE Xplore	ACM- DL	ACM - DL Expanded
("tele-operated lab" OR "experiment lab")	1960	5	27	58
"cyber experiment lab"	0	0	0	0
"i-Lab"	21400	157	5	33
"telelab"	1230	18	0	4
"cyberlab"	1110	3	1	4
"cyber-physical experiment lab"	0	0	0	0
"teleoperated lab"	8	0	0	0
"teleoperated experiment"	15	0	4	21

Notas: GS(*) – Resultados da pesquisa no *Google Scholar* considerada sem patentes e citações

Com estes dados foi obtido o seguinte gráfico de barras com escala logarítmica para melhor legibilidade os valores menores:

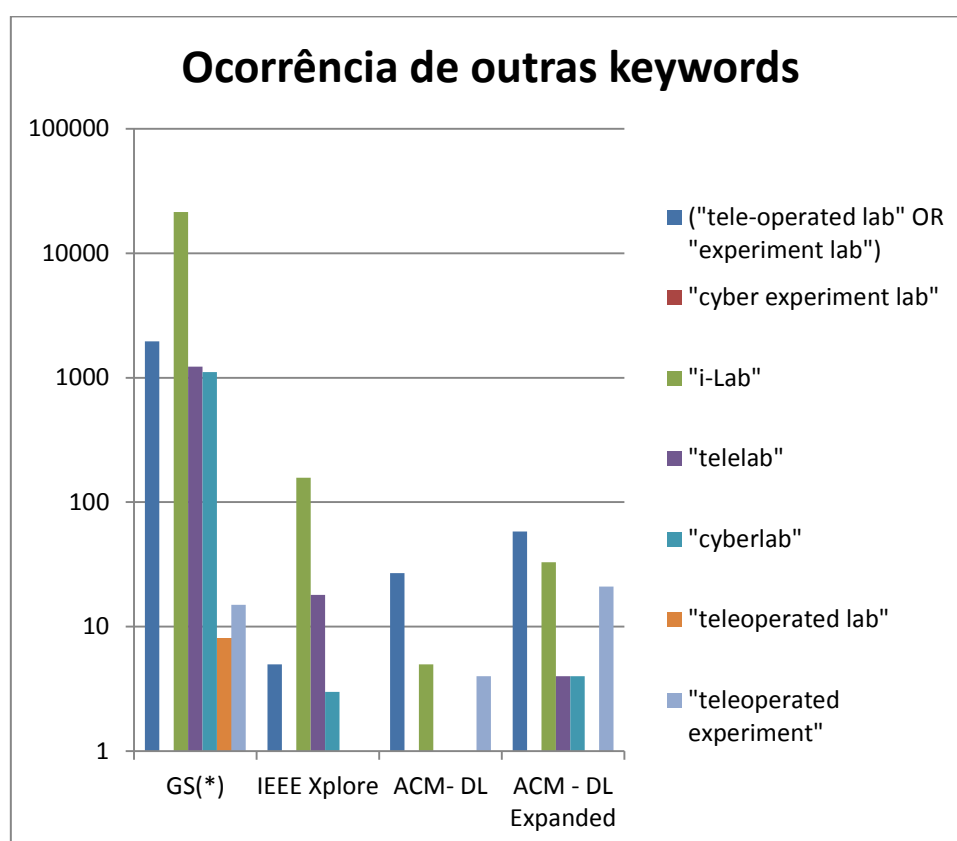


Figura 3.14 - Gráfico de barras com escala logarítmica que mostra os resultados das "outras keywords"

O que nos permite concluir que estas pesquisas traduzem resultados quase residuais, exceto para o termo *i-lab* que é muito referido devido ao sistema de *remote labs* do *Massachusetts Institute of Technology*, e mesmo à existência da sua federação de *online labs* com a *Universidade de Deusto* de Bilbao. No entanto, também é o acrónimo da *International*

Laboratory for Adaptive Bio-nanotechnology, o que origina muitas entradas que não têm a ver com o *Massachusetts Institute of Technology*.

Os dados completos e gráficos associados em formato excel desta 2ª fase de pesquisa estão disponíveis para download no repositório digital deste trabalho em: www.rcc7.net/phd/2fase_pesquisa.rar

Finalmente concretizou-se uma 3ª fase de pesquisa concentrada nos dois motores de busca de artigos científicos que se revelaram melhores e mais precisos, com menos ocorrências de falsas entradas:

- *Google Scholar*, ou google académico em português, é uma ferramenta de pesquisa do Google que permite procurar todo o tipo de trabalhos académicos e universitários, literatura escolar e académica, jornais de universidade, etc.
Esta ferramenta é de uso gratuito e permite organizar os resultados obtidos de várias formas, por ordem de relevância e segundo o autor, onde foi publicada, e número de citações. Permite ainda fazer a pesquisa em intervalos temporais específicos.
- *Semantic Scholar* – é um motor de busca académico desenvolvido pelo *Allen Institute for Artificial Intelligence*, que fornece os resultados de uma forma mais eficaz e rápida que o *Google Scholar*, pois aplica *machine learning technics* na procura.
Em modo de pesquisa avançada, fornece muito mais informação detalhada sobre os artigos e trabalhos pretendidos, obedecendo a critérios académicos específicos.

As pesquisas quantitativas (número de artigos) foram realizadas através do motor de busca académico *Google Scholar*.

As pesquisas analíticas e qualitativas foram feitas através do motor de busca *Semantic Scholar*.

Os resultados desta pesquisa estão publicados num grupo em ambiente *Mendeley* de *Elsevier*, com uma árvore de organização e arquivo de artigos e publicações que traduz e mostra os resultados obtidos, devidamente organizados e catalogados segundo critérios bem definidos.

O objectivo de construção deste Grupo *Mendeley* é complementar estudos anteriores tais como:

- “*Hands-On simulated, and remote laboratories*” [5]
- “*Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis*” [4]
- “*The bibliographic reference collection GRC2014 for the online laboratory research community*” [3].

Pois além de documentação escrita e da produção de um artigo, fica portanto disponível um Grupo *Mendeley*; “*Bibliometric Onlinelabs*”, que constituirá uma ferramenta de pesquisa e análise para futuros trabalhos nesta linha, e com a vantagem de constituir uma ferramenta dinâmica e viva, que poderá ser actualizada por futuros investigadores nesta mesma linha, da evolução dos laboratórios remotos e virtuais.

Esta será uma mais-valia a integrar em futuros estudos nesta área, pois pelo facto de ser um grupo de acesso por convite, dando as necessárias credenciais e permissões de acesso, vários investigadores poderão consultá-lo e actualizá-lo ao mesmo tempo.

Em termos de consulta, qualquer investigador, membro deste grupo, fica com todas as referências dos artigos constantes à disposição sem necessidade de pesquisa e construção de novo grupo de referências no ambiente *Mendeley*.

O referido Grupo *Mendeley*, denominado “*Bibliometric_Onlinelabs*” tem a estrutura e organização, mostrada nas figuras 3.15, 3.16 e 3.17:

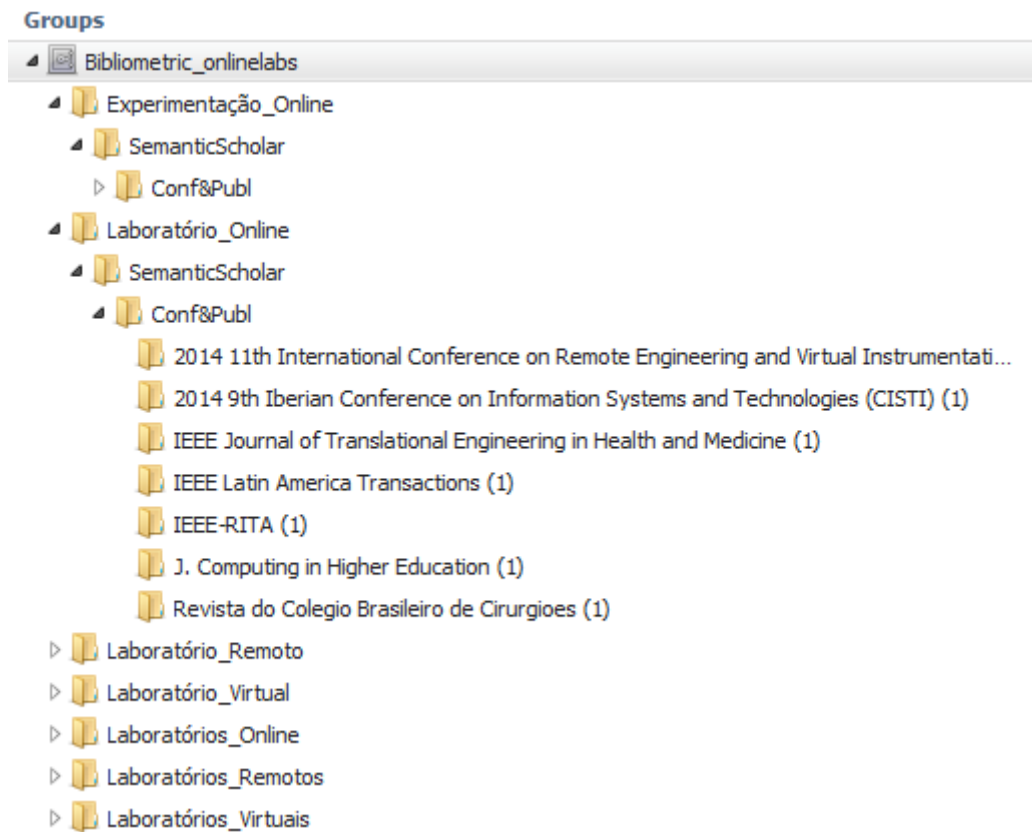


Figura 3.15 – Grupo partilhado *bibliometric onlinelabs* organizado em árvore de ambiente *Mendeley* que servirá de repositório activo ao presente trabalho

Esta árvore terá num primeiro nível de ramos todas as palavras-chave que foram consideradas na pesquisa através do *Google Scholar* e do *Semantic Scholar*.

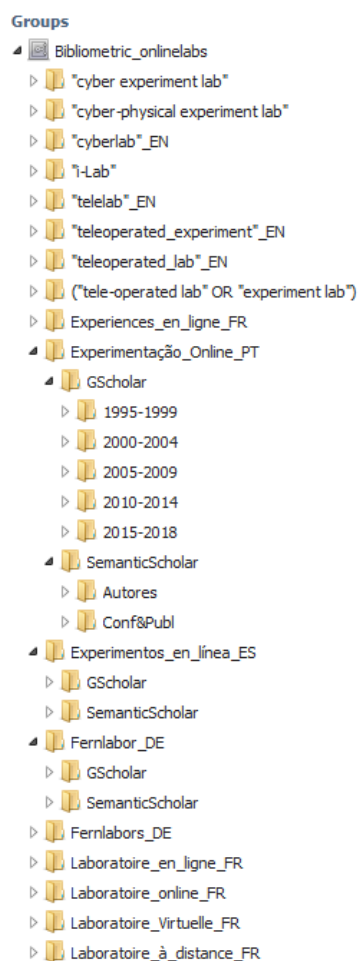


Figura 3.16 - Detalhe da árvore Mendeley

Como podemos observar na figura 3.18 os ramos principais do grupo são as palavras-chave nas várias línguas que foram consideradas na pesquisa e constam da tabela 3.12.

Para cada uma dessas palavras-chave existem 2 sub-pastas:

- *Google Scholar*
- *Semantic Scholar*

Na pasta *Google Scholar* abrem-se várias sub-pastas, uma para cada conjunto de 5 anos escolhido, onde depois ficarão depositados os artigos publicados nesse ano com essa palavra-chave. O *Google Scholar* apenas nos dá uma informação quantitativa do número de artigos publicados.

No *Semantic Scholar* as informações são mais completas e de cariz mais qualitativo. Existirá uma sub-pasta indicativa dos autores mais representativos, com mais publicações nessa temática, e outra sub-pasta com as Conferências e Publicações (Fóruns) que reúnem mais trabalhos com essas palavras-chave.

Há que ter uma atenção muito especial às palavras-chave, mesmo no respeitante à acentuação, pois podem determinar a nacionalidade dos artigos que são encontrados, por exemplo o acento na expressão “laboratórios remotos”, distingue a procura de artigos publicadas em português ou espanhol.

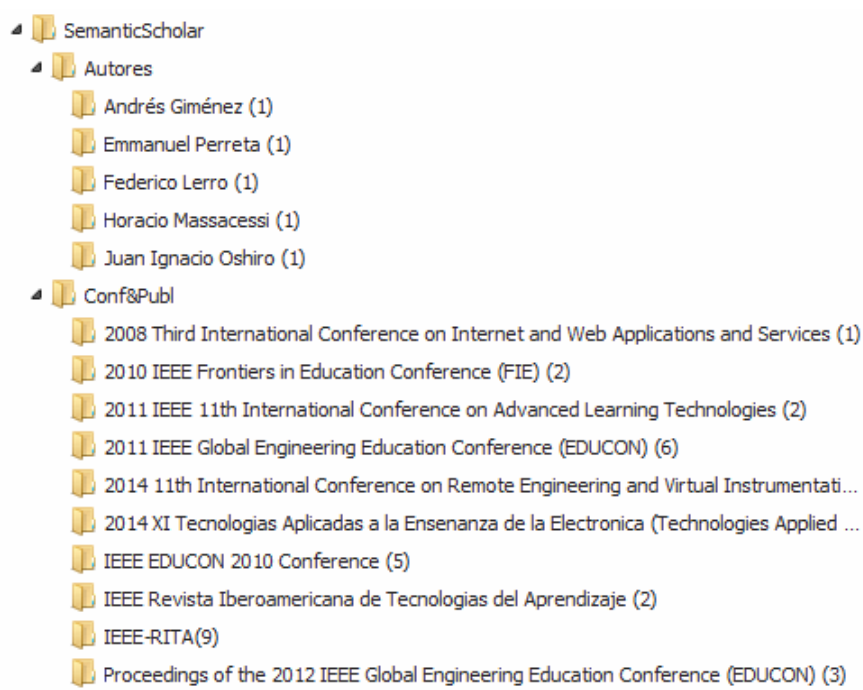


Figura 3.17 - Detalhe de autores, conferências e publicações na árvore Mendeley

Dentro de cada sub-pasta de “Autores” e de “Conf&Publ” existem várias sub-pastas, uma por autor, ou conferências / publicações (fóruns) da área expressa por essa palavra-chave.

Toda esta estrutura pode ser actualizada pelos investigadores que venham a trabalhar sobre esta área e peçam acesso a este grupo com privilégios de escrita.

Fica assim disponibilizado um repositório activo e dinâmico que poderá sempre incluir e informar sobre quais os trabalhos que se publicam nesta área dos laboratórios remotos e virtuais, quem os publica, quando e onde!

A estratégia de pesquisa e abordagem que foi utilizada, consistiu em tirar o melhor partido das funcionalidades dos motores de busca *Google Scholar* e *Semantic Scholar*.

1. O motor de busca *Google Scholar* é um motor de busca do ambiente *Google* que permite pesquisar trabalhos académicos nas suas várias vertentes, nomeadamente;
 - *Papers/artigos*
 - *Literatura escolar ou académica*
 - *Journals*
 - *Publicações de universidades*
 - *Etc.*

Promove a sua pesquisa através da utilização indirecta (académica e genérica) dos motores de busca:

- *Scopus*
- *Research gate*
- *Medline*

- *Web of Science*
- *Arxiv.org*
- *Google Search*
- *Cairn.info* (motor de busca de bibliotecas e universidades francesas)
- *Gmail*
- *Cite Seer X*

A pesquisa no motor de busca *Google Scholar* permite apenas quantificar os artigos existentes por tema ou assunto, resultando, portanto, apenas na quantificação de artigos por cada tema.

2. Tal como já foi referido o motor de busca *Semantic Scholar* é um projeto desenvolvido no *Alan Institute for Artificial Intelligence* em Novembro de 2015 e concebido para ser um serviço de pesquisa “inteligente” para *papers* e artigos científicos.

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi baseada essencialmente na busca de artigos nestes dois motores de busca, utilizando os critérios por eles disponibilizados, a pesquisa pode ser esquematizada da seguinte forma:

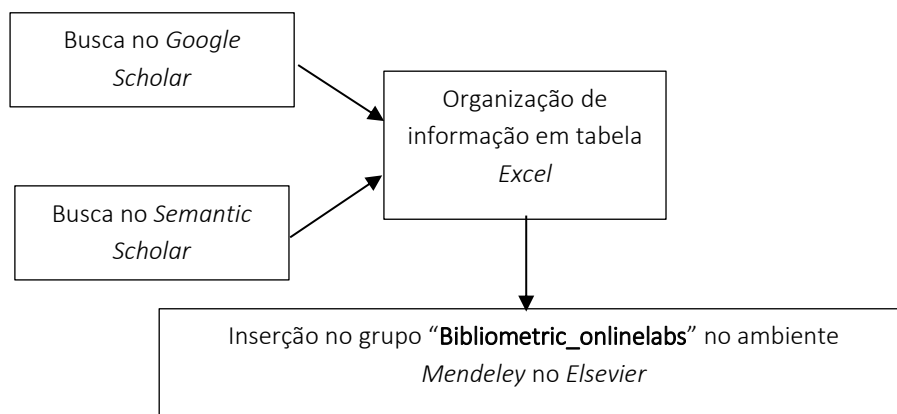


Figura 3.18 - Tratamento da informação na 3ª fase de pesquisa

Começamos por descrever em maior detalhe a pesquisa feita no motor de busca *Semantic Scholar* em modo avançado:

The screenshot displays the Semantic Scholar search results page for the query "Remote laboratories". The interface includes a search bar at the top with the query and a "All Fields" dropdown. Below the search bar, there are several filter buttons: "Remote control", "Hyperion", "Multispectral image", "Polarimetry", "Airborne Ranger", "HyMap", and "Telerobotics". The results section shows "About 289,000 results" and includes filters for "Last Five Years", "Lit Reviews", and "Has PDF". The results are sorted by "Relevance".

The results are organized into four columns:

- Publication Type:** Journal Article (140 619), Review (44 819), Conference (26 479), Study (6 816), Case Report (2 364).
- Publication Year:** This year (24 981), Last 5 years (104 024), Last 10 years (183 428).
- Author:** Zorica Nedic (26), Andrew Nafalski (19), Jan Machotka (12), Luís Gomes (10), Jing Ma (9).
- Journals and Conferences:** Science (747), IEEE Transactions on... (403), IEEE Transactions on... (353), CHI (345), IEEE Transactions on... (171).

Three specific results are highlighted:

- Remote Laboratories versus Virtual and Real Laboratories** by Zorica Nedic, Jan Machotka, Andrew Nafalski (2002). 7 citations, 39 views. Includes a "Results by year" bar chart showing an upward trend from 1936 to 2018.
- Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review** by Jing Ma, Jeffrey V. Nickerson (2006). 28 citations, 63 views.
- Current Trends in Remote Laboratories** by Luís Gomes, Seta Bogosyan (2009). 5 citations, 22 views.

Additional features include "Slides related to Remote laboratories" and "View on ACM/IEEE" links for the highlighted papers.

Figura 3.19 - Pesquisa avançada no *Semantic Scholar*[1]

A pesquisa foi organizada através de palavras-chaves criteriosamente escolhidas, de modo a permitir encontrar resultados e publicações em várias línguas, nomeadamente:

- Português
- Espanhol
- Francês
- Inglês
- Alemão

As palavras-chave escolhidas nas várias línguas estão listadas na tabela seguinte (aqui é importante considerar a acentuação porque distingue termos semelhantes nas várias línguas). Foram consideradas as formas em singular e plural separadamente.

Tabela 3.12 - keywords nas várias línguas

Termo Exato – <i>Keyword</i>	Língua
“Laboratório Remoto”	PT (Português)
“Laboratórios Remotos”	PT (Português)
“Laboratório Virtual”	PT (Português)
“Laboratório Virtuais”	PT (Português)
“Laboratório <i>Online</i> ”	PT (Português)
“Laboratórios <i>Online</i> ”	PT (Português)
“Experimentação <i>Online</i> ”	PT (Português)
“Laboratorio Remoto”	ES (Espanhol)
“Laboratorios Remotos”	ES (Espanhol)
“Laboratorio Virtual”	ES (Espanhol)
“Laboratorios Virtuales”	ES (Espanhol)
“Laboratorio en Línea”	ES (Espanhol)
“Laboratorios en Líneas”	ES (Espanhol)
“Experimentos en Línea”	ES (Espanhol)
“Laboratoire à distance”	FR (Francês)
“Laboratoires à distance”	FR (Francês)
“Laboratoire Virtuelle” *	FR (Francês)
“Laboratoires Virtuelles” *	FR (Francês)
“Laboratoire <i>Online</i> ” *	FR (Francês)
“Laboratoire en ligne”	FR (Francês)
“Laboratoires em ligne”	FR (Francês)
“Experiences em ligne”	FR (Francês)
“Remote Laboratory”	EN (Inglês)
“Remote Laboratories”	EN (Inglês)
“Remote Lab”	EN (Inglês)
“Remote Labs”	EN (Inglês)
“Virtual Laboratory”	EN (Inglês)
“Virtual Laboratories”	EN (Inglês)
“ <i>Online</i> Lab”	EN (Inglês)
“ <i>Online</i> Laboratory”	EN (Inglês)
“ <i>Online</i> Laboratories”	EN (Inglês)
“ <i>Online</i> Experiment”	EN (Inglês)
(“Tele-operated Lab” or “Experiment Lab”) *	EN (Inglês)
“Cyber Experimental Lab” *	EN (Inglês)
“i-Lab”	EN (Inglês)
“Telelab”	EN (Inglês)
“Cyberlab”	EN (Inglês)
“Cyber-physical experiment lab” *	EN (Inglês)
“Teleoperated Lab”	EN (Inglês)
“Teleoperated Experiment”	EN (Inglês)
“Fernlabor”	DE (Alemão)
“Fernalabors”	DE (Alemão)
“Virtuelles Labor”	DE (Alemão)
“Virtuelle Laboratorien”	DE (Alemão)
“ <i>Online</i> Labor” **	DE (Alemão)
“ <i>Online</i> -Labore”	DE (Alemão)

*No motor de busca *Semantic Scholar* não foi encontrada a *string* exata.

**Não pode ser considerada esta palavra-chave porque resultou em milhares de entradas em inglês sobre o teletrabalho.

Todos os termos constantes da tabela foram quantificados através do motor de busca *Google-Scholar* e o número de artigos que incluem estas palavras nos períodos compreendidos entre:

- 1995-1999
- 2000-2004
- 2005-2009
- 2010-2014
- 2015-2018⁵

Esta pesquisa permite quantificar o número de artigos/publicações que referem à expressão usada. A pesquisa foi feita em modo avançado, usando a seguinte parametrização:

- Definindo o intervalo específico de tempo (em anos) pretendido
- Retirando citações
- Retirando patentes

Tal é conseguido clicando na página do *Google Scholar* no canto superior esquerdo nas barras superiores do seguinte menu:

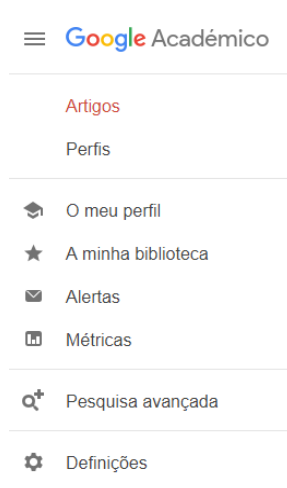


Figura 3.20 - Menu lateral do *Google Scholar*[2]

Depois na janela que se abre, especificamos exatamente a pesquisa a realizar com as palavras exatas entre aspas:

⁵ Junho de 2018

Figura 3.21 - Janela de pesquisa avançada do *Google Scholar*[2]

E finalmente depois podemos escolher um período temporal específico.

Devemos desativar as opções de inclusão de patentes e citações, para não incluir falsas entradas.

Figura 3.22 - Escolha do período temporal de pesquisa no *Google Scholar*[2]

No entanto, mesmo com todas essas especificações a informação que o *Google Scholar* nos fornece é só, e apenas, o número de artigos (e naturalmente a sua listagem) ao longo de um determinado período de tempo.

Para obter resultados mais completos e precisos sobre determinado assunto ou tema torna-se mais vantajoso utilizarmos o motor de busca acadêmico *Semantic Scholar*.

Nesse motor de busca, na sua forma de pesquisa básica e imediata obtemos logo, além da listagem das publicações encontradas, um gráfico de barras com o número de publicações

registadas por ano para aquele tema em particular e a sugestão de apresentação de slides e posters sobre o tema que podemos descarregar livremente em novas janelas do *browser*.

The screenshot shows the Semantic Scholar search results for 'Remote Laboratories'. The search bar at the top contains the text 'Remote Laboratories'. Below the search bar, there are several filter buttons: 'Remote control', 'Multispectral image', 'Hyperion', 'Airborne Ranger', 'Polarimetry', 'HyMap', and 'Telerobotics'. The search results are sorted by 'Relevance' and show 'About 289,000 results'. There are buttons for 'Last Five Years', 'Lit Reviews', 'Has PDF', and 'More Filters'. The first result is 'Remote Laboratories versus Virtual and Real Laboratories' by Zorica Nedic, Jan Machotka, and Andrew Nafalski, published in 2002. The second result is 'Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review' by Jing Ma, Jeffrey V. Nickerson, and ACM Comput. Surv., published in 2006. The third result is 'Current Trends in Remote Laboratories' by Luis Gomes and Seta Bogosyan, published in 2009. On the right side, there is a 'Results by year' chart showing a steady increase in results from 1936 to 2018. Below the chart, there is a section titled 'Slides related to Remote Laboratories' with several links to related content.

Figura 3.23 - Exemplo de resultados de pesquisa básica no *Semantic Scholar*[1]

Para além disso este motor de busca académico ainda nos permite refinar mais a pesquisa se clicarmos na palavra *More Filters* na 3ª barra horizontal superior.

Aí obtemos mais uma série de informações, como podemos observar na figura 3.24.

Um fator muito importante a ter em conta é que quando fazemos a pesquisa, devemos colocar entre aspas o termo a procurar, pois só assim obteremos resultados precisos com essa *string* específica, caso contrário, o número de resultados aumenta muito, mas a precisão dos resultados diminui bastante, porque são listados resultados que podem ter apenas uma das palavras no meio do texto e nada a ver com o enquadramento que nos interessa especificamente.

Figura 3.24 - Resultados da pesquisa refinada no *Semantic Scholar*[1]

Como podemos ver nesta imagem além das informações já referidas anteriormente, são disponibilizados também os seguintes itens

- Tipo de publicação
- Ano de publicação
- Autor
- Jornais e conferências

Assim foram estas pesquisas que permitiram fazer uma folha de cálculo em *Excel* com os vários campos, onde foi aglutinada e reunida toda a informação que vai permitir criar a “Árvore *Mendeley*” a ser partilhada sobre a forma do Grupo *Bibliometric_Online*labs.

Assim no ficheiro *Excel* anexo produzido, e onde um excerto é mostrado na próxima figura, as colunas A a I são resultado da pesquisa em *Google Scholar*:

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Google Scholar Research								
Keyword in every language	Total n. of papers with " "	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2018	1995-2018	OBS
Laboratório Remoto	78	0	1	10	58	6	75	3 lost papers

Figura 3.25 – Excerto de tabela de registo em *Excel* dos resultados de pesquisa quantitativa no *Google Scholar*

Como se pode observar os resultados são quantitativos, mostrando o número de Artigos encontrados sobre a palavra-chave considerada em cada período de 5 anos.

Quanto à informação qualitativa ela é obtida através da consulta no *Semantic Scholar* e constitui a informação das colunas J a L.

A	J	K	L
Semantic Scholar research			
Keyword in every language	Most important authors	Journals & Conferences - (n. of publications)	Publication Type
Laboratório Remoto		IEEE-RITA (9) Laboratorio Virtual para el Aprendizaje de Motores Asíncronos en Grados de Ingeniería Nuevas Tecnologías en la Docencia de la Ingeniería. Fomento e Innovación Especificación Metodológica de la Implementación y Desarrollo de Entornos de Experimentación Integración internacional de plataformas de enseñanza a distancia de automatización con PLCs Editorial en portugués M2Learn: Framework Abierto para el Desarrollo de Aplicaciones para el Aprendizaje Móvil y Ubicuo Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica TAAE 2012 Plataforma Robótica Didáctica de Bajo Coste Basada en la Arquitectura Software Player/Stage y en el Hardware de La Fonera Editorial en español	
	Andrés Giménez (1)	Remote labs as learning services in the educational arena dotLAB: Integrating remote labs in dotLRN Harnessing clouds for e-learning: New directions followed by UNED New technologies applied in the educational process	Journal Article (33)
	Antonio Carpeno (1)	IEEE EDUCON 2010 Conference (5) M2Learn: Towards a homogeneous vision of advanced mobile learning development Trends of use of technology in engineering education Easily integrable platform for the deployment of a Remote Laboratory for microcontrollers	Review (5)
	Emmanuel Perreta (1)	2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) (4) Laboratorio remoto eLab3D: Un mundo virtual inmersivo para el aprendizaje de la electrónica Integrating remote laboratory environment for m-learning for use in Secondary Education Usando VISIR en el aula: Experiencia con Pre y Post Tests Experiencias de Aplicación de VISIR en la Universidad de Al-Quds	
	Federico Lerro (1)	2014 XI Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (Technologies Applied to Electronics Teaching) (TAAE) (3) Virtual laboratory for the training and learning of the subject solar resource: OrientSol 2.0	
	Francisco J. Martínez (1)		

Figura 3.26 – Excerto de tabela de registo em *Excel* dos resultados de pesquisa qualitativa no *Semantic Scholar*

São indicados os fóruns (conferências e *journals*) onde ocorrem as publicações, os autores mais importantes para cada área e o tipo de publicação onde o artigo/trabalho é divulgado.

As linhas a castanho (ou mais claro em impressão a preto) a seguir ao nome de cada *journal/conferência* são os nomes dos artigos publicados nesse fórum. Nos casos em que surgem muitas entradas optou-se por inserir no grupo *Mendeley* um máximo de 10 *journals/conferência*, sendo o critério utilizado a ordem alfabética crescente.

Os dados completos e gráficos associados em formato excel desta *3ª fase* de pesquisa estão disponíveis para download no repositório digital deste trabalho em: www.rcc7.net/phd/3fase_pesquisa.rar

3.2. Análise das linhas de desenvolvimento, sua evolução no passado

Já foram publicados vários trabalhos sobre a evolução dos *online labs* e laboratórios remotos ao longo dos tempos. Feita uma análise mais detalhada existem 3 trabalhos que se destacam, quer pela sua abrangência, quer pelo seu detalhe de análise, são eles:

- “*The Bibliographic reference collection GRC 2014 for the Online Laboratory Research Community*”, da autoria de *Marco Zappatone, Antonella Longo e Mario A. Bochicchio* da *Universidade de Salento* Itália. [3]
- “*Hands-On, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review*”, da autoria de *Jing Ma e Jeffrey V. Nickerson* do *Stevens Institute of Technology* em Hoboken, New Jersey. [5]
- “*Virtual and Remote labs in Education: A bibliometric Analysis*” da autoria de *Ruben Heradio, Luis de la Torre, Daniel Galan, Francisco Javier Cabrerizo, Enrique Herrera-Videma e Sebastian Dormido* da *UNED* de Madrid e da *Universidade de Granada* [4].

Estes 3 artigos merecem uma reflexão profunda, sobre a sua estrutura, análise de dados e conclusões apresentadas. Iremos apresentar uma análise individual dos dois primeiros artigos nesta secção 3.2 e analisar o último (“*Virtual and Remote labs in Education: A bibliometric Analysis*”) inserido no contexto de verificação do modelo proposto na secção 5.2 desta dissertação.

1º Análise e resumo do artigo base de referência: “*The Bibliographic reference GRC 2014 for the Online Laboratory Research Community*”

Este artigo começa na sua introdução por definir os laboratórios remotos e virtuais como um novo e autónomo domínio de pesquisa *Online Laboratory Research (OLR)*.

Realça depois as vantagens dos *Online Laboratories* como complemento das atividades letivas e pedagógicas normais, concretamente:

- a) Chegar a estudantes geograficamente muito deslocados.
- b) Manipular equipamentos complexos e dispendiosos com um risco mínimo de os danificar.
- c) Experimentar e testar tecnologias emergentes em atividades normais de aprendizagem.
- d) Criar redes de investigadores e instituições de educação.

É afirmado pelos autores que esta modalidade de ensino a distância começa a ter uma grande difusão, tendo aplicação direta numa grande quantidade de domínios científicos, concretamente[121]

:

- Química
- Farmácia
- Cuidados de saúde
- Energia Nuclear
- Eletrónica
- Robótica

A identificação das fontes e publicações confiáveis durante o período de 2008 a 2013 foi feita inicialmente recorrendo às fontes já identificadas previamente no artigo *Profiling the Online Laboratories Research Community and its Core* [121] da autoria de *Mario Bochicchio* e *Alessandro Longo*.

Depois o critério da pesquisa foi melhorado e os resultados da pesquisa foram publicados num grupo do ambiente *Mendeley* [122] denominado “*GOLC reference Collection 2012*” (*GRC 2012*) [123] onde existem catalogados cerca de 500 artigos da área de “*Online Laboratories Research*”

Este grupo *Mendeley* inicial era de 2012 e foi depois atualizado para outro referente a 2014 disponível em [124].

Este grupo pretendeu completar o trabalho já iniciado e descrito no primeiro grupo *Mendeley* de 2012 [121]:

- “*The Advancement in using Remote Laboratories in Electrical Engineering Education: A Review*”[125]
- “*Virtual and Remote Laboratory Development: A Review*”[126]

Este artigo [3] apresenta como objetivos principais:

- a) Fazer do *GRC* uma referência na comunidade *OLR* (*Online Laboratories Research's*) sempre atualizado e acessível.
- b) Aumentar o número de entradas de artigos e trabalhos no grupo.
- c) Demonstrar quais os eventos específicos que afetam a recolha de dados nesta área de *OLR*.
- d) Propor novos tipos de análises de dados nesta área científica.
- e) Descobrir que tipo de ligações e relações existem entre autores, publicações e tópicos desta área.

Este artigo [3] está estruturado da seguinte forma:

Secção I – Introdução

Secção II – Pesquisa e Motivação

Secção III – Explicação detalhada do método de pesquisa utilizado

Secção IV – Processamento e tratamento de informação recolhida

Secção V – Discussão de análise e resultados

Secção VI – Apresentação de conclusões e possíveis futuras linhas de trabalho

As *Research Questions* embora já tenham sido definidos inicialmente em [121], são as seguintes:

1. Quantos indivíduos formam o núcleo duro desta área do conhecimento e investigação e quantos são esses indivíduos?
2. Quais são os tópicos que preferem utilizar na sua pesquisa e quais são os seus métodos de pesquisa?
3. Quais são os meios de publicação que os autores preferem?
 - *Journals*
 - Conferências

– Livros

4. A Comunidade *OLR* (*Online Laboratory Research*) está a expandir-se na mesma proporção em número de autores e número de publicações?

5. Qual é o padrão típico do número de coautores nas publicações da Comunidade *OLR*?

É apresentada depois uma explicação detalhada do método de pesquisas bibliográficas utilizadas, que se passa a descrever de seguida:

Os dois passos iniciais de pesquisa foram realizados manualmente:

– Foram selecionados repositórios de confiança e construídas as *queries* necessárias para extrair os dados com exatidão.

Contou-se com a ajuda de *experts* para se conseguir que as respostas fossem exatas e se conseguisse excluir falsos resultados, trazidos pelas palavras utilizadas na pesquisa [124] [3].

Depois foi criado um sistema em *pipeline* que permitiu já uma análise semiautomática dos resultados obtidos e o seu subsequente processamento.

Este sistema de *pipeline* consistiu nas seguintes fases:

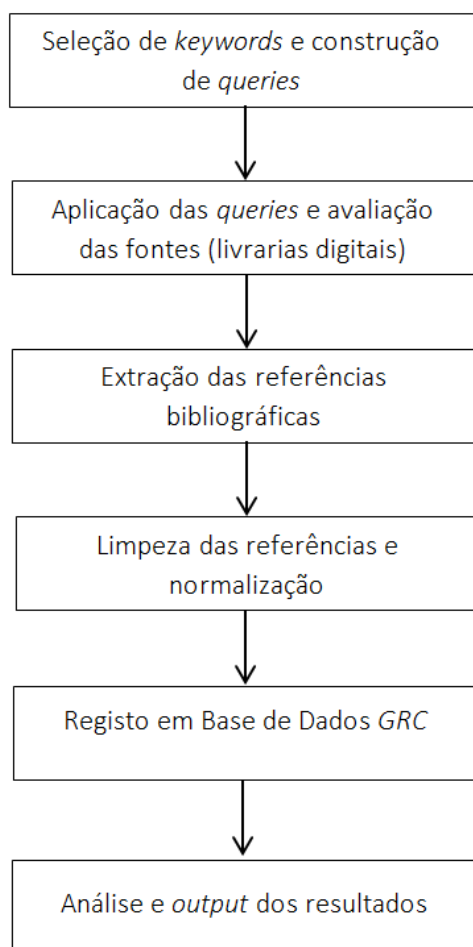


Figura 3.27 - Sequência de ações para tratamento da informação no grupo Mendeley GRC 2014[3]

Como referido a 1ª ação foi a seleção de *keywords*, e neste caso foram definidos dois conjuntos de *keywords*, um para selecionar vocábulos relacionados com a temática de OLR :

- KWS#1: “*remote laboratory*”, “*online laboratory*”, “*virtual laboratory*”, “*web laboratory*” “*online experiment*”, “*remote experiment*”

... E outro relacionado com uma série de projetos e sistemas de *online labs* e mesmo federações de *online labs*:

- KWS#2: “*iLab*”, “*LiLa*”, “*VISIR*”, “*NetLab*” “*Labshare*”, “*Sahara*”, “*SmartLabs*”, “*Lab2Go*”

Foi também garantido que só se considerariam entradas em inglês.

O conjunto KWS#2 de *keywords* gerou muitas falsas entradas que tiveram de ser retiradas manualmente, o conjunto KWS#1 também gerou algumas falsas entradas, mas em menor número [3].

Seguidamente foi realizada a seleção de fontes de informação que recaiu sobre motores de busca de artigos científicos e sobre *journals* e conferências da comunidade OLR. Concretamente, quanto a motores de busca de artigos científicos foram considerados os seguintes repositórios e motores de busca:

- *ACM Digital Library* [127]
- *DBLP* [128]
- *Google Scholar* [2]
- *IEEE Xplore Digital Library* [129]
- *Microsoft Academic Search* [130]
- *Science Direct* [131]
- *Scopus* [132]
- *Web of Science* [133]

Após esta seleção o motor de busca *Microsoft Academic Search* foi descartado porque apresentou poucos resultados, o motor *Google Scholar* gerou uma quantidade de entradas falsas que tiveram de ser descartadas manualmente.

Quanto às publicações, as que se revelaram mais relevantes e frutíferas foi o *iJOE* (*International Journal of Online Engineering*) [134] e os *Proceedings* das conferências *REV* (*Remote Engineering and Virtual Instrumentation Conference*).

O *iJOE* e as conferências *REV* foram as fontes mais fidedignas de artigos mais pertinentes e interessantes para a área de OLR.

Depois foi realizado o processamento dos dados recolhidos, onde o maior problema se revelou serem as entradas duplicadas, pois o mesmo trabalho ou artigo é referenciado nos vários motores de busca científicos e publicações.

Assim foram usados vários *softwares* de gestão de referências para eliminar as entradas duplicadas e organizar a informação recolhida. Na terminologia inglesa estes pacotes de *software* chamam-se *RMS* – *Reference Management Software*, e de que são exemplos:

- *Mendeley* [122]
- *Zotero* [135]
- *JabRef* [136]
- *EndNote* [137]
- *Publish or Perish* [138]

Foi decidido que o *software RMS* seria utilizado como o primeiro passo para o processamento de dados no *pipeline*. Após análise de todos os *RMS*'s, foi eleito o *Mendeley* como o mais apropriado para este trabalho.

O sistema de processamento em *pipeline* começa por receber as referências a partir de um registo *Mendeley* que reúne as referências geradas por todos os outros *RMS*'s e retira os duplicados.

Depois estas entradas são exportadas para o *JabRef* e depois para uma base de dados em *SQL*, que serve como base de dados de origem para uma aplicação de gestão BD em *VBA* para *Microsoft Access* que como função limpar dados incorretos e normalizar todas as referências.

Após todo este processamento, o que foi realmente considerado foram entradas bibliográficas provenientes de:

- *Scientific papers* completos
- Livros
- Capítulos de livros
- Teses
- Relatórios
- Notas de pesquisa
- Artigos em desenvolvimento

Após obter esta informação “purgada e limpa” os primeiros dados a extrair são os nomes dos autores que também é preciso “purificar” tirando caracteres acentuados, abreviaturas, múltiplos nomes e apelidos, e exportações erradas dos *RMS*'s.

De seguida é analisado o tipo de publicações e os alvos das publicações.

Aqui registaram-se alguns problemas com nomes de publicações duplicados, mas foram resolvidos com recurso a filtragem manual.

Os resultados obtidos por esta análise resultaram de 1.852 artigos onde foram identificados 4.368 diferentes autores, 7.050 relações entre autores e 4 alvos distintos de publicação.

Os resultados obtidos vêm no fundo dar resposta a todas as *Research Questions* apresentadas inicialmente neste artigo [3].

Por estes resultados podemos ver que o domínio *OLR* está a expandir-se uniformemente entre o número de publicações e número de autores. Demostram que quanto maior é o número de autores, maior é o número de trabalhos publicados, referindo a análise e autores que publicaram pelo menos um trabalho sobre a temática[3].

Tal é demonstrado pelo seguinte quadro de dados e gráfico:



Figura 3.28 - Evolução de autorias, autores e número de publicações [3]

Outro parâmetro interessante é o número de coautores. A maior parte dos artigos analisados tem 2 a 5 autores, a informação pode ser resumida no quadro seguinte:

Tabela 3.13 - Tabela de percentagem de co-autores [3]

Nº de Artigos	Nº de coautores	%
410	2	22,16%
470	3	25,41%
360	4	19,46%
205	5	11,08%

A distribuição do número de artigos por autor é também um parâmetro crucial, pois permite definir quais os autores mais prolíficos ou férteis na área OLR[3].

No entanto verifica-se que o total dos autores analisados, cerca de 80% são autores ocasionais, de temas da área, o que nos deixa uma margem de 20% para o core dos autores que sistematicamente publicam sobre esta área.

Tal pode ser confirmado pelo seguinte gráfico de barras:

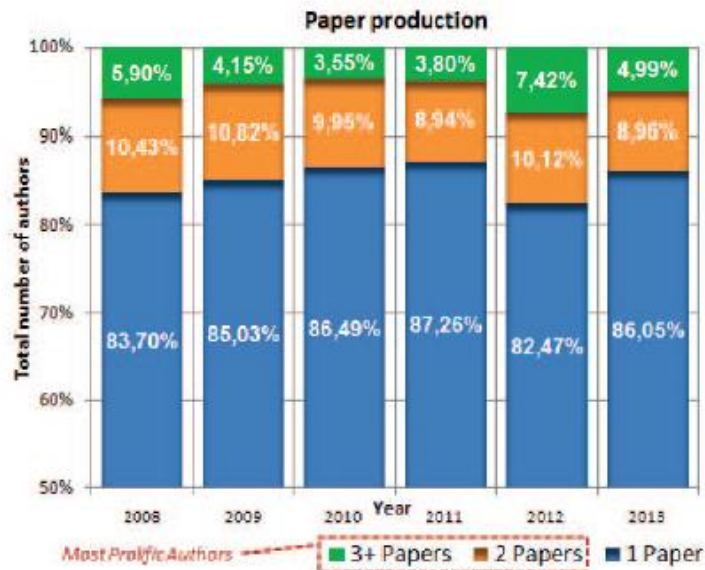


Figura 3.29 - Produção de artigos vs autores [3]

Dos 20% de autores *core* da área, isto é, especialistas que sistematicamente publicam sobre o *OLR*, pode-se destacar os constantes da seguinte tabela:

Tabela 3.14 - Autores Core da área [3]

<i>Core Author</i>	\bar{p}	\bar{c}_a	<i>Core Author</i>	\bar{p}	\bar{c}_a
Castro Gil, M.	7.6	30	Ožvoldová, M.	2.6	4.4
García-Zubía, J.	7.6	21.8	Murray, S.	2.4	5.6
Orduña, P.	6.6	19.8	Nedic, Z.	2.4	5
Dormido, S.	6.2	18.4	Nafalski, A.	2.2	7
Sancristobal Ruiz, E.	6.2	27	Rojko, A.	2.2	3
Alves, G. R.	4.8	21.2	Samoila, C.	2	6.4
Angulo, I.	4.6	16.2	Bohicchio, M. A.	1.8	1.4
Lowe, D.	3.6	8.4	Hernandez-Jayo, U.	1.8	6.4
Graven, O. H.	3.4	1.2	Longo, A.	1.8	1.4
Samuelsen, D. A. H.	3.4	1.2	Henke, K.	1.6	3.4
Chassapis, C.	3.2	5.2	Nilsson, K.	1.6	9.4

<i>Core Author</i>	\bar{p}	\bar{c}_a	<i>Core Author</i>	\bar{p}	\bar{c}_a
Esche, S. K.	3.2	4.8	Schauer, F.	1.6	3.4
Richter, T.	3.2	7.8	Wang, J.	1.6	9.6
Ūrsutiu, D.	3.2	9	Zackrisson, J.	1.6	10
Zutin, D. G.	3.2	8	Costa, R. J.	1.4	3.4
Auer, M. E.	2.8	6.2	Esquembre, F.	1.4	5.4
Gustavsson, I.	2.8	15.6	Gillet, D.	1.4	3.2
Lopez-de-Ipina, D.	2.8	10	Stefanovic, M.	1.4	2.6
Aziz, E. S.	2.6	3.2	Haakansson, L.	1.2	8.6

Nesta tabela são representados os fatores:

\bar{p} – número médio de artigos por ano

\bar{ca} – número médio de coautores por ano

Portanto dos 38 autores desta tabela, 33 apresentam um fator \bar{p} superior a 1,5 e, portanto, são os autores mais “férteis” na área *OLR*. Constituem 86% da comunidade de *Core Authors*, e serão, portanto, os representantes científicos mundiais desta área.

