

Ensino e aprendizagem de hidráulica através de um Laboratório Virtual de Aprendizagem

Oscar Eduardo Patrón Guillermo¹, Gabriel Vianna Schlatter², Liane Rockenbach Tarouco¹, Patrícia Alejandra Behar¹

oepg@iph.ufrgs.br, gschlatter@espm.br, liane@penta.ufrgs.br, pbehar@terra.com.br

¹PGIE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Paulo Gama, 110 - prédio 12105, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

²Escola Superior de Propaganda e Marketing Sul, Rua Guilherme Schell, 350, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Resumo: Este trabalho descreve um estudo sobre o uso de um Laboratório Virtual de Aprendizagem em Hidráulica (LVAH) e seu impacto na aprendizagem de alunos de disciplinas de mecânica dos fluidos em cursos da Engenharia. Um total de 414 alunos, pertencentes a três cursos de Engenharia, participaram da pesquisa. O LVA desenvolvido permite a simulação de vários processos referentes a três práticas laboratoriais da disciplina: velocidade em canal, aferição de Venturi e esvaziamento de reservatório. A estrutura do LVA e a abordagem pedagógica adotada permitiram a interação dos alunos com diversos componentes do ensaio, alterando fatores e variáveis do laboratório virtual, viabilizando a repetição do experimento com novos parâmetros e a análise dos resultados imediatamente. Após o uso do LVA os alunos responderam a um questionário, o qual permitiu uma avaliação qualitativa do uso do referido recurso tecnológico virtual, além de uma avaliação teórica de conhecimentos. A nota média no teste de conhecimentos dos alunos que utilizaram o LVAH foi significativamente superior aos que não o utilizaram. A principal contribuição desse artigo é apresentar um objeto de aprendizagem e uma metodologia para sua utilização que, comprovadamente, geram maiores ganhos de aprendizagem na área de mecânica dos fluidos.

Palavras chave: Laboratório virtual de aprendizagem, mecânica dos fluidos, aprendizagem experimental; laboratório universitário.

Enseñanza y aprendizaje de hidráulica a través de un Laboratorio Virtual de aprendizaje

Resumen: Este artículo describe un estudio sobre el uso de un Laboratorio Virtual de Aprendizaje en Hidráulica (LVAH) y su impacto en el aprendizaje de alumnos en disciplinas de mecánica de fluidos en cursos de ingeniería. Un total de 414 estudiantes, de tres cursos de ingeniería, participaron de esta investigación educacional. El LVA desarrollado permite la simulación de diferentes procesos relacionados con tres prácticas de laboratorio inseridas en las disciplinas: velocidad en canales, calibración de tubo Venturi y vaciado de reservorios. La estructura del LVA y el enfoque pedagógico adoptado permitió la interacción de los estudiantes con diversos componentes del experimento, cambiando factores y variables del laboratorio virtual, por lo que es posible repetir las experiencias con nuevos parámetros y analizar los resultados de inmediato. Después de usar el LVA los estudiantes respondieron a un cuestionario, lo que permitió una evaluación cualitativa de la utilización de dicho recurso tecnológico virtual, así como una evaluación teórica de conocimientos. La puntuación media en la prueba de conocimientos de los estudiantes que utilizaron el LVAH fue significativamente mayor que los que no usaron. La principal contribución de este trabajo es presentar un objeto de aprendizaje y una metodología para su uso, donde ha demostrado obtener mayores ventajas desde el punto de vista del aprendizaje en el área de mecánica de fluidos.

Palabras clave: Laboratorio de aprendizaje virtual; mecánica de fluidos; aprendizaje a través de la experiencia; laboratorio universitario.

Teaching and learning hydraulics through a Virtual Learning Laboratory

Abstract: This document describes a study on the use of a Virtual Laboratory for Learning Hydraulics (LVAH) and its impact on students development in a fluids mechanic's course in engineering courses. A total of 414 students, from three different engineering courses, participated in the survey. The developed lab allows simulation of various processes related to three laboratory practices: channel speed, Venturi gauging and tank emptying. The structure of the virtual lab and the pedagogical approach allowed interaction of students with various components of the test, changing virtual lab factors and variables, making it possible to repeat experiments with new parameters and immediately analyze results. After using the virtual lab, students answered a questionnaire, which allowed a qualitative evaluation on the use of this virtual resource, as well as an applied concepts test. Average score in student's tests who used the virtual lab was significantly higher than those who did not use. The main contribution of this document is to present a learning object and a methodology of use that are proven to generate higher learning gains in fluids mechanics concepts.

Keywords: Virtual learning lab, fluid mechanics, experimental learning; university laboratory.

L'enseignement et l'apprentissage de hydraulique à travers un laboratoire virtuel d'apprentissage

Résumé: Ce document décrit une étude sur l'utilisation d'un laboratoire virtuel pour l'apprentissage Hydraulique (LVAH) et son impact sur l'apprentissage des étudiants de mécanique des fluides dans les cours d'ingénierie. Un total de 414 élèves de trois formations d'ingénieur, a participé à l'enquête. Le laboratoire virtuel développée permet la simulation de divers processus relatifs aux pratiques disciplinaires trois de laboratoire: la vitesse de canal, Venturi jaugeage et le vidange de réservoir. La structure de le laboratoire virtuel et l'approche pédagogique adoptée a permis l'interaction des étudiants avec diverses composantes de l'épreuve par des facteurs et variables de laboratoire virtuel en évolution, ce qui rend possible de répéter l'expérience avec de nouveaux paramètres et analyser les résultats immédiatement. Après avoir utilisé le laboratoire virtuel, les étudiants répondu à un questionnaire, qui a permis une évaluation qualitative de l'utilisation de cette ressource technologique virtuel, ainsi que d'une évaluation théorique de la connaissance. La moyenne des notes dans le test de connaissance des étudiants qui ont utilisé le laboratoire virtuel était significativement plus élevé que ceux qui ne pas utiliser. La principale contribution de cet document est de présenter un objet d'apprentissage et une méthodologie pour son utilisation qui se sont avérés de générer des gains d'enseignement supérieur dans le domaine mécanique des fluides.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo trata sobre o uso e a aplicação de Laboratórios Virtuais de Aprendizagem (LVA) na mecânica dos fluidos, como uma nova trajetória de aprendizagem. O laboratório virtual Hidrolândia foi utilizado em cursos de Engenharia da INSTITUIÇÃO DOS AUTORES e os ganhos, em termos de aprendizagem, foram avaliados na disciplina de mecânica dos fluidos. Esta disciplina, tipicamente, é ministrada de maneira tradicional e expositiva, não utilizando recursos interativos e informatizados como parte da prática pedagógica exercida.

O estudo, realizado através do uso do Laboratório Virtual de Mecânica de Fluidos Hidrolândia, embora tenha sido desenvolvido especialmente para a disciplina de Mecânica dos Fluidos, também procurou avaliar se os ganhos de aprendizagem se estenderam à disciplina de Hidráulica. Esta abordagem inovadora foi testada ao longo de dois anos, nos períodos de 2012/2 a 2014/2, sendo desenvolvida em conjunto com a Instituição dos autores. Participaram do estudo um total de 414 alunos, pertencentes a três cursos de engenharia: Civil, Ambiental e de Produção.