Quanto às entidades que publicam mais sobre os temas *OLR*, identificam-se duas, o *IAOE – International Association of Online Engineering* [139] e o *IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers* [140].

Quanto ao tipo de publicações as principais são *proceedings* de conferências e publicações em *journals*. Tal é mostrado na figura seguinte que mostra as percentagens de publicações em:

- *Proceedings* de conferências
- *Journals*
- Outros

...a diferentes cores e desde 2008 a 2013.

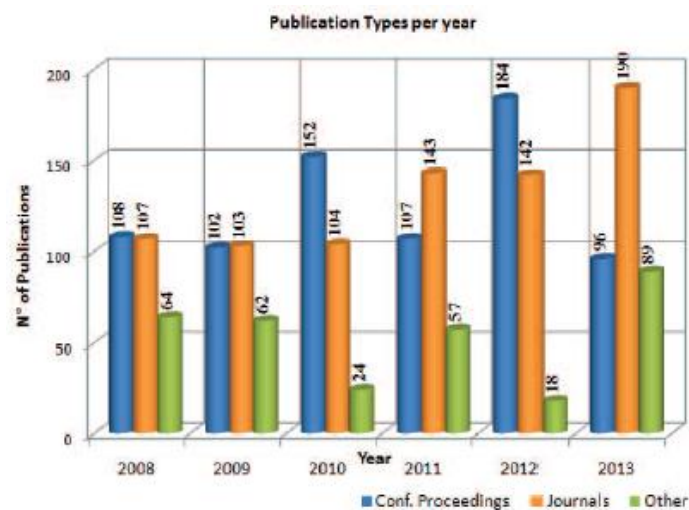


Figura 3.30 – Tipo de publicações por ano[3]

Também é feita neste artigo uma análise detalhada, ao grau de exatidão das referências, e os elementos que mais faltam nelas.

A técnica aplicada é *ETL – Extranet Transform-Load* e foi direcionada de forma a responder a todas as *RQ – Research Questions*.

O grupo *Mendeley* [124] desenvolvido durante a escrita deste artigo continuou em desenvolvimento e preenchimento.

2º Análise e resumo do artigo base de referência: “Hands-On, simulated and remote laboratories: A comparative literature review”

O *Abstract* deste artigo começa por enaltecer e realçar o papel muito importante que os laboratórios desempenham no processo de aprendizagem, especialmente nas matérias técnicas e científicas e em especial na área de engenharia.

Refere que os laboratórios clássicos *hands-on* são muito importantes para desenvolver as competências de “saber fazer” no “campo” e diretamente nos equipamentos, enquanto os laboratórios remotos e genericamente *online* são ideais para o desenvolvimento de modelos conceptuais.

O *Abstract* realça também a importância da “psicologia de presença”, que será discutida ao longo do artigo assim como a importância e o “valor adquirido” dos laboratórios remotos versus laboratórios tradicionais, no ensino da engenharia.

É apresentada como *Main Research Question*, a *Questão Central de Pesquisa* que é: “A tecnologia pode ajudar ou não os estudantes a aprender melhor”.

São apresentadas também as vantagens financeiras dos laboratórios remotos e simulados, e de que forma contribuem para o desenvolvimento de competências especializadas, e como enriquecem a experiência educacional do processo de aprendizagem.

Também é questionado, após analisado o *state-of-art*, quais serão as áreas mais férteis para futura pesquisa.

O método utilizado na pesquisa da literatura neste artigo foi o seguinte[5]:

A pesquisa foi centrada em 3 base de dados eletrónicos a seguir enumeradas:

- ACM
- Direct Science
- IEEE

Foram também considerados e consultados os seguintes *journals* na área:

- “Computers and Education”
- “Computer in Human Behavior”
- “Journal of Learning Sciences”
- “Learning and Instruction”
- “International journal of Electrical Engineering Education”
- “International Journal of Engineering Education”

Foram depois consideradas as seguintes *keywords*, expressas através de condições booleanas:

- “Remote laboratory or remote experiment”
- “Virtual laboratory or virtual experience”
- “Real laboratory or real experiment”
- “Hands-on laboratory or hands-on experiment”

Foi feito também um filtro na temática, concretamente foram excluídos artigos puramente técnicos que discutissem apenas os sistemas tecnológicos sem atender à componente educacional e pedagógica.

Foi também dada maior atenção a artigos com maior fator de impacto.

No fim foram escolhidos 60 artigos, 20 acerca de *hands-on labs*, 20 acerca de laboratórios simulados e 20 acerca de laboratórios remotos.

Estes 60 artigos foram sujeitos a uma leitura profunda e uma análise completa de todo o seu texto.

Foram classificados por “Temas e metodologia de abordagem”, tal como é mostrado na tabela seguinte:

Tabela 3.15 - Temas e metodologias nos 60 artigos analisados pelos autores [5]

Estilo de Laboratório	Temas			Metodologia		
	Engenharia	Ciência	Outros	Técnico	Qualitativo	Empírico
Presencial	11	7	2	1	16	3
Simulado	13	4	3	14	6	0
Remoto	15	2	3	17	3	0
Total	39	13	8	32	25	3

Noutra tabela são mostrados os artigos que também se revelaram de bastante interesse, mas não foram considerados nestes 60, sendo que alguns abordam misturas híbridas de vários laboratórios.

Quanto às observações e conclusões que os autores retiram da pesquisa realizada podemos enumerar as seguintes:

- A maior parte dos laboratórios são utilizados no ensino de engenharia.
- Não existe um critério rigoroso na classificação do tipo de laboratório, mesmo a classificação de “*hands-on-labs*”, “laboratórios simulados”, “laboratórios remotos” não é universalmente aceite, tornando-se assim inconsistente. É afirmado que esta discussão e situação de indefinição ocorre pelo menos desde de 1972.
- Existem apoiantes e detratores para os 3 tipos de laboratórios: *hands-on* (Clássicos), Simulados e Remotos.

Hands-On-Labs são caracterizados essencialmente por:

1. Os estudantes estão fisicamente no laboratório.
2. Todo o equipamento necessário existe no local e está devidamente configurado.

Os apoiantes deste tipo de laboratório dizem que só neste ambiente os estudantes encontram a situação real, com “crashes” inesperado e que não ocorrem em ambientes simulados.

Os detratores dizem que este tipo de laboratórios tem uma manutenção muito cara, e também são pouco acessíveis a pessoas com deficiência e/ou limitações físicas.

– Laboratórios Simulados

Toda a infraestrutura necessária para a realização das experiências é simulada em *software*. Os alunos podem “parar o tempo” e observar a experiência.

Isto pode ser uma vantagem ou uma desvantagem. Vantagem porque é possível “parar” o tempo e repetir a experiência o número de vezes que for necessário para compreender a experiência. Por outro lado, apresenta uma série de “facilidades” que estão longe da realidade.

Em termos económicos, estes laboratórios têm um considerável investimento inicial de um modo geral, mas depois são bastante económicos de manter.

– Laboratórios Remotos

Os laboratórios remotos podem ser considerados um caso particular dos *hands-on labs*, mas a única diferença é que os equipamentos não estão fisicamente presentes onde está o aluno/experimentador, estão numa localização geográfica remota, mas interligados por uma infraestrutura tecnológica.

Podem ser considerados “laboratórios reais mediados pela distância”.

Estudos pedagógicos recentes demonstram que os laboratórios remotos motivam mais os alunos, até por vezes mais que os laboratórios *hands-on* [5][109].

Acerca do debate sobre este tema este artigo [5] afirma que existem 3 conclusões essenciais na análise:

1. Há uma preponderância de artigos de Engenharia
2. Existe uma falta de acordo entre todos os autores envolvidos no processo de aprendizagem quanto ao que efetivamente constitui o processo de estudo e aprendizagem por parte dos alunos.
3. Ocorre várias vezes por parte de vários autores um “Evangelismo” para um ou outro formato de laboratórios sem apresentar as suficientes evidências empíricas e/ou científicas.

No fundo os vários autores defensores dos vários formatos de laboratórios defendem-nos acerrimamente, mas sem fundamentar devidamente as suas opiniões, de onde se pode concluir a existência de interesses em defender os laboratórios das suas instituições.

Chega-se também à conclusão que o fator psicológico de como interagir com o mundo natural e real também influencia muito as escolhas do tipo de laboratório advogado por cada autor ou coautores.

Foi desenvolvido também pelos autores deste artigo [5] um modelo quadridimensional que pretende analisar os objetivos a atingir para o ensino de aptidões laboratoriais.

Este modelo foi construído baseado nos objetivos educacionais propostos pela *ABET – Accreditation Board for Engineering and Technology* [141]. Utilizando como referência estes objetivos definidos pela *ABET*, foram analisados os 60 artigos principais, onde os objetivos educacionais estão perfeitamente e claramente identificados[5].

Tabela 3.16 - Objetivos educativos para o ensino de aptidões laboratoriais [5]

Objetivos laboratoriais	Descrição	Objetivos ABET
Entendimento conceptual	Ampliar a atividade de laboratório que ajude os alunos a entender e resolver problemas relacionados com conceitos-chave ensinados na sala de aula.	Ilustrar conceitos e princípios
Competências técnicas	Ampliar a atividade de laboratório que aumente a capacidade dos alunos a resolver problemas em aberto através do desenho e construção novos artefactos ou processos.	Capacidade para desenhar e investigar
		Entender a natureza da ciência (mente científica)
Competências sociais	Estendê-la aos alunos de forma que aprendam a realizar de forma produtiva, atividades relacionadas com a engenharia em grupos.	Competências sociais e outros comportamentos de trabalho em equipa prolíficos (comunicação, interação com a equipa e liderança na resolução de problemas)
Competências profissionais	Ampliar ao ponto os estudantes se familiarizem com as habilidades técnicas que deverão ter quando praticarem na profissão.	Competências técnicas/processuais
		Introduzir aos estudantes o mundo prático dos cientistas e engenheiros
		Aplicação de conhecimentos para praticar

Também são apresentados pelos autores um gráficos radiais[5] (figuras 3.31, 3.32 e 3.33) com o peso destes quatro principais objetivos educacionais (em versão inglesa):

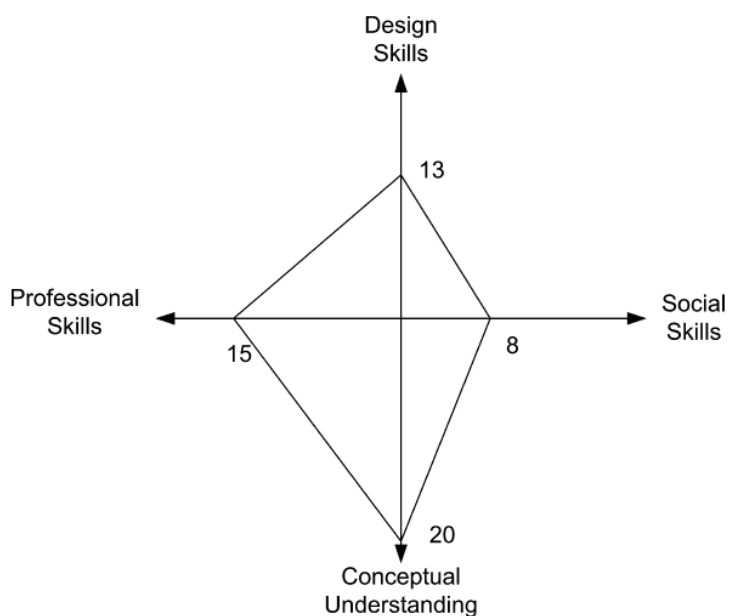


Figura 3.31 - Objetivos educacionais dos laboratórios presenciais (*hands-on*)[5]

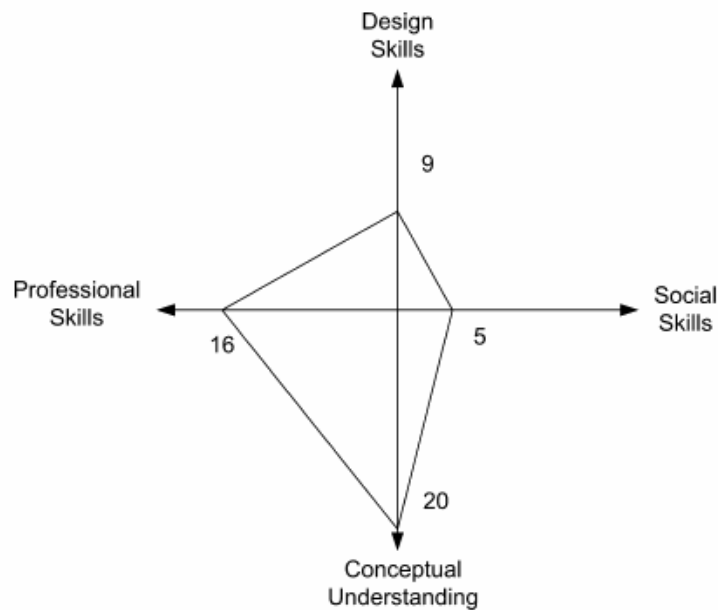


Figura 3.32 - Objetivos educacionais dos laboratórios simulados[5]

Do gráfico acima destaca-se que o principal objetivo educacional a adquirir com a utilização de laboratórios simulados são as competências profissionais.

No respeitante aos laboratórios remotos, a principal competência educacional a atingir é a compreensão de conceitos abstratos.

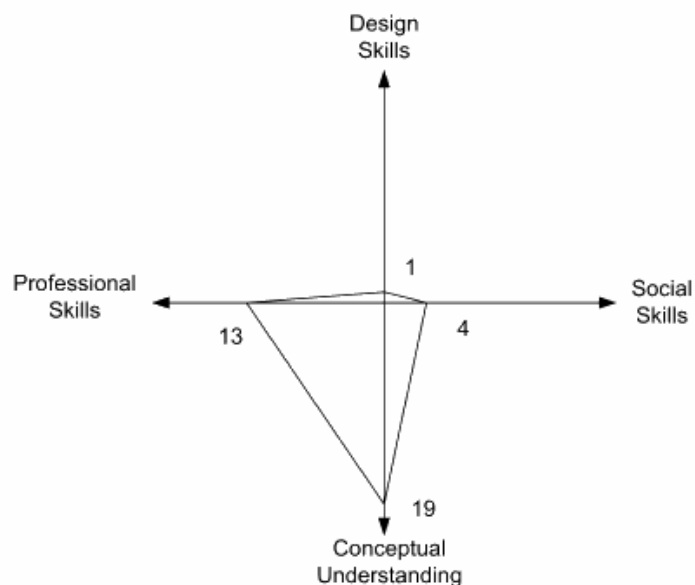


Figura 3.33 - Objetivos educacionais a conseguir com os laboratórios remotos

Existem todas estas diferenças e particularidades com os objetivos a atingir com a utilização dos vários tipos de laboratórios, e cada um deles é enaltecido científica e pedagogicamente por cada grupo de defensores.

No entanto com o atualmente elevado nível de desenvolvimento tecnológico, os laboratórios clássicos e presenciais hoje em dia também já se baseiam muito em computadores, ligados aos diferentes equipamentos, por isso também já não são tão diferentes dos laboratórios

simulados ou remotos. Por isso podemos considerar que os 3 tipos de laboratórios aqui estudados aproximam-se aos poucos das características uns dos outros e as suas linhas de fronteiras começam a ser mais difusas [5].

Nos laboratórios remotos a grande diferença é apenas a maior distância entre o aluno experimentador e os equipamentos físicos do laboratório, tal como já referido antes. É concluído também, que um fator muito importante é a “noção de fidelidade” e confiança no equipamento, independentemente do tipo de laboratório que estamos a usar. Tal conclusão vem de encontro à noção de acoplamento energético (definido na introdução este trabalho), ou seja, o empenho dos utilizadores e também da equipa de construção e manutenção dos laboratórios, ou seja, a ligação psicológica e energética das pessoas que usam os laboratórios, com os próprios sistemas de laboratórios.

Já *Miller*[142] em 1954 falava em dois tipos de fidelidade de “engenharia” e “psicológica”, o que corresponde aos conceitos de acoplamento estrutural desenvolvido com os equipamentos e acoplamento energético explicado nas linhas anteriores e na secção de introdução a este trabalho. Estes conceitos foram já entretanto longamente desenvolvidos na introdução deste trabalho, no ponto 1.1.

O conceito de “presença” é também analisado e definido como “a sensação de estar num lugar”, e esse conceito já foi sendo definido de modos diferentes por vários autores desde 1992, como consta do quadro seguinte:

Tabela 3.17 - Visão alternativa do conceito de Presença [5]

Artigo	Visão de Presença
<i>Sheridan</i> (1992)	Existem 3 tipos de presença: a presença física, estar fisicamente presente; telepresença, sentindo-se como se estivesse realmente no local remoto de operação; e presença virtual, sentindo como se estivesse presente no ambiente gerado pelo computador.
<i>Loomis</i> (1992)	Presença é uma projeção mental do objeto físico: não é um estado físico, mas um atributo fenomenal que só poderá ser conhecido por inferência.
<i>Lomabard e Ditton</i> (1997)	Presença tem 6 dimensões: riqueza social, realismo, transporte, imersão, ator social e meio.
<i>Witmer e Singer</i> (1998)	Presença é um fluxo perceptual que requer atenção direcionada. Baseia-se na interação da estimulação sensorial, fatores ambientais e tendências internas.
<i>Sheridan</i> (1999)	Presença é "a realidade mental subjetiva". Para distinguir a realidade da simulação, quantifique a quantidade de ruído.

Sheridan [143] em 1992 já definiu 3 tipos de presença[5]:

- Física
- Telepresença
- Virtual

A presença física corresponde ao aluno experimentador estar presente exatamente no local onde está a decorrer a experiência, é associado aos laboratórios clássicos e reais (*hands-on*).

A telepresença é associada ao conceito de “sentir-se como estando realmente no local remoto” onde decorre a experiência. É associada a laboratórios remotos.

A presença virtual é “sentir-se presente no ambiente simulado pelo computador”, é associado a laboratórios virtuais.

Alguns investigadores defendem que psicologicamente o nível de sensação de presença que o aluno sente pode influenciar fortemente o processo de aprendizagem, influenciando mesmo a sua *performance* [144].

Tal, pode também afetar o grau de satisfação com que o estudante desenvolve o seu laboratório, e denomina esse efeito como “*enjoyment*”[145].

Ambos os fatores se relacionam fortemente com o conceito de “acoplamento energético”.

E, portanto, podemos concluir também segundo este artigo [5] que a “motivação” é um fator extremamente importante para se conseguir um bom desempenho e resultados por parte dos estudantes nos trabalhos laboratoriais [146].

A maior ou menor interação e colaboração com os outros estudantes e com o professor também se assume como um fator extremamente importante no processo, e lança-nos noutra ampla área de investigação e pesquisa que são os *collaboratories* [5], onde o aluno não é um simples espectador de experiência, feita e desenvolvida por outros, mas também participa ativamente nela, em modo colaborativo.

A essas plataformas de aprendizagem que permitem esse tipo de colaboração entre alunos e alunos e professor na execução das experiências, chama-se em terminologia inglesa como *collaboratories*[5], como já foi referido em situações anteriores nesta dissertação.

Estas são plataformas onde os métodos de colaboração interagem diretamente com o tipo de tecnologia que existe no laboratório, onde se está a fazer a experiência.

Assim *collaboratories*, termo em inglês que resulta de combinação das palavras inglesas “*collaboration*” e “*laboratories*” [5], ganha cada vez mais importância na perspetiva psicológica e técnicas, realçando assim os conceitos de acoplamento estrutural e acoplamento energético.

Para o sucesso do processo de aprendizagem é por vezes mais importante a motivação psicológica para a aprendizagem (acoplamento energético) do que propriamente os meios técnicos à disposição (acoplamento estrutural).

O número de *collaboratories* aumentou bastante nos Estados Unidos após ter sido feita uma *national call* para desenvolver esta metodologia[5].

Uma das suas concretizações passou pelo *Projeto Grid* [95], que construiu uma série de recursos partilhados através de várias fronteiras e instituições, onde se incluíam vários sistemas de laboratórios remotos e *collaboratories*, que assim se entendia vir a melhorar muito os resultados do processo de aprendizagem[96].

Portanto hoje em dia com o atual nível e grau de desenvolvimento de *software*, e das ferramentas de *software* está-se a criar um novo paradigma no ensino da engenharia.

A componente prática do processo de ensino e formação no modelo tradicional de ensino sempre teve lugar no laboratório com componentes físicos e reais, mas hoje em uma nova abordagem pode ser realizada.

Em vez de todas as experiências terem lugar num laboratório físico, é perfeitamente possível utilizar *software* de simulação para construir e testar sistemas eletrónicos e circuitos.

Nos primeiros anos do ensino de engenharia os estudantes não têm ainda um conhecimento aprofundado e suficiente de todos os processos com que lidam em trabalhos laboratoriais, e podem mesmo inadvertidamente danificar materiais e equipamentos em laboratórios físicos. A utilização de um laboratório físico traz sempre riscos para os operadores e para os equipamentos, por isso uma boa solução para operadores inexperientes é começar por utilizar laboratórios virtuais pois aí podem testar todos os conceitos sem riscos para pessoas e bens.

Os estudantes podem praticar com vários ambientes de simulação produzidos por aplicações de *software* que não componentes reais, e quando eles tiverem já um nível de conhecimento aceitável para trabalhar com laboratórios reais sem danificar os equipamentos, podem então fazê-lo. No entanto numa fase intermédia podem ainda passar por trabalhar em laboratórios remotos, pois embora reais, visto serem acedidos remotamente por sistemas informáticos que estão preparados com sistemas de proteção, garantindo que mesmo que o utilizador introduza valores de grandezas incorretas que possam danificar o equipamento, o *software* tem sistemas de proteção que impedem que tais grandezas de valores incorretos sejam efetivamente aplicadas ao equipamento real, gerando um aviso no écran do computador.

Esta resulta numa boa prática para qualquer estudante aprender a trabalhar com laboratórios de eletrónica em ambiente real com segurança e sem realizar procedimentos incorretos que coloquem em risco pessoas e equipamentos.

Em termos de conclusões deste artigo [5] os autores afirmam que os investigadores estão a confundir diferentes fatores que influenciam o sucesso ou insucesso dos diferentes tipos de laboratórios e talvez estejam a dar demasiada importância e peso à tecnologia utilizada para concluir o maior ou menor sucesso do processo de aprendizagem com essa tecnologia.

Sugerem então os autores do artigo que os vários investigadores devem ser mais precisos nos seus estudos e tentar isolar os diferentes fatores que realmente interferem com a tecnologia utilizada nos laboratórios e não influenciar a eficácia educativa de todo o processo. Embora admitam que este tipo de trabalho não é de todo fácil, porque é difícil desenvolver testes ao sistema educativo e comparar estudos dessa temática que são referentes a áreas científicas muito diferentes, cada uma com as suas particularidades técnicas.

Como resultado da pesquisa à primeira vista podia resultar que os laboratórios híbridos seriam mais indicados, pois iriam juntar um portfólio de objetivos educacionais dos diferentes tipos de laboratórios, como vimos nas páginas anteriores.

É evidente pelo estudo que os laboratórios remotos e virtuais são os mais eficazes na aprendizagem de "conceitos" da aprendizagem.

Não há ainda provas evidentes que sustentem que este tipo de laboratórios serão tão eficazes a transmitir competências de projeto e *design* como os laboratórios clássicos *hands-on*. [5].

Quanto às conclusões a que chegaram estes investigadores, podemos afirmar que:

Atualmente verifica-se que os defensores das novas tecnologias aplicadas à aprendizagem estão de algum modo a contrariar os defensores do sistema tradicional de aprendizagem, de modo a verificar as efetivas vantagens das novas tecnologias e depois fazer uma avaliação

mais calma e cuidada do sistema de aprendizagem resultante da introdução dessas técnicas[5].

Outra conclusão que se pode tirar do estudo efetuado, é que a eficácia dos laboratórios (sejam eles de que tipo forem) no sistema de aprendizagem, depende fortemente de quanto os estudantes “acreditam neles”, ou seja do acoplamento energético [5]

Os autores concluem também que as pesquisas a efetuar futuramente devem prestar mais atenção à função dos *collaboratories* [5], e ao acumular de experiência de anteriores situações e experiências, que traz “bom senso” decorrente das anteriores vivências de aprendizagem. Também é concluído que à partida que a tecnologia evolui, também os métodos pedagógicos a utilizar devem evoluir e adaptar-se a essas novas tecnologias, através dos estudos das interações que vão ocorrer entre os estudantes e os sistemas, ou seja o seu acoplamento energético [93].

Concluíram os autores ainda que o interesse em utilizar laboratórios aumentou consideravelmente provavelmente devido a dois fatores:

- Avanços na tecnologia
- Pressão das Universidades para reduzir custos na manutenção de equipamento laboratoriais

O debate entre os defensores de laboratórios tradicionais (*hands-on*) e os defensores de laboratórios da nova geração, *online* remotos e virtuais, ainda está confuso e longe de uma conclusão porque mesmo os laboratórios clássicos presenciais já têm uma elevada componente de computadores nos seus trabalhos e muitos dos processo de medida já são operados por computador, logo naturalmente a “distância conceptual” em relação ao laboratórios remotos e virtuais é cada vez menor, e os vários ambiente laboratoriais tendem a uniformizar-se.

Também aqui os estudantes devem “acreditar” nos laboratórios remotos e simulados que estão a usar, por isso alguns autores defendem que os estudantes deviam usar primeiro laboratórios reais para verem os equipamentos reais e só depois os laboratórios remotos e virtuais.

Outros autores defendem exatamente o contrário, até tendo em conta a segurança dos equipamentos, os alunos deverão começar por usar laboratórios simulados e só depois os reais.

E finalmente também foi concluído que os estudantes não aprendem só a partir de equipamentos, mas também através de interação com os seus pares e os professores. As novas tecnologias dão origem a novas formas de comunicação e colaboração entre estudantes que servem para minimizar os problemas de isolamento dos estudantes quando estão a aprender sozinhos através de *e-learning* ou *b-learning*.

Em resumo, este trabalho [5] veio indicar e abrir novas linhas de pesquisa que levam os estudantes a obter melhores resultados no processo de aprendizagem, especialmente porque deste estudo emerge que devido às diferentes competências desenvolvidas por cada tipo de laboratórios, o ideal seja uma solução mista aplicando no processo de aprendizagem uma solução híbrida que inclua laboratórios reais (*hands-on*) e laboratórios simulados e remotos consoante se adaptem melhor às circunstâncias de aprendizagem.

Este artigo [5] apresenta ainda uma série de anexos que fundamentam e demonstram todo o estudo realizado, como por exemplo a caracterização dos 60 artigos principais onde se baseou o estudo, divididos por tabelas cada com o seu tipo de laboratórios, a saber:

- Objetivos dos laboratórios reais (*hands-on*) analisados (Tabela 3.18)
- Objetivos dos laboratórios simulados analisados (Tabela 3.19)
- Objetivos dos laboratórios remotos analisados (Tabela 3.20)

Assunto*

P: Física
 B: Biologia
 AE: Engenharia Aeronáutica
 CE: Engenharia Química
 Clm: Climatologia
 CVE: Engenharia Civil
 EE: Engenharia Eletrônica
 INS: Interdisciplinar
 ME: Engenharia Mecânica

MME: Engenharia Mecânica e de Produção
 PE: Engenharia de Energia
 Phy: Fisiologia
 TE: Telecomunicação
 CS: Informática
 IS: Internet
 EES: Ciência do Ambiente e Ecológica
 SE: Ciências e Engenharia (Física, biologia, EE)

Metodologia

Qualitativa – Conceptualização e Avaliação
 Empírica – Métodos baseados em desvios
 Técnica – Desenho e implementação

Tabela 3.18 - ARTIGOS hands-on, Laboratórios Presenciais clássicos

Artigo	Tipo Lab			Assunto	Metodologia	Restrições		Objetivos Educacionais			
	H L	S L	R L			Tempo &Custo	Acessibilidade Flexibilidade	Compreensão Conceptual	Competências Profissionais	Competências Técnicas	Competências Sociais
[147]	√			ME	Q	√		√	√		√
[148]	√			ME	Q	√		√	√		
[149]	√			ME	E			√	√	√	√
[150]	√			ME	Q	√		√	√	√	
[146]	√			EE	Q			√	√	√	
[151]	√			MME	Q	√		√		√	
[152]	√			ME	E			√	√	√	
[153]	√			SE	Q	√		√	√	√	√
[154]	√			CE	E			√		√	
[155]	√			B	Q			√			√
[156]	√			EE	Q			√	√		√
[157]	√			EE	Q	√		√	√	√	
[158]	√			CE	Q			√	√	√	√
[159]	√			P	Q/T			√	√		
[160]	√			CE	Q			√	√	√	
[161]	√			P	Q			√			
[162]	√			AE	Q			√	√	√	
[163]	√			EES	Q			√	√	√	√
[164]	√			CE	Q			√			
[38]	√			ME	Q			√	√	√	√
soma						6	2	20	15	13	8

Tabela 3.19 - ARTIGOS “VIRTUAL LABORATORIES” Laboratórios Virtuais

Artigo	Tipo Lab			Assunto	Metodologia	Restrições		Objetivos Educacionais			
	H L	S L	R L			Tempo &Custo	Acessibilidade Flexibilidade	Compreensão Conceptual	Competências Profissionais	Competências Técnicas	Competências Sociais
[165]	√			EE	T		√	√		√	
[166]	√			TE	T			√	√	√	√
[167]	√			EE	T	√	√	√	√	√	
[168]	√			EE	T	√	√	√	√		
[169]	√			ME	T	√		√			
[170]	√			EE	Q	√		√	√	√	
[171]	√			CE	T	√	√	√			
[172]	√			ME	Q			√	√		
[173]	√			ME	Q	√		√	√	√	√
[174]	√			Phy	Q	√	√	√	√	√	
[175]	√			ME	Q			√	√		
[176]	√			INS	T	√	√	√	√	√	
[177]	√			CE	T	√	√	√			
[178]	√			B	T	√	√	√	√		√
[179]	√			Clm	Q		√	√	√	√	
[180]	√			CVE	T	√	√	√	√	√	√
[181]	√			ME	T	√	√	√	√		
[182]	√			PE	T	√		√	√		√
[183]	√			PE	T			√	√		
[184]	√			PE	T			√	√		
soma						13	11	20	16	9	5

Tabela 3.20 - ARTIGOS “REMOTE LABS”, Laboratórios Remotos

Artigo	Tipo Lab			Assunto	Metodologia	Restrições		Objetivos Educacionais			
	H L	S L	R L			Tempo &Custo	Acessibilidade Flexibilidade	Compreensão Conceptual	Competências Profissionais	Competência s Técnicas	Competências Sociais
[185]			√	ME	T	√	√	√	√		
[186]			√	ME	T	√	√	√			
[187]			√	EE	T	√	√	√	√		
[188]			√	EE	T			√	√		
[189]			√	IS	T	√	√	√	√		
[190]			√	EES	T	√	√	√			
[191]			√	EE	T		√	√			
[192]			√	EE	T	√	√	√	√		
[28]			√	EE	T	√	√	√	√		
[193]			√	EE	T	√	√	√			
[187]			√	EE	T	√	√	√	√		
[194]			√	EE	T	√	√	√	√		
[238]			√	SE	Q	√	√	√	√		√
[98]			√	P & CE	Q	√	√	√	√		
[195]			√	CS	T	√	√	√	√		√
[196]			√	EE	T	√	√				
[197]			√	B	Q	√	√	√	√	√	√
[198]			√	EE	T		√	√			
[199]			√	EE	T	√	√	√			√
[200]			√	EE	T	√	√	√	√		
Soma						17	19	19	13	1	4

3.3. Definição da “Questão Central de Pesquisa”

Considerando que este trabalho pretende relacionar a teoria evolucionista de Darwin com a evolução observada nos laboratórios remotos e virtuais, virtuais e remotos, a “Questão central de pesquisa” – (*Research Question*) para este trabalho será:

“É possível explicar e prever a evolução de um sistema de laboratórios remotos e virtuais analisando a sua história de desenvolvimento e as razões (acoplamentos estruturais e energéticos) que estão por detrás da sua adaptação ao ambiente envolvente?”

Podemos ainda estabelecer as seguintes questões adicionais:

“Será que a evolução dos laboratórios remotos e virtuais também segue as leis da natureza?”

“Os laboratórios remotos e virtuais conseguem eles próprios adaptar-se ao ambiente envolvente?”

4. Proposta do modelo de evolução

4.1. Desenvolvimento do modelo de evolução

Analisando a evolução *laboratórios remotos e virtuais*, impõe-se propor e construir um modelo que descreva e que de algum modo justifique o que aconteceu na sua evolução e que permita também prever a sua evolução futura, i. é prever os eventos futuros através da observação e compreensão dos eventos passados.

Esse “sistema de previsão” chamemos-lhe assim, não é no fundo mais do que um “modelo” tal como é definido nas ciências exatas, ou seja, “uma representação simplificada durante um determinado período de tempo ou especialmente do fenómeno em causa que permite promover a completa compreensão do sistema real, ao longo do tempo ou do espaço[201].

Mas qual é a vantagem de construir um modelo? De que modo pode nos ajudar?

- A construção de modelos permite-nos compreender o problema e o seu sistema envolvente, e investigar e descobrir soluções para o mesmo.
- Existem aplicações de *software* que nos ajudam a construir modelos, forçando-nos a identificar os relacionamentos entre os vários componentes do sistema em causa.
- Estas aplicações permitem-nos aplicar o conceito de *collaboration model building process*, que geram um modelo focado nas interpelações entre componentes e fatores técnicos, geográficos, humanos, técnicos, políticos e sociais do sistema em causa.

Há no entanto que observar certas regras para fazer um modelo correto[201]:

- Quanto mais um modelo ajudar a desenvolver a compreensão, e a mostrar uma imagem o mais exata possível do sistema, mais eficaz e melhor esse modelo será.
- Ao desenvolver modelos haverá sempre que negociar e balancear entre a simplicidade do que se pretende no modelo a produzir e a real complexidade do sistema.
- Como um modelo é sempre uma simplificação da realidade, é possível que alguns fatores importantes sejam excluídos. É necessário no entanto garantir que os mais importantes estejam sempre incluídos.

Logo um fator essencial é determinar exatamente qual é o nível de detalhe que se pretende atingir e até onde se podem excluir esses fatores. Se excluirmos fatores importantes podemos correr o risco de estar a construir um modelo demasiado simplificado, o que impreterivelmente impedirá a completa compreensão do processo através do modelo construído.

Por outro lado, se desenvolvermos um modelo muito complicado revelar-se-á demasiado complexo para permitir uma compreensão o mais abrangente possível do problema e da solução.

Outro passo importante é definir bem quais são os componentes de um modelo[201].

Classicamente consideram-se sempre 3 tipos de componentes para um modelo, a saber[201]:

- *STOCKS*
- *FLOWS*
- *CONVERTERS*

1. *STOCK* – Um *STOCK* é uma “população” de algo, ou seja, o que na terminologia inglesa científica se designa por *bathtub*.

Um reservatório de alguns componentes que são matéria-prima para o nosso processo, e que são *inputs*. No caso dos *VRLs* poderão ser:

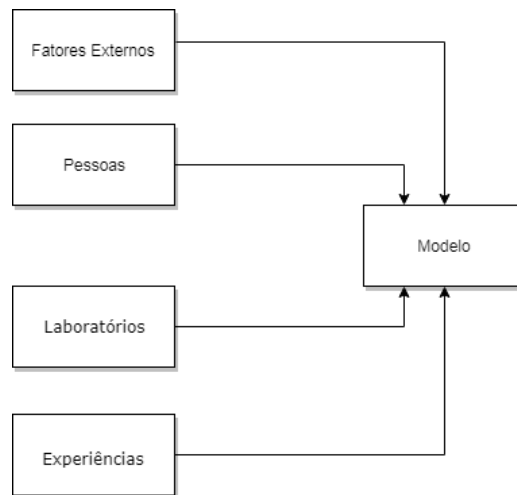


Figura 4.1 - Stocks que alimentam o modelo

Ainda em termos de *STOCKS* convém clarificar alguns conceitos, nomeadamente a diferença entre os conceitos de “laboratório” e “experiência”; assim teremos⁶:

Laboratório: Trata-se da infraestrutura física, concretamente paredes do edifício e equipamentos.

Experiência: Consiste em guiões para trabalhos laboratoriais propostos e actividades experimentais que se podem realizar utilizando a infraestrutura física e equipamentos do laboratório.

Numa perspetiva mais alargada e generalista do problema, se considerarmos em vez de um sistema simples de laboratórios remotos, uma federação de vários sistemas, então o modelo de aproximação terá de ser mais completo e complexo, tal como apresentado a seguir:

⁶ Estes conceitos serão desenvolvidos adiante, mas é importante clarificá-los desde já.

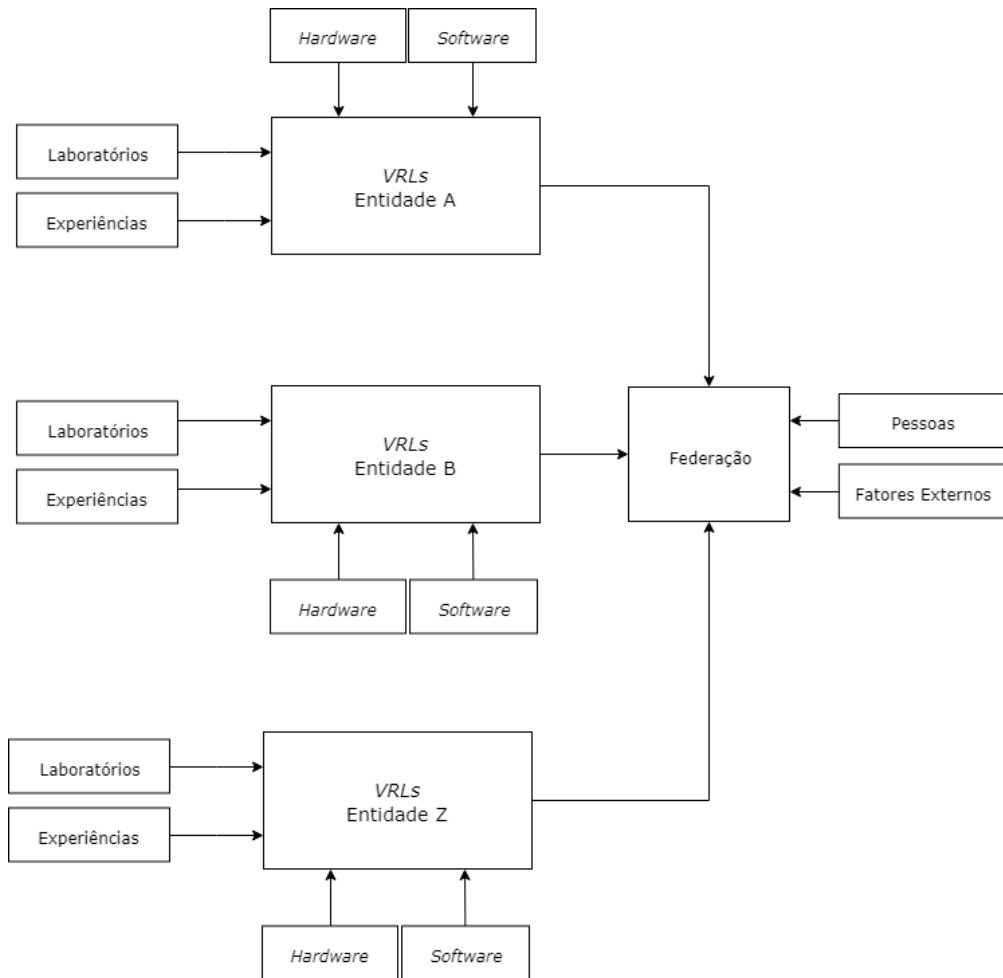


Figura 4.2 - STOCKS de um modelo para uma federação de VRLs

Tem de ser garantida a manutenção ao *Hardware* e *Software* do sistema. A manutenção é feita por pessoas, que para tal deverão de estar motivadas com todos os fatores envolventes de ordem técnica e humana. Por isso tem de haver técnicos competentes que os mantenham e utilizadores que os utilizem, para que haja acoplamento energético, ou seja para que o sistema se mantenha “vivo” e funcional.

Devem ser também garantidas as condições técnicas para um eficaz acoplamento estrutural.

2. **FLAWS** – Os fluxos traduzem a evolução dos *stocks* ao longo do tempo ou de um processo.

Os fluxos de dados e de acontecimentos estão sempre a variar e sem essa variação de fluxo um sistema ficaria estático.

Exemplos de **FLAWS**:

- Erosão, Nascer, Entregar, Distribuir, Morrer, Produzir, Emigrar, Drenar, Enriquecer, Aumentar, Diminuir, Separar, Duplicar, Unir

No nosso caso temos o nascimento, desenvolvimento e morte dos sistemas de *labs online* e também os fatores que os influenciam.

Os **FLAWS** serão, portanto, os processos que conferem a dinâmica ao sistema e garantem o seu funcionamento. Existem processos estruturais e nucleares que garantem o funcionamento do sistema e asseguram os seus resultados finais. Existem também processos conversores que não são mais do que processos condicionadores dos processos nucleares, estruturais ou

processos de resultado final. Estes processos conversores atuam como catalisadores dos processos estruturais, condicionando negativa ou positivamente o seu funcionamento, diminuindo ou reforçando os acoplamentos estruturais ou energéticos, deles decorrentes.

No fundo os processos conversores, são os *CONVERTERS*, apresentados sucintamente a seguir.

3. **CONVERTER** – Os conversores influenciam os fluxos. Eles indicam a quem cria e mantém os sistemas sobre a qualidade e intensidade da atividade que é representada pelo *Flow*.

Depois de identificados os componentes do nosso sistema, há que identificar os que se “encaixam” nestas 3 categorias de componentes, ou seja, os que são *STOCK*, *FLOW* ou *CONVERTER*.

Há certas regras a seguir de princípio para definir corretamente um modelo, nomeadamente quanto aos termos a definir para construir o modelo com os vários componentes:

- *STOCKS* – Devem ser substantivos, pois representam os componentes físicos do sistema, por exemplo pessoas, locais, “coisas”.
- *FLAWS* – Devem ser representados por frases com verbos ativos, pois representam sempre ações que fazem com que os *STOCKS* sejam dinâmicos e evoluam em quantidade e espaço ocupado, etc. No entanto, por vezes, os processos estruturais ou nucleares, podem ser identificados apenas pelo nome do dispositivo ou sistema em causa e pressupõe-se que indicam o seu funcionamento correto e regular.
- *CONVERTERS* – Deverão gramaticalmente ser materializados por advérbios, pois são os eventos que irão modificar ou quantificar os *FLAWS* (Fluxos). Exemplos serão:
 - Muito, Pouco, Intensamente, Ligeiramente lentamente, Rapidamente

Serão, portanto, estes alguns dos advérbios mais utilizados.

Atendendo a estes princípios, a forma como foi construído o modelo foi dividida por etapas:

1. Primeiro começamos por expor a situação para a qual nos propomos construir o modelo, essa será a base principal do nosso trabalho e o ponto central do nosso modelo.
2. Depois tivemos de identificar os *STOCKS* através de substantivos que os expressam:
 - Pessoas, Tecnologia

Por sua vez as pessoas dividem-se nos seguintes grupos de *STOCKS*[202]:

- Professores, Alunos locais, Alunos remotos, Investigadores remotos, Concetores de experiências e conteúdos, Técnicos de manutenção do sistema, Administradores do sistema

Num sistema de *laboratórios remotos e virtuais* a rede de pessoas que são necessárias para o manter em funcionamento é bastante extensa e complexa[202].

Nenhum académico ou instituição académica deveria pensar em implementar um sistema de *VRLs*, sem ter em conta e ponderar cuidadosamente todo o espectro de interesses dos vários atores intervenientes no processo, particularmente aqueles atores cujos interesses poderão de algum modo conflitar com outros e introduzir tensões no desenvolvimento do processo [202].

Se tal acontecer terá graves consequências no acoplamento energético de todo o sistema e irá prejudicar grandemente a sua implementação e desenvolvimento.

Para um sistema de *VRLs* funcionar corretamente precisamos de uma série de atores verdadeiramente envolvidos no processo, logo com um elevado acoplamento energético.

Também há que garantir um acoplamento estrutural eficaz, e para que tal ocorra além de toda a estrutura tecnológica de suporte dos laboratórios remotos e virtuais, deve existir um *LMS* de suporte de todas as experiências envolvidas, para que possa fornecer o suporte teórico necessário às experiências, e possibilitar todos os meios de comunicação necessários ao diálogo entre todos os atores, através das suas ferramentas próprias como sejam:

- *Mail*
- *Chat*
- Videoconferência
- Fóruns

Num sistema de *VRLs* assim completo e suportado num *LMS* os atores a considerar serão:

- i. Professores - O seu papel é essencial, pois terão de orientar e apoiar os alunos, durante todo o seu processo de aprendizagem.

Além de acompanharem as experiências realizadas pelos alunos local ou remotamente, normalmente também são os concetores da documentação de suporte disponibilizada no *LMS* para apoio às várias experiências e laboratórios.

No caso dos estudantes remotos, os professores devem também desempenhar o papel de tutores de modo a apoiar o estudante frequente e eficazmente, reduzindo os efeitos de solidão no processo e da distância, utilizando para tal todos os meios tecnológicos ao seu dispor no sistema.

Assim o professor deve usar o acoplamento estrutural para garantir um bom acoplamento energético do estudante com todo o sistema [202].

- ii. Alunos locais – São os alunos da própria instituição que alberga os sistemas de *VRLs* e podem usar os laboratórios tanto presencialmente como à distância usando todas as ferramentas disponibilizadas pelo sistema de *VRLs* e *LMS* de suporte.
- iii. Alunos remotos – São os alunos à distância da instituição em regime de *e-learning* e que usam os laboratórios disponíveis de modo remoto.
- iv. Investigadores remotos – Os investigadores remotos são normalmente professores e investigadores de outras instituições que desenvolvem trabalho de investigação e utilizam nas suas pesquisas o sistema *VRL*, sendo nesse caso “consumidores”. Por vezes participam também na construção e desenvolvimento do sistema *VRL*. Neste caso são conceptores de conteúdos e/ou experiências, ou programadores que mantêm e melhoram a componente de *Middleware* que controla o acesso ao sistema de *VRL*, por parte de todos os utilizadores.
- v. Conceptor de experiências e/ou conteúdos – Estes utilizadores são normalmente professores e investigadores locais e remotos (de outras instituições de ensino) que concebem os guiões das experiências a disponibilizar no sistema de *VRLs* ou Federação de *VRLs*, e ainda os suportes pedagógicos de apoio teórico a disponibilizar no sistema de suporte *LMS*.

- vi. Técnicos de manutenção do sistema – Estes técnicos têm de deter as competências necessárias para instalar, alterar, reparar e manter os sistemas de *hardware* dos laboratórios, os sistemas de *Middleware* e ainda a configuração e manutenção do *LMS* de apoio ao *VRL*.
- vii. Administradores do sistema – Aos administradores compete-lhes criar e manter todo o sistema de acesso e utilização do *VRL* e do *LMS* de suporte.
Têm como funções:
 - Criar utilizadores;
 - Definir níveis e permissões de acesso dos utilizadores do sistema;
 - Disponibilizar experiências nos laboratórios remotos;
 - Gerir as aplicações de *schedulling* e *Middleware*, definindo tempos e permissões de acesso dos utilizadores;
 - Programar ações de manutenção do sistema de *VRL*;
 - Disponibilizar acesso a recursos e conteúdos pedagógicos de apoio;
 - Gerir todos os utilizadores;
 - Supervisionar o trabalho dos conceptores.

A tecnologia divide-se nos seguintes grupos de *STOCKS*:

- Laboratórios: Representam as infraestruturas tecnológicas que possibilitam a realização de experiências no sistema ou federação de *VRLs*.
- Experiências: São os guiões dos trabalhos preparados, pelos professores e/ou concetores para serem realizados pelos alunos as experiências laboratoriais disponíveis no sistema ou federação de *VRLs*.
- LMS de suporte: Trata-se da plataforma de *e-learning* de suporte que enquadra todas as experiências laboratoriais propostas, disponibiliza aos alunos os suportes teóricos necessários à realização das experiências e viabiliza através das suas ferramentas de comunicação próprias todos os contatos entre todos os atores do sistema ou federação de *VRLs*. Integra o *ILS* quando existir.
- Middleware: São os computadores, o *software* e sistemas de rede informática que possibilitam o acesso ao sistema de *VRLs*, as marcações de trabalhos e a gestão administrativa de todos os processos e atores envolvidos no sistema ou federação de *VRLs*.

3. De seguida identificámos em maior detalhe as ações que fazem os *STOCKS* serem dinâmicos, ou sejam que atuam sobre os *STOCKS*.

São materializados por vários verbos escritos no infinitivo:

- Iniciar, Nascer, Construir, Desenvolver, Unir, Separar, Manter, Morrer, Terminar

Estes serão os FLOWS do projeto.

4. Finalmente identificámos também em detalhe quais os fatores externos que irão condicionar os *FLOWS*, serão fatores externos de várias ordens – humana, social, económica, técnica, geográfica, política, entre outros.

Concretamente serão:

- Condições físicas de instalação
- Disponibilidade de tempo dos atores do processo
- Aceitação do ambiente e ferramentas por parte dos alunos
- Motivação dos construtores e professores/investigadores
- Financiamento
- Localização geográfica das instalações
- Vontade política das autoridades
- Motivação dos alunos
- Qualidade do ambiente construído
- Apoio académico
- Missão e estratégia das instituições que albergam os sistemas de *VRL*
- Dinâmica académica (*)
- Disponibilidade de tecnologia:
 - o Computadores
 - o Equipamento de laboratório
 - o *Interfaces*
 - o *Service Broker /Scheduling*
 - o Acesso eficaz à internet

(*) – Para analisar a dinâmica académica o melhor método que podemos utilizar é analisar o número e frequência de publicações científicas sobre o *VRL* em particular, produzidas pela instituição de ensino que o suporta pois no fundo são eles que transmitem para o mundo exterior a concretização da sua estratégia, para atingir uma determinada missão a que se propôs.

Todos estes fatores serão *CONVERTERS*, pois são os fatores que influenciam os *FLOWS*.

Um modelo tem de ter um suporte físico, e esse suporte físico será um sistema. Sistema que será definido como uma entidade que mantém a sua existência através de uma interação efetiva entre os seus vários componentes.

Um sistema num determinado enquadramento de tempo e de espaço, mas a sua característica principal e determinante é a interação que ocorre entre os seus vários componentes. Relacionando com o conceito de modelo podemos afirmar que os seus componentes são os *STOCKS* e as suas interações são os *FLOWS*. A forma como estas ocorrem são os *CONVERTERS*.

A característica de um sistema é definida essencialmente pelas interações entre os seus componentes e a forma que assume essas interações, mais do que pelos seus componentes, pois essas interações é que garantem a coesão do sistema.

A coesão de um sistema é garantida pela sua “Inteligência”. A “inteligência do Sistema” é um conjunto de ações programadas que constituem as interações entre os vários componentes do sistema, e a forma que eles assumem, em função das variáveis das entradas recebidas que constituem os *CONVERTERS* do modelo, i. é constituem os comportamentos padrão do sistema.

A “Inteligência do Sistema” traduz-nos a sua mentalidade, ou seja, o seu “*Mindset*” em terminologia inglesa. A forma de entendermos perfeitamente um sistema é analisar o seu *Mindset*, aqui estão descritos os seus padrões de comportamento e descritas as relações entre os componentes que vão definir os seus resultados. Devemos ter uma visão global do sistema para podermos avaliar corretamente as relações entre múltiplos elementos.

O conceito de “Inteligência do Sistema” ou em terminologia inglesa *Systems Thinking* foi introduzido em 1956 pelo Professor *Jay Forrester* do MIT, atendendo à necessidade de encontrar uma melhor forma de testar novas teorias sobre sistemas sociais[201]. No entanto este sistema também pode ser perfeitamente aplicado a questões de engenharia, como é o caso dos *VRLs*.

Normalmente os engenheiros constroem os modelos para testar as suas novas teorias, é exatamente o tipo de processo onde se aplica o conceito de *Systems Thinking*, que se deve aplicar quando temos múltiplos atores no sistema, o sistema fica de tal modo complexo que nos perdemos na análise dos detalhes e não na visão global do sistema. Isto é especialmente verdade em sistemas com muitas variáveis de entrada, que na metodologia de modelo se vão transformar em muitos *STOCKS* que serão manipulados por muitos *FLOWS* condicionados por muitos *CONVERTERS*, que irão controlar os *FLOWS*.

Existem, como foi já referido, pacotes de *software* indicados para construir modelos, um deles é o que nos propomos usar, o “Visual Paradigm”.



Figura 4.3- Logo do *software* Visual Paradigm para desenho de modelos

Neste *software* temos os vários componentes de um modelo:

1. *Process* – São os *FLOWS*

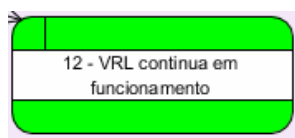


Figura 4.4 - *FLOW*

2. *External Entity* – Entidades Externas que são *inputs* que condicionam os *FLOWS*, por vezes através de *CONVERTERS*.

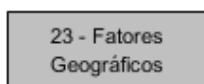


Figura 4.5 - Entidade Externa (*External Entity*)

3. *Data Store* – são os *STOCKS* (*elementos principais de input do modelo*) que serão dinamizados pelos *FLOWS*.

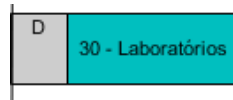


Figura 4.6 - Elemento *Data Store*



Figura 4.7 - Elemento *CONVERSOR* ou Processo Condicionador

Assim, com todos estes elementos, já se torna-se possível construir um modelo do sistema.

Este modelo representa o nascimento, vida e morte de *VRLs*, onde se mostra a interligação às premissas e postulados da teoria de evolução *Darwiana* decorrente da obra *The Origin of Species*.

A existência e continuidade do sistema de *VRLs* está condicionada ao estado vital das pessoas que o construíram e aos fatores condicionantes do meio ambiente em que se insere.

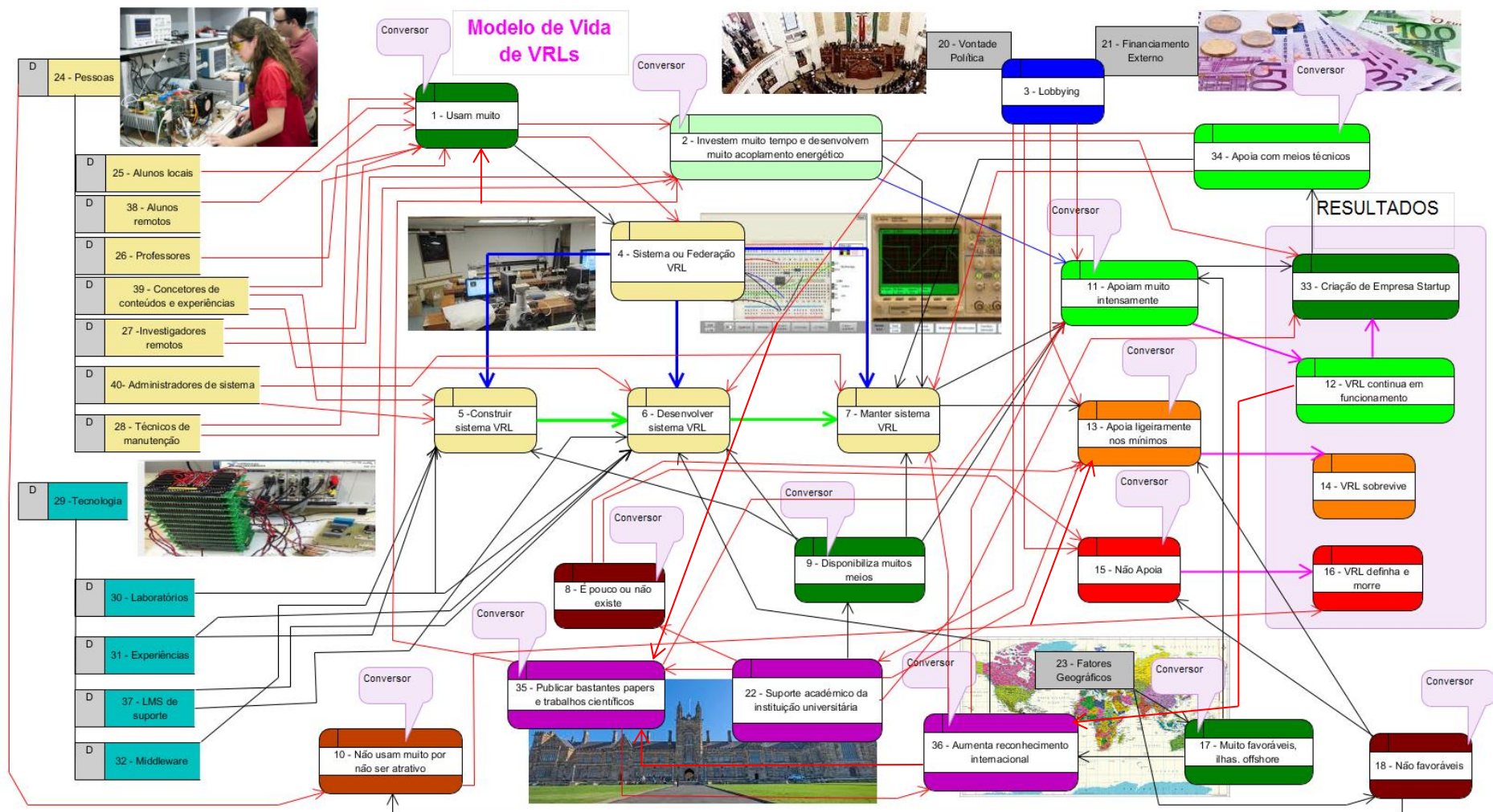


Figura 4.8 - Proposta de modelo de vida de um VRL

O modelo apresentado foi desenvolvido de acordo com a metodologia exposta antes, cuja forma foi explanada antes da sua apresentação, e a substância do mesmo será explicada e detalhada nas próximas páginas deste trabalho.

Detalharemos cada elemento “per si” inicialmente e depois explicaremos os processos em que estão envolvidos e finalmente será dada uma visão de conjunto do modelo proposto.

Por uma questão de organização e melhor legibilidade do modelo proposto, os elementos foram numerados.

Também foram utilizadas algumas cores diferentes no ambiente para facilitar a compreensão do modelo proposto, considerando a relação intuitiva do dia-a-dia, nomeadamente nos semáforos e sinais de perigo que temos normalmente com as cores habituais e os seus significados.

Assim quanto aos *FLAWS* ou processos utilizamos as seguintes cores:

- Verde - indica um processo conversor que favorece a evolução do processo e contribui para um resultado final dinâmico e positivo.
- Amarelo claro – tom neutro – indica processos que embora principais e fulcrais no sistema dependem essencialmente dos estímulos externos (os processos conversores) e dos *inputs* externos e de variáveis independentes (*as External Entities*).
- Castanho – indica processos que expressam algum constrangimento mais ligeiro.
- Laranja – indicam processos que fazem desacelerar o desempenho do sistema e que levam a que o mesmo atinja níveis mínimos de funcionamento, no limiar da sua sobrevivência como sistema dinâmico.
- Vermelho – o vermelho vivo indica processos que contribuem para a paragem do sistema e mesmo para o fim do sistema enquanto sistema dinâmico.
- Violeta – indicam processos ligados a instituições universitárias e essencialmente geradores de acoplamento energético.

Para graduar a intensidade dos processos utilizamos tons dentro da mesma cor ou categoria.

Quanto às setas que indicam os fluxos de informação, também têm significados próprios dependentes da sua cor e espessura.

Assim todas as setas negras indicam fluxos de processos que dependem do acoplamento estrutural, logo da tecnologia e meios materiais empregues no desenvolvimento do projeto.

As setas vermelhas finas indicam fluxos de processos que dependem do acoplamento energético, logo das pessoas envolvidas nos processos.

As setas azuis largas indicam fluência de processos dentro de uma federação ou sistema de VRL que dependem essencialmente de acoplamento energético.

As setas verdes claras indicam fluxos de processos dentro do núcleo do modelo entre processos principais do sistema que dependem tanto do acoplamento energético, como do acoplamento estrutural.

As setas violetas traduzem a transmissão conjunta de acoplamento energético e acoplamento estrutural dos processos conversores finais (11, 13 e 15) que condicionam diretamente os resultados finais nos processos 12, 14, 16 e 33.

Neste modelo a espessura das setas não é associada à intensidade dos *FLAWS*.

Apresentadas estas notas genéricas, passamos à descrição mais detalhada dos vários componentes do modelo.

Assim teremos:

Como entradas principais do sistema temos as pessoas que o operam e constituem a força vital do acoplamento energético.

Essas pessoas dividem-se essencialmente em sete subgrupos do grupo “Pessoas”, tal como podemos observar na figura seguinte:

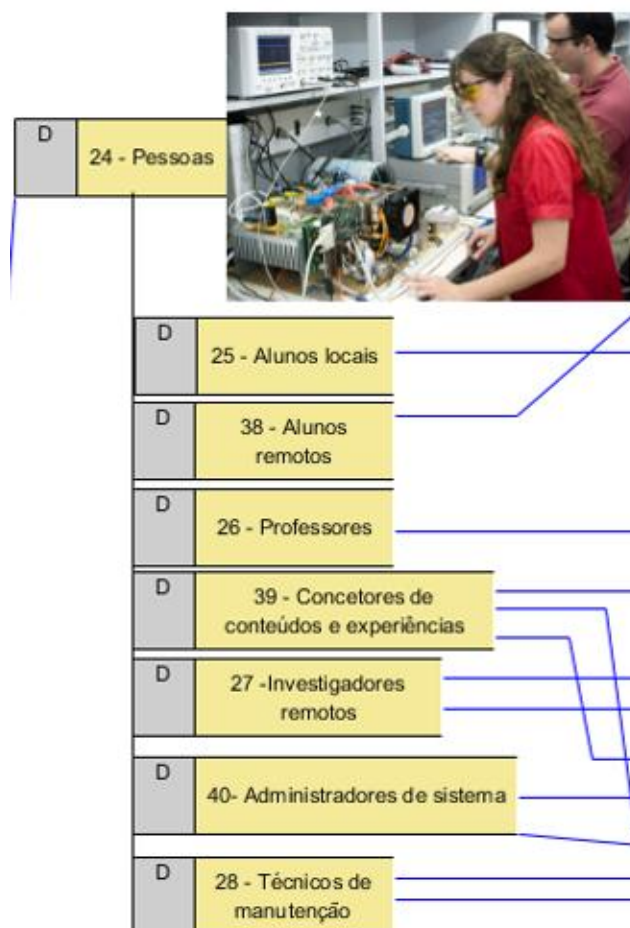


Figura 4.9 - STORE "Pessoas"

Na figura acima podemos confirmar que o STORE “Pessoas” se divide em sete, concretamente nos 7 tipos de atores normalmente mais envolvidos com os VRLs:

- Professores
- Investigadores remotos
- Técnicos de manutenção
- Administradores do sistema
- Alunos locais
- Alunos remotos
- Condutores de conteúdos e experiências

O outro elemento principal do modelo é a tecnologia que suporta todo o sistema de *VRL*, e que podemos dividir em quatro itens:

- Laboratórios
- Experiências
- *Middleware*, ou *software* de suporte
- *LMS* de suporte

Tal é apresentado na seguinte figura:

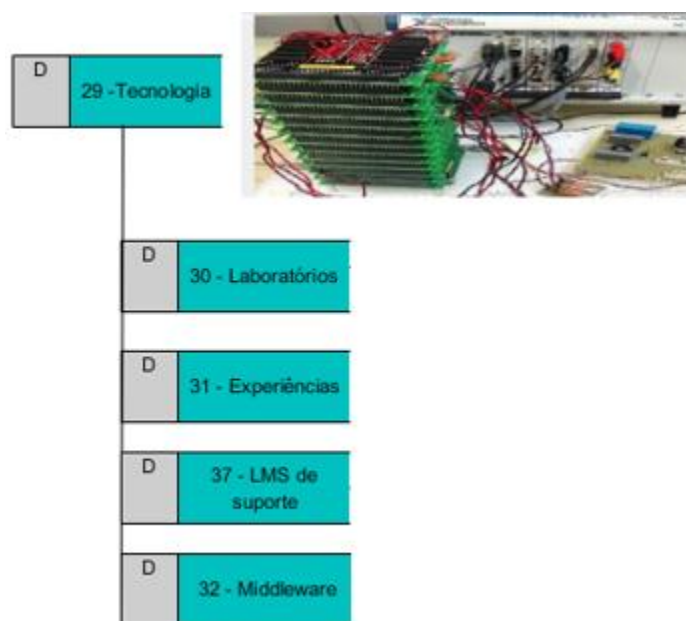


Figura 4.10 - *STORE* de Tecnologia

O *STORE* de “Pessoas” é a origem de quase todo o acoplamento energético, enquanto o *STORE* de “Tecnologia” é a origem de todo o acoplamento estrutural.

O núcleo do modelo é o sistema ou federação de *VRLs* que traduz os vários acontecimentos principais da vida de um sistema de *VRL*:

- Nascimento
- Desenvolvimento
- Separação
- União
- Manutenção
- Morte

O nascimento é essencial e depende de fortes componentes de acoplamento estrutural e acoplamento energético, o desenvolvimento é essencial para o sistema ganhar mais importância e mais dinâmica com novos utilizadores.

A manutenção é também essencial, sem ela o sistema deixa de funcionar devido à não reparação de avarias e acaba por “morrer”.

O processo nº 4 representa a entidade de gestão do sistema ou Federação de *VRLs*. Este processo transmite acoplamento energético para todos os outros processos do núcleo, só devido à vontade desta entidade é possível construir, desenvolver e manter um sistema de *VRLs*.

Se o processo de construção do sistema se mantiver ativo em contínuo, então inevitavelmente este será desenvolvido, tal é traduzido pela seta verde clara larga que liga o processo nº 5 ao nº 6 e por ele flui o necessário acoplamento energético e estrutural. Por sua vez o desenvolvimento, e mesmo a simples existência de um sistema *VRL*, implica a sua continuada manutenção, que por sua vez vai viabilizar os processos nºs 11 e 13 que se traduzem em diferentes graus de funcionamento do sistema de *VRL*. Se a manutenção não existir o resultado será o expresso pelo processo nº 16. Por isso em termos de resultados finais a manutenção apenas contribui para a ocorrência dos processos nº 12 ou 14. E depois indiretamente para o processo nº 33 (a criação de empresas de suporte aos sistemas *VRL*).

Estes 3 eventos ou processos dependem essencialmente do acoplamento energético do órgão de gestão e decisão do sistema de *VRLs* como pretende mostrar a figura 4.11.

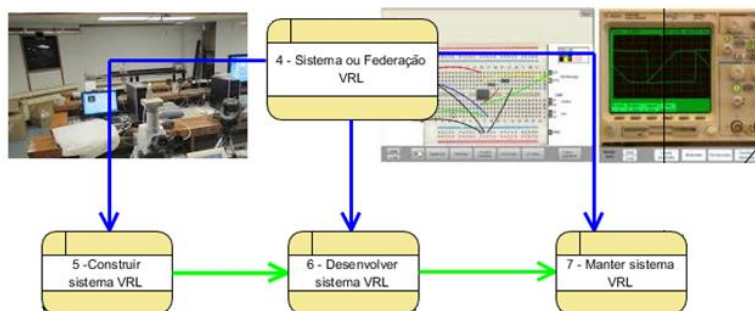


Figura 4.11 - FLOWS ou processos principais do núcleo do modelo

No entanto este núcleo principal do modelo depende além dos *STORES* de pessoas e tecnologia, também de outros fatores externos ao sistema, que são essenciais para a sua sobrevivência como sejam:

- A vontade política e os financiamentos externos que no fundo vão constituir o *lobby* que suporta o sistema ou federação, geram conjuntamente um muito importante componente de acoplamento energético.

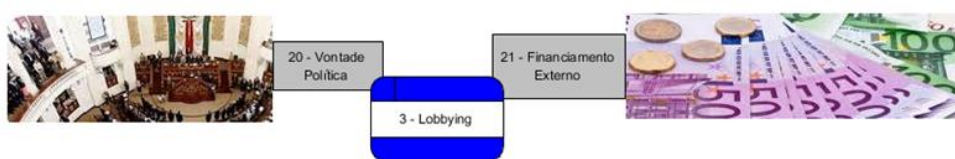


Figura 4.12 - Variáveis externas que condicionam o lobbying que suporta o sistema

Outros dois fatores externos não menos importantes e que condicionam muito fortemente a sobrevivência do sistema é o apoio académico que o sistema tem, pois será esse o fator principal para dar credibilidade e aceitação ao sistema no universo científico e académico, gerando também um importante acoplamento estrutural. Também o fator geográfico, que é estrutural da área geográfica onde o projeto (ou parte dele) está localizado. Esses fatores geográficos poderão ser positivos ou negativos dependendo das circunstâncias geográficas do local onde o sistema está maioritariamente localizado.

Se por exemplo, estiver numa ilha ou continente, onde as distâncias geográficas são muito grandes, então é altamente aconselhável o uso de *VRLs* e sistemas de *e-learning* ou *b-learning*.

Se pelo contrário, o sistema é isolado e para uso exclusivo de uma universidade ou mesmo sendo usado por outras universidades, os alunos facilmente, rapidamente e economicamente se deslocam para lá, nesse caso não se justificará o uso de um laboratório remoto ou virtual, a menos que o sistema seja acessado, por exemplo, por alunos estrangeiros de outras universidades com que sejam estabelecidos acordos acadêmicos e de cooperação.



Figura 4.13 - Entidade externa que traduz os fatores geográficos

Estes tipos de fatores ou variáveis é que vão influenciar o núcleo e resultados do sistema, através da manipulação de conversores, como é indicado nos seguintes processos auxiliares conversores:



Figura 4.14 - Processo conversor nº 10

Este processo condiciona os VRLs fortemente, pois tem a ver com a maior ou menor atratividade do ambiente criado. Se não for atrativo e se for complicado de usar, as pessoas não o vão usar, e este processo conversor contribui assim para a morte do sistema de VRLs, pois alimenta com um acoplamento energético negativo o resultado expresso no processo nº 16.



Figura 4.15 - Processo conversor nº 8

Este processo também condiciona fortemente no sentido negativo a existência do sistema de VRLs, pois se não existir apoio acadêmico de uma instituição reconhecida dificilmente o sistema se irá impor no meio científico e acadêmico, o que levará a não ser usado nem investigado e conseqüentemente irá acabar por definir e morrer. Este processo conversor alimenta com acoplamento energético negativo o processo conversor nº 15 e 13, que por sua vez irá condicionar através da transmissão de acoplamento energético e acoplamento estrutural o resultado final expresso respetivamente pelos processos nº 14 e 16.



Figura 4.16 - Processo conversor nº 18

Este processo conversor tem diretamente a ver com os fatores geográficos da zona onde está implementado o sistema de *VRLs*. Se os fatores geográficos não forem favoráveis, por exemplo se a universidade onde está o *VRL* estiver isolada ou tiver outra muito próxima de modo que os alunos se possam deslocar facilmente aos seus laboratórios, não se justifica de todo o investimento técnico e humano em um sistema de *VRLs*.

Este processo conversor condiciona com a transmissão de acoplamento estrutural negativo os processos nº 13 e 15 que vão condicionar fortemente e respetivamente os processos nºs 14 e 16 através das transmissões de acoplamento energético e estrutural representado pelas setas violetas que ligam o processo nº 13 ao nº 14 e o processo nº 15 ao nº 16.



Figura 4.17 - Processo conversor nº 1

Este processo é facilitador e muito positivo para os sistemas de *VRLs*, pois se os vários atores intervenientes (alunos, professores, investigadores e técnicos) utilizam muito um determinado sistema, então o acoplamento energético transmitido ao processo nº 1 é muito elevado e é um enorme incentivo para que o sistema continue em funcionamento e até se desenvolva. Tal é expresso pela transmissão de acoplamento estrutural positivo para os processos nºs 4, 5, 6 e 7, que constituem o núcleo do modelo do sistema de *VRLs*. O processo nº 1 também transmite acoplamento energético positivo ao processo condicionador nº2, que por sua vez ainda alimentará os processos nº 7 e 11.

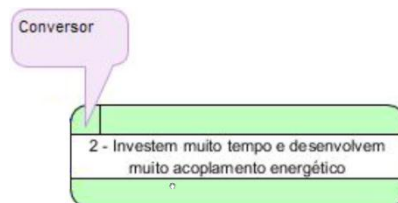


Figura 4.18 - Processo conversor nº 2

Este processo conversor é uma consequência do anterior, pois se as pessoas usam muito o sistema, então é natural que investam muito tempo no trabalho sobre o sistema e desenvolvam um elevado acoplamento energético. Logo este processo conversor através do acoplamento energético gerado irá alimentar o processo conversor nº 11, que vai contribuir para o sucesso do sistema em pleno funcionamento, que é o resultado obtido no processo nº 12.

Irá também transmitir acoplamento estrutural positivo ao processo nº7 (do núcleo).



Figura 4.19 - Processo conversor nº 9

Este processo conversor distribui em termos de acoplamento estrutural, os efeitos do apoio académico ao sistema de VRLs. Envia, portanto, acoplamento estrutural positivo para os processos nºs 5, 6, 7 e 11.

Ao alimentar os processos nºs 5, 6 e 7, viabiliza o funcionamento do núcleo do sistema e ao alimentar o processo nº 11, vai viabilizar como resultado final o processo nº 12, e depois indiretamente no processo nº 33.

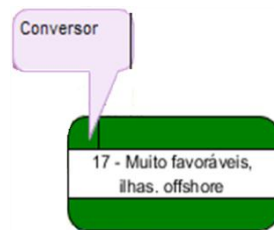


Figura 4.20 - Processo conversor nº 17

O processo conversor nº 17 refere-se a fatores geográficos e traduz o facto de os fatores geográficos poderem ser muito favoráveis, o que vai provocar naturalmente um grande apoio estrutural ao funcionamento dos VRLs. No presente modelo isso traduz-se por um favorecimento forte por acoplamento estrutural do processo nº 11 e conseqüente favorecimento do resultado expresso no processo nº12, que é o VRL continuar em funcionamento normal. A transmissão de acoplamento estrutural positivo para o processo nº 36, traduz o natural aproveitamento no processo de reconhecimento internacional decorrente das condições geográficas favoráveis; ilhas, alunos em *offshore*, etc.

Um fator decisivamente muito importante em todo este processo, é o apoio académico que todo este sistema tem de ter para sobreviver e se desenvolver, e ser reconhecido nos meios académicos internacionais.

Tal é expresso pelos processos nº 22, 35 e 36.

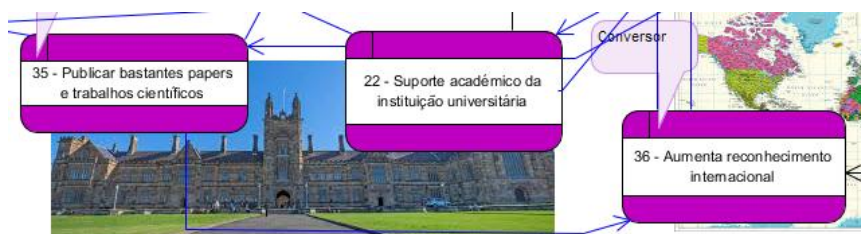


Figura 4.21 - Processos "académicos" nº 22, 35 e 36

Estes processos interagem entre eles quase exclusivamente por acoplamento energético, o processo nº 22 recebe acoplamento energético positivo do processo nº 3, se houver *lobbying* político que favorece o apoio universitário ao desenvolvimento do sistema de VRL.

Havendo um forte suporte acadêmico da instituição universitária, então com certeza que serão dados muitos meios aos investigadores para desenvolverem o sistema e naturalmente publicarem muito artigos e trabalhos científicos sobre o sistema VRL (processo nº 35) e conseqüentemente irá gerar um grande reconhecimento internacional (processo nº 36) que contribuirá fortemente para o resultado do processo nº 12, manter o sistema em funcionamento normal num contínuo desenvolvimento (processo nº 6).

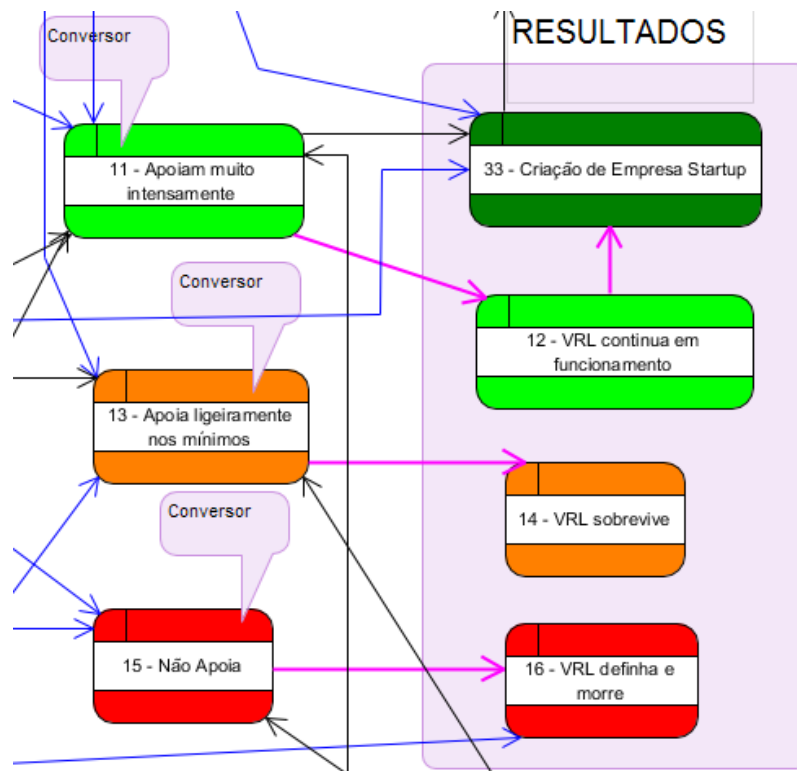


Figura 4.22 - Processos conversores finais e resultados

Estes 7 processos traduzem os *outputs* do modelo. Os processos 12, 14 e 16 representam os resultados finais que podem ser:

- Processo nº 12 – “VRL continua em funcionamento”; este estado final é condicionado pelo processo nº 11 que recebe todos os acoplamentos energéticos e estruturais. Este processo nº 11 vai transmitir todas essas “forças” ponderadas para o processo nº 12 pela seta violeta que os interliga.
- Processo nº 14 – “VRL sobrevive”; no fundo este estado traduz a sobrevivência do sistema, mas não de uma forma saudável e desafogada. Este processo traduz um estado final de sobrevivência, e é totalmente condicionado pelo processo conversor nº 13 que reúne todas as influências dos acoplamentos estruturais e energéticos e os transmite ao processo nº 14.
- Processo nº 16 – “VRL definha e morre”; Este estado final traduz no fundo o fim do sistema que é condicionado muito fortemente pela “energia” que provém do processo conversor nº 15 que recebe acoplamento energético negativo do processo nº 3 (*lobbying*), se a vontade política e financiamentos

externos não forem favoráveis ao sistema de *VRLs*, também do processo conversor nº 8, que se traduz pela não existência do apoio acadêmico.

– O processo conversor nº15 também recebe acoplamento estrutural negativo do processo conversor nº 18, no caso de os fatores geográficos não serem favoráveis.

– Processo nº 33 – É uma consequência essencialmente do processo nº 12 e tem uma contribuição muito importante para a sustentabilidade do sistema de *VRLs* que será detalhado nas páginas seguintes.

Se o sistema de *VRLs* funcionar bem com muitos utilizadores e se existir apoio político e acadêmico, o fator humano, o acoplamento energético pode-se desenvolver mais e com maior motivação e assim os atores envolvidos podem mesmo chegar a fundar uma empresa de material e consultoria técnica na área de laboratórios remotos. Essa empresa por sua vez pode contribuir para a manutenção dos *VRLs* das universidades e também receber os seus alunos em estágio. Assim, teremos um elevado nível de acoplamento energético no modelo que vai quase que auto-alimentar-se através de um ciclo fechado pelas sequências de processos:

11 ⇒ 33 ⇒ 34 ⇒ 7 ⇒ 11

11 ⇒ 12 ⇒ 33 ⇒ 34 ⇒ 7 ⇒ 11

Ou seja, a empresa desenvolve-se, melhora o *VRL*, aumenta a empregabilidade dos alunos que também fazem a manutenção e melhoram o ambiente de acoplamento energético e estrutural dos *VRLs*.

Relacionando com a teoria evolucionista de Darwin, a criação de empresas é uma nova dinâmica e um novo processo, que se pode traduzir na evolução e adaptação ao meio ambiente de uma espécie, os *VRLs* ou mesmo pode ser considerado o nascimento de uma nova espécie neste Universo, assim o aparecimento de empresas associadas aos sistemas de *VRL* é uma forma de sobrevivência destas, que em termos da evolução Darwiana traduz e evidencia uma adaptação ao meio envolvente para aumentar as possibilidades de sobrevivência da espécie.

Este aparecimento e desenvolvimento de empresas é materializado no modelo pelos processos conversores nº 33 e 34.

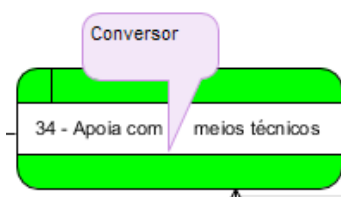


Figura 4.23 - Processo conversor nº 34

O processo nº 34 traduz o retorno obtido pela criação de uma empresa de suporte associada aos *VRLs*, que vai assim contribuir com meios humanos e tecnológicos, respetivamente acoplamento energético e acoplamento estrutural para a melhor manutenção e funcionamento do sistema de *VRLs* no núcleo deste modelo.

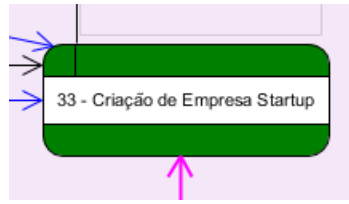


Figura 4.24 - Processo conversor nº 33

O processo conversor nº 33 consiste na criação de uma empresa *startup* associada ao sistema de VRLs em causa. Esta criação advém do acoplamento energético positivo transmitido pelos processos nº 2 e 12, assim como pelo apoio académico, e do acoplamento estrutural positivo transmitido pelos processos conversores nº 11 e 12.

Este modelo pretende demonstrar assim as várias influências técnicas e estruturais que têm de ser consideradas para determinar o estado da vitalidade e funcionamento de um sistema de VRLs.

Podemos de algum modo, ainda que superficial, fazer um exercício de relacionamento entre alguns dos processos descritos no modelo proposto, e as secções deste trabalho onde são abordadas temáticas a eles subjacentes.

Teremos assim:

- A análise do estado da arte e desenvolvimento dos sistemas VRL faz-se no capítulo 2, especialmente na secção 2.4. Aplica-se concretamente aos processos nº 1,2,3,4,5,6 e 7. Também aqui são analisadas as condições inerentes aos processos nº 17,18 e 36.
- A análise da pesquisa realizada e produção de artigos científicos é feita essencialmente nas secções 2.4 e 3.2 e ainda na secção 5.2, integrada na verificação do modelo. No modelo corresponde aos processos nº 22, 35 e 36.
- A criação de empresas adjacentes aos sistemas VRL é abordada na secção 2.4 e corresponde por sua vez aos processos nº 33 e 34 que realimentam positivamente os processos nº 6 e 7, contribuindo para um *saudável* desenvolvimento do sistema de VRLs.
- A parte do estabelecimento e desenvolvimento de Federações de VRLs é descrita e abordada na secção 2.4 e corresponde no sub-modelo de desenvolvimento do processo nº 6, aos processos nº 605 e 606.
- Também é referida no capítulo 2 a integração dos sistemas de VRLs em ambientes LMS, o que corresponde também neste sub-modelo de desenvolvimento do processo nº 6, aos processos nº 612 e 613.

4.2. Pontos de ligação com a teoria evolucionista de Darwin

Nesta secção pretende-se demonstrar que o modelo proposto e desenvolvido na secção anterior 4.1., e que reflete todos as condicionantes da vida de um sistema ou federação de VRLs “vive” e evolui segundo a teoria evolucionista de Darwin da obra “*The Origin of Species*”.

Neste trabalho a “espécie” analisada são os VRLs, porque como já foi referido, são criados pela espécie humana. Quem constrói e mantém os sistemas de VRLs são os humanos e com eles desenvolvem um acoplamento energético que permite que façam nascer um sistema de VRLs, promover um acompanhamento ao longo da sua existência e também definam a sua morte, em alguns casos.

Charles Darwin defende que as espécies animais estão em constante evolução e não são imutáveis, tal como afirma no capítulo 15 - *Recapitulation and Conclusion* [203] da obra *The Origin of Species*.

No capítulo 3 - *Struggle for Existence*, Darwin afirma que todos os seres vivos; plantas e animais estão sujeitos a efeitos do clima, à concorrência com outros indivíduos da mesma espécie, e aos ataques de espécies diferentes. No capítulo 4 - *Natural Selection on the Survival of the Fittest* (Seleção Natural e a Sobrevivência do Mais Forte), Darwin afirma que a evolução está sujeita às forças da seleção natural, e à capacidade de sobrevivência do próprio indivíduo e ao seu carácter, e a fatores como “cruzamento com outros indivíduos”, número de indivíduos de espécie existentes no mesmo ambiente [203]. Segundo Darwin todos os fatores condicionam a evolução da espécie e podem também levar à sua extinção ou transformação noutra espécie.

No caso das redes ou federações de VRLs, também devido à evolução tecnológica dos meios utilizados na construção dos laboratórios, esta “espécie” está em constante evolução e não são de todo imutáveis como se observa ao longo do capítulo 2 deste trabalho.

Também os VRLs, ou melhor, quem os cria e mantém a luta pela sua sobrevivência, em função de fatores técnicos, científicos, geográficos, políticos e humanos (vontade humana) através do acoplamento energético dos humanos com o sistema, obedece às condicionantes descritas por Darwin.

Os laboratórios remotos não estão em princípio sujeitos aos efeitos do clima, como afirma Darwin na sua teoria, mas estão sujeitos a todo o ambiente envolvente com os fatores enunciados na secção 4.1.

Também os VRLs têm de lutar para provar a sua utilidade e ser reconhecida a sua importância pela comunidade científica (os seus pares e iguais) para que consigam sobreviver, tal como tende ser mostrado pelo modelo proposto na secção 4.1.

Só depois de demonstrada essa importância, podem receber o apoio necessário em meios materiais e humanos, que dependem sempre de fatores externos como a vontade política e o apoio académico ao projeto.

Charles Darwin desenvolveu uma teoria completa e coerente da evolução que pretendeu compreender à sua época toda a diversidade biológica[203].

Atendendo e relacionando as ideias centrais de Darwin com a *Teoria de sistemas* proposta por Ludwig von Bertalanffy em *General System Theory* [9], e com o desenvolvimento natural da sua teoria por João Bosco de Mota Alves no livro *Teoria Geral de Sistemas*[8], onde introduz e desenvolve o conceito de acoplamento estrutural, torna-se possível com o modelo proposto, introduzindo o conceito de acoplamento energético, estender o campo de aplicação da *Teoria*

Evolucionista de Darwin a sistemas, concretamente sistemas de engenharia como sejam os sistemas de VRLs.

A teoria evolucionista de *Darwin* pode-se resumir nos seguintes postulados:

1. Toda a diversidade biológica deriva de uma única forma de vida ancestral a partir da qual a vida evolui ao longo de múltiplos e sucessivas vias divergentes.
2. A evolução pode conceber-se como um processo de descendência (de formas ancestrais a formas derivadas) com modificações.
3. A evolução está baseada em fatores e processos e fatores puramente mecânicos ou materiais. Entre os mecanismos que produzem a evolução, *Darwin* aceitou vários dos pressupostos propostos pelos seus predecessores, entre eles aceitou a teoria da herança dos caracteres de *Lamarck*.
4. O mecanismo fundamental na teoria *Darwiniana* é o da seleção natural.
5. A evolução é um processo lento e gradual. O selecionismo e o graduismo são duas pedras basilares na teoria *Darwinista*.

O modelo principal apresentado na figura 4.08 aplica-se a um sistema de VRLs, mas não explica em termos da teoria de evolução *Darwiniana* a razão pela qual alguns sistemas se dividem, outros coexistem paralelamente, outros se fundem ou se incluem dentro de outros maiores, tal como acontece com a divisão das espécies e miscigenação.

Para abordar esta temática torna-se necessário desenvolver e sub-dividir noutros processos o processo nº 6 – “Desenvolver sistema VRL”. Esse desenvolvimento é mostrado na figura 4.25.

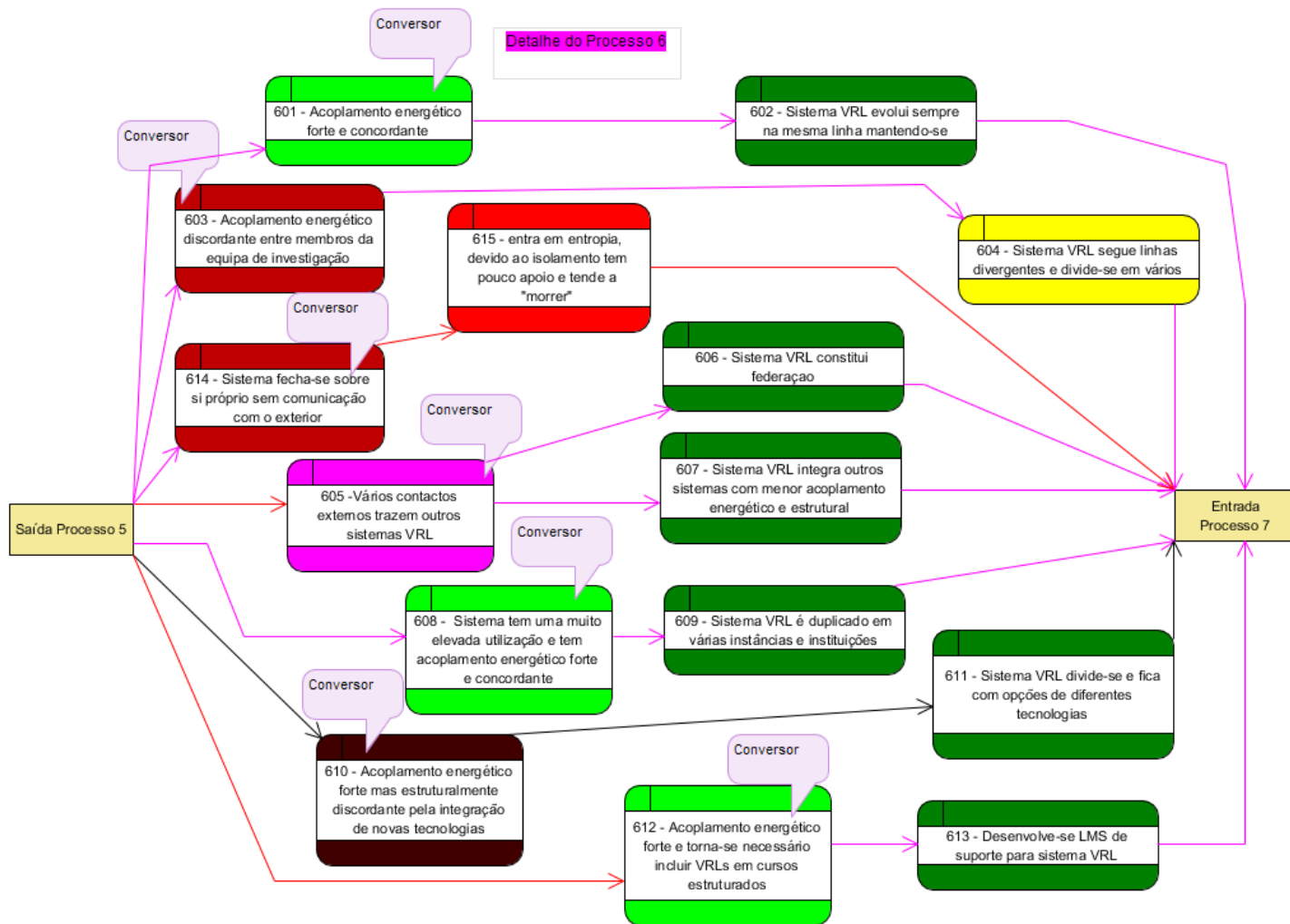


Figura 4.25 – Sub-modelo para detalhe do processo nº 6

Este sub-modelo onde é detalhado o processo nº 6, mostra-nos os vários tipos de desenvolvimento que podem ocorrer no sistema, consoante as condicionantes externas que são representadas nos processos da esquerda logo a seguir à saída do processo nº 5.