No laboratório virtual é possível a simulação de vários processos que integram as práticas laboratoriais tradicionais da disciplina, incluindo estudos sobre a velocidade em canal, a aferição de Venturi e o esvaziamento de reservatório. Estes estudos permitem a interação com os parâmetros do ensaio, alterando fatores e variáveis do laboratório e permitindo a repetição do experimento e a análise dos resultados imediatamente. Com isso, é possível uma melhor compreensão da física dos acontecimentos na prática laboratorial.

Após o uso do LVA, os alunos responderam um questionário, o qual permitiu fazer avaliações qualitativas e quantitativas a respeito do uso do referido recurso tecnológico virtual. Além disso, os alunos também fizeram uma avaliação teórica dos seus conhecimentos em um teste, ao final da disciplina.

A base teórica que dá alicerce para este trabalho é a da aprendizagem significativa ou "*meaningful learning*", fundamentada, principalmente por David Jonassen (2000).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho tem como marcos teóricos os aspectos pedagógicos relacionados ao uso de laboratórios virtuais de aprendizagem, bem como a aprendizagem significativa. Além desses tópicos, se caracteriza o Laboratório Virtual de Aprendizagem, o objeto de estudo da pesquisa.

2.1. Uso pedagógico de laboratórios virtuais de aprendizagem

Uma nova geração de aprendizes, imersos nas tecnologias que envolvem a utilização de mensagens de texto, hipertextos, videogames, *smartphones* e mídias sociais, vem surgindo a cada dia. Estes aprendizes possuem uma mentalidade e um estilo de aprendizagem diferente em relação às gerações anteriores, principalmente porque se sentem igualmente confortáveis aprendendo e interagindo, social e educacionalmente, tanto no mundo virtual como no real (Kapp e O'Driscoll, 2010).

Laboratórios virtuais, com diferentes tipos de simulações, têm um papel importante na educação em engenharia e no treinamento e capacitação nesta área. Embora o conceito não seja novo, há uma série de questões abertas que devem ser pesquisadas, resolvidas e devidamente implementadas de modo a estruturar pedagogicamente o uso desses recursos (Stefanovic, 2013, p. 250).

Dormido (2003) traz uma importante proposta a todos os educadores:

"Os educadores devem ter uma atitude aberta para novas tecnologias. Eles devem, de forma sensata, incorporar novos desenvolvimentos tecnológicos para evitar o risco de ensinar a estudantes de hoje, a forma de resolver os problemas de amanhã, com as ferramentas de ontem (pág. 317)".

Outras questões pedagógicas estão relacionadas com os objetivos, design e arquitetura eficaz para o uso de laboratórios remotos e laboratórios virtuais (Barrios et al., 2013, p. 115). Nesse sentido, é necessário insistir sobre a importância de conceber uma abordagem pedagógica e uma infraestrutura técnica que permitam uma interação sinérgica destes elementos.

Segundo Villalba et al. (2008, p. 3176), os laboratórios virtuais são ferramentas educacionais eficazes para a formação de engenheiros de processo e de operadores de plantas industriais. Eles fornecem uma forma flexível e metódica para definir experiências de fácil utilização, a serem executadas por um modelo matemático, permitindo que os usuários possam projetar e executar as suas próprias experiências simuladas. Como resultado, os usuários se tornam participantes ativos em sua própria aprendizagem em processos, o que os motiva a aprender.

O mesmo autor destaca que os laboratórios virtuais são compostos de uma simulação do modelo matemático que descreve as propriedades relevantes do sistema; de uma interface de usuário interativa e; de uma narrativa, a qual fornece informações sobre o sistema e a utilização do laboratório virtual. Em alguns casos, o laboratório virtual destina-se a imitar, em tempo real, a resposta de uma planta fabril, permitindo ao utilizador efetuar decisões importantes do processo em execução. Neste tipo de

aplicação, o usuário tem permissão para executar ações interativas sobre o modelo, a qualquer momento durante a execução da simulação. O usuário também pode alterar o valor das entradas do modelo, parâmetros e variáveis de estado, percebendo, de imediato, como estas mudanças afetam o modelo dinâmico.

Pesquisas em educação de ciências têm demonstrado que as ideias e interpretações dos alunos, com base em experiências diárias, muitas vezes interferem com a aprendizagem dos modelos científicos introduzidos durante as aulas de ciências, afetando a capacidade dos alunos de assimilar ideias cientificamente corretas (Zacharia, 2007, p. 122).

Em função disso, os pesquisadores têm se questionado seriamente se a aprendizagem no ensino de ciências, como a que vivenciamos através do uso de manipulações físicas, devem ser redefinidas e reestruturadas para incluir o uso de manipulações virtuais como os LVA (Zacharia, 2008, p. 1027). Na verdade, os laboratórios virtuais de aprendizagem têm provado ter um impacto positivo sobre os alunos, desenvolvendo habilidades, atitudes e compreensão conceitual (Zacharia, 2003, p. 795; Hsu e Thomas, 2002, p. 957; Tao e Gunstone, 1999, p. 867; Zacharia e Anderson, 2003, p. 627; Huppert e Lazarowitz, 2002, p. 807; de Jong e Njoo, 1992, p. 413).

Stefanovic (2013, p. 253) cita que o número de pesquisas que têm focado na avaliação da eficácia de laboratórios virtuais ou remotos, baseadas na satisfação dos alunos, nos resultados ou mesmo no impacto educacional da aprendizagem tem crescido. Segundo o autor, alguns problemas são recorrentes e devem ser tratados com atenção quando do desenvolvimento e uso de laboratórios virtuais. Alguns pontos a serem observados são:

- a) A eficácia dos laboratórios virtuais ou remotos. Uma questão muito importante é fornecer a comprovação de que os laboratórios remotos ou virtuais têm eficácia no cumprimento dos objetivos globais, contribuindo, de fato, para melhores resultados na aprendizagem. Uma análise comparativa de resultados com e sem laboratórios de ensino virtuais, seria de grande relevância, sendo que esta abordagem foi adotada no estudo descrito nesse capítulo.
- b) Eficácia da simulação versus acesso remoto a equipamentos reais. É necessário comparar também a eficácia dos laboratórios virtuais, com software de simulação, com laboratórios que controlam remotamente equipamentos de ensaio real.
- c) Inclusão do "ruído" nas simulações de laboratório virtual. Os laboratórios reais têm efeitos aleatórios e erros embutidos. Em laboratórios virtuais estes efeitos poderiam ser simulados usando rotinas programadas que emulem erros, simulando erros aleatórios ou sistemáticos ou, até mesmo, problemas com a calibração de instrumentos. Esta simulação da realidade poderia contribuir para aumentar a eficácia destes laboratórios. Neste caso específico a ser estudado, o LVA Hidrolândia tem equações da mecânica dos fluidos nas quais foram incluídas um gerador de fatores aleatórios, o qual gera um pequeno erro, cuja forma nunca se repete nas simulações efetuadas.

Segundo Farrokhnia e Esmailpour (2010, p. 5475), existem muitas vantagens evidentes para o uso de simulações baseadas em recursos computacionais.

Laboratórios virtuais têm como grandes vantagens a portabilidade, a segurança, a relação custo versus eficiência, a minimização de erros, a amplificação ou a redução de dimensões temporais e espaciais, a flexibilidade, a rapidez e a exposição dinâmica dos dados. Em um estudo realizado por esses autores, com 100 alunos de graduação que utilizaram laboratórios virtuais de circuitos elétricos, foi possível concluir que se pode recomendar que os laboratórios virtuais substituam, de forma eficaz, o equipamento de laboratório real. Não se sugere que as simulações promovam aprendizagem conceitual de instalação e manipulação de equipamentos, mas que, se razoavelmente bem desenhadas, possam ser ferramentas úteis para uma variedade de contextos que podem promover a aprendizagem do aluno.

Segundo Pati e Mohanty (2012, p. 3), deve se conectar o uso de LVAs a objetivos de aprendizagem específicos. É importante haver uma ligação entre uma experiência de laboratório e os conceitos que se quer ensinar. Cada exercício de laboratório deve ter uma conexão clara com um objetivo específico, se comportando como uma ferramenta de aprendizado individualizado. Um laboratório virtual, acima de tudo, precisa ser uma ferramenta que motive os alunos para o trabalho adicional, a investigação e a busca por soluções. Os alunos devem ser motivados a ter um trabalho autônomo, por um lado e, por outro, a desenvolver um ambiente de colaboração, de modo que possam compartilhar os resultados e cooperar com os seus colegas.

2.2. Aprendizagem significativa

Abordagens sobre a aprendizagem significativa surgiram em 1963, com estudos de Ausubel sobre cognição e aprendizagem. A aprendizagem significativa dos alunos enfatiza a aquisição de novas informações e as suas ligações com experiências anteriores na formação de entendimentos pessoais e únicos. Esta abordagem é o conceito central da teoria da aprendizagem, de David Ausubel (1963), assim como a de David Jonassen (1995).

A aprendizagem significativa é "um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não-literária) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo" (Jonassen, 2000, p.132). Em outras palavras, os novos conhecimentos adquiridos, relacionam-se, necessariamente, com o conhecimento prévio que o aluno possui. Ausubel (1963) se refere ao conhecimento prévio como "conceito subsunçor" ou, de uma maneira simplificada, apenas como "subsunçor". Os subsunçores são estruturas de conhecimento específico, que podem ter uma variabilidade em termos de abrangência, sendo mais ou menos abrangentes de acordo com a frequência com que ocorre aprendizagem significativa em conjunto com um determinado subsunçor.

Segundo Moreira (2011, p. 59), a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios podem adquirir novos significados ou maior estabilidade cognitiva. Além disso, o autor propõe que, para existir aprendizagem significativa é necessário haver dois fatores imprescindíveis: o conhecimento prévio (ou subsunçores)

sobre o que se vai aprender e, não menos importante, a existência de pré-disposição para aprender, por parte do aprendiz.

Jonassen (1995) estipulou que qualquer uso pedagogicamente relevante da tecnologia deve permitir que os alunos se envolvam em aprendizagens significativas. Nesse sentido, vários estudos têm tentado usar tecnologias da informação e comunicação para apoiar a efetivação da aprendizagem significativa, contexto no qual se inclui este trabalho. A figura 1, a seguir, destaca os atributos que caracterizam uma aprendizagem significativa.

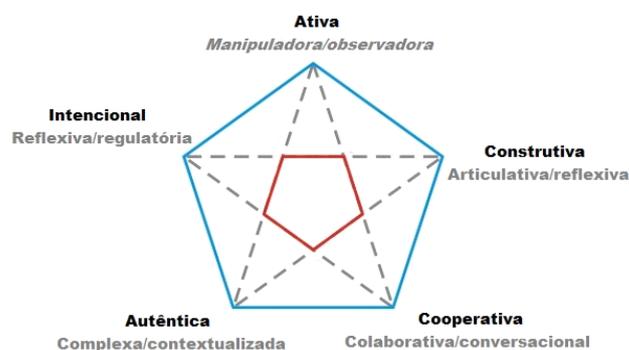


Figura 1. Atributos da Aprendizagem Significativa (Jonassen, 1995).

O Laboratório Virtual Hidrolândia possui vários dos atributos característicos da aprendizagem significativa na sua concepção e forma de uso. O atributo mais evidente é o de uma abordagem ativa da aprendizagem, na medida em que o aluno não apenas observa o fenômeno sob estudo, mas é capaz de manipular variáveis de ajuste e observar, imediatamente, os desdobramentos das suas escolhas. Além disso, a abordagem de uso do LVA é construtiva, na medida em que os ensaios são realizados com níveis de complexidade crescente, sendo que os resultados dos ensaios iniciais servem de base para os ensaios seguintes.

Por fim, apesar de serem solicitados três ensaios, no mínimo, com o laboratório, foi dada a liberdade para os alunos usarem livremente a simulação após a realização destes. Com isso, os alunos experimentaram outras possibilidades e combinações, permitindo analisar outros fenômenos que lhes interessassem. Esta forma de uso do LVA caracteriza claramente os aspectos de intencionalidade do aprender, bem como um interesse autêntico nesse processo (aprendizagem autêntica e intencional).

A pesquisa nas turmas alvo do estudo procurou confirmar em que grau a aprendizagem significativa ocorreu, bem como avaliar o impacto, em termos de desempenho, que essa abordagem gerou junto aos alunos.

2.3. O Laboratório Virtual Hidrolândia

O Hidrolândia foi projetado com uma estrutura organizacional de conteúdos e objetos de aprendizagens na área da mecânica dos fluidos, contextualizada num campus universitário, fortemente inspirado no laboratório real da INSTITUIÇÃO DOS AUTORES. Inicialmente, o agente pedagógico da simulação, o Prof. Hidro, faz um tour pelos diferentes "prédios" ou estruturas, informando o que representa cada um e como estes conduzem os alunos até os objetos de aprendizagem e simulações, previstas para

aquela área específica da Hidrolândia. Um exemplo da representação adotada está apresentado na figura 2, a seguir.



Figura 2. Campus Virtual Hidrolândia

Dentro deste contexto de campus virtual é que o Laboratório e seus experimentos estão representados. Num dos "prédios virtuais" se tem acesso ao laboratório virtual de hidráulica - LVA, fazendo-se uma imersão num ambiente laboratorial, como mostram as Figura 3 a 8.

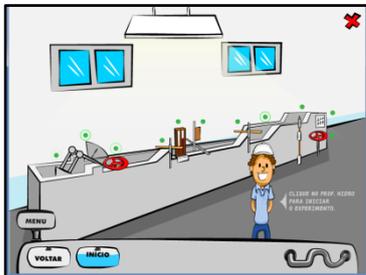


Figura 3 – LVA – Velocidade em canal.



Figura 4 – LVA- Esvaziamento de reservatório.

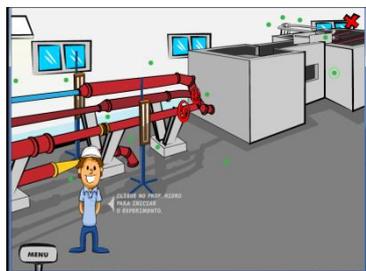


Figura 5 – LVA- Aferição de Venturi.

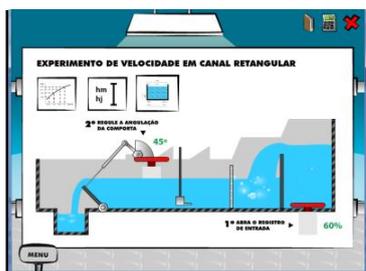


Figura 6 – LVA- Velocidade em canal.



Figura 7 – LVA- esvaziamento de reservatório.

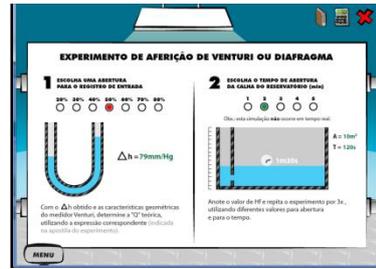


Figura 8 – Etapas dos experimentos virtuais.