Assim teremos:

- Se existir no sistema um acoplamento energético forte e concordante entre a maior parte dos elementos da equipa, então o sistema *VRL* mantém-se estável e vai-se desenvolvendo e mantendo sempre na mesma linha.
- Se existir um acoplamento energético discordante entre os vários membros da equipa de investigação, isso pode provocar diferentes linhas de desenvolvimento e o sistema pode-se dividir em vários. Esta situação presentemente ocorre por exemplo na UNED em Madrid.
- Por outro lado se a equipa tende a tomar posições isolacionistas, sem contactos com outros sistemas, seguindo a teoria geral de sistemas[9] de Bertalanffi, o sistema tende a entrar em entropia, não se desenvolvendo e acabará por morrer.
- Se na situação inversa ocorrerem muitos contactos com o exterior, outras instituições e outros sistemas *VRL*, a tendência será o reconhecimento e a internacionalização, e pode levar o sistema ou a estabelecer federações com outros sistemas de *VRL* ou mesmo a integrar e absorver outros sistemas *VRL* com acoplamento estrutural e energético mais débil.
- Se o sistema *VRL* tiver uma utilização extremamente intensa logo com forte acoplamento energético e estrutural, então a tendência será serem criadas várias instâncias do sistema para fazer face a todos os pedidos de utilização que tiver. Essas instâncias poderão ser implementadas dentro ou fora da instituição que aloja o sistema.
- Se por outro lado houver um forte acoplamento energético mas estruturalmente discordante pela integração de novas tecnologias, naturalmente o sistema tenderá a integrar diferentes tecnologias, ficando com várias opções tecnológicas para os utilizadores.
- Se se manifestar a necessidade de integrar trabalhos e experiências do sistema *VRL* em cursos estruturados, então a tendência natural será desenvolver um *LMS* de suporte ao sistema *VRL*.

Estas ocorrências justificam a separação, manutenção ou miscigenação das espécies q.e.d.

Por todas estas razões podemos concluir que o acoplamento estrutural acaba também por depender do acoplamento energético, pois as pessoas é que decidem que tecnologias incorporar no sistema. Quem constrói e mantém o sistema *VRL* é que no fundo decide a sua “vida” e o seu futuro, o processo de vida e evolução irá naturalmente seguir o processo de vida e evolução dos humanos através da linha evolucionista e *Darwiniana*.

5. Validação e verificação do modelo proposto

5.1. Desenvolvimento do modelo de evolução

Baseadas nos princípios *Darwinianos* foram formuladas as 3 “Questões de Pesquisa” na secção 3.3.

Recordando, a Questão principal de pesquisa é:

“É possível prever a evolução de alguns laboratórios online analisando a sua história de desenvolvimento e as razões (acoplamentos estruturais e energéticos) que estão por detrás da sua adaptação ao ambiente envolvente?”

Como questões complementares temos:

“Será que a evolução dos laboratórios online também segue as leis da natureza?”

“Os laboratórios online conseguem eles próprios adaptar-se ao ambiente envolvente?”

Quanto à questão principal de pesquisa podemos afirmar que segundo o modelo proposto, sim é possível, pois se analisarmos todo o seu processo de criação e desenvolvimento, atendendo às condicionantes externas conseguimos de algum modo prever o desenvolvimento futuro dos sistemas de VRLs atendendo aos acontecimentos representados por processos no modelo que condicionam a sua existência e consequente resultado final.

Da análise feita ao modelo podemos afirmar que as variáveis de entrada ou os *STOCKS* são a Tecnologia e as Pessoas, subdivididas depois nas suas várias categorias.

Estes *STOCKS* vão “alimentar” e criar acoplamento estrutural da parte da Tecnologia e acoplamento energético por parte das Pessoas que vão condicionar os processos principais de entrada no modelo.

São eles os seguintes:

“1 – Usam muito”, se este processo receber muita energia das pessoas traduzida na sua “vontade” vai aumentar muito o acoplamento energético das pessoas com o sistema, alimenta diretamente o processo 4, logo o processo distribuidor principal do núcleo do projeto que vai alimentar através do acoplamento estrutural e energético os 4 processos vitais do núcleo, o 4, 5, 6 e 7.

Os processos 5 e 6 são também alimentados diretamente pelo acoplamento estrutural proveniente dos *STOCKS* de tecnologia que permitem juntamente com o acoplamento energético vindo do processo 1, construir, desenvolver e manter o sistema de VRLs.

Se realmente o acoplamento energético for muito forte, então o processo 1 alimenta fortemente o processo 2 que irá fornecer acoplamento estrutural ao processo 7 que por sua vez o envia para o nº 11, que é alimentado simultaneamente de acoplamento energético vindo do processo 2.

Aqui entram em campo também outros processos com uma forte influência no resultado final que são o nº 3 – *Lobbying*, proveniente de vontade política que facilitará o financiamento externo para a instituição universitária que suporta e faz *hosting* do sistema de VRLs.

Recebendo o processo nº 22, um forte acoplamento energético do processo nº 3, então irá distribuí-lo para o processo nº 35, que por sua vez o transmite para o processo nº 36 (também no sentido contrário), o que vai aumentar a importância e visibilidade internacional do sistema e logo o seu reconhecimento, donde a classe política ligada à investigação e educação pode mostrar-se na TV e nos media a apoiar este projeto e assim o financia mais. Funcionará então como um ciclo fechado em contínua execução.

Este processo nº 35, a publicação de artigos científicos sobre sistemas de *VRLs*, registou um forte incremento a partir de 2004 com a realização das conferências REV e a publicação do *iJoE, online journal*.

As entidades externas representadas no modelo, são na verdade as variáveis do meio ambiente envolvente, a que o sistema tem de se adaptar para sobreviver, um dos factores externos mais importante a considerar são as condicionantes geográficas do local onde está sediada a instituição e/ou universidade, se o contexto geográfico for favorável, por exemplo: um território com grandes distâncias entre as cidades e muitas ilhas dificultando as deslocações dos alunos, então este será o ambiente propício para o desenvolvimento de um sistema de *VRL* e seu desenvolvimento apoiado num *LMS*. O grande reconhecimento internacional (processo nº 36), também contribui muito para que sejam solicitados acessos aos conteúdos e aos laboratórios por outras universidades, e logo incentiva o desenvolvimento do sistema de *VRLs*.

Todos estes processos referidos nas linhas anteriores vão alimentar o processo nº 11 que vai naturalmente viabilizar o processo nº 12 (funcionamento pleno do sistema de *VRLs*), e quiçá o nº 33 que é como que “*Darwinianamente*” falando o nascimento de uma nova espécie por evolução dos anteriores, que é materializado pelo processo nº 34 que é a criação de empresa associada ao projeto e aos *VRL* que por sua vez também fornece um retorno ao sistema fornecendo meios técnicos e humanos especializados para o núcleo do sistema, no fundo os processos nºs 6 e 7, que vão desenvolver e manter o sistema de *VRLs* em perfeitas condições de funcionamento. A empresa criada pode também financiar as publicações dos investigadores e (re)alimentar de acoplamento energético muito positivo o processo nº 35.

Resumindo, segundo este modelo pretende mostrar que os sistemas de *VRL* desenvolvem-se mais ou menos e vivem ou morrem consoante as condições e recursos tecnológicos e humanos que são colocados à sua disposição.

No entanto quem decide quais os recursos tecnológicos a aplicar no sistema são naturalmente as pessoas que os gerem, as vontades e apoios políticos e económicos que conseguiram mobilizar.

5.2. Verificação do modelo proposto através de redes de VRLs

Demonstrada a relação e concordância destes sistemas com a teoria da evolução Darwianina, e validado o modelo pelo exposto na secção 5.1., cumpre-nos agora verificar o modelo proposto, confrontado-o com situações reais de redes de *VRLs* a analisar, e verificando se a evolução e o comportamento que tiveram ao longo da sua existência, concordam e verificam o modelo proposto nas secções 4.1 e 4.2. Utilizando também um dos artigos de referência para este trabalho, o artigo “Virtual and Remote Labs in Education: A Bibliometric Analysis”[4], à medida que desenvolvemos a sua análise, iremos sempre realçar pontos que permitam verificar o modelo e sub-modelo propostos no respeitante a tipos de *VRLs* ao longo da sua evolução no tempo.

Primeiro foi necessário escolher as redes e/ou federação de *VRLs* a analisar:

1. *RemLab* (Itália – 1994)
2. *Netrolab* (Reino Unido – 1995)
3. *Oregon State University* (EUA – 1996)
4. *Labshare* (Austrália – 2008)
5. *VLCAP* (Índia – 2009)
6. *iLab Shared architecture* (EUA – 1999)
7. *Lab2Go* (Comissão Europeia – 2014)
8. *UNILABS* (Espanha e Brasil - 2013)
9. *VISIR* (Suécia – 1999)
10. *REXLAB* (Brasil – 1997)

O critério utilizado para realizar esta escolha, atendeu aos seguintes fatores;

Os sistemas *VRL*:

- Terem sido concretizados
- Ter havido literatura significativa produzida sobre os mesmos
- Estarem baseados em universidades e instituições de reconhecido mérito
- Preferencialmente basearem o *Middleware* em sistemas abertos e *Open Source*

Para analisarmos a evolução das redes escolhidas, optámos sempre que possível por verificar a evolução dos seus *sites* ao longo do tempo, pois são a montra real da actividade que foi desenvolvida pelo sistema de *VRL* ao longo do tempo.

Assim a opção foi utilizar o *site WayBackMachine* [204], que é um banco de dados digital criado em Outubro de 2001, pela organização sem fins lucrativos *Internet Archive* e com mais de 335 bilhões de páginas *web* em arquivo desde 1996.

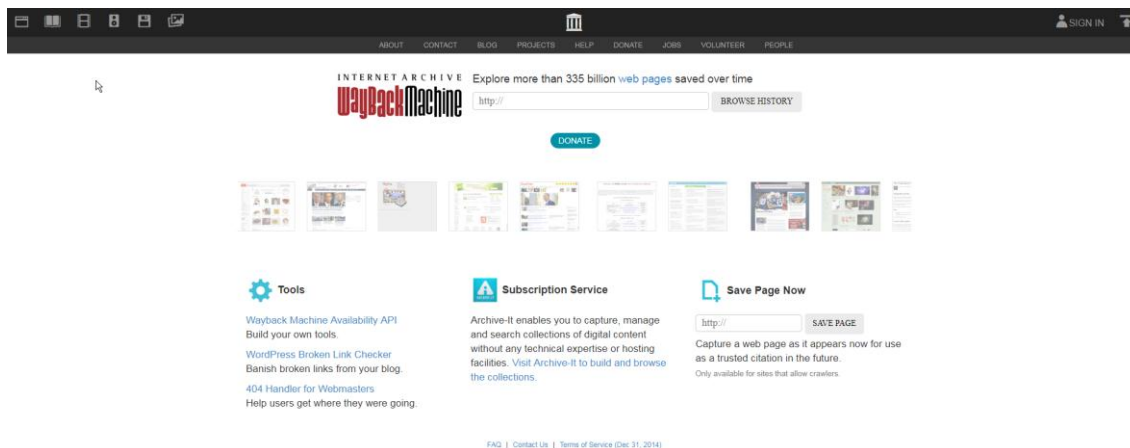


Figura 5.1 - Página de entrada do site *WayBack Machine* [204]

RemLab (Itália – 1994)

Assim iniciamos a nossa pesquisa pelo *site* do sistema *RemLab* de Itália, publicado em 1994.

Foi desenvolvido pelas Universidades de Nápoles e Palermo, e foi o primeiro sistema acedido por *web browser* directamente.

Actualmente já não se encontra este sistema de *VRLs* na internet, a última referência que existe é um artigo de 2003 [28], mas do *Instituto Politécnico de Milão*, já sem referências ao projeto original com este nome das Universidades de Palermo e Nápoles.

Existe também um *site* www.remlab.net, mas é uma empresa de consultoria que segundo o *WayBackMachine* foi publicado pela primeira vez em 2006.

Existe hoje outra rede com um nome semelhante *RemLabNet* [205], mas é um sistema *VRL* liderado pela *Escola Politécnica de Lausanne* e com participação de Universidades da República Checa e da Eslovénia, cujo principal coordenador do projecto é o Dr. *Dennis Gillet*.

Nada tem a ver com o projeto italiano inicial de 1994.

Então este sistema *RemLab* morreu ou foi integrado noutro sistema. Portanto a verificação desta evolução pelo modelo proposto será concretizada pela seguinte sequência de processo ilustrado na Figura 5.2.

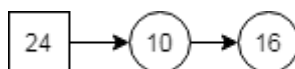


Figura 5.2 - Sequência de processos que levaram à morte do sistema *RemLab*

No entanto pode ter ocorrido uma integração deste sistema noutro, e nesse caso enquanto o sistema estava em desenvolvimento e funcionamento, a verificação do detalhe do seu processo nº 6 será composta pelos seguintes processos, mostrados na figura 5.3.

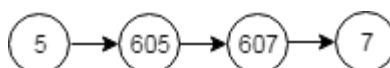


Figura 5.3 - Detalhe de desenvolvimento dos processos que levaram à possível integração do sistema *RemLab* noutro sistema de *VRLs*

Netrolab (Reino Unido – 1995)

O sistema de *VRLs Netrolab* [206][207] foi iniciado em 1995 como um processo conjunto entre as Universidades de Reading e de Nottingham no Reino Unido. Era essencialmente dedicado à área da robótica, foi o primeiro sistema que incluiu vídeo em tempo real, o acesso já era feito via *web browser* e os investigadores e mentores principais deste projecto foram os Professores *G. Mckee* e *R. Berson* [29].

Foi escrito um artigo sobre o sistema *Netrolab* em 2002 [29] por um dos autores do projecto inicial *Gerard Mckee*.

Este sistema de *VRLs* também já não se encontra disponível. A partir de 2003 surgiu um *site* www.netrolab.com, mas ligado a uma empresa de *webdesign*.

Procurando por sistemas de *VRLs* nas Universidades de Reading e Nottingham, não se obtém qualquer resultado, assim como procurando pela palavra-chave "*NetroLab*".

No entanto hoje a Universidade de Nottingham tem duas seções, uma na China e outra na Malásia, logo tem condições geográficas favoráveis para ter laboratórios remotos e virtuais. Por isso o fim do sistema aberto ao público (poderá existir internamente, mas não é visível na internet) deverá corresponder a um fim de vontade política para o manter e conseqüente *lobbying* negativo nesse sentido. Assim, segundo o modelo proposto a seqüência de processos que ocorreu em relação a este sistema de *VRLs* foi a seguinte:

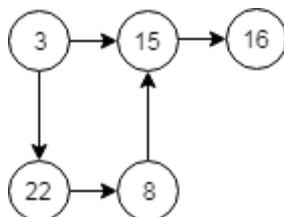


Figura 5.4 - Sequência de processos que levou ao fim do sistema NetroLab, segundo o modelo proposto

Enquanto funcionou e se desenvolveu não se relacionou com outros sistemas, pelo que se deixou fechar sobre si próprio, entrou em entropia, declínio e terminou. Tal situação pode ser verificada no modelo proposto pela seqüência de processos desenvolvidos no sub-modelo do processo nº 6, mostrada na Figura 5.5.

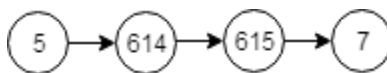


Figura 5.5 - Sequência de processos conducentes a uma entropia do sistema

Oregon State University (EUA – 1996)

O sistema de laboratórios remotos de *Oregon State University* foi um marco absoluto na história dos laboratórios remotos, sobre a orientação da Professora *Molly Shor*, em 1996 foi desenvolvido o sistema que deu origem ao artigo que mais foi citado sobre o universo dos *VRLs* *Second Best to Being There - SBBT*, que veio depois a constituir o tema da tese de mestrado aluna *Carisa Bohus*.

Este sistema registou vários melhoramentos e desenvolvimentos, nomeadamente em 1998 o seu *middleware* foi reescrito em código *Java* de modo a permitir uma verdadeira interacção entre os vários estudantes que estavam a utilizar os laboratórios remotos em tempo real, sendo o primeiro sistema de *VRLs* a proporcionar essa funcionalidades aos estudantes.

Hoje em dia o sistema *SBBT* já não existe como foi inicialmente criado, mas a *Oregon State University* disponibiliza aos seus estudantes vários laboratórios virtuais e remotos em várias áreas, como podemos verificar pela consulta da página mostrada na figura 5.6.

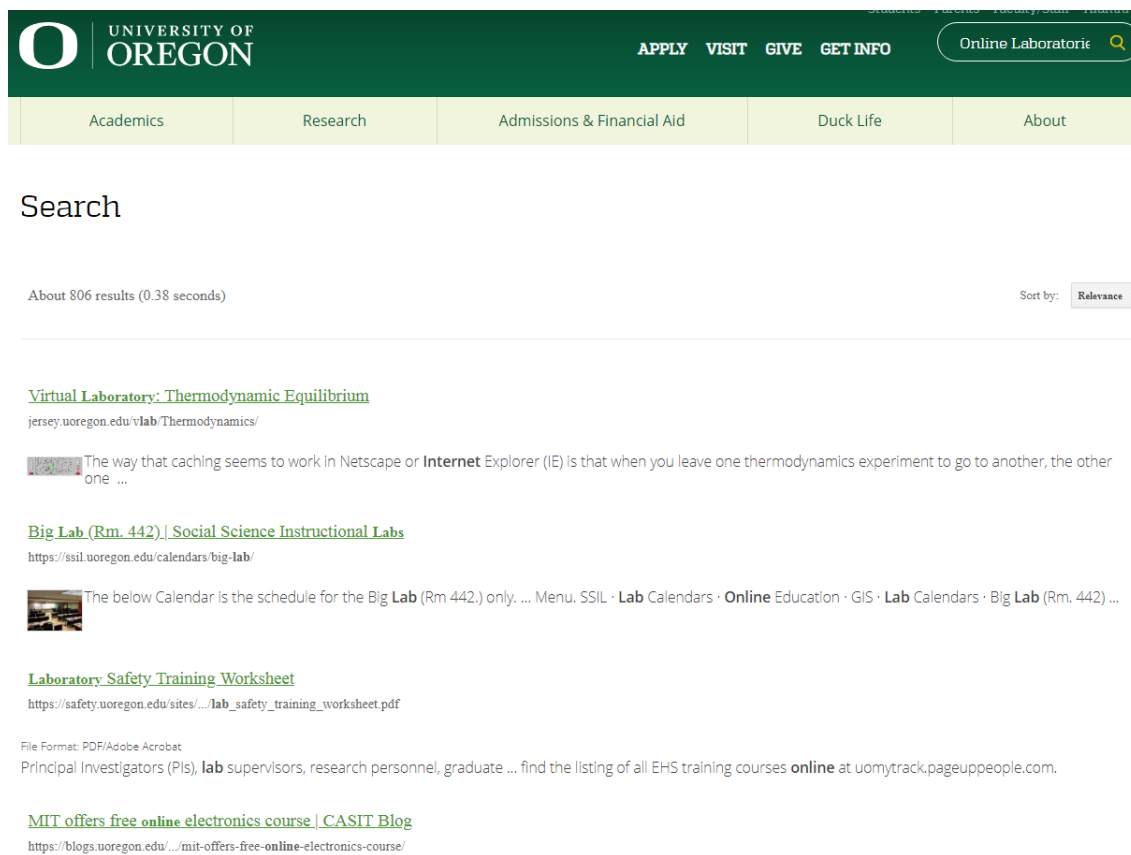


Figura 5.6 - Resultados da pesquisa por “online laboratories” nas páginas da *Oregon State university*[208]

O sistema de *VRLs* também está integrado em um *LMS* que apoia todos os estudantes e está interligado a outras instituições como é o caso do *MIT*. Uma particularidade é os ambientes de *Oregon State University* serem em *open source*. Aliás existe na universidade o *OSL – Open Source Lab*, que incentiva a produção de *software* em *Open Source Tools*, como podemos ver na página *web* de entrada no *OSL* apresentada na fig. 5.7.

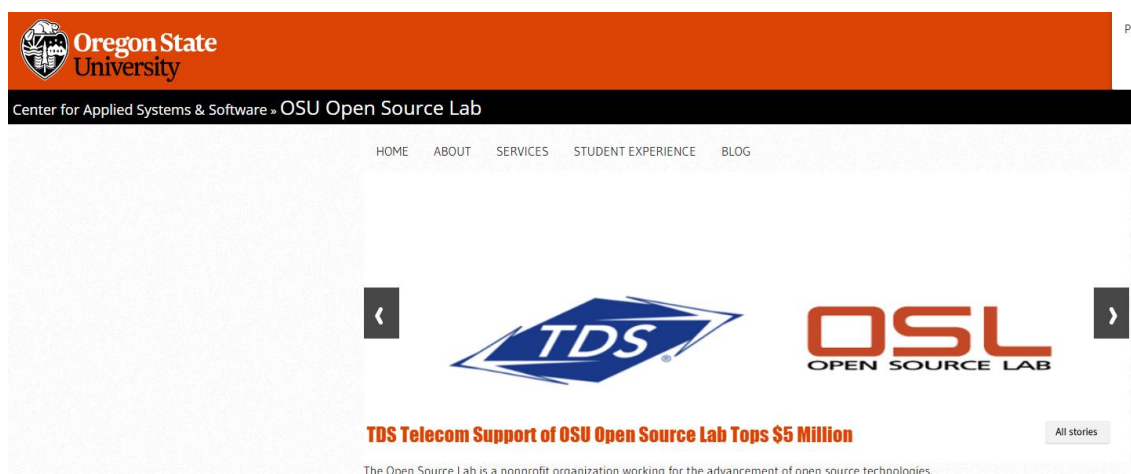


Figura 5.7 - *Open Source Lab* da *Oregon State University*[208]

Em termos do modelo proposto todo este desenvolvimento na área dos VRLs pode ser verificado pelas seguintes seqüências de processos, apresentadas nas figuras 5.8 e 5.9.

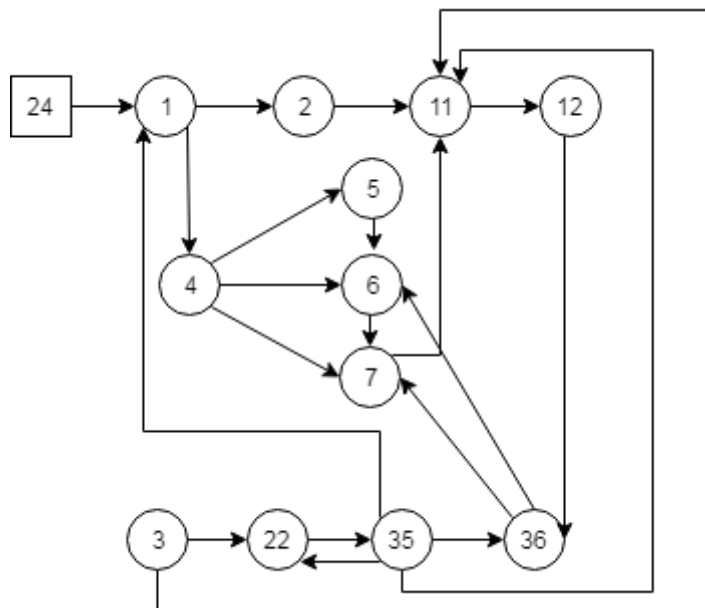


Figura 5.8 - Verificação da evolução do sistema de VRLs da Oregon State University pela seqüência de processos mostrada

Verificamos que esta seqüência de processos gera um forte acoplamento energético através dos ciclos fechados de fluência de acoplamento energético entre os processos:

1→2→11→12→36→6→7→11 e

1→2→11→12→36→7→11

1→2→11→12→36→35→1

Quanto ao detalhe do processo nº 6, no caso da Oregon State University pode ser verificado pela seqüência de processos exposta na fig. 5.9.

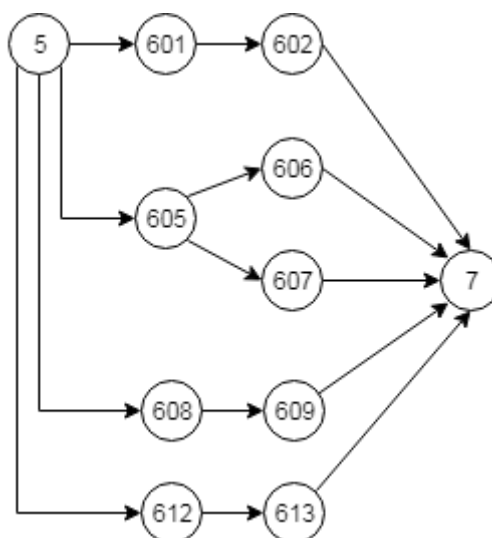


Figura 5.9 - Detalhe do processo 6 para verificação do desenvolvimento de VRLs pela Oregon State University

Labshare (Austrália – 2008)

A rede *Labshare* [56] é uma rede nacional australiana que ainda existe, mas em estado de “sobrevivência”. A sua história e evolução está detalhada na secção 2.3. e fig. 2.31.

Este é um dos casos em que o sistema funciona com requisitos mínimos tal como é descrito mais à frente em detalhe nesta mesma secção, durante a verificação que é feita utilizando o artigo de referência *Virtual and Remote Labs: A Bibliometric analysis*.

A sequência de processos que permitem verificar o modelo para este caso em que o sistema ainda funciona em modo de sobrevivência é mostrada na fig. 5.10.

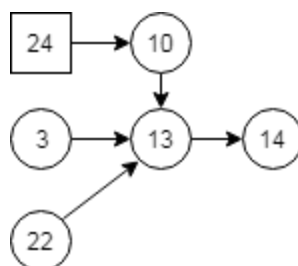


Figura 5.10 - Verificação do modelo com a sequência de processos do sistema *Labshare* em "modo de sobrevivência"

Consultando o *site* de arquivo da internet *WaybackMachine*, podemos verificar pelo gráfico de nível de atualizações mostrado na fig. 5.11. que o maior número de actualizações se registou em 2016, e depois embora ainda se registem actualizações do *site*, estas têm vindo a decrescer, o que confirma a sequência de processos de verificação do modelo apresentado na fig.5.10.



Figura 5.11 Atualizações do *site* do sistema de VRLs *Labshare* entre 2009 e 2018 [204]

VLCAP (Índia – 2009)

A rede *VLCAP* – *Virtual Labs Collaborative and Accessibility Platform* [58] é uma Rede Nacional Indiana construída e patrocinada pelo Ministério da Educação Indiano, tal como está descrita em detalhe secção 2.3.

É uma rede que continua em pleno funcionamento e a ser utilizada por várias universidades e escolas secundárias indianas.

Ao longo da sua existência o seu nível de actualização com novos conteúdos foi aumentando tal como se pode observar do gráfico obtido no *site* *WaybackMachine* [204] referente à análise do *site* da Rede Nacional Indiana[58].

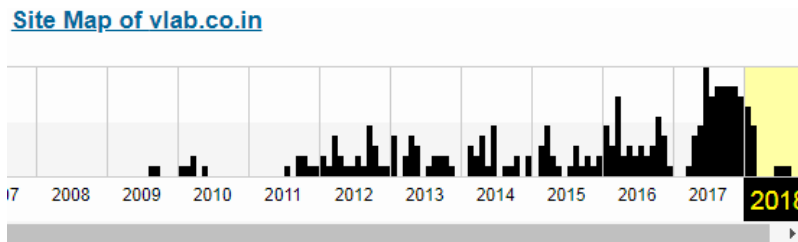


Figura 5.12 - Atualizações do site da rede VLCAP de 2009 a 2018[204]

No entanto, agora em 2018 o número de actualizações diminuiu porque provavelmente o sistema atingiu a sua maturidade e estabilidade, uma vez que esteve em contínuo processo de construção desde 2009.

Uma vez que se trata de uma rede estatal, a vontade política é muito forte, o que vai provocar também um muito forte acoplamento energético gerado pelo processo nº 3.

Também se encontram um número muito considerável de publicações científicas sobre esta rede de VRLs, mesmo publicados recentemente em 2017 e 2018, por isso há uma dinâmica de publicação por parte dos utilizadores da rede. A rede é suportada por um sistema LMS.

A sequência de processos que segundo o modelo proposto verifica o atual estado desta rede é mostrada nas figuras 5.13 e 5.14.

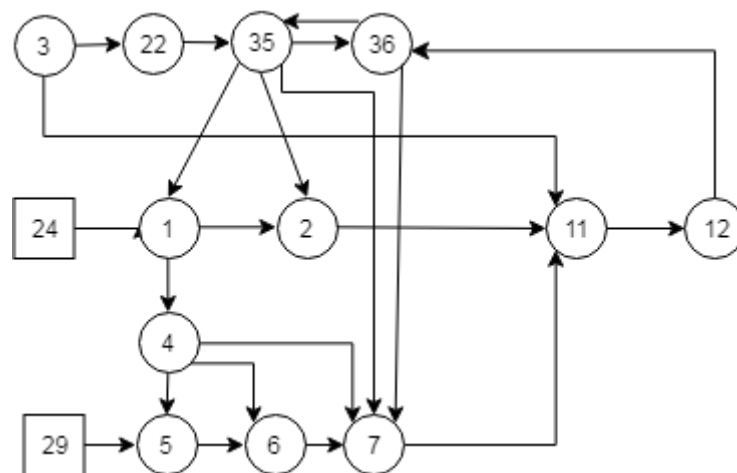


Figura 5.13 - Sequência de processos que verifica o estado de dinâmica atual da rede VLCAP

A grande dinâmica de desenvolvimento e divulgação deste sistema é conseguida pelos circuitos fechados de acoplamento energético que se verificam, sendo os mais significativos:

$1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 36 \rightarrow 35 \rightarrow 1$ e

$11 \rightarrow 12 \rightarrow 36 \rightarrow 35 \rightarrow 7 \rightarrow 11$

Quanto ao detalhe do processo nº 6, a sequência de processos que verifica o modelo é apresentada na fig. 5.14.

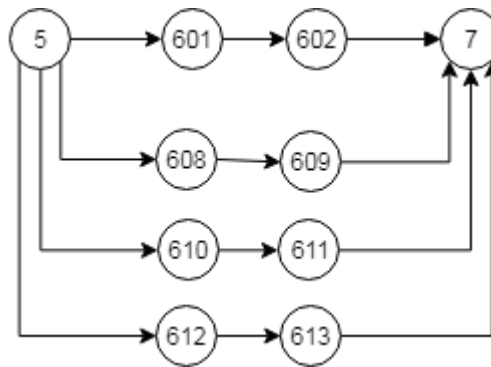


Figura 5.14 - Sequência de processos de detalhe do desenvolvimento da rede VLCAP que verificam o modelo proposto

Como a rede *VLCAP* é muito vasta no território indiano, tal é concretizado pelos processos n^{os} 608 e 608. A sua integração em um *LMS* é concretizada pelos processos n^{os} 612 e 613.

iLab Shared Architecture (EUA – 1999)

O sistema *iLab Shared Architecture* é um pacote de *software* desenvolvido pelo *MIT* que suporta várias funcionalidades que permitem a gestão de uma rede de *VRL*, e partilhar laboratórios remotos e virtuais na internet, tal como está descrito na seção 2.4. desta dissertação.

O *URL* do Projecto *iLab* no *MIT* começou por ser <http://icampus.mit.edu/projects/ilabs>. A evolução das suas actualizações é mostrada na fig. 5.15, obtida pela ferramenta *online WaybackMachine*.

[Site Map of icampus.mit.edu](http://icampus.mit.edu)

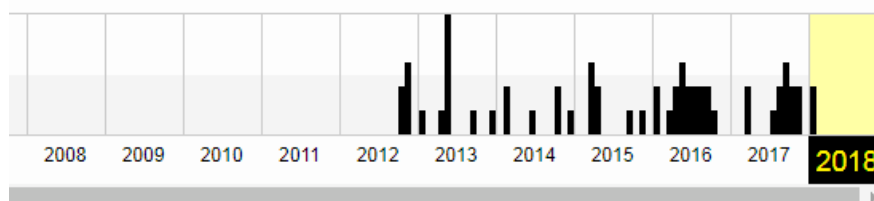


Figura 5.15 - Cronologia de atualização do site <http://icampus.mit.edu>[204]

Verifica-se que as actualizações a este *site* terminaram no início do ano corrente de 2018.

No entanto nesse mesmo *site* é indicado que o novo endereço do projecto *iLabs* é <http://ilab.mit.edu/wiki>, e este site só foi atualizado no início de 2008, não se registando mais nenhuma actualização. Pelo pico que se observa na figura 5.16, tratou-se do *upload* do sistema para o novo endereço, em 2008, mas depois não foi mais actualizado.

No entanto, esta ferramenta continua a ser largamente utilizada, mas atendendo à figura 5.15 (com o endereço antigo) não houve mais desenvolvimento e actualizações desde o início de 2018, pelo que a sequência de processos que verificam o modelo, serão os mostrados na figura 5.17, pois parece neste momento não haver grande desenvolvimento da Federação.

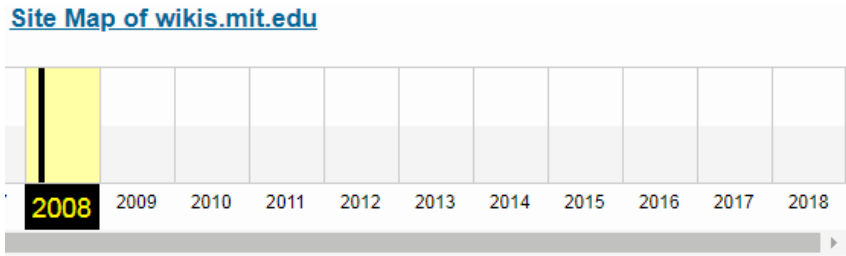


Figura 5.16 - Cronologia de atualização do site <http://wikis.mit.edu> segundo a ferramenta online *WaybackMachine*[204]

A situação até 2017 é apresentada na fig. 5.17, onde ocorreram ainda publicações sobre o tema.

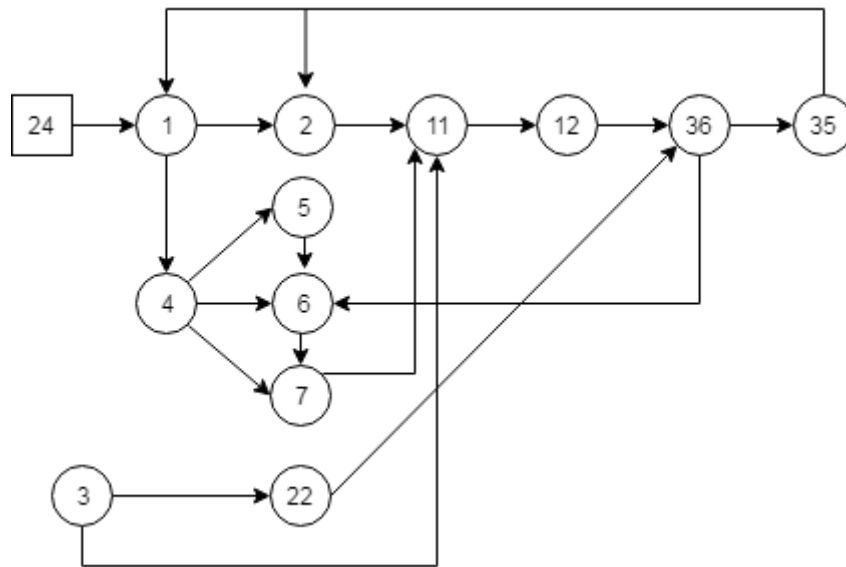


Figura 5.17 - Sequência de processos que verificam a situação atual da Federação *iLabs Shared Architecture* até 2017

Havia até um grande dinamismo com um elevado acoplamento energético, demonstrado pelos ciclos fechados de processos:

$1 \rightarrow 2 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 36 \rightarrow 35 \rightarrow 1$ e

$1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 36 \rightarrow 35 \rightarrow 1$

Em 2018, observa-se uma forte retracção nesta dinâmica e a sequência de processos que verifica a situação actual é apresentada na fig. 5.18.

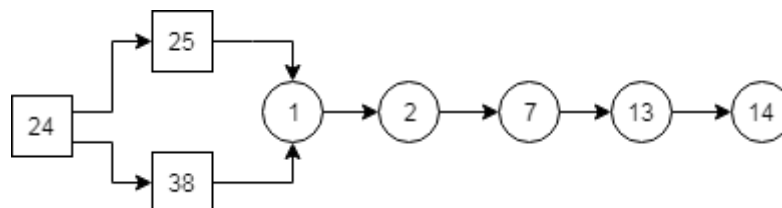


Figura 5.18 - Sequência de processos que verificam o modelo durante o início de 2018 até ao momento presente.

O sistema continua a ser utilizado, mas o investimento no desenvolvimento e manutenção reduziu-se muito.

Lab2Go (Comissão Europeia – 2014)

O sistema de VRLs Lab2Go [81] apoiado pela Comissão Europeia, é um portal disponibilizado pelo GOLC [82] que além de constituir um repositório de informação sobre sistemas de VRL, e que permite localizar vários tipos de laboratórios *online*, coloca também à disposição dos seus utilizadores uma estrutura de suporte comum para a disponibilização de laboratórios remotos e virtuais. Esta rede de VRLs foi também já descrita na seção 2.4..

A sua página de entrada estava disponível em <http://www.lab2go.net>, mas neste momento o domínio encontra-se disponível para venda e o *site* já não se encontra ativo.

Como se pode observar do historial de actualizações do *site* fornecido pela ferramenta de arquivo de internet *WaybackMachine* o *site* esteve ativo entre 2009 e 2016. Em 2017 já não registou qualquer actualização, portanto foi um sistema que “morreu”.

O aspecto da sua última disponibilização *online* em 2016 é mostrado na fig. 5.19.

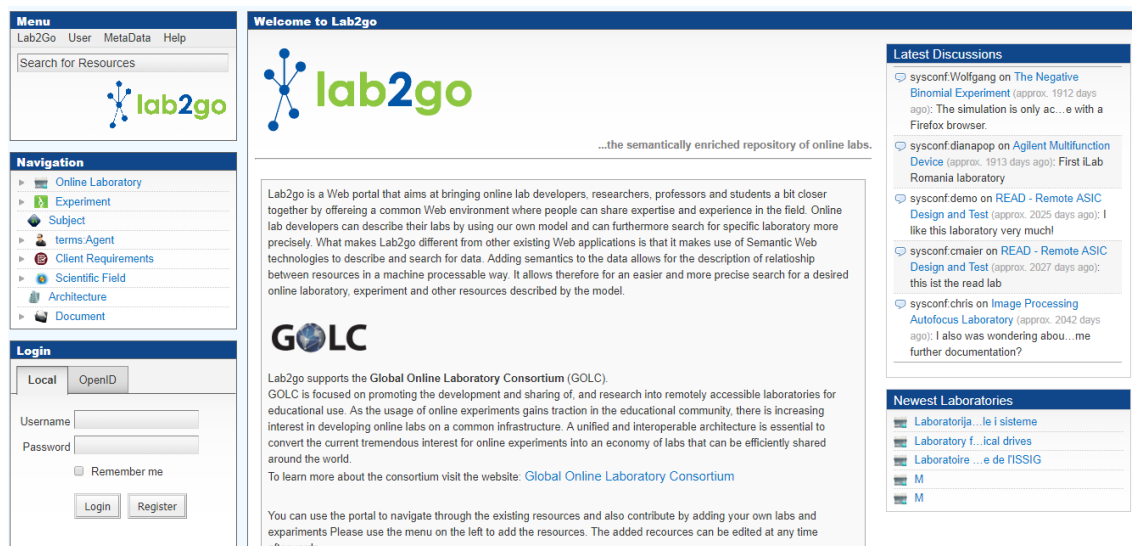


Figura 5.19 - Aspeto da página de entrada do site Lab2go em 2016[204]

Na fig. 5.20 é mostrada a “vida” do site com as actualizações ocorridas, segundo a ferramenta online *WaybackMachine*:

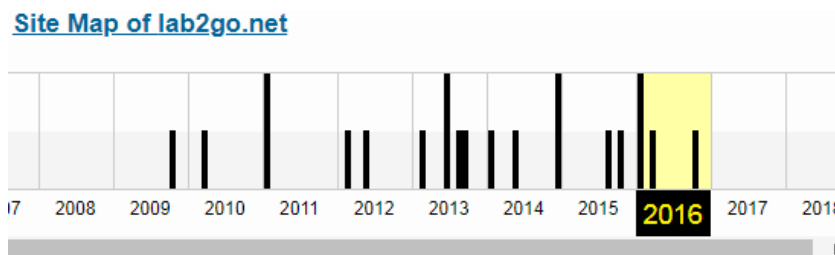


Figura 5.20 - Evolução cronológica das atualizações do site Lab2go.net, segundo a ferramenta online *WaybackMachine*[204]

Segundo esta evolução, e verificando o modelo proposto para esta rede de *VRLs*, temos até 2016 uma sequência de processos igual à que é apresentada na fig. 5.13, referente ao sistema *VLCAP*.

Depois de 2017, o sistema “morreu” e a sequência de processos que o verifica segundo o modelo é igual à apresentada na fig. 5.4, referente à “morte” do sistema *NetroLab*.

UNILABS (Espanha e Brasil - 2013)

A rede *UNILABS* (University Network of Interactive Labs) é um repositório partilhado de vários recursos pedagógicos e laboratórios remotos e virtuais de várias universidades espanholas e a *Universidade Federal de Santa Catarina* no Brasil. Já foi referida na seção 4.2.

O *site* desta rede está hospedado na *UNED* em Espanha. A página de entrada é apresentada na fig. 5.20 e é baseada num *LMS* com tecnologia *moodle*. Embora não seja actualizado desde janeiro de 2018, segundo a ferramenta *online WaybackMachine*, até pelo aspecto dinâmico da sua página que como se pode ver na fig. 5.21 é a entrada de uma plataforma *moodle*, aparenta estar em plena utilização e é possível efetuar um registo na plataforma. É natural que esta rede tenha atingido um estado de maturidade estável.



Figura 5.21 - Página de entrada da plataforma moodle que suporta a rede *UNILABS*[68]

Na figura 5.22 é mostrada a cronologia das actualizações feitas no *site UNILABS*. No entanto como se trata de uma plataforma *moodle*, é possível fazer upload de vários conteúdos, sem que tal seja entendido pela ferramenta *online WaybackMachine* como uma actualização do *site*.

Site Map of unilabs.dia.uned.es

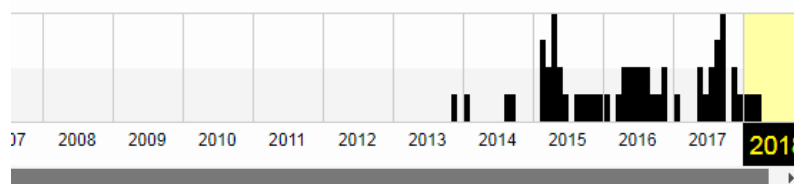


Figura 5.22 - Cronologia das atualizações do *site* da rede *UNILABS* segundo a ferramenta *online WaybackMachine*[204]

Neste momento não ocorrem publicações sobre esta rede *UNILABS*, segundo o motor de busca *SemanticScholar* a última ocorreu em 2016 como se pode observar na fig. 5.23, para a chave “*UNILABS UNED*”. É importante incluir a palavra *UNED*, senão surgem falsas entradas mesmo relacionadas com laboratórios médicos de análises clínicas.

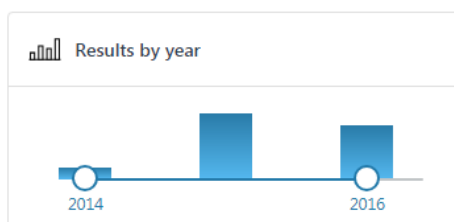


Figura 5.23 - Ocorrência de publicações sobre a rede *UNILABS*, segundo *Semantic Scholar* com a chave de procura "*UNILABS UNED*"[1]

A última referência encontrada à rede *UNILABS* aparece num artigo de *Dennis Gillet* e *Sébastien Dormido* [67] publicado em 2017.

Por isso a dinâmica de publicações neste caso não está muito ativa.

Assim, a sequência de processos que verifica o modelo proposto para a rede *UNILABS* é a apresentada na fig. 5.24.