Como se pode notar, a interface do Laboratório é amigável, sendo que a forma de utilizá-lo é explicada diretamente no ambiente de simulação. Os controles e ajustes dos ensaios foram projetados para serem feitos de forma intuitiva, facilitando o uso por parte dos alunos. Toda a informação necessária para o uso do laboratório, bem como para interpretação dos resultados é fornecida dentro do ambiente virtual.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste item se procura detalhar a forma como o ensaio pedagógico foi realizado. Descrevem-se os procedimentos de pesquisa adotados, as variações na estratégia pedagógica adotada, bem como os objetivos de aprendizagem a serem validados com o uso do laboratório virtual.

3.1. Abordagem da pesquisa

A pesquisa adotada para esse estudo foi realizada através de uma abordagem mista, com vertentes quantitativas e qualitativas. Segundo Mattar (2001), uma pesquisa conclusiva tem ênfase na objetividade, com resultados quantificáveis. Nesse sentido, foram avaliadas as percepções dos alunos em relação ao uso do laboratório virtual, bem como o seu desempenho final na disciplina, quer na forma de conceitos quer na de notas de um teste de conhecimentos.

No que diz respeito à vertente qualitativa, esta foi utilizada de acordo com o proposto por Malhotra (2001, p. 35), o qual explica que este tipo de abordagem se preocupa com a profundidade do contexto pesquisado, tem ênfase na subjetividade e os dados não são mensuráveis. Com esse objetivo, foram descritas e analisadas as opiniões dos alunos em questões abertas que versavam sobre aspectos positivos e negativos do uso do laboratório virtual de aprendizagem.

As técnicas de coleta de dados exploradas foram as pesquisas bibliográfica e documental, bem como o questionário. Segundo Malhotra (2001, p. 52), a pesquisa

bibliográfica serve para a revisão da literatura e construção do referencial teórico, tendo-se utilizado, principalmente, livros e artigos científicos. A pesquisa documental, por sua vez, foi fundamental para a obtenção dos resultados referentes ao desempenho dos alunos. Foram fontes para essa pesquisa os registros acadêmicos dos professores das disciplinas de Hidráulica e de Mecânica dos Fluidos, a partir dos quais se obtiveram os conceitos finais de cada aluno. Além disso, como documentos consultados, foram utilizados os testes de conhecimento aplicados nas referidas disciplinas.

O questionário, conforme a definição de Marconi e Lakatos (2008, p.86), "é um instrumento de coleta de dados constituído por uma série ordenada de perguntas, que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador". Nesta pesquisa, foi adotado um questionário com 32 perguntas, estando apresentadas nos resultados somente aquelas do tipo de múltipla escolha, com algumas manifestações encontradas nas questões abertas.

O questionário foi validado em turmas piloto em semestres anteriores ao presente estudo, concomitantemente com os pareceres dos professores ministrantes da disciplina de mecânica dos fluidos e hidráulica. Tanto os alunos, como principalmente os professores, analisaram as questões e fizeram comentários que aprimoraram o questionário; isto gerou ajustes que, posteriormente, foram novamente validados por esses especialistas, desta maneira chegando ao questionário final de pesquisa.

Como técnicas de análise de dados foram utilizadas a análise estatística, com tabulação e estatística descritiva dos dados, seguida de uma análise de variância para os dados quantitativos e de independência (Chi-quadrada) para os dados qualitativos. Inicialmente, a fim de viabilizar uma Análise de Variância (ANOVA) sobre o desempenho dos alunos, o conceito final foi codificado para valores entre 0 e 10, conforme as regras adotadas pelos professores das disciplinas. Assim sendo, ao conceito "A", por exemplo, foi associado o valor de 9,5, que é o ponto intermediário de uma média que fica na faixa de 9,0 à 10. Ao conceito "B" foi associado o valor de 8,5, ao conceito "C" o de 6,75 e ao conceito "D" o valor de 3,0. A reprovação por falta de frequência (F) teve um valor codificado como zero.

Após a conversão dos conceitos em notas, conforme os critérios descritos, se procedeu à análise de variância para os desempenhos dos alunos, tendo-se adotado como fator de separação dos grupos o uso ou não do LVAH. As análises foram realizadas de forma global (todos os alunos disponíveis), bem como para diferentes casos como: grupos separados por curso (Eng. Civil, Arquitetura, etc.), disciplina (hidráulica e Mecânica dos Fluidos) e ter sido ou não reprovado na disciplina anteriormente (1, 2 ou 3 vezes).

Utilizando-se os mesmos critérios de agrupamento, também foram analisados os resultados dos testes teóricos, comparando-se diretamente as notas dos alunos que usaram e que não usaram o LVAH. Finalmente, a fim de verificar se a codificação dos conceitos foi adequada, foi feita uma análise comparativa entre o perfil (conceitos) dos alunos que utilizaram e que não utilizaram o LVAH. Isto foi feito a partir de um teste de independência de perfis, com a distribuição Chi Quadrada. Todos os testes foram

realizados utilizando-se o software Minitab, versão 17.1.0, com nível de significância, ou probabilidade de erro de 5%.

No que diz respeito às unidades de estudo da pesquisa, o laboratório virtual de aprendizagem Hidrolândia foi utilizado em aula presencial, nos cursos de Engenharia, em turmas de Mecânica dos Fluidos, coordenadas pela INSTITUIÇÃO DO AUTOR. Sua aplicação ocorreu desde o segundo semestre de 2012 (2012/2) até o primeiro semestre de 2014 (2014/1), totalizando quatro semestres de aplicação.

A disciplina de Mecânica dos fluidos é uma disciplina que, na INSTITUIÇÃO DO AUTOR, está programada para ser oferecida após a metade dos cursos de Engenharia, sendo cursada entre o 6º e o 7º semestres. Nesta pesquisa, participaram 414 alunos, sendo que 158 fizeram uso do LVA (37%) e 261 não o utilizaram (63%). Em relação aos cursos dos alunos pesquisados, 363 pertenciam à Engenharia Civil (87,7%), 49 à Engenharia Ambiental (11,8%) e 2 à Engenharia de Produção (0,4%). A distribuição da participação em relação ao semestre cursado foi de 105 alunos em 2012/2, 118 alunos em 2013/1, 106 alunos em 2013/2 e 85 alunos em 2014/1.

3.2. Procedimento para exploração da nova estratégia pedagógica

Existe uma contínua preocupação com o índice de repetência e evasão em disciplinas da área de mecânica dos fluidos. O LVA Hidrolândia, desenvolvido e aplicado sob a ótica da aprendizagem significativa, tem o propósito de funcionar como uma ferramenta para facilitar o entendimento desses fenômenos físicos. A proposta principal é oferecer uma trajetória de aprendizagem dos conceitos de mecânica dos fluidos que seja diferente em relação ao contexto tradicional da disciplina.

A figura 9 mostra a trajetória de aprendizagem tradicional da disciplina de mecânica dos fluidos, bem como as mudanças de trajeto que ocorreram com a incorporação pedagógica do LVA Hidrolândia.