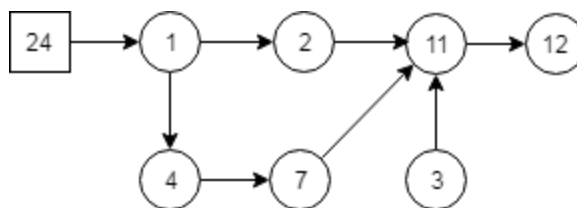


Figura 5.24 - Sequência de processos que verifica o modelo proposto para a atual existência da rede *UNILABS*

Por presentemente não existir dinâmica de publicações não se verifica nenhum ciclo fechado de processos que alimente continuamente o acoplamento deste sistema.

Esta seqüência de processos é uma extensão de que foi apresentada na figura 5.13 para o sistema *VLCAP*, simplesmente neste caso, devido à abrangência global foi considerada também o processo nº 17 que traduz fatores geográficos muito favoráveis.

Também neste caso assumem especial importância os ciclos fechados:

1→4→6→7→11→12→36→35→1 ,

11→12→36→35→7→11 , com variantes finais no ciclo de apoio da empresa para

1→4→6→7→11→12→33→34→35→1,

6→7→11→12→33→34→6 e 7→11→12→33→34→7

Quanto ao detalhe do processo nº 6, seqüência de processos que verificam o sub-modelo é apresentado na fig. 5.26.

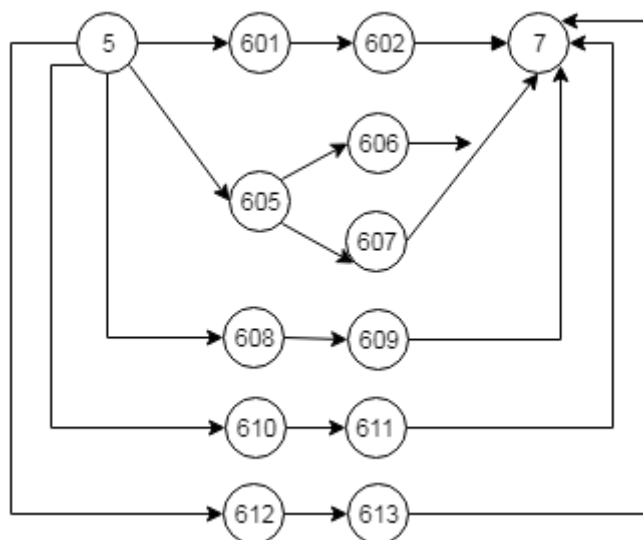


Figura 5.26 - Seqüência de processos que verificam o modelo proposto para o detalhe do processo nº 6, no respeitante ao sistema *VISIR* e à rede *VISIR Open Platform*

No caso da rede *VISIR Open Platform*, e devido à sua abrangência cada vez mais global os processos 36, 22 e 35 assumem especial importância na geração de um fluxo contínuo de elevado acoplamento energético, assim como no sub-modelo os processos 605, 606, 607, 608 e 609.

Para uma difusão dos laboratórios de rede através de *LMS* assumem especial relevância os processos 612 e 613.

REXLAB (Brasil – 1997)

A Rede de VRLs *REXLAB* é baseada na *Universidade Federal de Santa Catarina* no Brasil, foi fundada pelo Professor *João Bosco de Mota Alves* em 1997 e hoje é coordenada pelo Professor *Juarez Bento da Silva*, é uma das maiores redes da América Latina, mas já tem abrangência europeia também.

Goza actualmente de uma enorme dinâmica e nela circula um elevado acoplamento energético. São também publicados muitos trabalhos científicos sobre esta rede, alguns já em 2018.

Esta rede e as suas características são amplamente descritas na seção 2.4..

Consultando a ferramenta online *WaybackMachine* em relação ao endereço URL <https://rexlab.ufsc.br> obtemos o resultado expresso na fig.5.27.

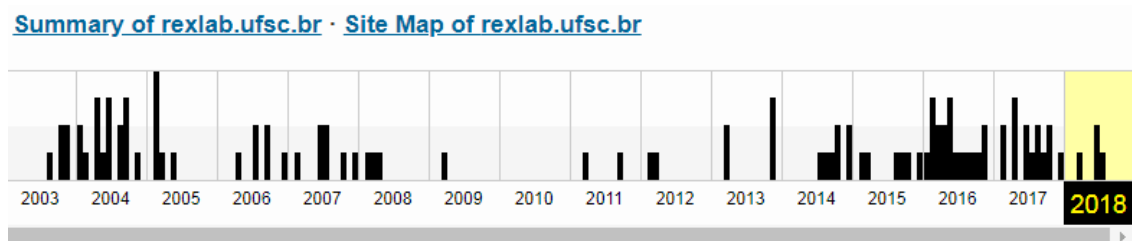


Figura 5.27 - Historial da atualização do site do sistema RexLab desde 2003[204]

Verificamos que mantém uma elevada actividade e é frequentemente actualizado, mesmo em 2018. E já está neste momento a atingir uma projecção global, com muitas ligações à Europa, o que torna os seus factores geográficos muito favoráveis, pelo que quanto às sequências de processos que no modelo proposto validam esta rede são os mesmos que são apresentados para a rede VISIR, e com as mesmas considerações de análise. Estão apresentadas nas figuras 5.25 e 5.26.

5.3 Verificação do modelo proposto através da análise dum artigo de referência

Após a análise da evolução das várias redes de *VRLs* e a sua verificação pelo modelo proposto na secção 4.1, vamos proceder à mesma verificação utilizando para este efeito o terceiro artigo de base referido na secção 3.1 "Virtual and Remote Labs in Education: A Bibliometric Analysis"[4].

Este artigo apresenta-se como uma referência na análise de publicações que têm sido feitas sobre o tema dos laboratórios remotos e virtuais e apresenta uma análise muito detalhada das publicações ocorridas sobre essa temática, no início quer no *abstract*, quer no capítulo de introdução é enaltecido o papel dos laboratórios no ensino da engenharia e das ciências exatas.

Imediatamente a seguir são referidos os laboratórios remotos e virtuais e apresentadas as suas vantagens em relação aos laboratórios presenciais e tradicionais, nomeadamente a nível de redução de custos de operação e manutenção dos laboratórios, e do acesso em iguais condições que têm a esse novo tipo de laboratórios por parte de pessoas com limitações físicas. É referido que também apresentam consideráveis vantagens na educação e formação a distância (*e-learning* e *b-learning*) e ainda no incremento da segurança de pessoas e equipamentos, como já foi referido diversas vezes.

Na secção de introdução são referidos os elevados custos de manutenção, operação e espaço físico [4] [209].

Na introdução é ainda referido o papel relevante e preponderante que os laboratórios representam no ensino da engenharia, implicando os laboratórios tradicionais elevados custos de manutenção, espaço e pessoal de manutenção [209]. Indicam os autores que assim naturalmente foram propostos novos tipos de laboratórios com novas metodologias.

Sebastian Dormido da *UNED* em 2004 propõe a seguinte classificação de laboratórios: [4] [210]. Os critérios de classificação expostos são os seguintes:

1. De acordo com o modo como os recursos são acedidos para realizar as experiências os laboratórios podem ser classificados como remotos ou locais.
2. De acordo com a natureza física do laboratório, os ambientes podem ser considerados como reais ou simulados.

Assim combinando estes dois critérios[4], *Dormido*[210] propõe-nos 4 tipos de laboratórios ou ambientes experimentais:

1. *Local access-real resource* – Este tipo corresponde ao laboratório tradicional, onde os estudantes podem estar frente a um computador ligado ao sistema local e real.
2. *Local access simulated resource* – Todo o ambiente é constituído por *software* e o *interface* apresenta um sistema de laboratórios completamente simulado, que corre completamente no computador local. Segundo *Dormido* [211], este sistema pode ser denominado como *mono-user virtual lab*.
3. *Remote access-real resource* – Equipamento do laboratório real é acedido através da internet. O utilizador controla o equipamento real através da internet. Este tipo de sistema pode ser denominado *remote lab* [212] [4].
4. *Remote access-simulated software* - Este tipo de laboratório é equiparado ao que está acima, mas substituindo o sistema de equipamentos físicos por outros virtuais (simulados). O estudante trabalha sobre um *interface* de um sistema virtual. Sendo um sistema virtual é só constituído por *software* e não há implicações físicas nos equipamentos, assim se houver vários utilizadores, cada um gere a sua própria instância de trabalho, trabalhando simultaneamente vários utilizadores sobre o mesmo sistema virtual. Esta é uma vantagem significativa deste tipo de laboratório que segundo *Dormido*[210] pode ser denominada: *multi-user virtual lab*.

Em 2008 a comunidade científico desta área *OLR* estava a verificar e enaltecer vários benefícios deste tipo de laboratórios. *Gravier, Fayolle, Bayard, Ates e Lardon* indicam os seus vários benefícios em [213]. Concretamente apontam como benefícios principais os seguintes:

- Disponibilidade quase permanente mesmo para alunos noutros fusos horários
- Acessibilidade para pessoas com várias deficiências físicas.
- Elevado grau de observabilidade pois enquanto alguns alunos fazem as experiências, outros podem assisti-las.
- Segurança, estes laboratórios têm sistemas de segurança que impedem atos capazes de provocar situações perigosas para pessoas e bens.

É afirmado também pelos autores que hoje em dia, os laboratórios remotos são transversais a uma série de áreas de ciência e graus de ensino [214]. Este artigo [4] tentou dar uma *overview* do estado de pesquisa em *VRLs* à data, através da análise utilizando técnicas bibliométricas [215], das publicações que ocorreram entre 1993 e 2015.

Os resultados desta análise fornecem informações muito importantes como por exemplo:

1. Quão numerosa é a literatura publicada sobre *VRLs*, como são distribuídas essas publicações ao longo do tempo.
2. Quais são os artigos mais influentes na área de *VRLs*
3. Quais são os autores que mais publicaram, e quais são os mais relevantes.
4. Quais são os meios de publicação (*journals*, conferências, etc) que publicaram a maior parte dos artigos nesta área. Quais receberam mais citações?
5. Quais são os tópicos e temas mais estudados nesta área? Como evolui ao longo do tempo o interesse nestes tópicos.
6. Quais são os artigos com mais impacto para um determinado tópico ao longo de um determinado período de tempo.

As fontes de artigos utilizadas neste estudo foram:

- O grupo *GRC 2014* [124][3]
- *ISIWoS-ISI web of Science*
- *Scopus*

O processamento dos dados bibliográficos foi feito utilizando as seguintes técnicas:

- *Performance analysis* [216]
- *Science mapping* [217]

A análise de performance tenta quantificar a influência dos vários “autores científicos” (investigadores, *journals*, etc....) num determinado campo ou tópico, consoante o número de citações de um determinado artigo.

Para tal é utilizado o *H-index* [218], utilizado para medir o impacto das publicações, sendo este o método mais utilizado para este fim (análise do número de citações).

A técnica de *science mapping* tenta mostrar os aspetos estruturais e dinâmicos de pesquisa científica num certo e determinado campo de investigação, identificando vários subcampos ou subáreas dessas áreas de investigação [4].

Para mapear e detalhar a área de pesquisa dos *VRLs* foi usada uma técnica denominada *co-word analysis*, que mede a maior ou menos ocorrência das várias *keywords* de pesquisa [219].

Este trabalho [4] utiliza simultaneamente as técnicas de *co-word analysis* e *science mapping* de forma complementar.

Enquanto *Science Mapping* nos dá uma visualização dos produtos principais na literatura já publicada, das suas evoluções e inter-relacionamentos, a *performance analysis* ajuda-nos a identificar os tópicos sobre os quais há mais publicações e que apresentem um maior fator de impacto de acordo com as citações recebidas.

Este artigo [4] está estruturado da seguinte forma:

Secção 1 – Introdução

Secção 2 – Indica os objetivos e o contexto pedagógico do artigo

Secção 3 – Descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho

Secção 4 – Descreve os resultados da aplicação da técnica de *performance analysis* em toda a área de pesquisa *VRL* identificando quais os artigos que devido ao número de citações, podem ser considerados “clássicos”.

Secção 5 – Aplica a técnica de *Science mapping* para identificar a estrutura cognitiva e a evolução da literatura em *VRLs*.

Secção 6 – Apresenta considerações e uma discussão sobre as limitações inerentes à metodologia aplicada, justificando as decisões tomadas para ultrapassar essas limitações.

Secção 7 – Apresenta as conclusões do trabalho.

O método de pesquisa para trabalho foi desenvolvido segundo os seguintes passos:

1. Recolha de dados (*Data Retrieval*), o ponto de partida para este primeiro passo foi o grupo *GRC 2014* [124] e o artigo que o grupo suporta [3], no entanto os autores chegaram à conclusão que esta fonte de dados apresentava duas limitações importantes:
 - a. O período coberto pelo estudo é de apenas 5 anos (2008 a 2013)
 - b. Não fornece informações sobre o número de citações de cada artigo

Para tentar obviar estes inconvenientes os autores consideraram também outras fontes alternativas, concretamente as bases de dados *Scopus* e *ISIWoS*, que eram à data as bases de dados trabalhos científicos mais fiáveis e completos nesta área [220][221].

Para conseguir esse objetivo foi aplicada a seguinte *query*:

```
1 TOPIC =
2 ("education" OR "learning" OR "teaching") AND
3 ("virtual lab*" OR "virtual experiment*" OR "virtual instrumentation" OR
4 "virtual engineering environment" OR
5 "remote lab*" OR "remote experiment*" OR "remote process visualization" OR
6 "remote engineering" OR
7 "web*lab*" OR "online lab*" OR "web experiment*" OR "online experiment*" OR
8 "online engineering" OR
9 "iLab" OR "NetLab" OR "Labshare" OR "SmartLabs" OR "Lab2Go" OR "Go-Lab" OR
10 "WebLab-DEUSTO" OR "eMERSION" OR "Lab@Future")
```

Figura 5.28 - Código da *query* utilizada no artigo [212]

Que foi construído do seguinte modo:

Linha 2 – Restringe a pesquisa à área educativa pelas *keywords* que utiliza: “*education*”, “*learning*” e “*teaching*”.

Linhas 3 e 4 – Referem-se às *keywords* de laboratórios virtuais (“*virtual labs*”).

Linhas 5 e 6 – Correspondem às *keywords* de laboratórios remotos (“*remote labs*”).

Linhas 7 e 8 – Procuram *keywords* relacionadas com experiências e experimentação em geral.

Linhas 9 e 10 – Contém *keywords* dos projetos nesta área (*OCR*) mais significativas à data.

Para evitar “falsos positivos” não foram usadas as palavras “Sahara”, “VISIR” e “Lila” pois existem muitos textos científicos com estas palavras que nada tinham a ver com a área OLR.

2. Agregação de dados (*Data aggregation*) - Através de gráfico de agregação podemos ver qual é o número de citações em *Scoups* e *ISIWoS* [4]
3. Pré-processamento (*Preprocessing*) – Nesta parte do processo retiram-se e filtram-se os erros das referências retiradas das 3 bases de dados (por exemplo entradas duplicadas). Foi aplicado a técnica de *co-word analysis* [4] e também utilizado o *H-Index*.
4. Análise de dados (*Analysis*) – Para examinar dados bibliográficos existem 2 grandes técnicas: [222]-
 - a. *Performance analysis*
 - b. *Science mapping*

Foram ambas utilizadas no trabalho desenvolvido neste artigo [4].

Para realizar esta análise e pré-processamento foi utilizada a ferramenta de *software open source Scimet* [223] [4], o qual esteve disponível para download em <http://scils.ugr.es/scimet> (este link já não se encontra acessível).

Para analisar a influência, notoriedade e importância dos vários artigos nestas áreas, este artigo utiliza como indicador do *H-Index* [218] ou fator de *Hirsh*, que vai corroborar as teorias defendidas por *Hirsch* em 2009 [218] que referem que um artigo tem tanto mais importância numa determinada área, quantas mais vezes for citado[224].

A definição do fator de *Hirsh* é:

“Um determinado investigador ou cientista tem um índice h se tiver n artigos que tenham pelo menos h citações cada, e os outros $(n-h)$ artigos tenham um número menor ou igual a h citações cada” [4].

Comparado com outros indicadores o índice h apresenta as seguintes vantagens:

1. Reúne num único indicador dois aspetos que normalmente aparecem em indicadores diferentes:
 - 1.1. O fator do impacto
 - 1.2. A quantidade de produção científica de um determinado autor
2. Foi provado que o fator h é robusto e insensível a deturpações causadas por:
 - 2.1. Artigos que devido ao facto de terem um muito elevado fator h recebem um grande número de citações
 - 2.2. A artigos muito pouco citados

Este artigo [4] utiliza sempre o índice h para identificar os artigos principais, os autores principais e os meios de publicação principais.

São-nos depois apresentados pelos autores 3 gráficos resumindo as conclusões em termos de citações no *Scopus* [132] versus *ISIWoS* [225], para artigos e publicações que são comuns aos dois sistemas de indexação, *Scopus* e *ISIWoS*. Teremos então:

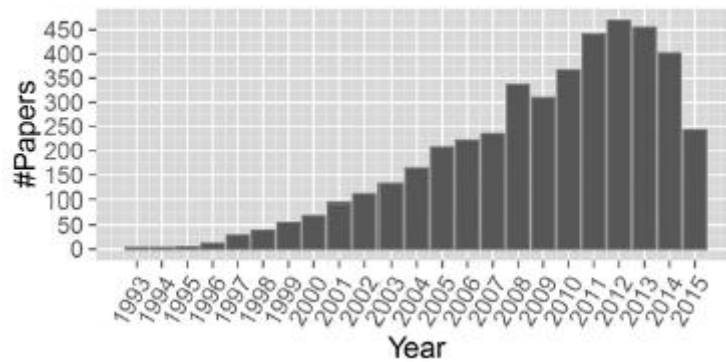


Figura 5.29 - Número de publicações de artigos por ano (de 1993 a 2015) sobre VRLs [4]

Número de citações no *Scopus* versus número de citações no *ISIWoS* para publicações referenciadas em ambos os sistemas [4].

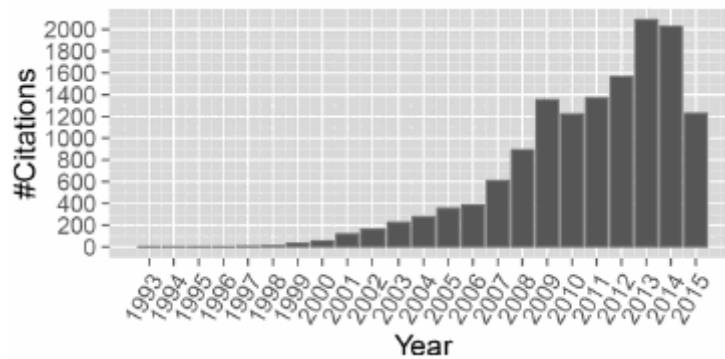


Figura 5.30 – Distribuição do número de artigos sobre VRLs e citações por ano entre 1993 e 2015 [4]

Por estes 2 gráficos acima podemos também verificar que o grande *BOOM* de publicações ocorreu entre 2010 e 2013, o que confirma todas as pesquisas realizadas na 1ª e 2ª fase e descritas na secção 3.1., onde é referido que o maior pico do número de publicações ocorre entre 2010 e 2013, o que mostra que efetivamente nesse período ocorreu o maior nível de acoplamento energético nos sistemas *VRL*, que no modelo proposto é verificado pela sequência de processos mostrada na figura 5.31.

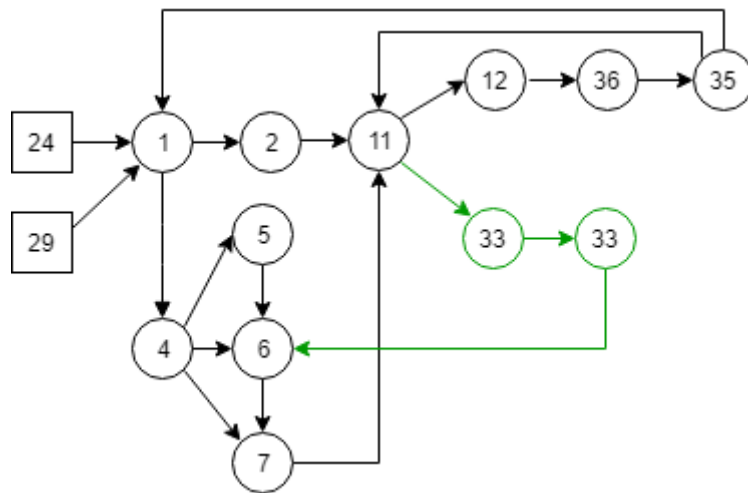


Figura 5.31 - Sequência de processos para verificação de uma intensa actividade de publicação de artigos científicos no modelo proposto

Se detalharmos o desenvolvimento do processo 6, dentro do sub-modelo *O FLOW* de processos que ocorrer é o seguinte, mostrado na figura 5.32..

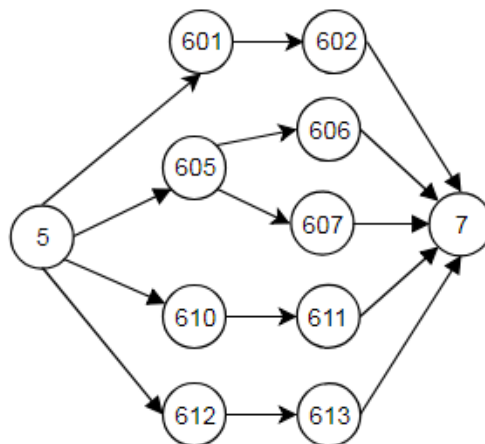


Figura 5.32 - FLOW de processos dentro do sub-modelo do processo nº 6 para verificar os caminhos de uma intensa atividade de expansão do sistema e de publicação de artigos científicos

A última sequência de processos (612,613), mostrada no grafo da figura 5.32 corresponde à produção de artigos científicos que abordam a integração de sistemas *VRL* em ambiente *LMS*.

Continuando a análise do modelo principal, apresentado na figura 4.8, o ciclo de produção de artigos científicos que se registou nestes anos e o conseqüente apoio empresarial da empresa adjacente e o sistema de *VRL* (processos nºs 33 e 34 a verde, ou cinzento em impressão a preto, no grafo), pode ser expresso e verificado pela seguinte sequência de processos, apresentada no grafo da figura 5.33..

rede temática para cada artigo clássico de acordo com os resultados da técnica de *science mapping* apresentada em detalhe na secção 5 deste artigo [4] e que será analisada a seguir neste trabalho.

Tabela 5.1 - Artigos analisados em [6] com índice H maior ou igual a 50

Citation classics	Type of source	Year of publication	#Citations	Thematic network
Ma et al.: Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review (Ma & Nickerson,)	Journal	2006	287	R-LAB ²
Aktan et al.: Distance learning applied to control engineering laboratories (Aktan, Bohus, Crowl, & Shor, 1996)	Journal	1996	234	V-LAB ¹
Harward et al.: The iLab shared architecture a web services infrastructure to build communities of Internet accessible laboratories (Harward et al., 2008)	Journal	2008	208	R-LAB ²
Gomes et al.: Current Trends in Remote Laboratories (Gomes & Bogosyan, 2009)	Journal	2009	177	R-LAB ²
Dormido: Control learning: present and future (Dormido, 2004)	Journal	2004	173	V-LAB ¹
Bourne et al.: Online Engineering Education: Learning Anywhere, Anytime (Bourne, Harris, & Mayadas, 2005)	Journal	2005	155	R-LAB ²
Ko et al.: Development of a web-based laboratory for control experiments on a coupled tank apparatus (Ko, Chen, Chen, Zhuang, Chen Tan, 2001)	Journal	2001	148	V-LAB ¹
Joolingen et al.: Co-Lab: research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning (van Joolingen, de Jong, Lazonder, Savelsbergh, & Manlove, 2005)	Journal	2005	124	COLLAB-LEARN ²
Gillet et al.: Collaborative web-based experimentation in flexible engineering education (Gillet, Ngoc, & Rekik, 2005)	Journal	2005	122	COLLAB-LEARN ²
Casini et al.: The automatic control telab: A user-friendly interface for distance learning (Casini & Praticchizzo, 2003)	Journal	2003	115	V-LAB ¹
Shen et al.: Conducting laboratory experiments over the Internet (Shen et al., 1999)	Journal	1999	115	V-LAB ¹
Hercog et al.: A DSP-based remote control laboratory (Hercog, Gergic, Uran, & Jezernik, 2007)	Journal	2007	112	R-LAB ²
Sanchez et al.: A Java/Matlab-based environment for remote control system laboratories: illustrated with an inverted pendulum (Sanchez, Dormido, Pastor, & Morilla, 2004)	Journal	2004	111	R-LAB ²
Nickerson et al.: A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education (Nickerson et al., 2007)	Journal	2007	105	R-LAB ²
Tzafestas et al.: Virtual and remote robotic laboratory: comparative experimental evaluation (Tzafestas, Palaiologou, & Alifragis, 2006)	Journal	2006	97	R-LAB ²
Lindsay et al.: Effects of laboratory access modes upon learning outcomes (Lindsay & Good, 2005)	Journal	2005	96	R-LAB ²
Ko et al.: A Web-based virtual laboratory on a frequency modulation experiment (Ko et al., 2001)	Journal	2001	85	V-LAB ¹
Zacharia: Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits (Zacharia, 2007)	Journal	2007	83	R-LAB ²
Balamuralithara et al.: Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab (Balamuralithara & Woods, 2009)	Journal	2009	80	R-LAB ²

Gustavsson et al.: On Objectives of Instructional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories (Gustavsson et al., 2009)	Journal	2009	79	R-LAB ²
Koretsky et al.: Enhancement of student learning in experimental design using a virtual laboratory (Koretsky, Amatore, Barnes, & Kimura, 2008)	Journal	2008	76	R-LAB ²
Corter et al.: Constructing Reality: A Study of Remote, Hands-on, and Simulated Laboratories (Corter et al.,)	Journal	2007	75	R-LAB ²
Ertugrul et al.: Towards Virtual Laboratories: a Survey of LabVIEW-based Teaching/Learning Tools and Future Trends (Ertugrul, 2000)	Journal	2000	75	V-LAB ¹
García-Zubía et al.: Addressing software impact in the design of remote laboratories (García-Zubía, Orduña, Lopez-de Ipina, & Alves, 2009)	Journal	2009	74	R-LAB ²
Gillet et al.: Hands-On Laboratory Experiments in Flexible and Distance Learning (Gillet, Latchman, Salzmann, & Crisalle, 2001)	Journal	2001	74	V-LAB ¹
Valera et al.: Virtual and remote control laboratory development (Valera, Diez, Valles, & Albertos, 2005)	Journal	2005	69	V-LAB ¹
Arpaia et al.: A measurement laboratory on geographic network for remote test experiments (Arpaia, Baccigalupi, Cennamo, & Daponte, 1998)	Conf.	1998	69	V-LAB ¹
Bertocco et al.: A client-server architecture for distributed measurement systems (Bertocco, Ferraris, Offelli, & Parvis, 1998)	Conf.	1998	67	V-LAB ¹
Ogor et al.: An Assessment of In-Person and Remotely Operated Laboratories (Ogor, Elliott, & Glumac, 2003)	Journal	2003	66	V-LAB ¹
Huba et al.: Modular approach to teaching PID control (Huba & Simunek, 2007)	Journal	2007	65	R-LAB ²
Lowe et al.: Evolving Remote Laboratory Architectures to Leverage Emerging Internet Technologies (Lowe, Murray, Lindsay, & Liu, 2009)	Journal	2009	64	R-LAB ²
Ferrero et al.: ReMLab: a Java-based remote, didactic measurement laboratory (Ferrero, Salicone, Bonora, & Parmigiani, 2003)	Journal	2003	64	V-LAB ¹
Ko et al.: A large-scale Web-based virtual oscilloscope laboratory experiment (Ko et al., 2000)	Journal	2000	63	V-LAB ¹
Dalgarno et al.: Effectiveness of a Virtual Laboratory as a preparatory resource for Distance Education chemistry students (Dalgarno et al., 2009)	Journal	2009	62	R-LAB ²
Dormido et al.: Development of a web-based control laboratory for automation technicians: The three-tank system (Dormido et al., 2008)	Journal	2008	62	R-LAB ²
Canfora et al.: Remotely accessible laboratory for electronic measurement teaching (Canfora, Daponte, & Rapuano, 2004)	Journal	2004	62	V-LAB ¹
Abdulwahed et al.: Applying Kolb's Experiential Learning Cycle for Laboratory Education (Abdulwahed & Nagy, 2009)	Journal	2009	59	R-LAB ²
Jara et al.: Real-time collaboration of virtual laboratories through the Internet (Jara et al., 2009)	Journal	2009	58	COLLAB-LEARN ²
Sanchez et al.: Virtual and remote control labs using Java: a qualitative approach (Sanchez, Morilla, Dormido, Aranda, & RUIPEREZ, 2002)	Journal	2002	56	V-LAB ¹

	Type of source	Year of publication	#Citations	Thematic network
Bellmunt et al.: A distance PLC programming course employing a remote laboratory based on a flexible manufacturing cell (Bellmunt, Miracle, Arellano, Sumper, & Andreu, 2006)	Journal	2006	54	R-LAB ²
Colwell et al.: Using remote laboratories to extend access to science and engineering (Colwell, Scanlon, & Cooper, 2002)	Journal	2002	53	V-LAB ¹
Wiesner et al.: Comparison of student learning in physical and simulated unit operations experiments (Wiesner & Lan, 2004)	Journal	2004	52	V-LAB ¹
Hennessy et al.: Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching (Hennessy et al., 2007)	Journal	2007	52	R-LAB ²
Scanlon et al.: Remote experiments, re-versioning and re-thinking science learning (Scanlon et al., 2004)	Journal	2004	52	V-LAB ¹
Forbus et al.: CyclePad: An articulate virtual laboratory for engineering thermodynamics (Forbus et al., 1999)	Journal	1999	52	V-LAB ¹
Guimaraes et al.: REAL: a virtual laboratory for mobile robot experiments (Guimaraes et al., 2003)	Journal	2003	51	V-LAB ¹
Ferrero et al.: A simulation tool for virtual laboratory experiments in a WWW environment (Ferrero & Piuri, 1999)	Journal	1999	51	V-LAB ¹
Albu et al.: Embedding Remote Experimentation in Power Engineering Education (Albu, Holbert, Heydt, Grigorescu, & Trusca, 2004)	Journal	2004	50	V-LAB ¹
Shin et al.: A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education: Issues, design and implementation (Shin, Yoon, Lee, & Lee, 2002)	Journal	2002	50	V-LAB ¹
Restivo et al.: A remote laboratory in engineering measurement (Restivo, Mendes, Lopes, Silva, & Chouzal, 2009)	Journal	2009	50	R-LAB ²

Depois de listados os artigos na tabela acima, é feita uma análise resumida de cada um deles, nas subsecções seguintes do artigo [4], classificando-os em 5 subcategorias [4]:

1. Artigos que introduzem e abordam genericamente o conceito de *VRLs* e predizem de algum modo o seu impacto no futuro.
2. Artigos que apresentam estratégias e métodos para construir, fazer o *management* do sistema e ainda “publicar” e disponibilizar laboratórios remotos e virtuais.
3. *Artigos* que descrevem sistemas particulares e específicos de laboratórios remotos e virtuais.
4. Artigos sobre a utilização dos laboratórios remotos e virtuais em *collaborative learning* ou *collaboratories* [5].

5. Artigos sobre a perspectiva pedagógica e avaliação de competências através de laboratórios remotos e virtuais.

São destacados depois pelos autores o que para eles são artigos de base, e de autores de referência na área.

Na Categoria 1 - “Artigos genéricos sobre laboratórios remotos e virtuais”, são apresentados 4 artigos [210][227][228][229]

Na Categoria 2: “Construção, gestão e partilha de laboratórios remotos e virtuais” são apresentados e resumidos 12 artigos.

[230][231][232][191][233][234] [235][236][237][238][59][239]

Na Categoria 3: “Descrição de sistemas específicos e particulares de laboratórios remotos e virtuais, os autores subdividem esses sistemas nas diferentes áreas onde os laboratórios operam:

1. Controlo de sistemas de engenharia, onde são apresentados 7 artigos.

[30][240][241][242][44][243][244][245]

2. Química, onde são apresentados 3 artigos.

[246][247][175]

3. Sistemas de medida elétricos e eletrónicos, são apresentados 4 artigos.

[192][248][28][295]

4. Outros, são apresentados 5 artigos.

[193][249][250][251][252]

5. Collaborative Learning e VRL's, são apresentados 3 artigos.

[253][254][255]

6. “Perspetiva pedagógica e avaliação de competências através de laboratórios remotos e virtuais”, são apresentados 12 artigos.

[5][256][257][258][259][260][261][262][263][264][265]

Quanto à identificação dos autores principais, é feita primeiro uma quantificação do número de artigos publicados pelos autores que mais publicam nesta área, tal é espelhada num gráfico de barras mostrado na figura seguinte:

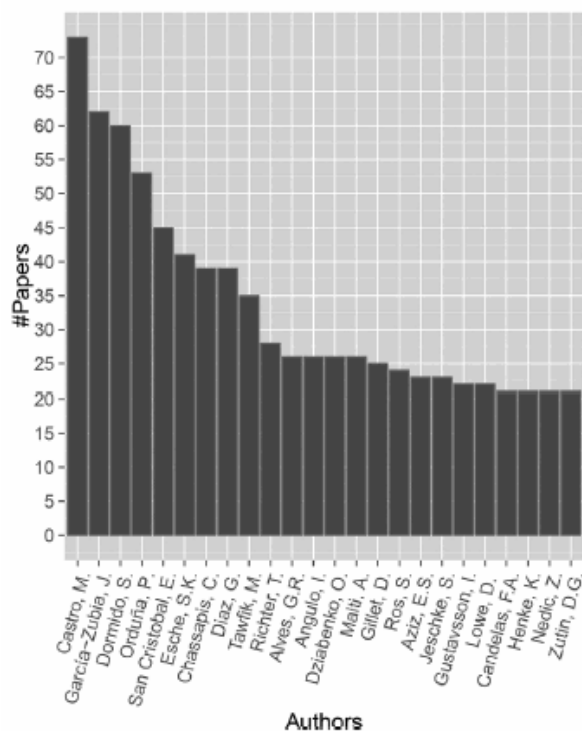


Figura 5.34 – Autores que mais publicam na área de VRLs [4]

É também apresentado outro gráfico com os autores que apresentam os mais altos índices h_i ; ou seja os autores cujos artigos são mais citados.

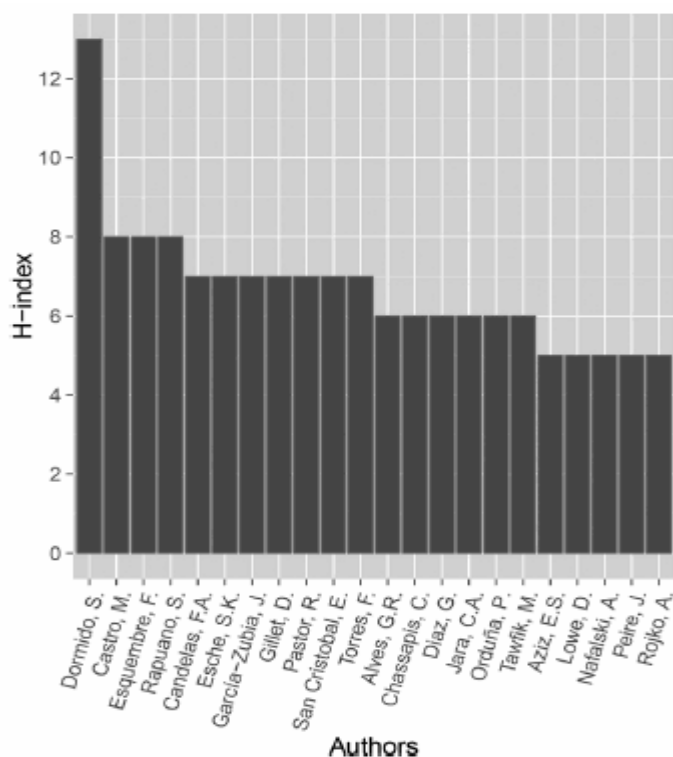


Figura 5.35 - Autores mais citados na área com maior índice H [4]

É ainda mostrado um gráfico com a evolução do número de publicações sobre *VRLs* ao longo dos anos desde 1993 a 2015. Com barras a vários níveis este gráfico mostra ainda por cada ano o número de autores que publicaram 1 artigo por ano, 2 artigos por ano, e 3 ou mais artigos por ano.

Da análise dos gráficos da figura 5.34, autores que mais publicam na área de *VRLs* e da figura 5.35, autores mais citados na área com maior índice H, podemos concluir que os autores que demonstram ter maior acoplamento energético com os sistemas de *VRLs* com que trabalham são:

- Manuel Castro
- Sebastián Dormido
- Javier García Zubía
- Pablo Orduña
- Sergio Rapuano
- Francisco Esquembre

A ordem de apresentação não indica o nível de acoplamento energético, pelo que no modelo proposto este comportamento é explicitado pela seguinte sequência de processos no grafo apresentado na fig. 5.9.

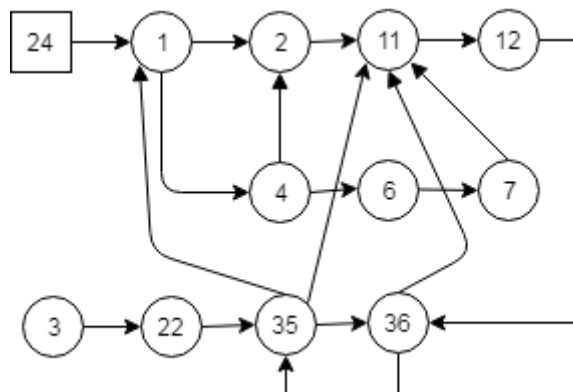


Figura 5.36 - Sequência de processos que verifica os resultados expressos nos gráficos figura 5.4 e 5.5, que mostram os investigadores que mais publicam e mais citações têm na área de *VRLs*

No fim desta sequência de processos está o processo nº 12, que mostra que o *VRL* continua “saudavelmente” em funcionamento, mas no caso de *UNED Manuel Castro* e *Sebastián Dormido* em termos de desenvolvimento das suas linhas de trabalho e investigação seguiram caminhos divergentes, mas mantiveram o grande desenvolvimento dos sistemas de *VRLs* na *UNED*, o que vem confirmar a seguinte sequência de processos no sub-modelo do processo nº 6, que é apresentada na figura nº 5.37.



Figura 5.37 - Grafo que verifica no submodelo do processo nº 6 o desenvolvimento do sistema de *VRLs* por linhas divergentes

Este grafo (figura 5.37) mostra justamente o desenvolvimento do sistema *VRL* (processo nº 6) por linhas divergentes originando a separação em vários sistemas *VRL* e com tecnologias diferentes, o que valida as sequências de processos 5, 603, 604, 7 e 5, 610, 611, 7 do modelo e sub-modelo propostos.

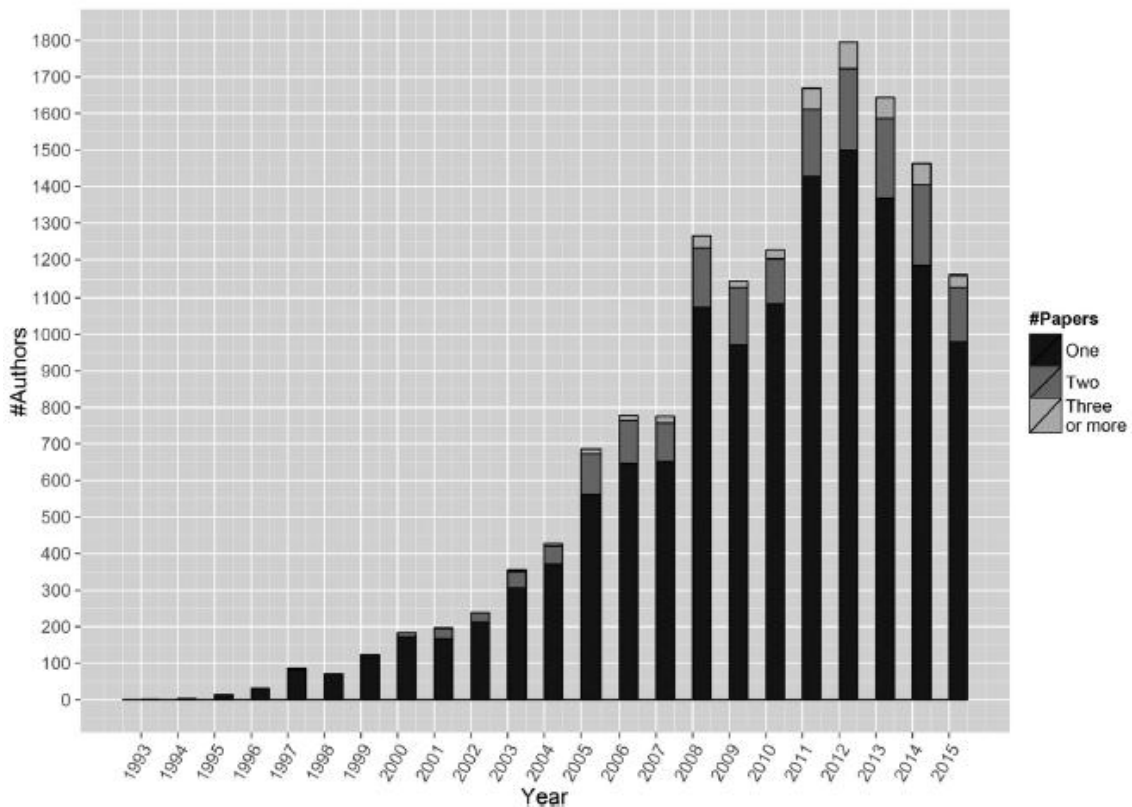


Figura 5.38 - Número de artigos por autor ao longo dos anos de 1993 a 2015 [4]

Tal como se pode inferir deste gráfico, também se confirma que o maior número de publicações sobre o tema ocorreu nos anos de 2011 a 2013.

Também é analisado quais são os meios e fóruns de publicação que mais publicam sobre esta área, são conferências e revistas científicas. No gráfico de barras seguinte mostra-se quais os que mais publicações apresentam.

Neste gráfico da figura 5.38 (Número de artigos por autor ao longo dos anos de 1993 a 2015), mais uma vez se verifica o muito elevado acoplamento energético dos autores nos anos 2011, 2012 e 2013, onde se atingiu o máximo de publicações dos anos 2010 a 2014.

Outra forma de manifestação do acoplamento energético neste caso é o fato de cada autor publicar vários artigos, o que implica muitos contactos com outros sistemas VRL e também com o estrangeiro.

Em termos do modelo proposto tal demonstra uma grande dinâmica dos processos 35, 36 e 605. Tal dinâmica pode ser expressa através do seguinte grafo apresentado na figura 5.39.

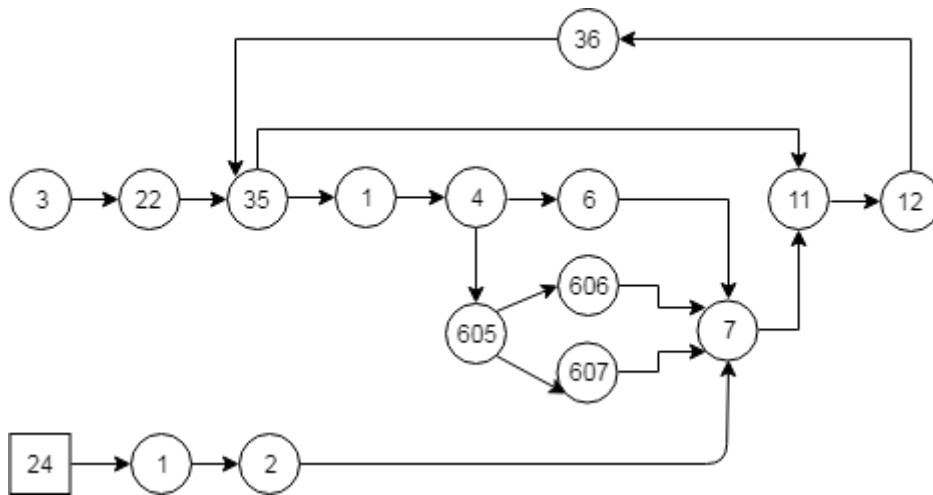


Figura 5.39 - Caminhos que traduzem elevado acoplamento energético e dinâmica de aplicação

Que resulta validado por vários caminhos possíveis, e que demonstra o bom e “saudável” funcionamento do sistema de VRLs.

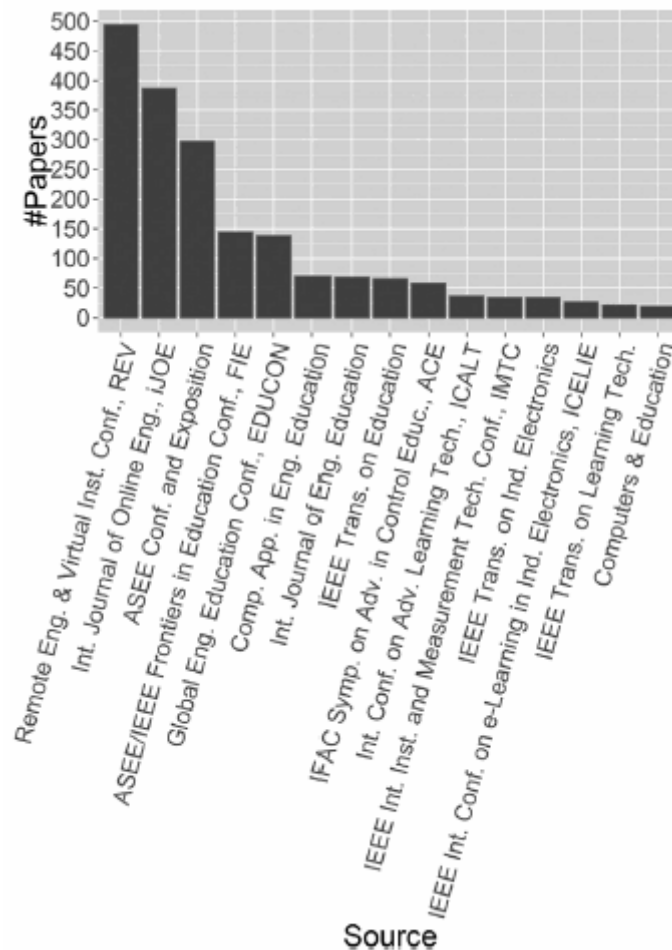


Figura 5.40 - Fóruns (conferências e journals) com mais publicações sobre esta área dos VRLs[4]

Este gráfico confirma também o que foi afirmado, que os dois fóruns que mais publicaram sobre o tema dos VRLs foram as conferências REV e o *journal online iJOE*, são estes 2 fóruns que mais dinamizaram, especialmente a partir de 2004 os processos nºs 35, 36 e 605.