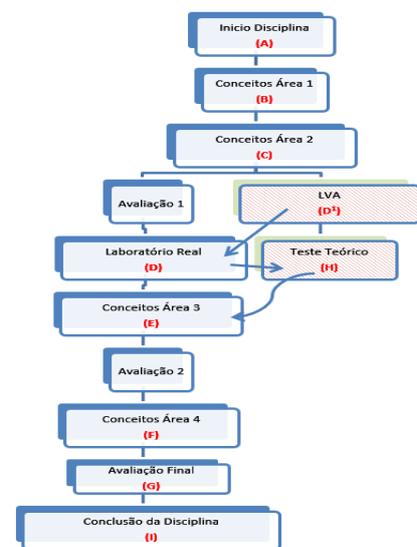


Figura 9. Trajetória tradicional e com o uso do LVA na disciplina de mecânica dos fluidos.

Na trajetória tradicional, os alunos percorrem o percurso de conhecimentos e vivências determinado pela sequência "A,B,C,D,H,E,F,G". Neste trajeto, há três avaliações, se passa por diferentes áreas da mecânica dos fluidos e se trabalham diversos conceitos nas respectivas áreas de conteúdo. Uma vez que os alunos dominem os conceitos das áreas 1 e 2 (trajeto "B,C"), estes estão capacitados teoricamente para efetuar a prática laboratorial em um laboratório real.

Neste laboratório real de hidráulica se realizam três experimentos, os quais utilizam a base teórica das etapas "B" e "C", sendo compostos por ensaios envolvendo velocidade em canal, esvaziamento de reservatório e aferição de tubo Venturi. Uma vez efetuada a prática laboratorial, os alunos continuam o trajeto pelas etapas "E" e "F", abordando os conceitos destas áreas e realizando uma avaliação após cada uma delas.

Na trajetória modificada, na qual se faz presente o uso do LVA, os alunos percorrem o percurso "A,B,C,D1,D,H,E,F,G", havendo a prática laboratorial real, mas também a prática com o laboratório virtual. Além disso, para esse estudo, também foi explorada uma trajetória alternativa, percorrendo os passos "A,B,C,D1,H,E,F,G", ou seja, sem a prática laboratorial real neste trajeto. Em ambos os casos, houve um teste teórico após o uso do LVA a fim de avaliar o conhecimento obtido na área específica de abrangência do laboratório, especificamente nos conteúdos comuns à matéria ministrada nas áreas 1 e 2 (Conceitos "B" e "C").

A intenção principal do estudo, ao propor estas duas trajetórias pedagógicas alternativas, foi medir se há diferenças significativas em termos de aprendizagem por parte dos alunos, quando comparadas com a trajetória convencional. Em outras palavras, se procurou verificar se a trajetória "A,B,C,D1,H,E,F,G", com o uso do laboratório virtual de aprendizagem Hidrolândia, gera melhores resultados quando comparada com a trajetória tradicional "A,B,C,D,H,E,F,G".

Em termos de confiabilidade, a mesma foi avaliada comparando os resultados dos questionários com entrevistas individuais feitas com os alunos (no que diz respeito à aceitação da simulação) e, até mesmo, com as notas das provas da disciplina no que diz respeito à auto-percepção de aprendizado.

3.3. Ensaio pedagógico com a nova trajetória

O laboratório Virtual de Aprendizagem Hidrolândia foi utilizado em aula presencial, em turmas de Mecânica dos Fluidos de diferentes cursos superiores de Engenharia. Esta disciplina tem como objetivo fornecer aos alunos os conhecimentos básicos sobre propriedades dos fluidos, esforços estáticos e dinâmicos, leis de conservação de massa, energia e quantidade de movimento, bem como camada limite e turbulência. No que diz respeito às competências que se deseja desenvolver durante a disciplina, ao seu término se pretende que o aluno seja capaz de:

- Conhecer as principais propriedades dos fluidos e sua forma de variação e, em particular, as leis de variação de pressão em fluidos de densidade constante e variável;

- Resolver problemas, aplicando as equações da continuidade, de energia e da conservação da quantidade de movimento, nas formas integral e diferencial;
- Saber o que são escoamentos potenciais e suas hipóteses de aplicação;
- Conhecer os principais grupos adimensionais e seu significado físico;
- Saber o que são modelos físicos e como estabelecer as leis de semelhança e;
- Ter noções de turbulência e saber calcular esforços produzidos por escoamentos sobre sólidos.

A disciplina de Mecânica dos fluidos é oferecida após a metade do curso de Engenharia, sendo cursada entre o 6º e 7º semestres. Os alunos que utilizaram a simulação já tinham atingido mais da metade do semestre em curso quando foi utilizado o LVA. Estes alunos também já tinham conhecimento teórico sobre a matéria, necessários à compreensão dos fenômenos abordados no laboratório real. Em outras palavras, já haviam atingido os conhecimentos teóricos prévios para uma correta interpretação das aulas práticas e, mais precisamente, dos resultados de um laboratório virtual.

Em uma das trajetórias trabalhadas, após a aula prática experimental no laboratório real de hidráulica, foram realizadas aulas teóricas complementares. Nestas aulas é que foi apresentado o laboratório virtual, bem como explicadas sua concepção funcionalidades, permitindo uma exploração por parte dos alunos de maneira individual e em grupo. Também foi nessas aulas que houve uma exploração das ferramentas do laboratório virtual, permitindo troca de experiências e interações entre os alunos.

Nesta nova trajetória, com o uso do LVA, este foi utilizado com a mesma sequência que ocorre a prática real, como mostram as figuras 10 a 12. Nestas os alunos formam pequenos grupos e realizam cada uma das três práticas, de maneira independente, efetuando as medições inerentes. Na sequência, estabelecem correlações físicas entre os parâmetros experimentais, obtendo os resultados e tirando as conclusões do trabalho.



Figura 10 – Experimento de velocidade em canal, no laboratório real.



Figura 11 – Experimento de esvaziamento de reservatório (preparação) no laboratório real.



Figura 12 – Experimento de esvaziamento de reservatório (medições) no laboratório real.

A execução da prática virtual seguiu, portanto, a mesma abordagem no que diz respeito à formação dos grupos, sequência de ensaios e etapas de construção do conhecimento. Um aprendizado extra, entretanto, foi oriundo da possibilidade de estabelecer correlações entre o método executado na prática real e na virtual. Em ambos os casos, os alunos executam cada experimento, podendo alterar os parâmetros de entrada, como abertura da comporta, variação no ângulo de abertura da comporta do vertedouro de um canal, tempo de abertura de registros, entre outros. Ao final da aula, foi entregue uma mídia individual (DVD) com o laboratório virtual, de modo que o aluno pudesse experimentá-lo na sua residência ou computador pessoal.

Uma semana após as aulas com o LVA Hidrolândia, os alunos participaram de uma pesquisa, respondendo a um questionário com 32 questões. Estas visavam avaliar a percepção dos alunos diante de diversos fatores deste novo objeto de aprendizagem, bem como da nova trajetória didática adotada. Um total de 131 alunos retornou o questionário de avaliação devidamente respondido.

Além disso, no fechamento da unidade de conteúdo da área específica, os alunos realizaram um teste teórico com 12 questões, com o objetivo de verificar o nível de compreensão dos conhecimentos trabalhados no LVA. O teste também pode ser aplicado a um conjunto de alunos que não fez uso deste recurso tecnológico, tendo sido avaliados 139 alunos nesta situação.