Até ao presente momento deste trabalho aproveitando as evidências dos gráficos deste artigo [4] em revisão, apenas apresentamos grafos de validação que têm como resultado um sistema de VRLs “saudável” e a funcionar em pleno.

Torna-se necessário também verificar o modelo proposto para os casos mais desfavoráveis, em que o resultado final é um sistema a funcionar “nos mínimos” ou mesmo um sistema que “morre”.

Então, se considerarmos um sistema que não é atrativo como acontece com os primeiros sistemas de VRLs porque eram todos com aplicações proprietárias, muitos não funcionavam com *browsers* e eram sistemas fechados em si mesmos, podemos apresentar grafos de processos que ilustram essas situações.

Exemplos desta situação são a rede *Netrolab (Network Robotics Laboratory)* da *Universidade de Reading* e de *Nottingham* no Reino Unido, que já não se encontra *online*; e o projeto *MARVEL* da *Universidade de Bremen* na Alemanha que deixou de ter apoios comunitários, os seus mentores aposentaram-se e o sistema de VRLs terminou. É a verificação típica do processo nº 3 com acoplamento energético e estrutural negativo. Foi iniciado como projecto em 1997, e hoje só se encontram *online* artigos dos anos 90 do século XX que o referem. Portanto, foi desativado, então segundo o modelo proposto existem vários caminhos possíveis para verificar essa situação, e são apresentadas na figura 5.41:

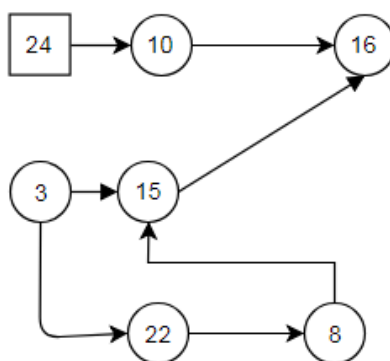


Figura 5.41 - Grafo de verificação dos processos que podem levar à "morte" de um sistema de VRLs

Pode também ocorrer que um sistema VRL vá funcionando, mas quase sem apoio e manutenção, que é o caso do sistema australiano *Labshare*.

O seu grande mentor e fornecedor de acoplamento energético era o o Professor *David Lowe*, que, entretanto, por razões profissionais deixou de apoiar o projecto, mas deixou-o *online*.

Se formos à sua página de projecto em <http://www.labshare.edu.au> a página diz-nos que o projeto foi concluído em julho de 2011 e que não será mais atualizado, tal como já foi dito na secção 2.3. No entanto a página e o sistema continuam online “nos mínimos” requisitos de funcionamento.

Em termos do modelo proposto possíveis caminhos de verificação são apresentados no grafo da figura 5.42.

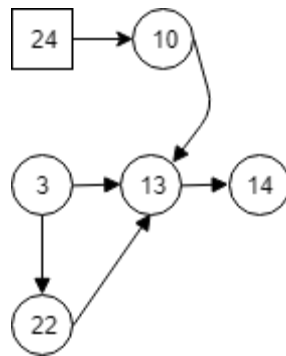


Figura 5.42 - Verificação do modelo proposto com sistema de VRL a funcionar em "modo de sobrevivência"

Portanto este grafo tem com resultado o sistema a “funcionar nos mínimos” no processo 14.

Quanto à análise de dados, tal como foi referido no início da análise do artigo [4], que tem permitido verificar o modelo proposto para a vida de um sistema de VRLs, uma das técnicas usadas foi o *science mapping* utilizando também a técnica de *co-word analysis* para detetar “associação fortes de *keywords*”, que acabam por espelhar num determinado campo da ciência a frequência com que ocorrem esses pares de *keywords* e qual o seu inter-relacionamento.

A “força” e intensidade deste relacionamento entre pares de *keywords* já foi objeto de vários tipos de quantificação propostos por vários autores e investigadores, ganhou mais credibilidade o conceito de “índice de equivalência” [4] [217] é o mais apropriado para normalizar o número de co-ocorrências.

Na análise bibliométrica o “índice de equivalência” é também conhecido como “índice de proximidade” [266] [4] ou “índice de afinidade probabilística” [4][267][268].

Apesar das várias designações é mais conhecido como “índice de equivalência” e é definido matematicamente como:

“O índice de equivalência” de duas *keywords* $e_{A \leftrightarrow B}$, A e B é definido como:

$$e_{A \leftrightarrow B} = \frac{C_{A \leftrightarrow B}^2}{C_A \cdot C_B}$$

... onde $C_{A \leftrightarrow B}$ representa o número de publicações onde as *keywords* A e B aparecem conjuntamente. C_A representa o número de documentos que incluem a *keyword* A e C_B o número de documentos que incluem a *keyword* B.

Obrigatoriamente o valor de $e_{A \leftrightarrow B}$ cai no intervalo [0,1];

Concretamente se não existirem publicações onde as *keywords* A e B apareçam simultaneamente, então $C_{A \leftrightarrow B} = 0$, e conseqüentemente $e_{A \leftrightarrow B} = 0$.

No outro caso extremo se as *keywords* A e B aparecerem sempre juntas, então $C_A = C_B = C_{A \leftrightarrow B}$ e conseqüentemente o quociente da equação é unitário, logo

$$e_{A \leftrightarrow B} = 1 \quad [4].$$

Para identificar grupos de *keywords* muito fortemente ligados, deve-se usar o “índice de equivalência” inserido num algoritmo de *clustering* [4][217][269][270].

Desta forma cada tópico desta área de estudo é modelado através de um *cluster* (conjunto) de *keywords* interrelacionados que este artigo [4] denomina de “rede temática”, (*Thematic Network*).

Neste artigo [4] os autores optaram por utilizar o algoritmo de *simple centres* [217] para definir os *clusters* ou seja os conjuntos de *keywords* e onde cada *cluster* representará um tópico desta área científica.

A escolha deste algoritmo pelos autores teve em conta o facto de já ter sido utilizado várias vezes com sucesso numa série de estudos de *co-words* (ocorrência simultânea de duas ou mais *keywords*) [4][271][272][273][274].

Apresenta também a vantagem de produzir *clusters* identificados com um nome, e ao invés de outras técnicas que não fazem, o que depois torna muito difícil a identificação do *cluster* gerado a não ser por um perito[4] .

O algoritmo *simple-centers* utilizado pelos autores nesta pesquisa é mostrado na próxima figura; em pseudocódigo:

Algorithm 1: *simple_centers*

```
Input minoccurrences ; minco-occurrences ; minkeywords ; maxkeywords ;
Output set of clusters ;
begin
  Remove all keywords included in less than minoccurrences publications ;
  repeat
    Get the link with highest  $e_{A \leftrightarrow B}$  from all possible keywords to begin a cluster ;
    From that link, form other links in a breadth-first manner, until no more links are
    possible due to minco-occurrences or minkeywords or maxkeywords ;
    The keyword which participates in more links is considered the cluster center and
    so it provides the cluster name ;
    Remove all incorporated keywords from the list of subsequent available keywords ;
  until No two remaining keywords co-occur frequently enough to begin a cluster ;
```

Figura 5.43 - Algoritmo *simple-centers* utilizado na deteção e identificação de *clusters* [4]

Este algoritmo necessita de alguns ajustes iniciais e parametrização que os autores explicam detalhadamente.

Foi seguida a metodologia proposta por [272][273], então os dados bibliográficos recolhidos foram divididos em 3 períodos de tempo distintos:

1. 1993-2004; período mais longo, mas onde ocorreram menos publicações, para poder haver um número suficiente de publicações para análise.
2. 2005-2009
3. 2010-2015

Nestes 2 últimos períodos houve uma maior densidade de publicações, especialmente no último.

Esta escolha foi feita atendendo às recomendações de [272] , que indica ser necessário escolher períodos de tempo que não sejam longos, onde as publicações fiquem muito esparsas e distribuídas, mas que também não sejam tão curtos que não apresentem um número suficiente de publicações para análise [4].

Estes *clusters* de *keywords*, assim identificados darão origem às redes temáticas, como a representada na próxima figura e que foi a única rede temática identificada pela aplicação do algoritmo no período de 1993 a 2004.

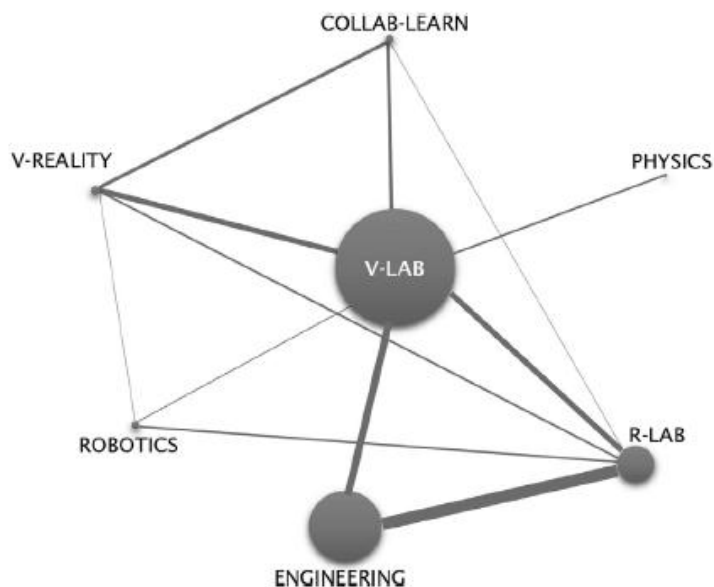


Figura 5.44 - Rede temática para o período de 1993 a 2004 [4]

Nesta imagem da rede temática podemos observar que os nós correspondem às *keywords*. O nó será tanto maior em diâmetro, quanto mais ocorrências da *keyword* se registarem.

Um nó terá tantas mais ligações, quantos mais pares de *keywords* existirem.

As linhas de ligação entre os nós representam os pares de *keywords*, e a linha será mais espessa, quantas mais ocorrências simultâneas das *keywords* acontecerem.

Atendendo a estas premissas de construção do desenho da rede temática, podemos retirar as seguintes conclusões (numeradas de 1 a 6 a partir da próxima página), em termos da validação do modelo proposto os grafos de redes temáticas apresentadas pelos autores, sugerem, especialmente, que se sobrepusermos as esferas com a mesma *keyword* das várias figuras que o seu diâmetro varia, o que quer dizer que o número de artigos sobre esse tema variou, como se pode verificar numa observação da esquerda para a direita da esfera V-LAB na figura 5.45.

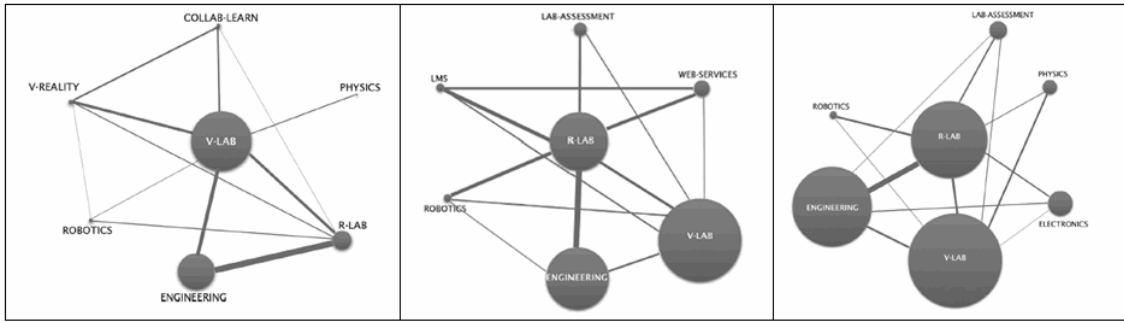


Figura 5.45 - Evolução do tamanho da esfera V-LAB desde 1993 a 2013 (da esquerda para a direita)

Se aumentou o diâmetro ao longo dos anos abrangidos pelo estudo, o número de publicações aumentou e, temos uma sequência de processos com acoplamento energético positivo, como por exemplo a sequência mostrada na figura 5.46.

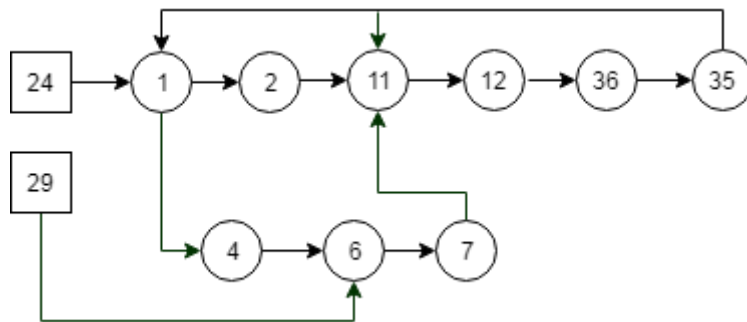


Figura 5.46 - Ciclo de processos com acoplamento energético positivo, em situação de aumento contínuo do número de publicações como a *keyword v-lab*

Se pelo contrário, o diâmetro de uma esfera baixa, nesse caso temos um acoplamento energético ou estrutural negativo, por exemplo:



Figura 5.47 - Sequência de processos com acoplamento energético negativo

Se a esfera desaparece então temos uma sequência de morte para:

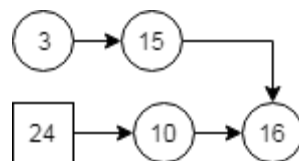


Figura 5.48 - Sequência de processos de morte dum sistema

Mas neste caso não temos uma variação de sistema VRL, mas de *keyword* que pode indicar um tipo de laboratório.

Tornava-se necessário verificar se o modelo também se aplicava nestas situações. Assim com este procedimento validamos se o modelo proposto se aplica não apenas a uma rede de VRLs em particular, mas também a um determinado tipo específico de laboratório.

1. *Virtual Lab* ou *V-Lab* é a *keyword* mais frequente no período de 1993 a 2004 como observamos na figura 5.45, e também é a *keyword* que regista maior número de

associações com outras *keywords*, por isso é a que apresenta maior número de ligações com outros nós, logo *virtual labs* eram usados em todas as áreas de conhecimento.

V-Lab é uma esfera que aumenta sempre ao longo das 3 figuras relativas aos períodos:

- a) 1993-2004
- b) 2005-2009
- c) 2010-2013

Então podemos dizer que para esse tipo de laboratório virtual, a sequência de processos no modelo proposto é a seguinte; tal implica acoplamentos energético e estrutural bastante elevados, nesse caso ao longo de 1993 a 2015 para o tipo de modelo proposto, atendendo à evolução do número de publicações sobre o tema, e atendendo a que o acoplamento estrutural é materializado pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento de *software* de simulação (o que também implica um forte acoplamento energético expresso em um processo nº 2 muito forte), a sequência de processos foi a seguinte:

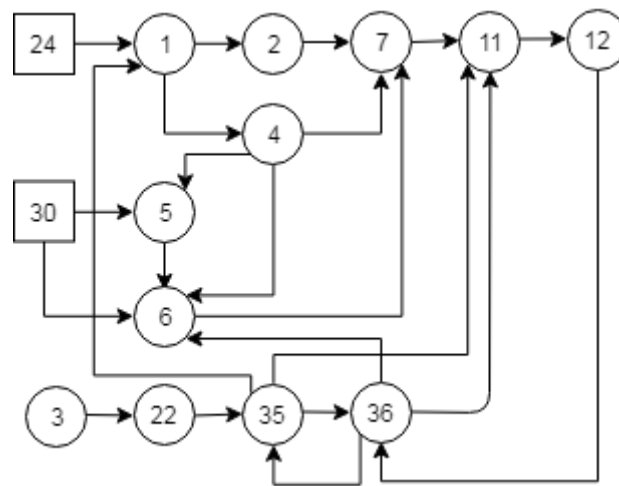


Figura 5.49 - Sequência de processos para a evolução temporal dos laboratórios virtuais de 1993 a 2015 segundo o artigo[4]

Detalhando o processo nº 6 neste caso teremos:

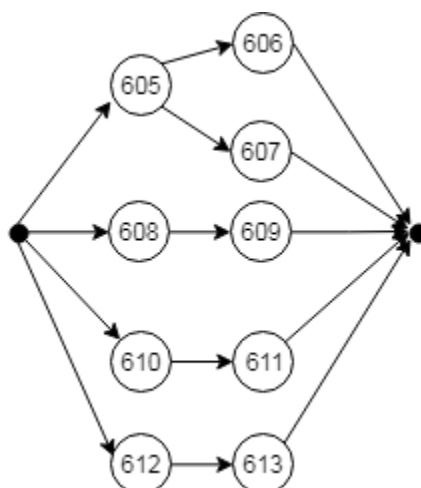


Figura 5.50 - Detalhe do processo nº 6 para a evolução de laboratórios virtuais de 1993 a 2015 segundo o artigo[4]

Neste desenvolvimento do processo nº 6, o ramo com os processos 612 e 613 é espelhado na figura da rede temática referente ao período 2005-2009, pelas ligações ao nó *LMS*.

2. Enquanto a *R-Lab* ou *Remote Labs* tem apenas ligações com as áreas de engenharia e robótica. Comparativamente à esfera de V-LAB, a esfera de R-LAB também aumentou mas mais lentamente, até 2009 (depois aumentou muito rapidamente com o BOOM 2011-2013). Então de 1993 a 2009 a sequência de processos que verifica o modelo será a seguinte:

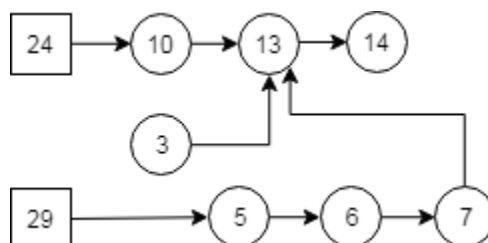


Figura 5.51- Sequência de processos que verificam a evolução da keyword R-Lab de 1993 a 2009

De 2010 a 2015, a evolução é muito mais forte e dinâmica, pois a esfera aumenta imenso e estabelece muito mais ligações, e pode ser expressa pela seguinte sequência de processos, mostrada na figura 5.50, confirmado neste período e especialmente nos anos 2011-2013 pelo grande número de publicações sobre o assunto.

Quanto ao desenvolvimento destes sistemas de VRLs com *R-Labs*, devido ao facto de existirem muitas ligações exteriores, o desenvolvimento do processo nº 6 será expresso pela seguinte sequência de processos no sub-modelo:

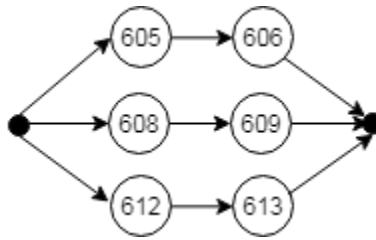


Figura 5.52 - Sequência de processos para o detalhe do processo nº 6 para o grafo da figura 5.51

No modelo principal as ligações 35 para 36 e para 6 e 35 para 11 serão muito intensas. A ligação 612 para 613 já evolui em 2010-2015 para uma solução *LMS* com *blended-learning*.

3. O conceito de Realidade Virtual ou *Virtual-Reality*, foi usado em Robótica, em laboratórios remotos e em laboratórios virtuais, e também o conceito *Collaborative-learning*. Neste caso, nasce um novo conceito ou podemos dizer que nasceu uma nova espécie em termos *Darwinianos*.

Embora já se manifestasse desde 1993 o conceito de *collaborative-learning* (*collab-learn*) nos grafos ganha nova importância e chega mesmo a criar uma nova rede temática no período de estudo 2005-2009.

Embora antes já existissem algumas ferramentas de ensino colaborativo, através do aparecimento das aplicações da realidade virtual, o mesmo ganha nova importância e fica com um ambiente muito mais atraente e motivante para os estudantes, assim aumentando muito o seu acoplamento energético também através do desenvolvimento de novas tecnologias.

Então em termos do modelo proposto, o aparecimento desta nova situação pode ser justificada pela seguinte sequência de processos, mostrados na Figura 5.52.

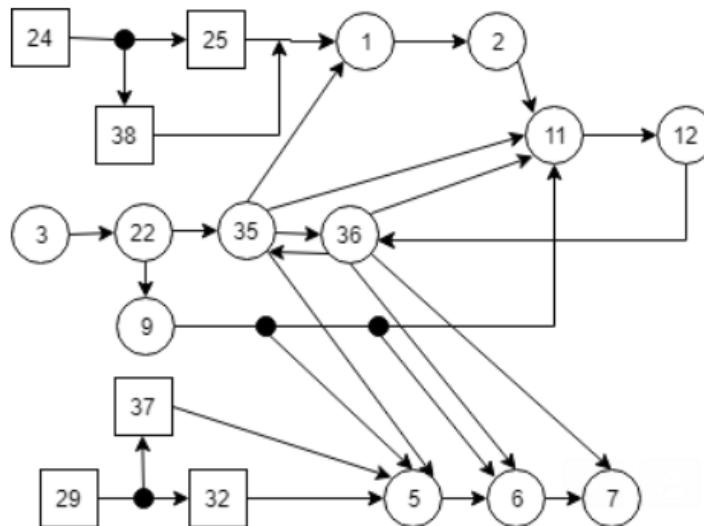


Figura 5.53 - Sequência de processos para o aparecimento do conceito de *Collaborative-learning*

Quanto ao detalhe do processo nº 6, expresso no sub-modelo, a sequência de processos a considerar será:

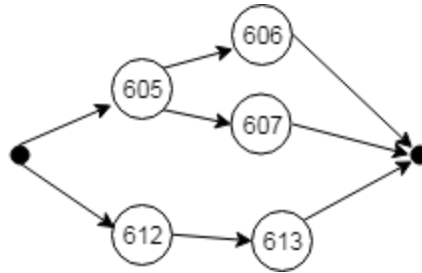


Figura 5.54 - Sequência de processos para o detalhe do processo nº 6 para o grafo da fig. 5.53

Os ambientes colaborativos implicam existir muitos contactos externos (processos nºs 605, 606 e 607) e normalmente também utilizam as facilidades dos LMSs (processos nºs 612 e 613).

4. Ressalta também que já nesta altura, em 1999 [275] havia a preocupação com o facto de os alunos poderem ficar muito isolados a estudar nesta modalidade de *e-learning*, daí a importância atribuída à *keyword* “*Collab-Learn*”. No fundo já nesta época era incentivada a utilização de ambiente colaborativos, para os alunos não estarem “sózinhas” no seu ambiente de trabalho.

Neste caso a sequência de processos do modelo regista um desenvolvimento com um acoplamento energético menos intenso que no caso anterior (Figura 5.52), pois nesta altura (1993-2004) a utilização de ambiente colaborativos era em menor escala.

Em termos de sequência de processos do modelo proposto, teremos:

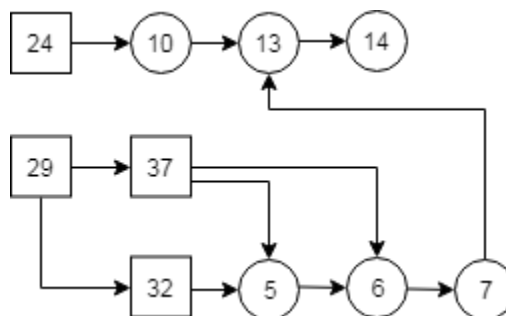


Figura 5.55 - Sequência de processos referentes ao ambiente colaborativo nas redes de VRLs nos anos de 1993 a 2004

Portanto a este nível o sistema “sobrevive”, e foi isso que permitiu que se viesse a desenvolver fortemente mais tarde.

Esta questão dos ambientes colaborativos é extremamente importante, pois além de motivar fortemente os alunos e professores e contribuir para um grande aumento do fluxo energético, evita que o sistema entre em entropia, por se isolar demasiadamente como afirma Bertalanfy na sua obra *General Systems Theory* [9].

Tal é ilustrado no sub-modelo do processo 6 na sequência de processos mostrada na Figura nº 5.55.

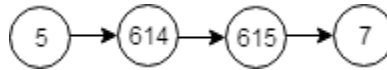


Figura 5.56 - Sequência de processos do sub-modelo que conduzem à entropia e depois possivelmente à morte do sistema

No período 2 do estudo de 2005 a 2009, foram encontradas duas redes temáticas, *R-LAB* e *COLLAB-LEARN* [4].

São mostradas na figura seguinte:

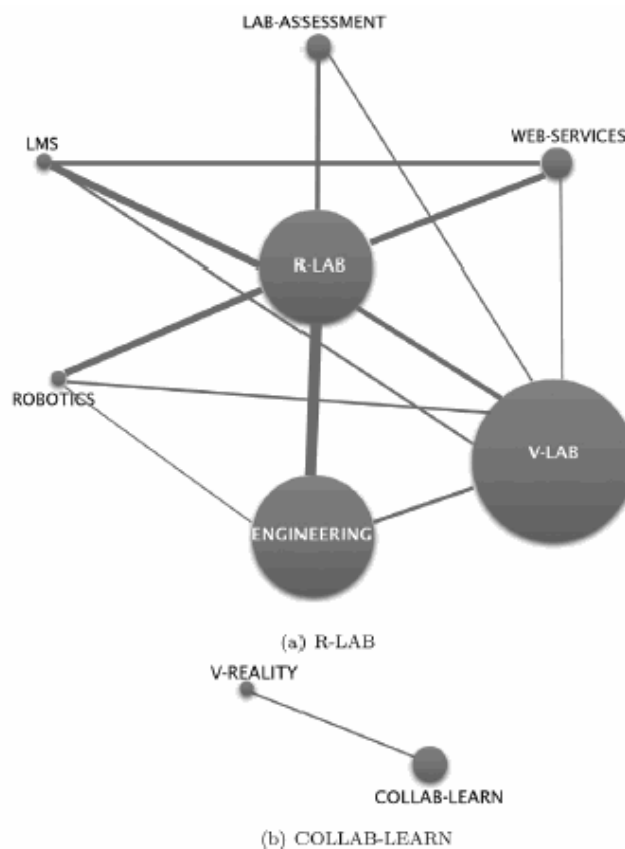


Figura 5.57 - Redes temáticas do período 2005-2009 [4]

Da análise destas redes os autores concluem que:

1. *R-LAB* é a *keyword* central da rede, pois é a que tem mais pares de *keywords*, é a *keyword* central da rede, e onde mais citações ocorreram.
2. No entanto a *keyword* com mais ocorrências nas publicações é ainda *V-LAB* como no período anterior.
3. Engenharia e robótica são as áreas onde os laboratórios remotos são mais utilizados.
4. A utilização de laboratórios remotos emerge como essencial no sistema de ensino a distância com componente laboratorial, e torna-se essencial aferir a sua eficácia.

5. Emerge a importância de *web-services* como sistemas que permitem a partilha e interoperabilidade de vários sistemas de laboratórios remotos entre diferentes entidades, reduzindo assim o seu custo de manutenção.
6. Começa a sentir-se a convergência entre *LMSs* e *VRLs*, e a emergirem as suas enormes potencialidades e vantagens[4][276].

Muitos autores referem a grande vantagem da integração de *VRLs* em *LMSs* a nível de:

- Administração do sistema
- Comunicação entre utilizadores (professores e alunos) através de fóruns, mensagens
- Entrega de trabalhos e relatórios pelos alunos
- Gestão da avaliação dos alunos
- Atos administrativos

No período 3 do estudo realizado neste artigo [4], os autores já identificam quatro redes temáticas:

- *R-LAB*
- *V-Reality*
- *Web Services*
- *LMS*

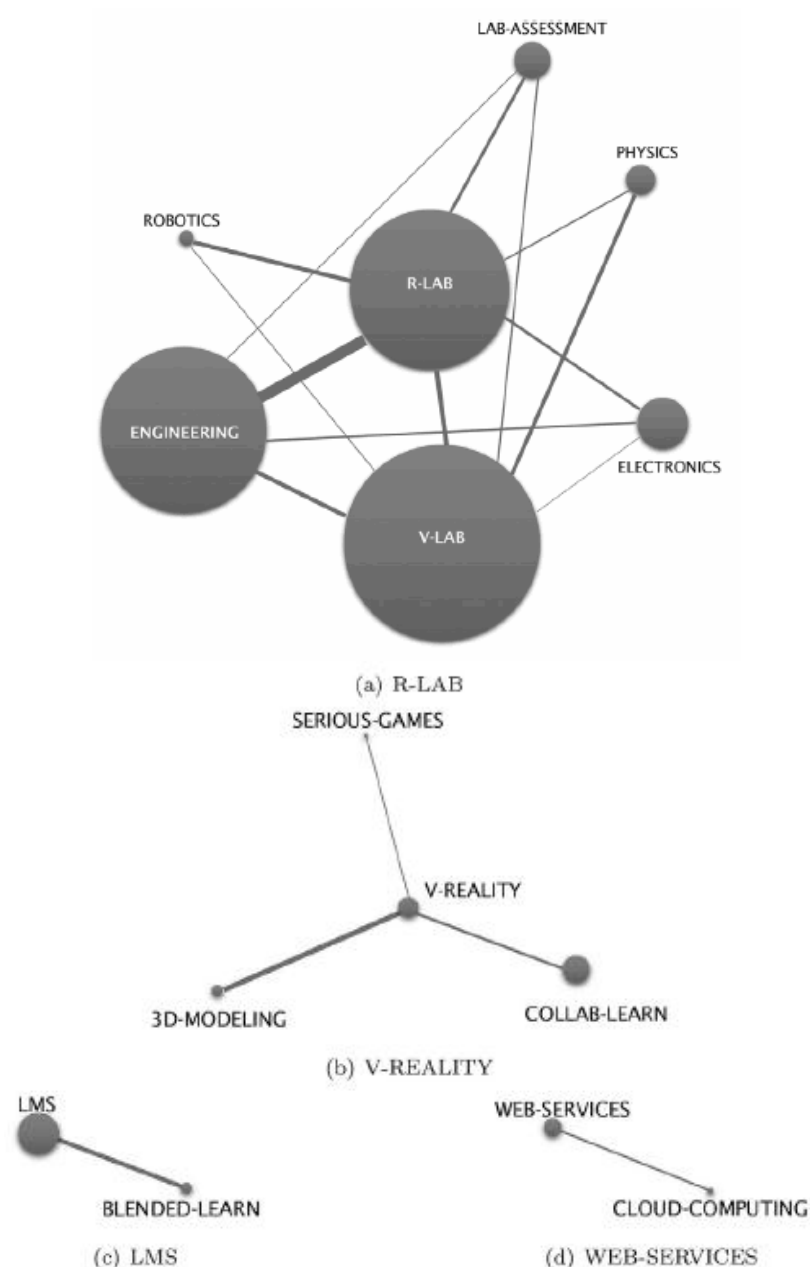


Figura 5.58 - Redes temáticas identificadas para o período 2010-2015 [4]

As conclusões extraídas pelos autores relativamente a estas redes temáticas são as seguintes [4]:

A rede *R-LAB* continua a ser a mais importante em termos de quantidade de publicações e fator de impacto.

1. A *keyword* central da rede continua a ser *R-LAB*, e a *keyword* mais referida nas publicações *V-LAB*.
2. A necessidade de analisar a eficácia dos *VRLs* no sistema de aprendizagem emerge como essencial.
3. Os laboratórios remotos são mais utilizados no ensino de engenharia, robótica e eletrónica.

35→11→12→33→34→35

Nesta rede temática do período 2010-2015 surgiram três novas redes temáticas.

- b) *V-Reality*
- c) *LMS*
- d) *Web-Services*

São identificadas mesmo por b), c) e d) na Figura 5.57.

Vejam os a verificação de cada uma delas no modelo proposto:

A rede b) *V-Reality* surge porque assume uma grande importância na área de *Collaborative-Learning* e realidade virtual, e por razões de desempenho gráfico em termos técnicos tem de ser associada à modelação 3-D e para aumentar o acoplamento energético com os utilizadores (especialmente os mais jovens) é desenvolvido sob a forma de “*Serious-Games*”. Trata-se portanto de sistemas complementares de apoio aos sistemas de *VRLs*. Um exemplo deste tipo de ambiente existe no sistema de *VRLs* da *Universidade Deusto em Bilbao*, com o ambiente *Second Lab*.

A rede temática c) *LMS* realça a importância de um *LMS* para suportar o sistema de *VRLs*, e é utilizada num sistema híbrido com laboratórios reais e laboratórios a distância, virtuais ou remotos, integrados numa filosofia de ensino através de *blended-learning*.

Finalmente a rede temática d) *Web-Services* enaltece a importância das Federações de *VRLs* de modo a permitir ao utilizador um único login e ter acesso a um conjunto muito vasto de laboratórios e experiências em vários sistemas de *VRLs*, apenas com um único processo de autenticação, o que facilita bastante o acesso e inscrição de colaboradores remotos em repositórios.

A verificação destas três redes temáticas no modelo será feita em conjunto, pois interligam-se todas com o sistema de *VRLs* sob a forma de serviços complementares para aumentar o acoplamento energético dos utilizadores com o sistema de *VRLs*.

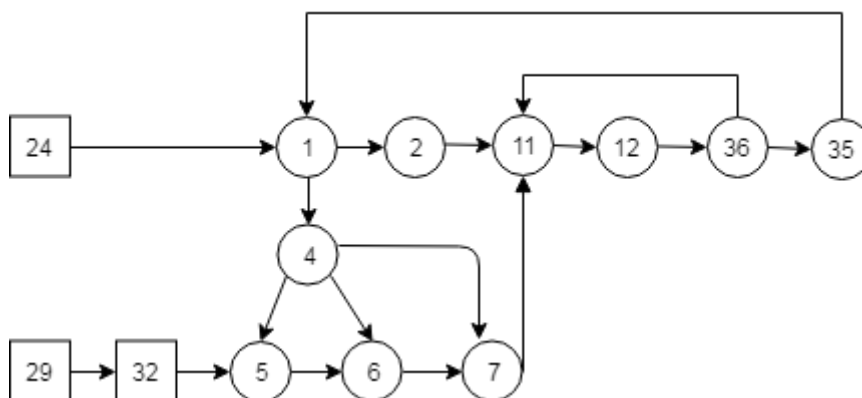


Figura 5.60 - Sequência de processos para verificação das três redes temáticas b) c) e d), e da figura 5.57 segundo o modelo proposto

Quanto ao detalhe do processo 6, teremos:

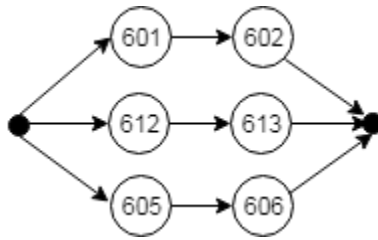


Figura 5.61 - Sequência de processos do detalhe do processo nº6, referente à figura nº 5.59

A rede b) é verificada pela sequência de processos 601,602

A rede c) é verificada pela sequência de processos 612,613

A rede b) é verificada pela sequência de processos 605,606

Em relação aos períodos de estudo anteriores surgiram novas *keywords* associadas às redes temáticas:

1. À rede de *V-Reality* foram adicionadas com índices de equivalência apreciáveis, *3-D Modelling* e *Serious-games*. Isto mostra a tendência de proporcionar *VRLs* com algum grau de entretenimento (*Serious-games*) e ambientes 3-D imersivos.
2. *WEB-SERVICES* assumiu-se como uma rede temática independentemente, apresentando as vantagens de partilha de recurso a partir de tecnologias e soluções de *cloud computing*, o que vem contribuir para a redução do consumo de energia.
3. *LMS* também emerge como rede temática independente, pois a difusão dos *VRLs* não se resume só à solução de ensino a distância, mas também a todos os ambientes de *e-learning* e *b-learning*.

Os autores finalizam a apresentação discutindo a própria metodologia aplicada.

Os pontos desta metodologia que mereceram uma discussão mais aprofundada por parte dos autores deste artigo [4] são os seguintes:

1. *Query* utilizada para a recolha dos dados bibliográficos:

Os dados inicialmente foram recolhidos da base de dados construída com o grupo *Mendeley* e denominada de *GRC2014* [3][123], depois para completar e enriquecer o acervo de documentos a analisar, foi também aplicada a *query* nas bases de dados *ISIWoS* e *Scopus*.

Os termos escolhidos para a *query* foram ainda refinados e aperfeiçoados por 3 peritos na área dos *VRLs* e que publicam normalmente nesta área [4].

Estes termos foram retirados dos mais utilizados como tópicos de 3 fóruns considerados os mais especializados e representativos na área:

- Conferências *REV – International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*.
- *Experiment@ International Conference*
- *iJoE – International Journal of Online Engineering*

Além disso os autores ainda entenderam utilizar na sua *query* os seguintes termos:

- “*virtual experiment*”
- “*online experiment*”
- “*remote engineering*”
- “*remote process visualization*”
- “*virtual instrumentation*”
- “*virtual engineering environment*”

Todos limitados pelo código de programação da *string* da *query* às áreas de:

- “*education*”
- “*learning*”
- “*teaching*”

Os autores entendem ainda que embora existam várias bases de dados de artigos científicos gratuitas tais como *Google Scholar*[2], o *CiteSeerX*[277], *Microsoft Academic Search* [130], *GetCited*, etc, na verdade as mais fiáveis são as bases de dados de artigos científicos pagas como por exemplo a *ISIWoS* [133] e a *Scopus* [132] [220][221].

Os autores fazem ainda uma análise dos métodos de pesquisa utilizados pela *ISIWoS* [133] e *Scopus* [132], e é referido ainda que o motor de busca *Google Scholar* [2] é suscetível a erros de metadata e por vezes indexa trabalhos não científicos.

Como conclusão do trabalho realizado os autores referem que como resultado de mais de 20 anos de pesquisa, os laboratórios remotos e virtuais atingiram um grau de maturidade que torna possível e aconselhável a sua aplicação em vários graus de ensino, desde a escola primária até à universidade, conseguem abranger áreas tão diversas como engenharia, física, química, etc.

Os autores também observaram que desde 2005 a produção de artigos científicos sobre a temática *VRLs* registou um enorme incremento [4], tal como foi já verificado anteriormente pela aplicação do modelo proposto.

Identificam depois os autores das áreas em que é previsível que se registre a curto prazo um grande desenvolvimento do esforço da pesquisa.

- Dever-se-ão desenvolver um uso conjunto e complementar de laboratórios remotos e laboratórios virtuais, em processos de ensino-aprendizagem, pois muitos artigos referem sempre os dois tipos de laboratório em complementaridade.

Também em termos de conclusão os autores identificam ainda que cada tipo de laboratório apresenta as suas vantagens próprias a saber:

1. Laboratórios virtuais:

- 1.1. Permite modificar ou simplificar o mundo real para tornar os fenómenos mais visíveis para os aprendizes e adaptá-los aos diferentes níveis cognitivos.
- 1.2. Permitem realizar uma série de experiências rapidamente e facilmente dando um retorno imediato aos alunos sobre os erros eventualmente cometidos.
- 1.3. Permitem repetir uma experiência as vezes que forem necessários.
- 1.4. Ajuda os estudantes a visualizar partes do fenómeno (objetos e processos) que normalmente estariam ocultos.
- 1.5. Permite realizar experiências, que a ser feitas no mundo real poderiam ser muito caras.

2. Laboratórios remotos

- 2.1. Permitem trabalhar em aparelhos e equipamentos reais e recolher dados em ambiente real.
 - 2.2. Permitem detetar diferentes tipos de erros de medida que acontecem só no mundo real e saber como resolver essas questões.
- Dever-se-ão também desenvolver os ambientes de *collaborative learning*, segundo as teorias construtivistas que afirmam que o processo de aprendizagem é construtivo e colaborativo.

Tal é afirmado por [253], os laboratórios remotos e virtuais suportam e implementam processos de aprendizagem construtivistas, porque levam os estudantes a atuarem como cientistas, traçando o seu próprio percurso de aprendizagem [17][101]. Uma forma de implementar o colaborativismo (*collaborative learning*) no uso de laboratórios remotos e virtuais, é integrá-los em sistemas de *LMS* pois além de facilitar toda a gestão e administração do processo de aprendizagem como já foi referido, permite também aos estudantes utilizar todas as ferramentas colaborativas síncronas ou assíncronas de um *LMS*, como sejam *chat*, videoconferência, *shared whiteboard*, *mailing list*, fóruns, etc. Um exemplo é apresentado por [278][279], que integram um sistema de laboratórios remotos numa plataforma *moodle*.

Outra solução aconselhada é integrar *VRLs* em mundos virtuais como o *Second Life*, pois alguns investigadores opinam que a integração em mundos de alta imersão aumenta a capacidade e facilidade de aprendizagem. Esta prática foi testada na *Universidade de Deusto* em Bilbao com o sistema *VISIR* por [280], e no *Sun Project* com o ambiente virtual *Wonderland* [281].

Para permitir e incentivar o ambiente colaborativo devem ser implementados sistemas de *VRLs* que permitam a interação de diferentes utilizadores ao mesmo tempo [282][279].

Desta forma o *VRL* atua ele próprio como o principal meio de comunicação entre os participantes.

Outra grande preocupação que emerge cada vez mais fortemente é a avaliação pedagógica dos sistemas de *VRL* e a sua eficácia no processo de ensino/aprendizagem.

Hoje em dia vários estudos empíricos demonstram que os sistemas *VRL* permitem uma melhor aprendizagem do que sistemas tradicionais de laboratórios em sala[4][14][283].

Aliás o artigo clássico nesta questão de eficácia de laboratórios remotos e virtuais [4] [257] propõe mesmo um modelo para testar a eficácia de um determinado laboratório remoto. Concretamente é avaliado o impacto do laboratório nos estudantes em termos cognitivos, e de motivação. Os fatores diretamente avaliados são:

- A capacidade do laboratório para atingir os objetivos a que se propõe.
- O suporte do sistema de laboratórios em termos de coordenação social.
- A capacidade do sistema de laboratórios para se adaptar às particularidades de cada estudante, tendo em conta o seu grau de ensino, estilo cognitivo de aprendizagem, desenvolvimento psicológico, etc.

Recentemente foi desenvolvido o conceito de *learning analytics*, que é uma técnica pedagógica que permite medir, coligir dados e emitir relatórios sobre a eficácia educativa de um determinado sistema de aprendizagem, e já existem aplicações desta técnica aos *VRLs* [284]. Esta técnica também permite caracterizar como um determinado laboratório pode ser utilizado em diferentes contextos e em instituições de vários tipos [285].

A técnica de *learning analytics* permite também suportar e acompanhar os estudantes na sua avaliação contínua [286], logo melhorar o acoplamento energético enaltecendo os processos 1 e 2 do modelo proposto.

Os autores entendem que a aplicação aos *VRLs* da técnica *learning analytics* vai possibilitar um nível mais profundo da análise destes sistemas, nível esse que ainda não foi atingido até ao presente (até à data do artigo) em nenhum estudo já realizado.

Outra conclusão muito importante deste estudo [4] é a grande vantagem que se atinge ao partilhar *VRLs* entre vários sistemas e instituições, que além do maior leque de trabalhos e experiências que se oferece aos estudantes, favorece a redução de custos dos laboratórios remotos, pois alguns assim passarão a ser mantidos por outras instituições, e até com o apoio de empresas como é mostrado pelo modelo proposto.

Em termos tecnológicos esta partilha de *VRL* é feita através de *web-services* e *inter-operable bridges*, situação já largamente verificada pelos processos 605 e 606.

Nesta linha de desenvolvimento tecnológico o artigo clássico de [59] é uma referência, que descreve a arquitetura partilhada *iLab* [287] desenvolvida pelo *MIT* que se iniciou em 1998, e ainda está em desenvolvimento [288] e suporta várias federações de *VRLs* hoje existentes.

Os autores referem que os princípios orientadores do projeto *iLab* são os seguintes:

1. Constituir um ambiente de Federação de *VRLs*, com um elevado nível de escalabilidade, implementada de forma a poder servir um número ilimitado de utilizadores e com acesso a um número também ilimitado de sistemas de *VRLs*.
2. Permitir a manutenção independente do conjunto de *VRLs* e gerir uniformemente por todos os utilizadores. Para permitir isso o *iLab* utiliza um *middleware* que suporta todo o sistema de marcação e agendamento de sessões e experiências por parte de todos os utilizadores.
3. Suportar numa estrutura comum e com um sistema de validação por *web-services* dos *logins* realizados nas várias redes de *VRLs* interligadas e que permitam aos utilizadores aceder a *VRLs* em todas as outras redes.
4. Suportar o equipamento laboratorial dos vários *VRLs* que pode ser acedido através de várias interfaces e acessível a vários níveis pedagógicos dos estudantes.

Todos estes princípios são verificados pelo modelo proposto no sentido de melhorar os sistemas de *VRL* já existentes.

Os autores referem que além do *iLab* existem ainda outros sistemas de *VRLs* significativos que permitem o acesso a múltiplos *VRLs* como seja o *WebLab Deusto* [289] e *Labshare Sahara* [290] já referidas anteriormente neste trabalho aquando da análise das várias federações na secção 2.4.

Os autores referem ainda um fator muito importante que são as consideráveis dificuldades tecnológicas encontradas para interligar diferentes sistemas de *VRLs* e criar assim federações. Esta conclusão é corroborada pela validação do modelo e como se pode verificar pelas várias ocorrências de sequência de processos 605 e 606 nos vários grafos de validação das várias situações apresentadas na análise deste artigo de referência [4] ao longo desta secção 5.2.