No total, foram 414 alunos participantes do estudo, sendo que 158 fizeram uso do LVA (37%) e 261 não o utilizaram (63%). Em termos de cursos, 363 alunos pertenciam à Engenharia Civil (87,7%), 49 alunos à Engenharia Ambiental (11,8%) e 2 alunos à Engenharia de Produção (0,4%). Quanto ao semestre cursado quando da participação do estudo, 105 alunos cursaram em 2012/2, 118 alunos em 2013/1, 106 alunos em 2013/2 e 85 alunos em 2014/1.

4. RESULTADOS

A fim de validar o uso do simulador virtual como uma nova trajetória para o desenvolvimento de competências, foi comparado o desempenho dos dois grupos de alunos (com e sem o uso do LVA). As competências que se visava desenvolver eram as de trabalho em grupo de maneira colaborativa, uso de ferramentas cognitivas ou "mind tools", resolução de problemas, visão global de experimentos, discussão de problemas contextuais de experimentos e reflexão sobre o processo experimental. Estas competências têm correlação com os atributos da aprendizagem significativa, segundo Jonassen (1995).

Essa comparação foi feita de várias formas pelos pesquisadores. Uma das abordagens adotadas foi comparar o perfil de notas dos dois grupos e verificar se o grupo que utilizou o laboratório teve desempenho estatisticamente diferente. Para isso, os pesquisadores fizeram um teste de independência de perfis, utilizando a distribuição chi-quadrada. A tabela 1 apresentada a seguir mostra os conceitos obtidos pelos estudantes que cursaram a disciplina de mecânica dos fluidos pela primeira vez, separando-os como tendo ou não utilizado o laboratório Hidrolândia.

Conceito	Sem LVA	Com LVA	All
A	7 2,68% (1,666)	11 7,19% (2,842)	18 4,35% *
B	36 13,79% (0,605)	29 18,95% (1,032)	65 15,70% *
C	113 43,30% (1,753)	90 58,82% (2,990)	203 49,03% *
D	93 35,63% (7,101)	19 12,42% (12,113)	112 27,05% *
FF	12 4,60% (0,363)	4 2,61% (0,619)	16 3,86% *
All	261 100,00% *	153 100,00% *	414 100,00% *

Tabela 1: comparação do número de conceitos obtidos na disciplina de mecânica dos fluidos. (primeira linha: contagem; segunda linha: percentual na coluna; terceira linha: contribuição para chi-quadrado).

Uma análise da tabela anterior mostra que, para os conceitos "A", "B" e "C", sempre que os alunos usaram o simulador virtual, estes obtiveram, proporcionalmente, maior representatividade do que os alunos do outro grupo. Por outro lado, também é possível constatar pela tabela que, quando os alunos não usaram o LVA, os conceitos "D" e "FF" (reprovação) foram maiores.

A validade estatística do teste de independência pode ser confirmada a partir das suas estatísticas de teste, onde se obteve um chi-quadrado de 31,08, com um valor menor do que 0,1%. Assim, no que diz respeito aos conceitos na disciplina, o uso do laboratório virtual está associado a um perfil de maior desempenho e de menor índice de reprovações, quando comparado a alunos que não utilizaram esse recurso.

Outra abordagem utilizada pelos pesquisadores para determinar a validade dessa trajetória consistiu em comparar diretamente a nota do teste teórico dos dois grupos. Para isso, foi feita uma análise de variância entre as médias das notas dos testes teóricos, com um nível de confiança de 95%. Os intervalos de confiança das médias dos testes dos dois grupos estão apresentados na figura 13.

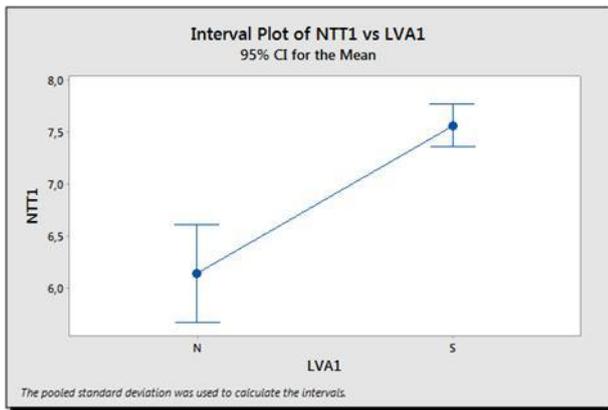


Figura 13: Comparação das médias dos alunos que usaram (S) e que não usaram (N) o laboratório virtual

A análise de variância comprovou ($F=30,09$ e valor $p<0,1\%$) que as médias dos dois grupos não são iguais, sendo notório que a média dos alunos que utilizaram o laboratório virtual é maior. Foi feita uma estimativa da diferença entre as médias, utilizando-se um teste de Tukey, sendo que intervalo de confiança da diferença está apresentado na figura 14.

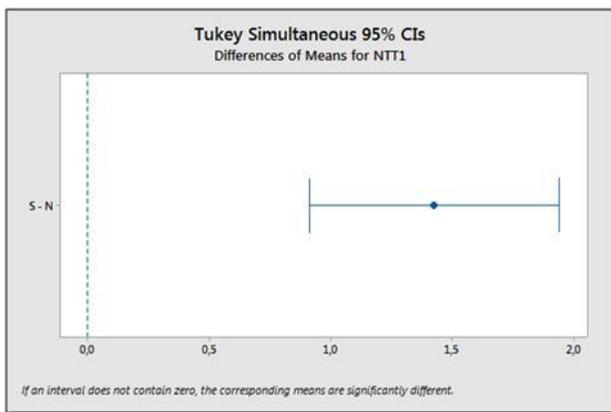


Figura 14: Intervalo de confiança da diferença das médias dos testes teóricos de alunos com e sem LVA.

Nota-se, portanto, que a diferença média entre os dois grupos é de cerca de 1,43 pontos, sendo, no mínimo, de 0,91 pontos. Assim, comprova-se que o grupo que utilizou o laboratório virtual obteve notas mais altas no teste teórico realizado.

Os resultados apresentados até este ponto mostram que os alunos que utilizaram os dois laboratórios (real e virtual) tiveram um desempenho superior na disciplina de mecânica dos fluídos quando comparados aos alunos que usaram apenas o laboratório real.

Uma análise ainda mais avançada foi feita pelos pesquisadores, tendo como intuito avaliar a seguinte possibilidade: seria possível substituir o laboratório real somente pelo laboratório virtual? Com esse intuito, foi feita uma comparação direta das médias dos testes teóricos de dois grupos distintos de alunos: um deles utilizou somente o laboratório real de hidráulica e outro somente o laboratório virtual Hidrolândia. O resultado da análise de variância para os dois grupos está apresentado na figura 15.

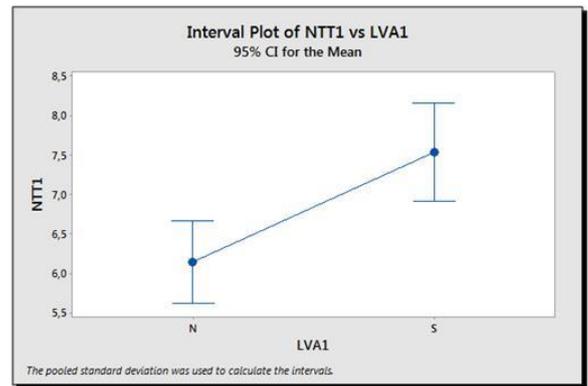


Figura 15: Comparação das médias dos alunos que usaram somente um dos laboratórios: real (N) ou virtual (S)

A análise do teste mostra que as notas dos dois grupos têm diferença estatisticamente significativa ($F=12,27$ e valor $p=0,002$), com 5% de significância. Ou seja, os alunos que fizeram uso do laboratório virtual, mesmo sem passar pela experiência de uso de um laboratório real, tiveram um desempenho superior aos alunos que fizeram experiências práticas reais.