Existem artigos descritivos dessas situações, concretamente considerando as federações *iLab* e *LabShare Sahara* por [291] e entre *iLab* e *WebLab Deusto* por [285].

Os autores deste artigo [4] afirmaram que esta será uma linha de investigação muito importante a desenvolver num futuro muito próximo; a criação de uma rede de redes de laboratórios remotos e virtuais.

Mais uma vez esta conclusão verifica a sequência de processos 605 e 606 do modelo proposto.

6. Conclusões e direcções futuras

No trabalho apresentado analisou-se em detalhe e sobre várias perspectivas a evolução dos sistemas e redes de *VRLs* que existem e já existiram.

Analisou-se a influência que tiveram no seu desenvolvimento o acoplamento estrutural e o acoplamento energético existente, e o modelo proposto foi validado e verificado para as várias situações, mostrando que também verifica a evolução segundo os postulados de *Darwin* na sua obra *The Origin of Species*.

Como desenvolvimento e direcção futura deste trabalho, utilizando este método e atendendo às regras de evolução *Darwiniana* podemos tentar estabelecer uma “Linha de Evolução” para cada família de laboratórios remotos e virtuais. Podemos então tentar representar graficamente essa evolução da seguinte forma:

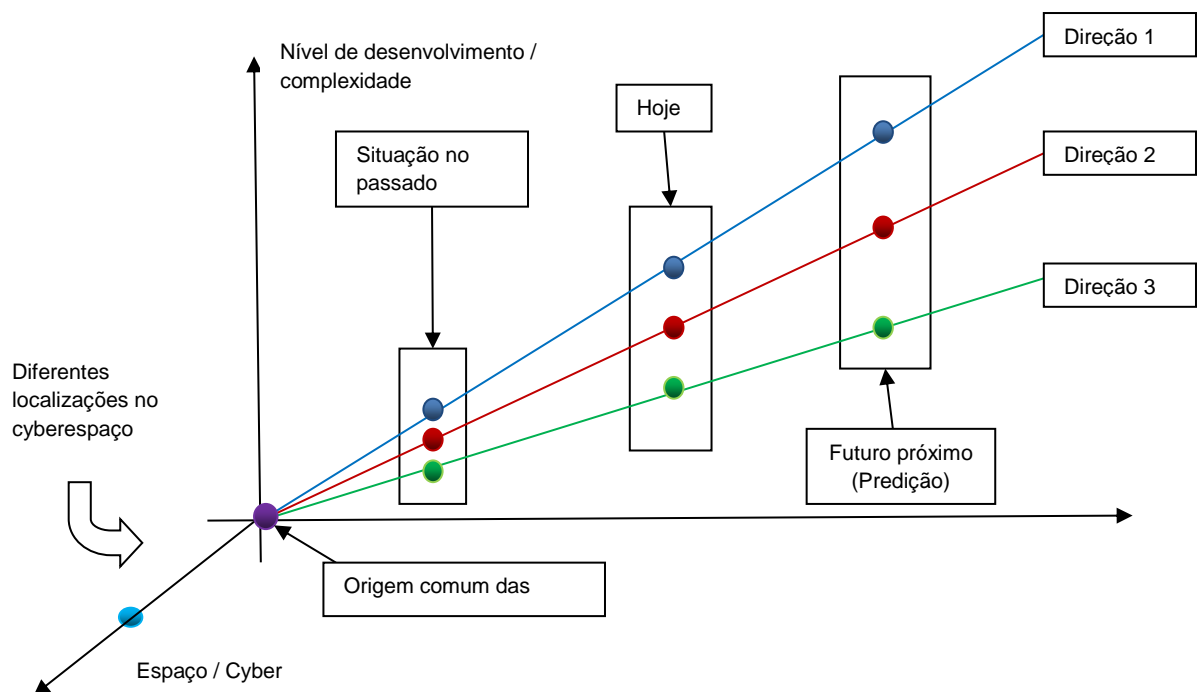


Figura 6.1 - Linhas de desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais

É possível sugerir algumas linhas de desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais, tendo em consideração o conhecimento já adquirido nos sistemas que já existem há bastante tempo, nos que deixaram de existir e “morreram” por não haver ninguém que os desenvolvesse ou sequer realizasse a sua manutenção.

Defendemos que é possível avançar com algumas considerações sobre a evolução futura das várias linhas de desenvolvimento de laboratórios remotos e virtuais, tomando em consideração os fatores que guiaram esta evolução no passado até aos dias presentes.

Devemos especialmente considerar também neste estudo a realizar o fator humano e a enorme importância de que ele se reveste, pois, sem pessoas não há computadores, e sem

computadores não há sistemas. As pessoas vão condicionar e criar o acoplamento energético dos sistemas, pois são as pessoas que lhes dão “vida”. O acoplamento energético no fundo é a ligação emocional e de “vontade” entre as pessoas que criam e mantm os sistemas de laboratórios remotos e virtuais, e os próprios sistemas *hardware* e *software* que os suportam. Sem as pessoas que constroem e mantêm os sistemas, eles simplesmente... não existem !

Portanto o que é pretendido e esperado neste desenvolvimento proposto é predizer de algum modo a evolução de cada linha de desenvolvimento dos laboratórios remotos e virtuais atualmente existentes.

Se considerarmos que o estado de desenvolvimento de cada uma destas linhas de desenvolvimento, imediatamente a seguir ao seu nascimento, e se considerarmos também o seu atual ponto de evolução, então poderemos examinar e considerar todos os fatores que influenciaram essa linha de desenvolvimento até agora. Poderemos então fazer conjeturas e estimativas acerca de qual vai ser a sua evolução natural, se vão aparecer novas linhas divergentes dessa, se as linhas atuais irão convergir ou desaparecer naturalmente, etc.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, poderemos analisar quais foram os fatores ambientais e os acoplamentos energéticos que podem provocar o fim ou a evolução dessas linhas, e o eventual aparecimento de novas linhas de desenvolvimento divergentes dessas.

Bibliografia/Referências

- [1] "Semantic Scholar." [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org>. [Accessed: 02-Feb-2018].
- [2] "Google Scholar." [Online]. Available: <https://scholar.google.pt/>. [Accessed: 02-Feb-2018].
- [3] M. Zappatore, A. Longo, and M. A. Bochicchio, "The bibliographic reference collection GRC2014 for the Online Laboratory Research community," in *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2015*, 2015.
- [4] R. Heradio, L. De La Torre, D. Galan, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, and S. Dormido, "Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis," *Comput. Educ.*, vol. 98, pp. 14–38, 2016.
- [5] J. Ma and J. V. Nickerson, "Hands-on, simulated, and remote laboratories," *ACM Comput. Surv.*, 2006.
- [6] D. Agarwal, S. Sachs, and W. Johnston, "The reality of collaboratories," *Comput. Phys. Commun.*, 1998.
- [7] C. Bonnet's, "Scala Naturae," 1745. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bonnet_echelle_des_etres_17.png. [Accessed: 01-Jan-2017].
- [8] J. Bosco, *Teoria Geral de Sistemas*. Instituto Stela, 2012.
- [9] L. Von Bertalanffy, "General System Theory," *Georg. Braziller New York*, vol. 1, p. 289, 1968.
- [10] Incógnito, "Ecos do Passado," 2008. [Online]. Available: <http://ecosdopassado.blogspot.com/2006/07/lisboa-medieval-apontamentos.html>. [Accessed: 20-Aug-2014].
- [11] C. Carrasco, "Historiando." [Online]. Available: <http://histgeo6.blogspot.com/2015/12/caracteristicas-da-lisboa-pombalina.html>. [Accessed: 20-Aug-2014].
- [12] G. R. Alves, M. Gericota, J. B. da Silva, and J. da M. Alves, "Advances on remote laboratories and e-learning experiences," 2006.
- [13] B. Williams and P. Ribeiro de Andrade, "Tracking Engineering Education Research and Development – Contributions from Bibliometric Analysis," 2012.
- [14] J. R. Brinson, "Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research," *Comput. Educ.*, 2015.
- [15] J. Corter, J. Nickerson, S. Esche, and C. Chassapis, "Remote versus hands-on labs: A comparative study," *34th ASEE/IEEE Front. Educ. Conf.*, 2004.
- [16] R. Cordeiro, "Novos Paradigmas do e-learning e da Indústria : Laboratórios Remotos e Virtuais," *Rev. da ANIMEE*, 2014.
- [17] D. Gillet, T. De Jong, S. Sotirou, and C. Salzmann, "Personalised learning spaces and federated online labs for STEM Education at School," in *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, 2013.
- [18] S. Odeh, J. Alves, G. R. Alves, M. Anabtawi, I. Gustavsson, L. Arafeh, M. Jazi, and M. Arekat, "Avaliação em Duas Fases do Laboratório Remoto em Engenharia, VISIR, na Universidade Al-Quds da Palestina," *VAEP-RITA*, 2014.
- [19] J. Garcia-Zubia, J. Irurzun, ... I. A.-E., and U. 2010, "SecondLab: A remote laboratory under Second Life," *ieeexplore.ieee.org*, 2010.
- [20] "National Instruments." [Online]. Available: <http://www.ni.com>. [Accessed: 27-May-2018].
- [21] J. Garcia-Zubia and A. G. Ribeiro, *Using Remote Labs in Education Deusto Digital*. 2011.
- [22] J. Machotka, A. Nafalski, and Z. Nedić, "The history of developments of remote experiments," *World Conf. Technol. Eng. Educ.*, no. September, pp. 5–8, 2011.

- [23] M. Cheney, "Tesla: Man Out of Time - Margaret Cheney - Google Livros." [Online]. Available: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=HluK7iLO9zgC&oi=fnd&pg=PA8&dq=Tesla,+Man+out+of+Time.+&ots=Xb4Dp3ZULU&sig=PzZGuBwDFb-q8BfrRITx6tlwkSc&redir_esc=y#v=onepage&q=Tesla%2C Man out of Time.&f=false. [Accessed: 22-Aug-2018].
- [24] T. Davies, "A note about the V1 and V2," *King's College London*, 2015. [Online]. Available: <http://www.async.org.uk/Tony.Davies/pubs/V1-and-V2-brief.pdf>. [Accessed: 14-May-2016].
- [25] W. R. Ferrell and T. B. Sheridan, "Supervisory control of remote manipulation," *IEEE Spectr.*, vol. 4, no. 10, 1967.
- [26] M. F. Aburdene, E. J. Mastascusa, and R. Massengale, "A proposal for a remotely shared control systems laboratory," in *21st Annual Frontiers in Education Conference: Engineering Education in a New World Order*, 1991, pp. 589–592.
- [27] K. Goldberg, S. M. Gentner, C. Sutter, and J. Wiegley, "Mercury Project: A feasibility study for Internet robots," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 7, no. 1, pp. 35–40, 2000.
- [28] A. Ferrero, S. Salicone, C. Bonora, and M. Parmigiani, "ReMLab: A Java-based remote, didactic measurement laboratory," in *VIMS 2002 - 2002 IEEE International Symposium on Virtual and Intelligent Measurement Systems: Distributed Intelligent Sensing for Advanced Integrated Virtual Environments*, 2002.
- [29] G. T. McKee, "The development of Internet-based laboratory environments for teaching robotics and artificial intelligence," *Proc. 2002 IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (Cat. No.02CH37292)*, vol. 3, no. May, pp. 2695–2700, 2002.
- [30] B. Aktan, C. a Bohus, L. a Crowl, and M. H. Shor, "Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 39, no. 3, pp. 320–329, 1996.
- [31] M. Casini, D. Prattichizzo, and A. Vicino, "E-LEARNING BY REMOTE LABORATORIES: A NEW TOOL FOR CONTROL EDUCATION," 2003.
- [32] A. de MELLO, J. B. da M. Alves, and A. Silva, "EXPERIMENTAÇÃO REMOTA: DESENVOLVENDO TECNOLOGIA COMO PONTE PARA A INCLUSÃO DIGITAL," *prodam.sp.gov.br*.
- [33] I. Gustavsson, J. Zackrisson, L. Håkansson, I. Claesson, and T. Lagö, "The VISIR project – an Open Source Software Initiative for Distributed Online Laboratories," *REV 2007*, pp. 1–6, 2007.
- [34] I. Gustavsson, G. Alves, R. Costa, K. Nilsson, and J. Zackrisson, "The VISIR Open Lab Platform 5.0 - an architecture for a federation of remote laboratories," *REV 2011 Proc.*, 2011.
- [35] "VISIR Special Interest Group." [Online]. Available: <https://www.efmd.org/companies/company-members/125-eu-cooperation/current-projects/299-visir-project>. [Accessed: 27-May-2018].
- [36] O. Zubía, Javier G. Dziabenko, *IT Innovative Practices in Secondary Schools: Remote Experiments*. Bilbao: Deusto University, 2013.
- [37] "STEM Scouts." [Online]. Available: <https://stemscouts.org/>. [Accessed: 30-May-2018].
- [38] L. D. Feisel and A. J. Rosa, "The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education," *J. Eng. Educ.*, vol. 94, no. 1, pp. 121–130, 2005.
- [39] "VISIR Images from Google." [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=VISIR+breadboard&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=49WBsbGv8oIlgSM%253A%252CqBihBD9XUeEnM%252C_&usq=AFrqEzcrztMO-hvW0-PLFMNe8GanSntIGQ&sa=X&ved=2ahUKEwjLz7G5-K3dAhUDy0UKHVTHAGYQ9QEwAHoECAMQBA#imgrc=49WBsbGv8oIlgSM: [Accessed: 02-Jan-2016].
- [40] M. A. Marques, M. C. Viegas, M. C. Costa-Lobo, A. V. Fidalgo, G. R. Alves, J. S. Rocha, and I. Gustavsson, "How remote labs impact on course outcomes: Various practices using VISIR," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 57, no. 3, pp. 151–159, 2014.
- [41] J. Trevelyan, "Lessons Learned from 10 Years Experience with Remote Laboratories," *Int. Conf. Eng. Educ. Res.*, pp. 1562–3580, 2004.

- [42] "Netlab." [Online]. Available: <http://netlab.unisa.edu.au/index.xhtml>. [Accessed: 14-Apr-2016].
- [43] Z. J. Pudlowski, N. Grünwald, Hochschule Wismar., and Unesco International Centre for Engineering Education., *6th Baltic Region Seminar on Engineering Education : Hochschule Wismar--University of Technology, Business and Design, Wismar/Warnemünde, Germany, 23-25 September 2002 : seminar proceedings*. UNESCO International Centre for Engineering Education, Monash University, 2002.
- [44] M. Casini, D. Prattichizzo, and A. Vicino, "The Automatic Control Telelab : A User - Friendly Interface for Distance Learning," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 46, no. 2, 2003.
- [45] R. P. Vargas, "Development of an XML-Based Lab for Remote Control Experiments on a Servo Motor," *Artic. Int. J. Electr. Eng. Educ.*, 2005.
- [46] C. Mergl, "COMPARISON OF REMOTE LABS IN DIFFERENT TECHNOLOGIES," *iJOE*, 2006.
- [47] J. L. Guzmán, H. Vargas, J. Sánchez, M. Berenguel, S. Dormido, and F. Rodríguez, "Education Research in Engineering Studies: Interactivity, Virtual and Remote Labs," 2007.
- [48] D. Müller and J. M. M. Ferreira+, "MARVEL: A mixed-reality learning environment for vocational training in mechatronics," 2013.
- [49] D. Müller and J. M. Ferreira, "Online labs and the MARVEL experience," 2005. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/84652/2/59404.pdf>. [Accessed: 15-Jun-2018].
- [50] "MARVEL." [Online]. Available: www.marvel.uni-bremen.de. [Accessed: 15-Jun-2018].
- [51] D. Müller, "MARVEL – Mechatronics Training in Real and Virtual Environments," 2005.
- [52] S. Gröber, M. Vetter, B. Eckert, and H.-J. Jodl, "Experimenting from a Distance - Remotely Controlled Laboratory (RCL)," *Eur. J. Phys.*, vol. 283, pp. 127–141, 2007.
- [53] L. Toderick, T. Mohammed, and M. H. N. Tabrizi, "Indianapolis, IN 35 th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference S3F-13 A Reservation and Equipment Management System for Secure Hands-on Remote Labs for Information Technology Students," *Front. Educ. 2005. FIE '05. Proc. 35th Annu. Conf.*, 2005.
- [54] H. Saliyah-Hassane, R. C. Correia, and J. M. Fonseca, "A network and repository for online laboratory, based on ontology," in *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, 2013, pp. 1177–1189.
- [55] H.-D. Wuttke, K. Henke, N. Steinmetz, and N. Ludwig, "Remote labs versus virtual labs for teaching digital system design Future Education and Training in Computing: How to Support Learning at Anytime Anywhere (FETCH) View project DESIRE -Development of Embedded System Courses with implementation of Innovativ," 2005.
- [56] "Labshare Network or Labshare Consortium." [Online]. Available: <http://www.labshare.edu.au/project>. [Accessed: 31-May-2018].
- [57] "Site Labshare - Entrada." [Online]. Available: <http://www.labshare.edu.au/>. [Accessed: 26-Aug-2018].
- [58] "VLCAP." [Online]. Available: <http://www.vlab.co.in>. [Accessed: 23-Jun-2018].
- [59] V. J. Harward, J. A. Del Alamo, S. R. Lerman, P. H. Bailey, J. Carpenter, K. DeLong, C. Felknor, J. Hardison, B. Harrison, I. Jabbour, P. D. Long, T. Mao, L. Naamani, J. Northridge, M. Schulz, D. Talavera, C. D. Varadharajan, S. Wang, K. Yehia, R. Zbib, and D. Zych, "The iLab shared architecture: A web services infrastructure to build communities of internet accessible laboratories," *Proc. IEEE*, 2008.
- [60] P. Orduña, J. García-Zubia, D. López-De-Ipiña, P. H. Bailey, J. L. Hardison, K. DeLong, and V. J. Harward, "Sharing laboratories across different remote laboratory systems," in *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2012*, 2012.
- [61] P. Orduna, E. Sancristobal, M. Emaldi, M. Castro, D. Lopez-De-Ipina, and J. Garcia-Zubia, "Modelling remote laboratories integrations in e-learning tools through remote laboratories federation protocols," in *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 2012.
- [62] S. Govaerts, Y. Cao, and A. Vozniuk, "Towards an online lab portal for inquiry-based stem learning at school," *Adv. Web-Based ...*, 2013.

- [63] M. Tawfik, E. S. Cristóbal, A. Pesquera, R. Gil, S. Martin, G. Diaz, J. Peire, M. Castro, R. Pastor, S. Ros, and R. Hernandez, "Shareable educational architectures for remote laboratories," in *Proceedings - 2012 Technologies Applied to Electronics Teaching, TAAE 2012*, 2012.
- [64] P. Orduña, P. H. Bailey, K. DeLong, D. López-De-Ipiña, and J. García-Zubia, "Towards federated interoperable bridges for sharing educational remote laboratories," *Comput. Human Behav.*, vol. 30, pp. 389–395, 2014.
- [65] P. Orduña, S. B. Uribe, N. H. Isaza, E. Sancristobal Ruiz, M. Emaldi, A. P. Martin, K. DeLong, P. Bailey, D. López-De-Ipiña, M. Castro, and J. García-Zubia, "Generic integration of remote laboratories in learning and content management systems through federation protocols," *Proc. - Front. Educ. Conf. FIE*, 2013.
- [66] R. Raman, P. Nedungadi, K. Achuthan, and S. Diwakar, "Integrating Collaboration and Accessibility for Deploying Virtual Labs Using VLCAP," *Int. Trans. J. Eng. Manag. Appl. Sci. & Technologies*, 2011.
- [67] F. Clemente, L. de la Torre, S. Dormido, C. Salzmann, and D. Gillet, "Collecting Data from Remotely Hosted Learning Applications, Online Engineering & Internet of Things: Proceedings of the 14th ... - Google Livros." [Online]. Available: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=A9s1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA170&dq=UNILABS+UNED&ots=dDLQC1BDBh&sig=CLPWff73EPAOBOFjwbHVsJ52Myg&redir_esc=y#v=onepage&q=UNILABS UNED&f=false. [Accessed: 23-Aug-2018].
- [68] "Unilabs Platform." [Online]. Available: <https://unilabs.dia.uned.es/>. [Accessed: 21-Aug-2018].
- [69] "ComPADRE Digital Library." [Online]. Available: <https://www.compadre.org/>. [Accessed: 21-Aug-2018].
- [70] P. Orduña, L. Rodriguez-gil, I. Angulo, O. Dziabenko, and D. López-de-ipiña, "Exploring students collaboration in remote laboratory infrastructures," *IEEE*, pp. 343–347, 2012.
- [71] A. MELLO and E. Torres, "Accesibilidad en la comunicación para sordos oralizados: contribuciones de las tecnologías de información y comunicación," *Congr. Iberoam.*, 2005.
- [72] M. WISINTAINER, "RExLab–Laboratório de Experimentação Remota com o Microcontrolador 8051," *Diss. (Mestrado em Ciência ...)*, 1999.
- [73] A. Silva, F. Formanski, and J. Silva, "Inovação na educação através da experimentação remota como suporte ao ensino," *IADIS Int. Conf.*, 2011.
- [74] J. Bosco, "Labs REXLAB," 1997. [Online]. Available: <http://rexlab.ufsc.br>. [Accessed: 20-Jul-2018].
- [75] M. Serrhini, "Plateformes d'Enseignement à Distance, Etude et Analyse de la Sécurité," Université Mohammed Premier Oujda - Maróc.
- [76] "iLab Shared Architecture from MIT." [Online]. Available: <http://icampus.mit.edu/projects/iLabs>. [Accessed: 20-Aug-2018].
- [77] "Caspie Project." [Online]. Available: <https://stemedhub.org/groups/caspie/overview>. [Accessed: 20-Aug-2018].
- [78] "Lila." [Online]. Available: <http://www.lila-project.org/>. [Accessed: 22-Aug-2018].
- [79] M. Soliman and C. Guetl, "Implementing Intelligent Pedagogical Agents in virtual worlds: Tutoring natural science experiments in OpenWonderland," *2013 IEEE Glob. Eng. Educ. Conf.*, pp. 782–789, Mar. 2013.
- [80] V. Mateos, A. Gallardo, T. Richter, L. Bellido, P. Debicki, and D. V. a. Villagrà, "LiLa Booking System: Architecture and Conceptual Model of a Rig Booking System for On-Line Laboratories," *Int. J. Online Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 26–35, Nov. 2011.
- [81] "Lab2go portuguese portal." [Online]. Available: <http://www.lab2go.net>. [Accessed: 01-Jun-2016].
- [82] "GOLC." [Online]. Available: http://www.online-engineering.org/GOLC_about.php. [Accessed: 25-Aug-2018].
- [83] "DCMI Home: Dublin Core Metadata Initiative (DCMI)." [Online]. Available: <http://dublincore.org/>. [Accessed: 25-Aug-2018].
- [84] "Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra." [Online]. Available: <http://www.uc.pt/fctuc/noticias/n20120302n01>. [Accessed: 30-Aug-2018].

- [85] "experiment@portugal." [Online]. Available: <https://paginas.fe.up.pt/~expat/experimentaportugal/>. [Accessed: 30-Aug-2018].
- [86] "ISILAB." [Online]. Available: <https://isilabitalia.it/>. [Accessed: 30-Aug-2018].
- [87] A. Bagnasco, A. Boccardo, P. Buschiazzo, A. Poggi, and A. M. Scapolla, "A service-oriented educational laboratory for electronics," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 12, pp. 4768–4775, 2009.
- [88] P. Tröger, A. Rasche, F. Feinbube, and R. Wierschke, "SOA Meets Robots-A Service-Based Software Infrastructure For Remote Laboratories," *Proc. 2nd Int. Work. elearning Virtual Remote Lab.*, pp. 57–62, 2008.
- [89] J. G. Zubía and G. R. Alves, *Using Remote Labs in Education*, First. Bilbao: University of Deusto, 2011.
- [90] "Virtual Labs India VCAP." [Online]. Available: <http://www.vlab.co.in>. [Accessed: 23-Jun-2018].
- [91] "Go-lab Portal." [Online]. Available: <http://www.go-lab-project.eu>. [Accessed: 23-Jun-2018].
- [92] M. Cooper, A. . Donnelly, and J. M. Ferreira, "Remote controlled experiments for teaching over the Internet: A comparison of approaches developed in the PEARL project," *ASCILITE*, 2002.
- [93] R. Cordeiro, J. M. Fonseca, and G. R. Alves, "Evolutionary Analysis of Online Labs," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, 2015.
- [94] J. Lerdberg and K. Uncapher, "Towards a national collaboratory," Washington, DC, 1989.
- [95] I. Foster, C. Kesselman, and S. Tuecke, *The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations*, vol. 15, no. 3. 2001.
- [96] V. Mann and M. Parashar, "Engineering an interoperable computational collaboratory on the Grid," *Wiley Online Libr.*, 2003.
- [97] R. Cordeiro, J. M. Fonseca, A. G. Ribeiro, and A. Cardoso, "Combining Intelligent Tutoring Systems and Collaborative Environments with Online Labs," in *Online Experimentation: Emergent Technologies & the Internet of Things*, 2013.
- [98] E. Scanlon, C. Colwell, M. Cooper, and T. Paolo, "Remote Experiments, revisioning and re-thinking science learning," *Comput. Educ.*, vol. 1–2, pp. 153–163, 2004.
- [99] R. Pea, "Learning science through collaborative visualization over the Internet," *Proc. Nobel Symp.*, 2002.
- [100] R. Pea, "Seeing what we build together: Distributed multimedia learning environments for transformative communications," *J. Learn. Sci.*, vol. 3, no. 3, 1994.
- [101] D. Gillet, "Personal learning environments as enablers for connectivist MOOCs," in *2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2013*, 2013.
- [102] M. Weegar and D. Pacis, "A Comparison of Two Theories of Learning -- Behaviorism and Constructivism as applied to Face-to-Face and Online Learning," *E-Leader Manila*, pp. 1–20, 2012.
- [103] P. A. Ertmer and T. J. Newby, "Behaviorism, Cognivism, Constructivism: Comparing Critical Features From an Instructional Design Perspective," *Perform. Improv. Q.*, vol. 26, no. 2, pp. 43–71, 2013.
- [104] S. Gold, "A constructivist approach to online training for online teachers," *Jaln*, vol. 5, no. 1, pp. 35–57, 2001.
- [105] E. Sancristobal, S. Martin, R. Gil, G. Díaz, A. Colmenar, M. Castro, J. Peire, J. M. Gómez, E. López, and P. López, "Integration of internet based labs and open source LMS," in *Proceedings - 3rd International Conference on Internet and Web Applications and Services, ICIW 2008*, 2008.
- [106] P. Orduña, A. Caminero, I. Lequerica, D. G. Zutin, P. Bailey, E. Sancristobal, L. Rodriguez-Gil, A. Robles-Gomez, M. Latorre, K. DeLong, L. Tobarra, S. Ros, M. Castro, D. López-De-Ipiña, and J. Garcia-Zubia, "Generic integration of remote laboratories in public learning tools: Organizational and technical challenges," in *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 2015, vol. 2015–Febru, no. February.
- [107] A. Khalid and M. Azeem, "Constructivist Vs Traditional : Effective instructional approach in teacher

- education," *Int. J. Humanit. Soc. Sci.*, vol. 2, no. 5, pp. 170–177, 2012.
- [108] T. L. Schwartz and B. M. Dunkin, "Facilitating Interdisciplinary Hands-On Learning Using LabVIEW*," *Int. J.*, 2000.
- [109] L. E. Carlson and J. F. Sullivan, "Hands-on Engineering: Learning by Doing in the Integrated Teaching and Learning Program*," *Int. J. Eng. Educ.*, 1999.
- [110] D. Sicker, T. Lookabaugh, J. Santos, and F. Barnes, "Assessing the effectiveness of remote networking laboratories," *Proc. Front. Educ. 35th Annu. Conf.*, 2005.
- [111] D. Sonnenwald and M. Whitton, "Evaluating a scientific collaboratory: Results of a controlled experiment," *ACM Trans. Comput. Interact.*, vol. 10, no. 2, pp. 150–176, 2003.
- [112] S. Engum, P. Jeffries, and L. Fisher, "Intravenous catheter training system: computer-based education versus traditional learning methods," *Am. J. Surg.*, vol. 186, no. 1, pp. 67–74, 2003.
- [113] "Experiment@ Conferences." [Online]. Available: <http://expat.org.pt/home/>. [Accessed: 02-Dec-2018].
- [114] W. Kulesza, I. Gustavsson, D. Garbi-Zutin, M. Auer, A. Marques, A. Fidalgo, G. R. Alves, C. Garcia-Hernandez, R. Tavio, U. Hernandez-Jayo, J. Garcia-Zubia, K. Valtonen, C. Kreiter, R. G. Oros, A. Pester, F. Garcia-Loro, A. Macho, E. Sancristobal, G. Diaz, and M. Castro, "A federation of VISIR remote laboratories through the PILAR Project," *Proc. 2017 4th Exp. Int. Conf. Online Exp. exp.at 2017*, pp. 28–32, 2017.
- [115] C. Kreiter, R. G. Oros, A. Pester, I. Gustavsson, M. Castro, A. Fidalgo, and G. R. Alves, "VISIR federation: Initial building steps: PILAR experience - Work in progress," *Proc. 2017 4th Exp. Int. Conf. Online Exp. exp.at 2017*, pp. 24–27, 2017.
- [116] S. Marchisio, F. Lerro, C. Merendino, M. Plano, S. B. Concari, G. S. De Arregui, J. García-Zubía, U. Hernández-Jayo, G. R. Alves, and I. Gustavsson, "Starting the study of electronic circuits with VISIR: Viewpoints of college students in a pilot test in Argentina," *Proc. 2017 4th Exp. Int. Conf. Online Exp. exp.at 2017*, pp. 18–23, 2017.
- [117] I. Evangelista, J. A. Farina, M. I. Pozzo, E. Dobboletta, G. R. Alves, J. García-Zubía, U. Hernández, S. T. Marchisio, S. B. Concari, and I. Gustavsson, "Science education at high school: A VISIR remote lab implementation," *Proc. 2017 4th Exp. Int. Conf. Online Exp. exp.at 2017*, pp. 13–17, 2017.
- [118] N. Lima, M. Zannin, C. Viegas, A. Marques, G. Alves, M. C. Felgueiras, R. Costa, A. Fidalgo, J. B. Da Silva, M. I. Pozzo, E. Dobboletta, I. Gustavsson, and F. Garcia-Peñalvo, "The VISIR+ project-helping contextualize math in an engineering course," *Proc. 2017 4th Exp. Int. Conf. Online Exp. exp.at 2017*, pp. 7–12, 2017.
- [119] C. Arguedas-Matarrita, S. Beatriz Concari, J. García-Zubía, S. T. Marchisio, U. Hernández-Jayo, G. R. Alves, I. Uriarte-Canivell, M. C. Villalobos, I. Gustavsson, and F. U. Elizondo, "A teacher training workshop to promote the use of the VISIR remote laboratory for electrical circuits teaching," *Proc. 2017 4th Exp. Int. Conf. Online Exp. exp.at 2017*, pp. 1–6, 2017.
- [120] M. C. Viegas, M. A. Marques, G. R. Alves, A. S. Alberto, C. P. Dias, M. J. Alves, and P. S. Guimarães, "On the use of VISIR under different course implementations," *exp.at 2011 - 1st Exp. Int. Conf. Online Exp.*, 2011.
- [121] M. Bochicchio and A. Longo, "Profiling the online laboratories research community and its core," *10th Int. Conf. Remote Eng. Virtual Instrumentation, REV 2013*, pp. 1–5, 2013.
- [122] "Mendeley." [Online]. Available: www.mendeley.com. [Accessed: 27-Feb-2018].
- [123] "GRC 2012 Mendeley Group." [Online]. Available: www.mendeley.com/groups/2967561/golc-reference-collection/. [Accessed: 25-Apr-2018].
- [124] "GRC 2014 Mendeley Group." [Online]. Available: www.mendeley.com/groups/4806341/grc2014-golc-reference-collection-2014/. [Accessed: 25-Apr-2018].
- [125] A. F. Almarshoud, "The advancement in using remote laboratories in electricval engineering education! A review," *Eur. J. Eng. Educ.*, vol. Volume 36, no. Issue 5, pp. 425–433, 2011.
- [126] X. Chen, G. Song, and Y. Zhang, "Virtual and Remote Laboratory Development: A Review," *12th Bienn. Int. Conf. Eng.*, pp. 3843–3852, 2010.

- [127] "ACM digital Library." [Online]. Available: <http://dl.acm.org/>. [Accessed: 02-Apr-2018].
- [128] "DBLP Computer Science Bibliography." [Online]. Available: <http://www.informatik.uni.trier.de/~ley/db>. [Accessed: 24-Apr-2018].
- [129] "IEEE Xplore Digital Library." [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. [Accessed: 30-Mar-2018].
- [130] "Microsoft Academic Search." [Online]. Available: <https://academic.microsoft.com/>. [Accessed: 30-Mar-2018].
- [131] "ScienceDirect." [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/>. [Accessed: 26-Apr-2018].
- [132] "Scopus." [Online]. Available: <https://www.scopus.com/home.uri>. [Accessed: 27-Apr-2018].
- [133] "Web of Science." [Online]. Available: <https://www.webofknowledge.com/>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [134] "International Journal of Online Engineering (iJOE)." [Online]. Available: www.i-joe.org/. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [135] "Zotero." [Online]. Available: <https://www.zotero.org/>. [Accessed: 26-Mar-2018].
- [136] "JabRef." [Online]. Available: www.jabref.org/. [Accessed: 30-Apr-2018].
- [137] "EndNote | Clarivate Analytics." [Online]. Available: <https://endnote.com/>. [Accessed: 28-Apr-2018].
- [138] "Publish or Perish." [Online]. Available: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>. [Accessed: 29-Apr-2018].
- [139] "International Association of Online Engineering (IAOE)." [Online]. Available: <http://online-engineering.org/>. [Accessed: 30-Apr-2018].
- [140] "Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)." [Online]. Available: <https://www.ieee.org/>. [Accessed: 23-Feb-2018].
- [141] "ABET." [Online]. Available: <http://www.abet.org/>. [Accessed: 26-Mar-2018].
- [142] R. Miller, "Psychological considerations in the design of training equipment," 1954.
- [143] T. B. Sheridan, "Musings on Telepresence and Virtual Presence," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 1, no. 1, pp. 120–126, Jan. 1992.
- [144] K. Bystrom and W. Barfield, "Collaborative task performance for learning using a virtual environment," *Presences*, vol. 8, no. 4, pp. 435–488, 1999.
- [145] S. W. Woodrow Barfield, "The Sense of Presence within Virtual Environments: A Conceptual Framework - Semantic Scholar," *Hum. Comput. Interact.*, pp. 699–704, 1993.
- [146] N. S. Edward, "The Role of Laboratory Work in Engineering Education: Student and Staff Perceptions," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 39, no. 1, pp. 11–19, Jan. 2002.
- [147] A. D. Grant, "The Effective Use of Laboratories in Undergraduate Courses," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, vol. 23, no. 2, pp. 95–101, Apr. 1995.
- [148] J. Collins, "Reflections on teaching experimentation to 'applications' engineering undergraduates," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, 1986.
- [149] B. Fisher, "Evaluating mechanical engineering laboratory work," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, 1977.
- [150] G. Faucher, "The role of laboratories in engineering education," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, 1985.
- [151] D. Magin and S. Kanapathipillai, "Engineering students' understanding of the role of experimentation," *Eur. J. Eng. Educ.*, vol. 25, no. 4, pp. 351–358, Dec. 2000.
- [152] D. J. Magin, "Confidence and critical awareness as factors in the development of experimentation skills in

- laboratory courses," *High. Educ.*, vol. 13, no. 3, pp. 275–288, Jun. 1984.
- [153] L. Elton, "Improving the cost-effectiveness of laboratory teaching," *Stud. High. Educ.*, vol. 8, no. 1, pp. 79–85, Jan. 1983.
- [154] C. A. R. Berg, V. C. B. Bergendahl, B. Lundberg, and L. Tibell, "Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to, and outcomes of, an expository versus an open-inquiry version of the same experiment," *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 25, no. 3, pp. 351–372, Jan. 2003.
- [155] J. Tapper, "Topics and manner of talk in undergraduate practical laboratories," *Int. J. Sci. Educ.*, 1999.
- [156] D. G. Martin and J. C. Lewis, "Effective laboratory teaching," *Bull. Mech. Eng. Educ.*, 1968.
- [157] D. J. Magin, "Ends and means in laboratory teaching," *Bull. Mech. Eng. Educ.*, 1969.
- [158] R. L. Miller, J. F. Ely, R. M. Baldwin, and B. M. Olds, "ERIC - Higher-Order Thinking in the Unit Operations Laboratory., Chemical Engineering Education (CEE), 1998," 1998. [Online]. Available: <https://eric.ed.gov/?id=EJ569277>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [159] H. V. Beck, "Practical class work at the cavendish laboratory: A new approach," *Contemp. Phys.*, vol. 4, no. 3, pp. 206–220, Feb. 1963.
- [160] B. D. Drake, G. M. Acosta, D. A. Wingard, and R. L. Smith, "Improving Creativity, Solving Problems, and Communicating with Peers in Engineering and Science Laboratories," *J. Chem. Educ.*, vol. 71, no. 7, p. 592, Jul. 1994.
- [161] W. M. Roth, C. J. McRobbie, K. B. Lucas, and S. Boutonné, "The local production of order in traditional science laboratories: A phenomenological analysis," *Learn. Instr.*, 1997.
- [162] J. Wentz, W. H., Jr. | Snyder, M. H., "Teaching Research in an Undergraduate Laboratory.," *Eng. Educ.*, 1974.
- [163] L. Schauble, R. Glaser, R. A. Duschl, S. Schulze, and J. John, "Students' Understanding of the Objectives and Procedures of Experimentation in the Science Classroom," *J. Learn. Sci.*, 1995.
- [164] R. Kozma, E. Chin, J. Russell, and N. Marx, "The Roles of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning," *J. Learn. Sci.*, 2000.
- [165] M. Chetty and K. P. Dabke, "Towards a Web-Based Control Engineering Laboratory," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 37, no. 1, pp. 38–47, Jan. 2000.
- [166] M. J. Fernández-Iglesias, F. J. González-Castaño, and J. M. Pousada-Carballo, "An undergraduate low-level computer communications laboratory oriented towards industry," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, 2000.
- [167] S. Sehati, "Re-Engineering the Practical Laboratory Session," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 37, no. 1, pp. 86–94, Jan. 2000.
- [168] N. Ertugrul, "New Era in Engineering Experiments: an Integrated and Interactive Teaching/Learning Approach, and Real-Time Visualisations*," *Int. J. Eng. Educ.*, 1998.
- [169] R. B. Wicker and H. I. Loya, "A Vision-based Experiment for Mechanical Engineering Laboratory Courses*," *Int. J. Eng. Educ.*, 2000.
- [170] P. R. Smith and D. Pollard, "The role of computer simulations in engineering education," *Comput. Educ.*, vol. 10, no. 3, pp. 335–340, Jan. 1986.
- [171] E. García-Luque, T. Ortega, J. M. Forja, and A. Gómez-Parra, "Using a laboratory simulator in the teaching and study of chemical processes in estuarine systems," in *Computers and Education*, 2004.
- [172] N. S. Edward, "Evaluation of computer based laboratory simulation," *Comput. Educ.*, vol. 26, no. 1–3, pp. 123–130, Apr. 1996.
- [173] E. L. Dobson, M. Hill, and J. D. Turner, "An evaluation of the student response to electronics teaching using a CAL package," *Comput. Educ.*, 1995.
- [174] D. J. Magin and J. A. Reizes, "Computer simulation of laboratory experiments: An unrealized potential,"

Comput. Educ., vol. 14, no. 3, pp. 263–270, Jan. 1990.

- [175] D. Shin, E. S. Yoon, K. Y. Lee, and E. S. Lee, "A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education: Issues, design and implementation," in *Computers and Chemical Engineering*, 2002.
- [176] V. G. Gomes, B. Choy, G. W. Barton, and J. A. Romagnoli, "Web-Based Courseware in Teaching Laboratory-Based Courses*," *UICEE Glob. J. Engng. Educ*, vol. 4, no. 1, 2000.
- [177] D. Raineri, "Virtual laboratories enhance traditional undergraduate biology laboratories," *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, 2001.
- [178] M. Stefanovic, "The objectives, architectures and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education," *Comput. Educ.*, vol. 69, pp. 250–262, 2013.
- [179] D. C. Edelson, D. N. Gordin, and R. D. Pea, "Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning Through Technology and Curriculum Design," *J. Learn. Sci.*, 1999.
- [180] M. Budhu, "Interactive multimedia web-based courseware with virtual laboratories," *Proc. CATE Comput. Adv. Technol. Educ.*, 2000.
- [181] N. Ertugrul, "Cost effective and advanced teaching laboratory development at the University of Adelaide.," *Proc. IASTED Int. Conf. an Comput. Adv. Technol. Educ.*, 2000.
- [182] G. G. Karady, G. T. Heydt, K. J. Olejniczak, H. A. Mantooth, S. Iwamoto, and M. L. Crow, "Role of laboratory education in power engineering: is the virtual laboratory feasible? Part I," in *IEEE*, 2000.
- [183] G. G. Karady, M. Reta-Hernandez, and A. Bose, "Role of laboratory education in power engineering: Is the virtual laboratory feasible? Part II." pp. 1478–1483, 2000.
- [184] A. P. Sakis Meliopoulos and G. J. Cokkinides, "Role of laboratory education in power engineering: is the virtual laboratory feasible? III. Virtual power system laboratories: is the technology ready," *2000 Power Eng. Soc. Summer Meet. (Cat. No.00CH37134)*, 2000.
- [185] K. K. Tan, T. H. Lee, and F. M. Leu, "Development of a Distant Laboratory using LabVIEW," *Int. J. Eng. Educ.*, 2000.
- [186] W. J. Hutzal, "A remotely accessed HVAC laboratory for distance education," *Int. J. Eng. Educ.*, vol. 18, no. 6, pp. 711–76, 2002.
- [187] I. Gustavsson, "Remote laboratory experiments in electrical engineering education," *Proc. Fourth IEEE Int. Caracas Conf. Devices, Circuits Syst. (Cat. No.02TH8611)*, 2002.
- [188] P. J. Vial and P. Doulai, "Using embedded Internet devices in an Internet engineering laboratory set-up," *Int. J. Eng. Educ.*, 2003.
- [189] F. Naghdy, P. Vial, and N. Taylor, "Embedded Internet Laboratory*," *Int. J. Eng. Educ.*, 2003.
- [190] D. Krehbiel, R. Zerger, and J. K. Piper, "A Remote-Access LabVIEW-based Laboratory for Environmental and Ecological Science*," *Int. J. Eng. Educ.*, 2003.
- [191] H. Shen, Z. Xu, B. Dalager, V. Kristiansen, Strøm, M. S. Shur, T. A. Fjeldly, J. Q. Lü, and T. Ytterdal, "Conducting laboratory experiments over the internet," *IEEE Trans. Educ.*, 1999.
- [192] P. Arpaia, A. Baccigalupi, F. Cennamo, and P. Daponte, "A measurement laboratory on geographic network for remote test experiments," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2000.
- [193] M. M. Albu, K. E. Holbert, G. T. Heydt, S. D. Grigorescu, and V. Truşcă, "Embedding Remote Experimentation in Power Engineering Education," *IEEE Trans. Power Syst.*, 2004.
- [194] P. Baxendale and J. Mellor, "A 'virtual Laboratory' for Research Training and Collaboration," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 37, no. 1, pp. 95–107, Jan. 2000.
- [195] S. Zimmerli, M. A. Steinemann, and T. Braun, "Resource management portal for laboratories using real devices on the Internet," *Comput. Commun. Rev.*, 2003.