O intervalo de confiança da diferença da média das notas no teste teórico desses dois grupos foi estimado a partir de um teste de Tukey, resultando no que está apresentado na figura 16.

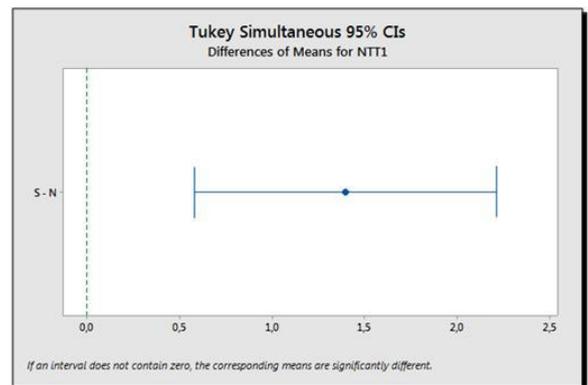


Figura 16: Intervalo de confiança da diferença das médias dos testes teóricos de alunos que utilizaram o LVA quando comparados com os que usaram o laboratório real.

Destaca-se, portanto, que a diferença média entre os dois grupos foi de 1,39 pontos, sendo de, no mínimo, 0,58 pontos ($T=3,50$ e valor $p=0,002$). Logo, se pode concluir que é possível a substituição do laboratório real por um laboratório virtual, caso se tome como indicador de referência a nota em um teste teórico como o que foi aplicado nessa disciplina.

Além dos resultados de conceitos e notas no teste de conhecimento, foram aplicados questionários de percepção junto aos alunos participantes do experimento de uso do LVA. As questões propostas visavam identificar percepções de aprendizado, facilidade de uso, valor do laboratório como recurso didático e outras. Algumas das questões eram permitiam o registro de opiniões sobre o tema perguntado e outras eram abertas.

Os resultados das questões mais representativas da opinião dos alunos foram sintetizados nos gráficos seguintes.

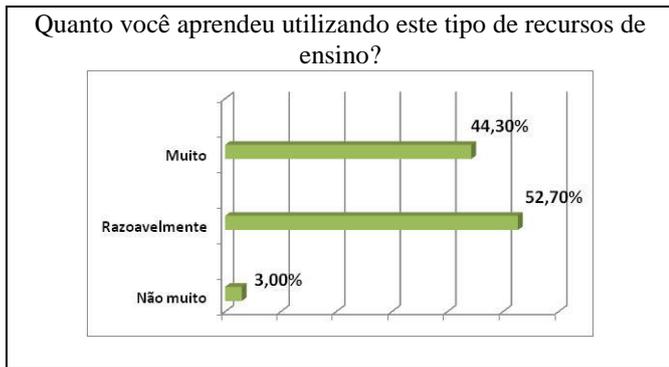


Figura 17: Opiniões dos alunos sobre a trajetória de aprendizagem com o LVA Hidrolândia - aprendizado



Figura 18: Opiniões dos alunos sobre a trajetória de aprendizagem com o LVA Hidrolândia - importância

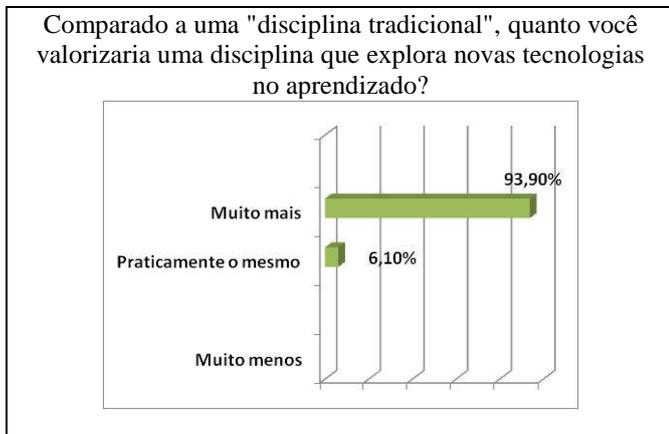


Figura 19: Opiniões dos alunos sobre a trajetória de aprendizagem com o LVA Hidrolândia - uso de novas tecnologias

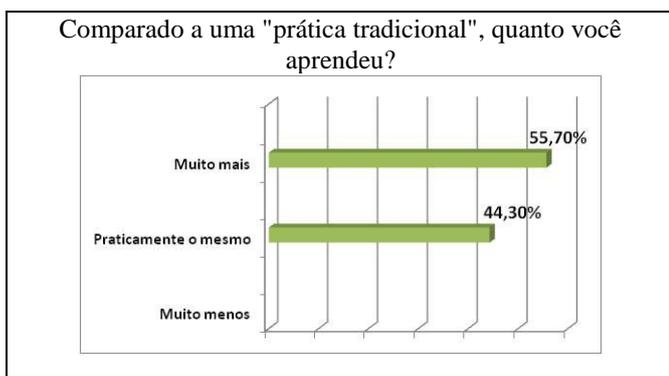


Figura 20: Opiniões dos alunos sobre a trajetória de aprendizagem com o LVA Hidrolândia - comparação com prática tradicional

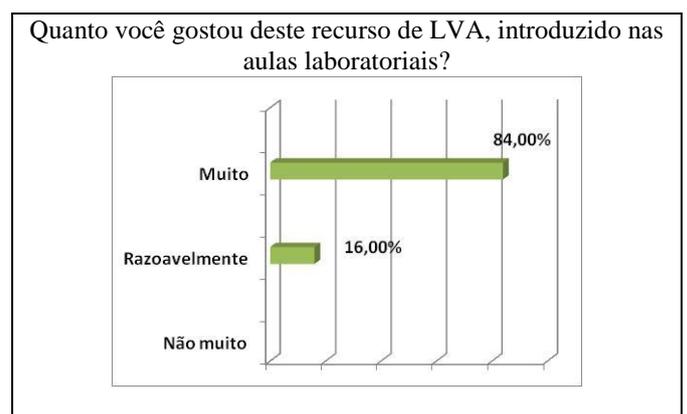


Figura 21: Opiniões dos alunos sobre a trajetória de aprendizagem com o LVA Hidrolândia - apreciação



Figura 22: Opiniões dos alunos sobre a trajetória de aprendizagem com o LVA Hidrolândia - valor

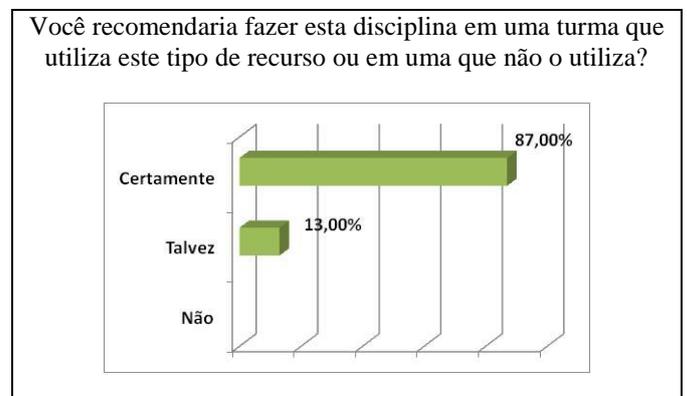


Figura 23: Opiniões dos alunos sobre a trajetória de aprendizagem com o LVA Hidrolândia - recomendação

Ao considerar parte das questões do questionário aplicado, conforme as figuras 17 a 23, vemos que em relação à percepção de aprendizagem por parte dos alunos, os mesmos disseram ter aprendido razoavelmente (52,7%) a muito (44,3%) com o LVA, sendo que 55,7% tiveram a percepção de que aprenderam mais do que com a prática tradicional e, 44,3% praticamente o mesmo. Além disso, 79% acham que é importante estar aprendendo novos conteúdos com este tipo de recurso e 84% informaram ter gostado muito do LVA, sem manifestações de que não gostaram desse recurso.