- [196] P. Arpaia, A. Baccigalupi, F. Cennamo, and P. Daponte, "A remote measurement laboratory for educational experiments," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 1997.
- [197] U. Thakkar, B. Carragher, L. Carroll, C. Conway, B. Grosser, N. Kisseberth, C. S. Potter, S. Robinson, J. Sinn-Hanlon, D. Stone, and D. Weber, "Formative Evaluation of Bugscope: A Sustainable World Wide Laboratory for K-12," pp. 1689–1699, 2000.
- [198] S. H. Chen, C. C. Ko, Y. Zhuang, S. Y. Hu, V. Ramakrishnan, B. M. Chen, and R. Chen, "A large-scale Web-based virtual oscilloscope laboratory experiment," *Eng. Sci. Educ. J.*, 2000.
- [199] C. Rohrig and A. Jochheim, "Group-based learning using a remote laboratory," in *Proceedings of the 2001 American Control Conference. (Cat. No.01CH37148)*, 2001, pp. 1153–1154 vol.2.
- [200] T. A. Fjeldly and S. Kolberg, "Web Services Remote Educational Laboratory," 2004, no. 1.
- [201] "Modeling & Systems Handout for ECR." [Online]. Available: [https://www.fs.fed.us/emc/nepa/ecr2008/sessions/materials/18/Modeling & System Handout.pdf](https://www.fs.fed.us/emc/nepa/ecr2008/sessions/materials/18/Modeling%20&%20System%20Handout.pdf). [Accessed: 30-Jun-2018].
- [202] N. A. Hine, G. R. Alves, H. . Erbr, J. . Alves, C. Pereira, J. M. Ferreira, L. E. Sucar, O. A. Herrera, L. Chiang, and J. B. Zubia, "Institutional factors governing the deployment of remote experiments: Lessons from the REXNET project," *recipp.ipp.pt*, 2007.
- [203] C. Darwin and T. Origin, "Charles Darwin and the origin of species," *Eugen. Rev.*, vol. 2, no. 1, pp. 86–87, 1910.
- [204] "Way Back Machine." [Online]. Available: <https://archive.org/web/>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [205] "RemLabNet." [Online]. Available: <http://www.remlabnet.eu/>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [206] G. McKee and B. Brooks, "Interactive Robotics Using the Internet," *Comput. Sci. Educ.*, vol. 7, no. 2, pp. 279–290, Jan. 1996.
- [207] G. McKee and R. Barson, "Using the Internet to share a robotics laboratory," *Int. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 115–122, 1996.
- [208] "Oregon State University." [Online]. Available: <https://oregonstate.edu/>. [Accessed: 17-Aug-2018].
- [209] L. Gomes and S. Bogosyan, "Current Trends in Remote Laboratories," *Ind. Electron. IEEE Trans.*, 2009.
- [210] S. D. Bencomo, "Control learning: Present and future," *Annu. Rev. Control*, 2004.
- [211] N. Faltin, A. Böhne, J. Tuttas, and B. Wagner, "Distributed Team Learning in an Internet-Assisted Laboratory Innovations in Virtual and Remote Laboratories Distributed Team Learning in an Internet-Assisted Laboratory," *Eng. Educ.*, 2002.
- [212] R. Heradio, L. de la Torre, D. Galan, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, and S. Dormido, "Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis," *Comput. Educ.*, vol. 98, pp. 14–38, Jul. 2016.
- [213] C. Gravier, J. Fayolle, B. Bayard, M. Ates, and J. Lardon, "State of the Art About Remote Laboratories Paradigms – Foundations of Ongoing Mutations," *Int. J. Online Eng.*, 2008.
- [214] A. Azad, "Internet Accessible Remote Laboratories: Scalable E-Learning Tools for Engineering and Science Disciplines: Scalable E-Learning Tools for Engineering," 2011.
- [215] S. Martin, G. Diaz, E. Sancristobal, R. Gil, M. Castro, and J. Peire, "New technology trends in education: Seven years of forecasts and convergence," *Comput. Educ.*, vol. 57, no. 3, pp. 1893–1906, Nov. 2011.
- [216] E. Garfield, "Introducing citation classics. The human side of scientific reports," *Curr. Comments*, pp. 5–7, 1977.
- [217] M. Callon, J. P. Courtial, and F. Laville, "Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry," *Scientometrics*, vol. 22, no. 1, pp. 155–205, Sep. 1991.

- [218] J. E. Hirsch, "An index to quantify an individual's scientific research output," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 102, no. 46, pp. 16569–16572, 2005.
- [219] N. Coulter, I. Monarch, and S. Konda, "Software engineering as seen through its research literature: A study in co-word analysis," *J. Am. Soc. Inf. Sci.*, vol. 49, no. 13, pp. 1206–1223, 1998.
- [220] V. Gomez-Jauregui, C. Gomez-Jauregui, C. Manchado, and C. Otero, "Information management and improvement of citation indices," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 34, no. 2, pp. 257–271, Apr. 2014.
- [221] E. S. Vieira and J. A. N. F. Gomes, "A comparison of Scopus and Web of science for a typical university," *Scientometrics*, vol. 81, no. 2, pp. 587–600, 2009.
- [222] E. C. M. Noyons, H. F. Moed, and A. F. J. Van Raan, "Integrating research performance analysis and science mapping," *Scientometrics*, vol. 46, no. 3, pp. 591–604, 1999.
- [223] M. J. Cobo, A. G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera, "SciMAT: A new science mapping analysis software tool," *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 8, pp. 1609–1630, 2012.
- [224] E. Garfield, "Citation indexing: Its theory and application in science, technology, and humanities," *Humanities*, p. 1983, 1979.
- [225] "Web of Science - Clarivate Analytics." [Online]. Available: <http://wokinfo.com/>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [226] M. A. Martínez, M. Herrera, J. López-Gijón, and E. Herrera-Viedma, "H-Classics: Characterizing the concept of citation classics through H-index," *Scientometrics*, vol. 98, no. 3, pp. 1971–1983, 2014.
- [227] I. Gustavsson, K. Nilsson, J. Zackrisson, J. Garcia-Zubia, U. Hernandez-Jayo, A. Nafalski, Z. Nedic, Ö. Gö, J. MacHotka, M. I. Pettersson, T. Lagö, and L. Håkansson, "On objectives of instructional laboratories, individual assessment, and use of collaborative remote laboratories," *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 263–274, 2009.
- [228] J. Bourne, D. Harris, and F. Mayadas, "Online engineering education: Learning anywhere, anytime," *Journal of Engineering Education*. 2005.
- [229] B. Balamuralithara and P. C. Woods, "Virtual laboratories in engineering education: the simulation lab and remote lab," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 2009.
- [230] J. Garcia-Zubia, P. Orduna, D. Lopez-de-Ipina, and G. R. Alves, "Addressing Software Impact in the Design of Remote Laboratories," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 12, pp. 4757–4767, 2009.
- [231] D. Hercog, B. Gergic, S. Uran, and K. Jezernik, "A DSP-Based Remote Control Laboratory," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 6, pp. 3057–3068, 2007.
- [232] L. Gomes and S. Bogosyan, "Current Trends in Remote Laboratories," *Ind. Electron. IEEE Trans.*, vol. 56, no. 12, pp. 4744–4756, 2009.
- [233] A. Ferrero and V. Piuri, "A simulation tool for virtual laboratory experiments in a WWW environment," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 48, no. 3, pp. 741–746, Jun. 1999.
- [234] N. Ertugrul, "Towards Virtual Laboratories: A Survey of LabVIEW-based Teaching/ Learning Tools and Future Trends," *Int. J. Eng. Educ.*, 2000.
- [235] A. Valera, J. L. Díez, M. Vallés, and P. Albertos, "Virtual and remote control laboratory development," *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 25, no. 1, pp. 35–39, 2005.
- [236] M. Bertocco, F. Ferraris, C. Offelli, and M. Parvis, "A client-server architecture for distributed measurement systems," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 47, no. 5, pp. 1143–1148, 1998.
- [237] J. Sanchez, F. Morilla, S. Dormido, J. Aranda, and P. Ruiperez, "Virtual and Remote Control Labs Using Java: A Qualitative Approach," *IEEE Control Syst.*, 2002.
- [238] C. Colwell, E. Scanlon, and M. Cooper, "Using remote laboratories to extend access to science and engineering," *Comput. Educ.*, vol. 38, no. 1–3, pp. 65–76, 2002.
- [239] D. Lowe, S. Murray, E. Lindsay, and D. Liu, "Evolving remote laboratory architectures to leverage emerging

- internet technologies," *IEEE Trans. Learn. Technol.*, 2009.
- [240] B. Aktan, C. A. Bohus, L. A. Crowl, and M. H. Shor, "Distance learning applied to control engineering laboratories," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 39, no. 3, pp. 320–326, 1996.
- [241] D. Gillet, H. a Latchman, C. H. Salzmann, and O. D. Crisalle, "Hands-On Laboratory Experiments in Flexible and Distance Learning.," *J. Eng. Educ.*, 2001.
- [242] M. Huba and M. Simunek, "Modular Approach to Teaching PID Control," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 6, pp. 3112–3121, Dec. 2007.
- [243] R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sanchez, S. Dormido-Canto, G. Farias, F. Esquembre, and S. Dormido, "Development of a Web-Based Control Laboratory for Automation Technicians: The Three-Tank System," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 51, no. 1, pp. 35–44, 2008.
- [244] J. Sanchez, S. Dormido, R. Pastor, and F. Morilla, "A Java/Matlab-Based Environment for Remote Control System Laboratories: Illustrated With an Inverted Pendulum," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 47, no. 3, pp. 321–329, Aug. 2004.
- [245] C. C. Ko, B. M. Chen, S. Hu, V. Ramakrishnan, C. D. Cheng, Y. Zhuang, and J. Chen, "A web-based virtual laboratory on a frequency modulation experiment," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, 2001.
- [246] K. D. Forbus, P. B. Whalley, J. O. Everett, L. Ureel, M. Brokowski, J. Baher, and S. E. Kuehne, "CyclePad: An articulate virtual laboratory for engineering thermodynamics," *Artif. Intell.*, 1999.
- [247] M. D. Koretsky, D. Amatore, C. Barnes, and S. Kimura, "Enhancement of Student Learning in Experimental Design Using a Virtual Laboratory," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 51, no. 1, pp. 76–85, 2008.
- [248] L. Benetazzo, M. Bertocco, F. Ferraris, A. Ferrero, C. Offelli, M. Parvis, and V. Piuri, "Politecnico di Torino Porto Institutional Repository [Article] A Web-Based Distributed Virtual Educational Laboratory A Web-Based Distributed Virtual Educational Laboratory," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, no. 2, pp. 349–356, 2000.
- [249] O. G. Bellmunt, D. M. Miracle, S. G. Arellano, A. Sumper, and A. S. Andreu, "A distance PLC programming course employing a remote laboratory based on a flexible manufacturing cell," *IEEE Trans. Educ.*, 2006.
- [250] C. C. Ko, B. M. Chen, Jianping Chen, Y. Zhuang, and K. Chen Tan, "Development of a web-based laboratory for control experiments on a coupled tank apparatus," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 44, no. 1, pp. 76–86, 2001.
- [251] E. Guimaraes, A. Maffeis, J. Pereira, B. Russo, E. Cardozo, M. Bergerman, and M. F. Magalhaes, "REAL: a virtual laboratory for mobile robot experiments," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 46, no. 1, pp. 37–42, Feb. 2003.
- [252] M. T. Restivo, J. Mendes, A. M. Lopes, C. M. Silva, and F. Chouzal, "A remote laboratory in engineering measurement," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2009.
- [253] W. R. van Joolingen, T. de Jong, A. W. Lazonder, E. R. Savelsbergh, and S. Manlove, "Co-Lab: research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning," *Comput. Human Behav.*, vol. 21, no. 4, pp. 671–688, Jul. 2005.
- [254] D. Gillet, A. V. N. NguyenNgoc, and Y. Rekik, *Collaborative Web-Based Experimentation in Flexible Engineering Education*, vol. 48, no. 4. 2005.
- [255] C. A. Jara, F. A. Candelas, F. Torres, S. Dormido, F. Esquembre, and O. Reinoso, "Real-time collaboration of virtual laboratories through the Internet," *Comput. Educ.*, vol. 52, no. 1, pp. 126–140, 2009.
- [256] M. Ogot, G. Elliott, and N. Glumac, "An Assessment of In-Person and Remotely Operated Laboratories," *J. Eng. Educ.*, vol. 92, no. 1, 2013.
- [257] J. V. Nickerson, J. E. Corter, S. K. Esche, and C. Chassapis, "A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education," *Comput. Educ.*, vol. 49, no. 3, pp. 708–725, Nov. 2007.
- [258] C. S. Tzafestas, N. Palaiologou, and M. Alifragis, "Virtual and remote robotic laboratory: Comparative experimental evaluation," *IEEE Trans. Educ.*, 2006.
- [259] E. D. Lindsay and M. C. Good, "Effects of laboratory access modes upon learning outcomes," *IEEE Trans.*

- Educ.*, vol. 48, no. 4, pp. 619–631, 2005.
- [260] Z. C. Zacharia, “Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students’ conceptual understanding of electric circuits,” *J. Comput. Assist. Learn.*, 2007.
- [261] B. Dalgarno, A. G. Bishop, W. Adlong, and D. R. Bedgood, “Effectiveness of a Virtual Laboratory as a preparatory resource for Distance Education chemistry students,” *Comput. Educ.*, 2009.
- [262] E. Scanlon, C. Colwell, M. Cooper, and T. Di Paolo, “Remote experiments, re-versioning and re-thinking science learning,” in *Computers and Education*, 2004.
- [263] T. F. Wiesner and W. Lan, “Comparison of Student Learning in Physical and Simulated Unit Operations Experiments,” *J. Eng. Educ.*, vol. 93, no. 3, pp. 195–204, Jul. 2004.
- [264] S. Hennessy, J. Wishart, D. Whitelock, R. Deaney, R. Brawn, L. la Velle, A. McFarlane, K. Ruthven, and M. Winterbottom, “Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching,” *Comput. Educ.*, 2007.
- [265] M. Abdulwahed and Z. K. Nagy, “Applying Kolb’s experiential learning cycle for laboratory education,” *J. Eng. Educ.*, 2009.
- [266] A. Rip and J.-P. Courtial, “Co-word maps of biotechnology: An example of cognitive scientometrics,” *Scientometrics*, vol. 6, no. 6, pp. 381–400, Nov. 1984.
- [267] M. Zitt, E. Bassecoulard, and Y. Okubo, “Shadows of the Past in International Cooperation: Collaboration Profiles of the Top Five Producers of Science,” *Scientometrics*, vol. 47, no. 3, pp. 627–657, 2000.
- [268] N. J. Van Eck and L. Waltman, “Bibliometric Mapping of the Computational Intelligence Field,” *Int. J. Uncertainty, Fuzziness Knowledge-Based Syst.*, vol. 15, pp. 625–645, 2007.
- [269] “Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the ... - Google Livros.” [Online]. Available: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=_cCwCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Mapping+the+dynamics+of+science+and+technology&ots=XWtbDwylXu&sig=Ck_F-bydrxQDKKTFDvjdxM_9xQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. [Accessed: 01-Jul-2018].
- [270] V. Kandyas, S. P. Upham, and L. H. Ungar, “Analyzing knowledge communities using foreground and background clusters,” *ACM Trans. Knowl. Discov. Data*, vol. 4, no. 2, pp. 1–35, 2010.
- [271] R. Bailón-Moreno, E. Jurado-Alameda, and R. Ruiz-Baños, “The scientific network of surfactants: Structural analysis,” *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, 2006.
- [272] M. J. Cobo, A. G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera, “Science Mapping Software Tools: Review, Analysis, and Cooperative Study Among Tools,” *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, 2011.
- [273] N. Coulter, I. Monarch, and S. Konda, “Software engineering as seen through its research literature: A study in co-word analysis,” *J. Am. Soc. Inf. Sci.*, 1998.
- [274] A. G. López-Herrera, J. C. Manolo, E. Herrera-Viedma, F. Herrera, and E. Bailón-Moreno, Rafael Jiménez-Contreras, “Visualization and evolution of the scientific structure of fuzzy sets research in Spain,” *Inf. Res.*, vol. 14, 2009.
- [275] M. A. Vouk, D. L. Bitzer, and R. L. Klevans, “Workflow and end-user quality of service issues in Web-based education,” *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 11, no. 4, pp. 673–687, 1999.
- [276] M. Garcia-Famoso and R. R. Moya, “Towards the integration of remote laboratories into learning management systems,” *2005 IEEE Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom.*, vol. 2, 2005.
- [277] “About CiteSeerX | CiteSeerX.” [Online]. Available: <http://csxstatic.ist.psu.edu/about>. [Accessed: 04-Jul-2018].
- [278] M. A. Bochicchio and A. Longo, “Extending LMS with collaborative remote lab features,” in *Proceedings - 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2010*, 2010.
- [279] L. de la Torre, M. Guinaldo, and R. Heradio, “The ball and beam system: A case study of virtual and remote lab enhancement with moodle,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, pp. 934–945, 2015.

- [280] J. García-Zubia, J. Irurzun, I. Angulo, U. Hernández, M. Castro, E. Sancristobal, P. Orduña, and J. Ruiz-de-Garibay, "SecondLab: A remote laboratory under second life," in *2010 IEEE Education Engineering Conference, EDUCON 2010*, 2010.
- [281] J. Fayolle, C. Gravier, and B. Jailly, "Collaborative remote laboratory in virtual world," 2010.
- [282] C. A. Jara, F. A. Candelas, F. Torres, S. Dormido, and F. Esquembre, "Synchronous collaboration of virtual and remote laboratories," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 20, no. 1, pp. 124–136, Mar. 2012.
- [283] C. Viegas, A. Pavani, N. Lima, A. Marques, and I. Pozzo, "Impact of a remote lab on teaching practices and student learning," *Comput. Educ.*, pp. 201–216, 2018.
- [284] H.-D. Wuttke, M. Hamann, and K. Henke, "Integration of remote and virtual laboratories in the educational process," in *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 2015, pp. 157–162.
- [285] P. Orduna, A. Almeida, and D. López-de-Ipina, "Learning analytics on federated remote laboratories: tips and techniques," *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf.*, pp. 299–305, 2014.
- [286] S. Romero, M. Guenaga, J. Garcia-Zubia, and P. Orduna, "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 (SIE)*, 2014, pp. 227–230.
- [287] V. Harward, "iLab: A Scalable Architecture for Sharing Online Experiments Authors," 2004.
- [288] S. Colbran and M. Schulz, "An update to the software architecture of the iLab Service Broker," in *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 2015, pp. 90–93.
- [289] "WebLab-Deusto." [Online]. Available: <https://weblab.deusto.es/website/>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [290] "Labshare Sahara." [Online]. Available: <https://sourceforge.net/projects/labshare-sahara/>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [291] D. Lowe, H. Yeung, M. Tawfik, E. Sancristobal, M. Castro, P. Orduña, and T. Richter, "Interoperating remote laboratory management systems (RLMSs) for more efficient sharing of laboratory resources," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 43, pp. 21–29, 2016.

Anexo/Repositório Digital

Esta dissertação inclui um anexo, em forma de repositório digital com vários ficheiros de trabalhos desenvolvidos ao longo da sua execução e disponíveis em: www.rcc7.net/phd

Concretamente são disponibilizados os seguintes conteúdos:

- Ficheiros excel da 1ª fase de pesquisa - www.rcc7.net/phd/1fase_pesquisa.rar
- Ficheiros excel da 2ª fase de pesquisa - www.rcc7.net/phd/2fase_pesquisa.rar
- Ficheiros excel da 3ª fase de pesquisa - www.rcc7.net/phd/3fase_pesquisa.rar
- Grupo Mendeley Bibliometric_onlinelabs:
https://www.mendeley.com/community/bibliometric_onlinelabs/

Anexo I

Condições a observar para a criação e manutenção dum sistema de VRLs

1. Introdução e Fundamentação

Quando se pretende criar e manter um sistema de Laboratórios Remotos e Virtuais existem várias condições e premissas a ser respeitadas.

Tanto no plano técnico como no plano humano.

Tal como é exposto nesta dissertação, e atendendo à Teoria Geral de Sistemas, as condições a observar no plano técnico traduzem-se por um acoplamento estrutural com o sistema criado. As condições humanas traduzem-se pelo acoplamento energético, tal como se pode observar na figura 1.1.



Figura 1.1 - Acoplamento estrutural e energético

Desta dissertação resulta que tantos elementos técnicos como humanos são essências para a criação com sucesso dum sistema de Laboratórios Remotos e Virtuais (VRLs – Virtual and Remote Labs).

Esses elementos e premissas são evidenciados no modelo que foi proposto que se apresenta na figura 2.1.

2. Modelo proposto e seus elementos

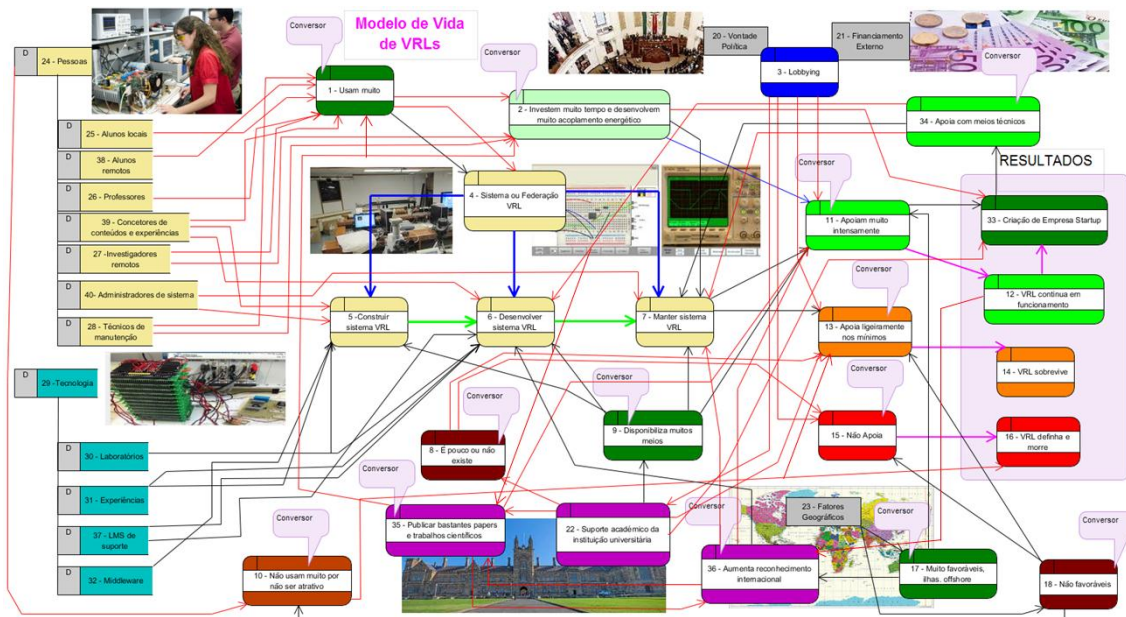


Figura 2.1 - Modelo proposto

Neste modelo podemos observar os “inputs” necessários para a criação e manutenção com sucesso dum sistema de VRLs.

O modelo pode ser “lido” da esquerda para a direita e assim observamos que há dois elementos essenciais (que depois se dividem em vários outros) que são os seguintes:

- Pessoas com um elevado grau de motivação e empenho no projecto (que traduzem o acoplamento energético)



Figura 2.2 – Sub-classes do STORE de pessoas envolvidas num projeto de VRLs

- Tecnologia adequada (que traduz o acoplamento estrutural)

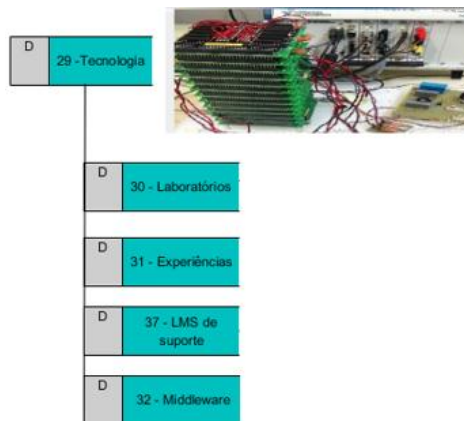


Figura 2.3 - Sub-classes do STORE de tecnologia de suporte dum sistema de VRLs

Existem no entanto também factores externos que nunca podem deixar de ser considerados, e são essenciais para conseguir um a criação e manutenção dum sistema de VRLs com resultado de sucesso :

- Apoio financeiro e *lobbying* que suporta o sistema (acoplamento energético):



Figura 2.4 - Lobbying político e apoio financeiro que suporta e mantém o projeto

- Outra situação também não menos importante a ter em conta é a localização geográfica mais ou menos favorável onde está sediado o sistema. Naturalmente se fôr numa zona onde os alunos que vão utilizar o sistema tenham dificuldades de acesso, por exemplo uma ilha ou como o exemplo australiano um continente, mas onde os alunos estejam em localizações *offshore* é naturalmente um factor externo que influencia muito positivamente o projecto.



Figura 2.5 - Factores geográficos que influenciam o sistema

- Ainda a ter em conta como um factor muito importante é o apoio académico e o reconhecimento internacional, nomeadamente junto doutras universidades que tem de existir para que o sistema sobreviva e se mantenha “saudável”. É essencial neste caso manter um elevado nível de publicações científicas quer em número, quer em qualidade para que o sistema tenha visibilidade, possa crescer e eventualmente associar-se de diferentes formas a outras entidades.

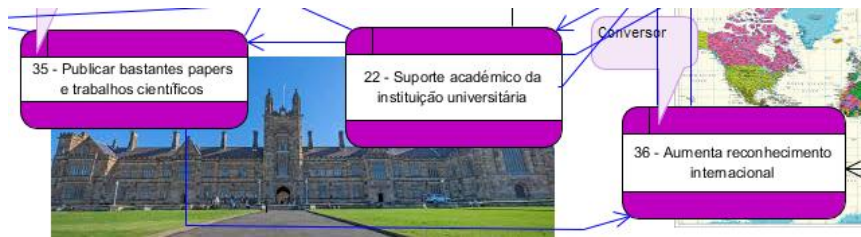


Figura 2.6 - processos de dinâmica e suporte académico que contribuem para a manutenção "saudável" do sistema de VRLs

3. Vertente Comercial

Um fator essencial é também garantir uma certa independência e auto-sustentabilidade ao sistema para garantir que ele sobrevive também sem apoios institucionais.

Tal pode ser conseguido criando uma vertente comercial de apoio e suporte ao projecto, não o deixando apenas numa vertente científica e académica.

Um meio de conseguir essa vertente é a criação de firmas comerciais de apoio às actividades do sistema, que podem comercializar serviços prestados a terceiros, comercializar equipamentos ligados a sistemas de VRLs, que podem inclusive ter sido desenvolvidos no âmbito da componente científica do sistema.

Estas firmas de suporte vêm gerar um importante acoplamento energético pois podem dar emprego a estudantes finalistas, professores e investigadores que trabalhem no projecto, contribuindo assim também para a sua sustentabilidade.

No presente modelo tal é mostrado no lado direito da imagem através dos processos nº 33 e 34 que como se pode observar garantem um apoio e *feedback* a toda a estrutura de funcionamento do projecto.

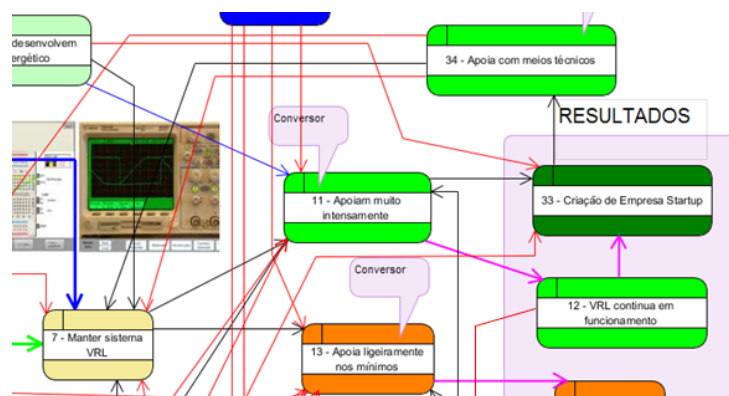


Figura 3.1 - Ciclo 7 -> 11 -> 33 -> 34 -> 7 que garantem o feedback e manutenção do sistema

Tal como será abordado no Anexo II a esta dissertação ([Análise, interpretação e leitura do modelo proposto](#)), são os ciclos que garantem a boa saúde e "longevidade" dos sistemas de VRLs, por isso esta componente comercial traduzida nos processos 33 e 34, e que garante o ciclo 7-> 11 -> 33 -> 34 -> 7, é essencial na manutenção do sistema.

Anexo II

Análise, Interpretação e Leitura do Modelo Proposto

1. Introdução e Fundamentação

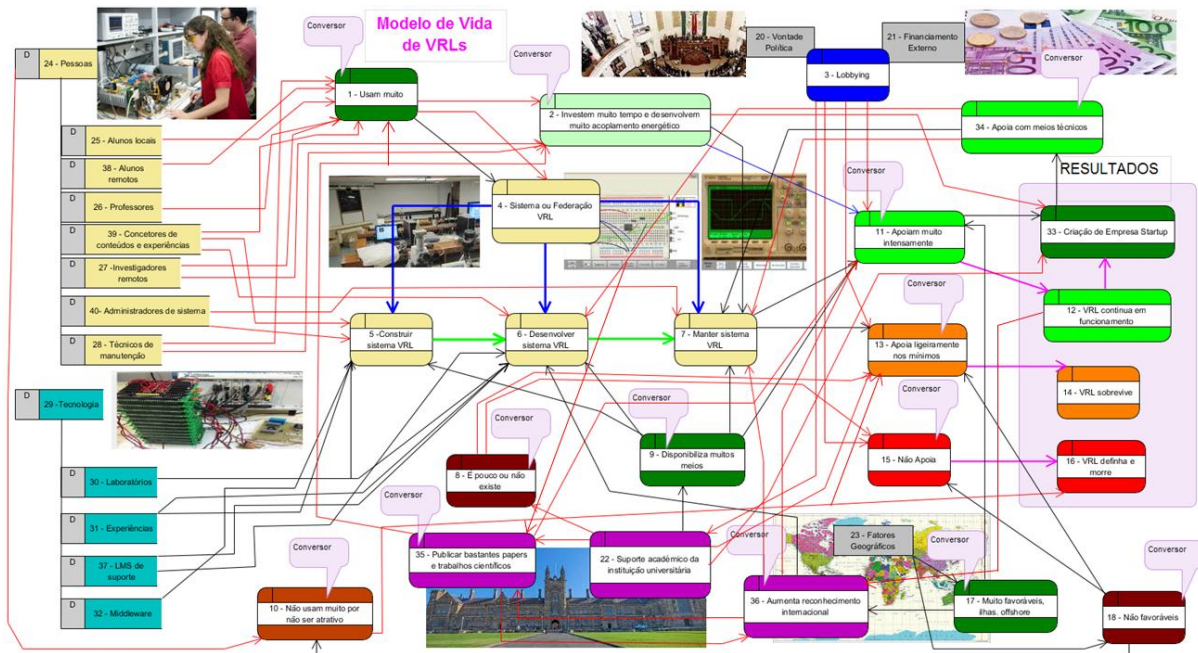


Figura 1.1 - Modelo proposto

Analisando a evolução *laboratórios remotos e virtuais*, impunha-se propor e construir um modelo que descrevesse e que de algum modo justificasse o como ocorre a sua evolução e que prever também a sua evolução futura, ou seja prever os eventos futuros através da observação e compreensão dos eventos passados.

O modelo proposto e mostrado na figura 1.1 pretende cumprir esse objectivo.

Este modelo representa o nascimento, vida e morte de *VRLs*, onde se mostra a interligação às premissas e postulados da teoria de evolução *Darwiniana* decorrente da obra *The Origin of Species*. No entanto esta ligação à teoria Darwiniana apenas é evidente através do sub-modelo que desenvolve o processo nº6, tal como exposto na dissertação.

A existência e continuidade do sistema de *VRLs* está condicionada ao estado vital das pessoas que o construíram e aos fatores condicionantes do meio ambiente em que se insere.

Tal como explanado na dissertação, recordamos que o modelo se compõe-se de 3 tipos de elementos fundamentais:

1. *Process* – constituem os *FLAWS*, e podem ser simples ou conversores. Se forem processos conversores vão de algum modo condicionar e quantificar a sua ação (muito, pouco, fortemente, levemente, etc.)

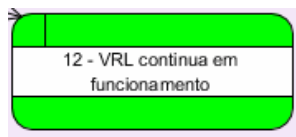


Figura 1.2 – Processo simples ou *FLOW*



Figura 1.3 - Elemento conversor ou processo condicionador

2. *External Entity* – Entidades Externas que são *inputs* que condicionam os *FLAWS*, por vezes através de *CONVERTERS* ou *processos conversores*.
3. *Data Store* – são os *STOCKS* (ou *STORES*) (elementos principais de input do modelo) que serão dinamizados pelos *FLAWS*. Estes elementos serão ainda subdivididos em várias sub-classes, quer de pessoas (que geram os fluxos de acoplamento energético), que de tecnologia (que geram os fluxos de acoplamento estrutural)

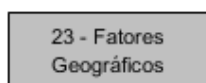


Figura 1.4 - Entidade Externa (*External Entity*)

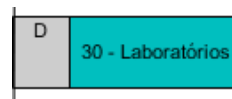


Figura 1.5 - Elemento *Data Store*

Foram utilizadas cores diferentes no ambiente para facilitar a compreensão do modelo proposto, considerando a relação intuitiva do dia-a-dia, nomeadamente nos semáforos e sinais de perigo que temos normalmente com as cores habituais e os seus significados.

Assim quanto aos *FLAWS* ou processos utilizamos as seguintes cores:

- Verde - indica um processo conversor que favorece a evolução do processo e contribui para um resultado final dinâmico e positivo.
- Amarelo claro – tom neutro – indica processos que embora principais e fulcrais no sistema dependem essencialmente dos estímulos externos (os processos conversores) e dos *inputs* externos e de variáveis independentes (*as External Entities*).
- Castanho – indica processos que expressam algum constrangimento mais ligeiro.
- Laranja – indicam processos que fazem desacelerar o desempenho do sistema e que levam a que o mesmo atinja níveis mínimos de funcionamento, no limiar da sua sobrevivência como sistema dinâmico.
- Vermelho – o vermelho vivo indica processos que contribuem para a paragem do sistema e mesmo para o fim do sistema enquanto sistema dinâmico.
- Violeta – indicam processos ligados a instituições universitárias e essencialmente geradores de acoplamento energético.

Para graduar a intensidade dos processos utilizamos tons dentro da mesma cor ou categoria.

Quanto às setas que indicam os fluxos de informação, também têm significados próprios dependentes da sua cor e espessura.

Assim todas as setas negras indicam fluxos de processos que dependem do acoplamento estrutural, logo da tecnologia e meios materiais empregues no desenvolvimento do projeto.

As setas vermelhas finas indicam fluxos de processos que dependem do acoplamento energético, logo das pessoas envolvidas nos processos.

As setas azuis largas indicam fluência de processos dentro de uma federação ou sistema de VRL que dependem essencialmente de acoplamento energético.

As setas verdes claras indicam fluxos de processos dentro do núcleo do modelo entre processos principais do sistema que dependem tanto do acoplamento energético, como do acoplamento estrutural.

As setas violetas traduzem a transmissão conjunta de acoplamento energético e acoplamento estrutural dos processos conversores finais (11, 13 e 15) que condicionam diretamente os resultados finais nos processos 12, 14, 16 e 33.

Neste modelo a espessura das setas não é associada à intensidade dos *FLAWS*.

A leitura deste modelo deve ser realizada na maior parte das vezes da direita para a esquerda, tal como é explicado no capítulo seguinte deste anexo. No entanto a grande vitalidade dum sistema manifesta-se quando existem *loops* entre os processos, gerando situações de realimentação quer de acoplamento estrutural, quer de acoplamento energético, o que vai permitir a auto-sustentabilidade dum sistema, tal como demonstrado nas páginas seguintes com exemplos concretos.

2. Leitura do Modelo

Ao lermos este modelo, temos de “caminhar” ao longo duma sequência de processos, e isso vai gerar um grafo, tal como o mostrado a seguir na figura 2.1.

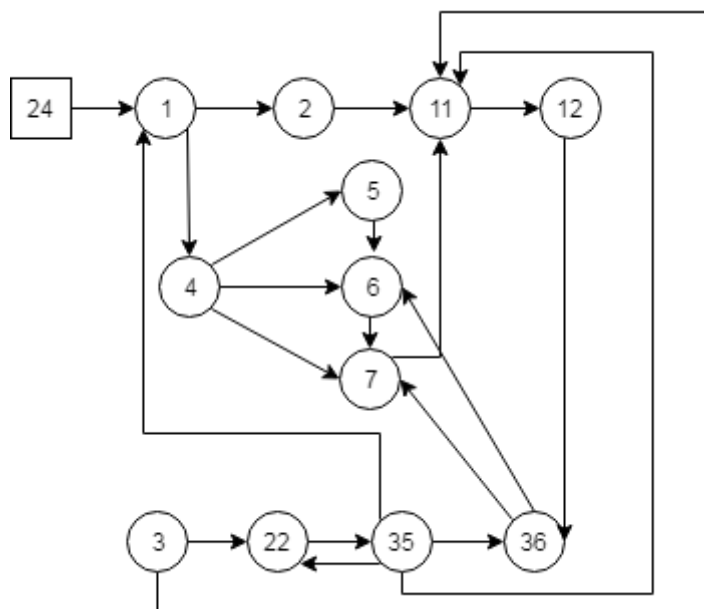


Figura 2.1 - Exemplo de grafo de sequência de processos

Num grafo de sequência de processos, temos um ou vários pontos de entrada, um ou vários pontos de saída e por vezes loops (como mostrado acima na figura 2.1), que a existirem

traduzem uma vitalidade e auto-sustentação do sistema, normalmente devido ao acoplamento energético.

Como entradas principais do sistema temos as pessoas que o operam e constituem a força vital do acoplamento energético, assim como os factores externos.

Por isso mesmo nos vários grafos quando queremos referir entradas de acoplamento energético teremos como ponto de entradas os elementos nºs 24,25,38,26,39,27,40,28 para o STORE “pessoas” e os elementos nº 20,21,3,23 para entidades externas que condicionam todo o fluxo de processos.

O STORE “pessoas” divide-se essencialmente em sete subgrupos do grupo “pessoas”, tal como podemos observar na figura seguinte:

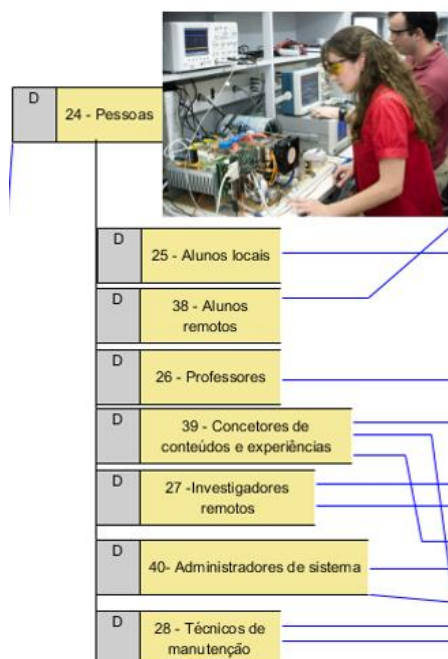


Figura 2.2 - STORE "Pessoas"

Na figura acima podemos confirmar que o STORE “Pessoas” se divide em sete, concretamente nos 7 tipos de atores normalmente mais envolvidos com os VRLs:

- Professores
- Investigadores remotos
- Técnicos de manutenção
- Administradores do sistema
- Alunos locais
- Alunos remotos
- Concetores de conteúdos e experiências

O outro elemento principal do modelo é o STORE a tecnologia que suporta todo o sistema de VRL, e que podemos dividir em quatro itens:

- Laboratórios
- Experiências
- *Middleware*, ou *software* de suporte

- LMS de suporte

Tal é apresentado na seguinte figura:

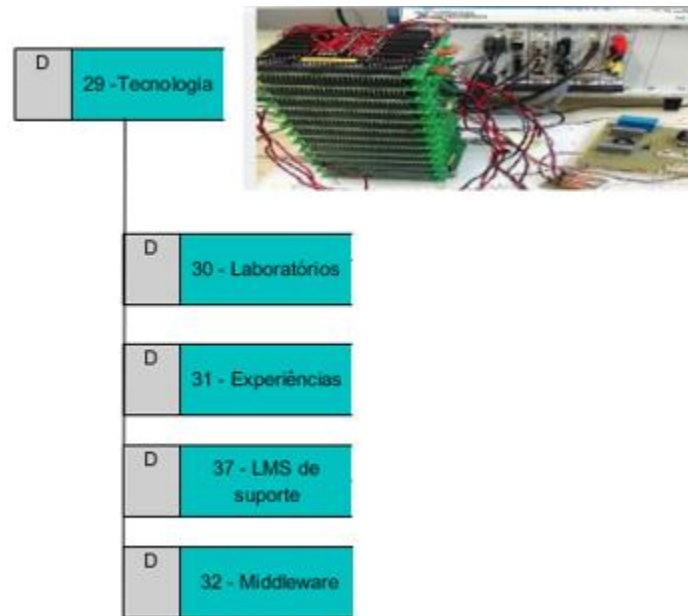


Figura 2.3 - STORE de Tecnologia

O STORE de “Pessoas” é a origem de quase todo o acoplamento energético, enquanto o STORE de “Tecnologia” é a origem de todo o acoplamento estrutural.

Quando num grafo existirem entradas iniciais referentes a equipamentos tecnológicos serão usados os elementos n^os 29,30,31,37 e 32.

O modelo pode depois ser dividido em vários blocos:

1^o - Bloco de entrada, à esquerda da imagem e composto pelos STORES de Pessoas e Tecnologia.

2^o - O núcleo ou kernel do modelo, traduz os vários acontecimentos principais da vida de um sistema de VRL:

- Nascimento
- Desenvolvimento
- Separação
- União
- Manutenção
- Morte

Tal é materializado pelos processos n^o 4,5,6 e 7.

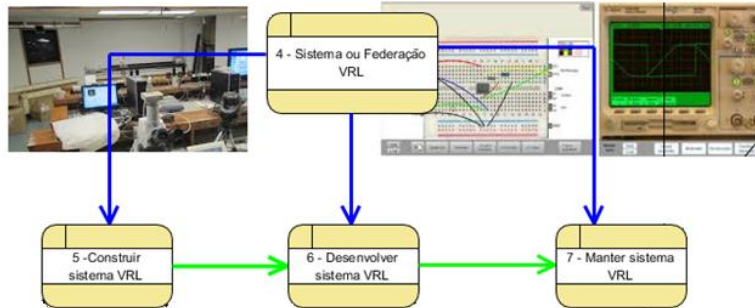


Figura 2.4 – Núcleo ou Kernel do modelo

3º - Bloco de resultados ou saídas. Localiza-se à direita do sistema e é constituído pelos processos conversores de saída nºs 11,13 e 15, e consequentes processos resultado nºs 12,14 16. O Processo 33 está incluído neste bloco e é o grande processo gerador de loops e vitalização do acoplamento energético através do apoio retroactivo dados pela criação e funcionamento duma empresa de suporte tal como detalhado na dissertação.

Os processos mostrados na figura 2.5 também estão todos detalhados na dissertação.



Figura 2.5 - Processos conversores finais e bloco de resultados

Como exemplo de vitalidade dum sistema podemos considerar o seguinte caso com *feedback* positivo, realçando o papel da empresa de suporte ao sistema:

Se o sistema de VRLs funcionar bem com muitos utilizadores e se existir apoio político e académico, o fator humano, o acoplamento energético pode-se desenvolver mais e com maior motivação e assim os atores envolvidos podem mesmo chegar a fundar uma empresa de material e consultoria técnica na área de laboratórios remotos. Essa empresa por sua vez pode contribuir para a manutenção dos VRLs das universidades e também receber os seus alunos em estágio. Assim, teremos um elevado nível de acoplamento energético no modelo que vai quase que auto-alimentar-se através de um ciclo fechado pelas sequências de processos:

11 ⇒ 33 ⇒ 43 ⇒ 7 ⇒ 11

11 ⇒ 12 ⇒ 33 ⇒ 43 ⇒ 7 ⇒ 11

Ou seja, a empresa desenvolve-se, melhora o *VRL*, aumenta a empregabilidade dos alunos que também fazem a manutenção e melhoram o ambiente de acoplamento energético e estrutural dos *VRLs*.

4º Blocos de realimentação. Distinguem-se dois blocos:

O de apoio e reconhecimento acadêmico:

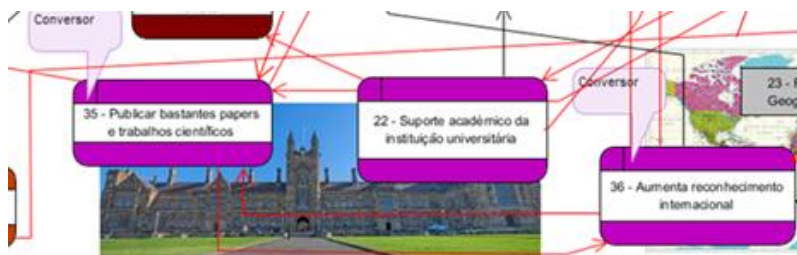


Figura 2.6 - Bloco de *feedback* acadêmico

Este bloco traduz o feedback que ocorre quando existem muitas publicações e reconhecimento acadêmico internacional o que vai contribuir para os *loops* de acoplamento energético analisados na dissertação (por exemplo o caso da rede VISIR) e que têm passagem pelos processos: 22-> 36 ou 35->36 e depois circulam no sentido direto pelos processos:

1->2 -> 11 -> 12 -> 36 -> ... fechando o *loop*.

O de apoio empresarial:

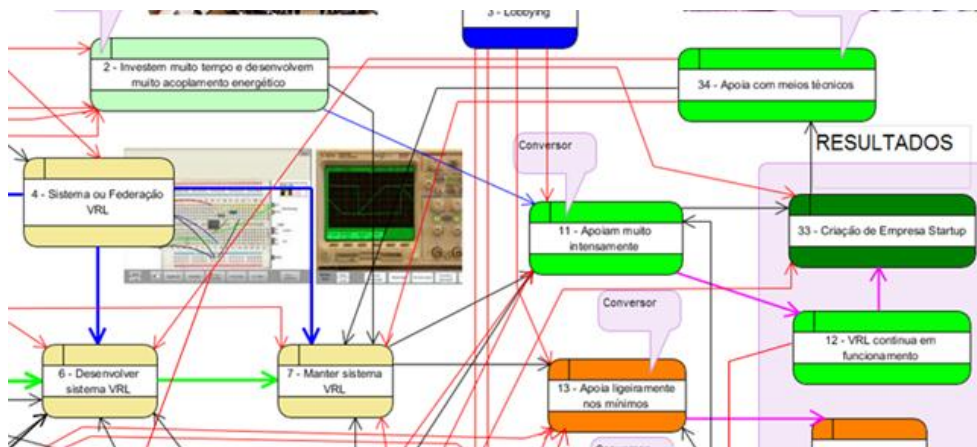


Figura 2.7 - Bloco de *feedback* empresarial

Este bloco traduz o feedback que ocorre quando existe uma empresa de suporte, como por exemplo no sistema da universidade de Deusto o que vai contribuir para os *loops* de acoplamento energético e estrutural analisados na dissertação (também para o caso da rede VISIR) e que têm passagem pelos processos: 11-> 33 ou 34->6 ou 7... e depois circulam no sentido direto pelos processos:

6->7 -> 11 -> ... fechando o *loop*.