O LVA, como recurso educacional que promove aprendizagem, foi avaliado como “muito valioso” para 61,8% e “razoavelmente valioso” para 32,1% dos alunos, sendo que, comparado a uma disciplina tradicional, eles

valorizariam “muito mais”, para 93,9%, uma disciplina que explora novas tecnologias na educação como o LVA no aprendizado. Além disto, 87% recomendam “certamente” fazer esta disciplina numa turma que usa este tipo de recurso e 13% “talvez recomendariam”, não havendo nenhuma indicação de que não recomendariam fazer numa disciplina que use o Hidrolândia.

Vemos, portanto, que os alunos têm uma percepção muito positiva em termos da aprendizagem com o uso do LVA. A maior parte das avaliações mostra o aluno valorizando a nova trajetória e recomendando fazer disciplinas que tenham iniciativas deste tipo.

Em relação à percepção que os alunos tiveram sobre a contribuição na compreensão dos conteúdos, se apresentam algumas manifestações importantes, obtidas nas questões abertas:

- "conseguimos visualizar melhor o que é passado em sala de aula. É um bom complemento para a prática, pois podemos voltar e ver o que ficamos em dúvida."
- "a partir do laboratório virtual é possível ver uma aplicação prática do que se aprende em sala de aula."
- "contribuí, é outra maneira de estudar fluidos."
- "contribuí, ótima ferramenta, pois o laboratório físico envolve apenas uma aula e o laboratório virtual possibilita refazer as práticas."
- "com ele podemos visualizar melhor o que acontece em cada experimento, já que no laboratório nosso período de aula é bastante curto."
- "contribuí na compreensão dos conteúdos. É uma ferramenta muito boa visualmente. A interatividade faz com que nos coloquemos no controle da situação proposta, ou seja, podemos rever e refazer a simulação para termos noção das várias formas que o fenômeno pode ocorrer."
- "ajuda, pois muitas das dúvidas são apenas questões de didática, e com aulas virtuais fica mais fácil o entendimento."
- "a relação do conteúdo com exemplos reais, mesmo que simulados, contribuem muito na compreensão do conteúdo."
- "considero que contribuí sim, especialmente porque nele é possível repetir o experimento com mais calma e com menores erros de execução."

Uma análise global dos resultados quantitativos e qualitativos é apresentada na sessão de conclusões, a seguir.

CONCLUSÕES

O desafio de desenvolver novas abordagens pedagógicas para o processo de ensino e aprendizagem é uma meta constante de todo o professor que tenha interesse legítimo no crescimento dos seus alunos. Entretanto, frequentemente nos vemos expostos a uma gama de modismos ou de propostas, sem o devido fundamento teórico nem comprovação científica da sua validade como método a ser adotado.

Os estudos descritos nesse artigo procuraram mostrar uma nova trajetória didático-pedagógica que realmente viabiliza o desenvolvimento de competências de projeto e análise na mecânica dos fluidos. A investigação sistemática, fundamentada por uma avaliação estatística

dos resultados, dá a segurança que os professores desejam quando da adoção de uma nova trajetória para o seu processo de ensinar.

A nova trajetória proposta, a qual adota um laboratório virtual de hidráulica, provou ser capaz de sedimentar e complementar os conhecimentos teóricos obtidos pelos alunos, gerando, comprovadamente, maiores ganhos de aprendizagem.

Os resultados dos testes estatísticos comprovaram que o uso do laboratório virtual em conjunto com o laboratório real de hidráulica gerou um desempenho superior quando comparado com a trajetória inicial, somente como laboratório real. Este desempenho diferenciado foi comprovado tanto pelos conceitos finais, obtidos pelos alunos da disciplina de mecânica dos fluidos, como pela nota no teste teórico aplicado.

Um aspecto muito importante, o qual foi estatisticamente comprovado, é que o índice de reprovação quando se utiliza o laboratório virtual é menor se comparado à trajetória original da disciplina.

Outro achado relevante foi o de que, caso não se possa contar com um laboratório real de hidráulica, este poderia ser substituído, com ganhos, por um laboratório virtual. Ficou claro que a adoção dos dois laboratórios (real e virtual) é a trajetória que gera maior desempenho nos testes teóricos. Entretanto, caso um curso de engenharia não possa investir na construção de um laboratório real, devido aos seus altos custos, um laboratório virtual poderá suprir essa lacuna de formação, inclusive com maiores ganhos de conhecimento teórico.

No que diz respeito aos resultados qualitativos, isto é, aqueles relacionados à aceitação e auto percepção de aprendizagem por parte dos alunos, a proposta foi aceita quase por unanimidade. As entrevistas realizadas com os alunos mostraram que estes não apenas aceitaram com naturalidade o uso de um laboratório virtual, como também consideraram uma atividade agregadora de valor.

As manifestações nesse sentido foram majoritariamente de que o laboratório virtual cumpriu funções como a de sedimentar conhecimentos teóricos, oriundos das aulas expositivas, indo, muitas vezes, além desse patamar. A grande maioria dos alunos declarou que o laboratório virtual complementou conceitos vistos em aula, deixando claro como estes se aplicam na prática.

Os alunos disseram ter aprendido razoavelmente (53%) a muito (44%) com o LVA, sendo que 56% tiveram a percepção de que aprenderam mais do que com a prática tradicional e 44% praticamente o mesmo. Além disso, 79% acham que é importante estar aprendendo novos conteúdos com este tipo de recurso e 84% informaram ter gostado muito do LVA, sem manifestações de que não gostaram desse recurso.

Em relação ao valor que os alunos dão ao laboratório virtual, 62% dos alunos acham muito valioso este recurso tecnológico aplicado no ensino de mecânica dos fluidos e 94% deles valorizam muito mais uma disciplina que explore este tipo de tecnologia em aula, sendo que 87% certamente recomendaria o uso em outras disciplinas. Várias foram as manifestações no sentido de que a possibilidade de manipular parâmetros dos ensaios, com relativa facilidade, permitiu novas visões e insights por parte dos alunos.

Mais importante do que estes aspectos, entretanto, há a intensa manifestação dos alunos de que o estudo do

tema tornou-se muito mais atraente. Estes resultados estão alinhados com as propostas de Jonassen (1995), que propõe que ocorre aprendizagem significativa quando esta for ativa, construtiva, cooperativa, autêntica e intencional.

As pesquisas realizadas nas turmas que utilizaram o laboratório virtual mostraram que estas premissas da aprendizagem significativa foram atingidas praticamente em todas as situações em que o laboratório foi aplicado. Na verdade, em muitos casos, foi manifestado que o estudo se tornou prazeroso e cativante. E esta é, sem dúvida, uma das principais metas de um professor, qual seja, fazer de suas aulas um ambiente onde o aprender seja um processo natural e gratificante.

REFERÊNCIAS

- Ausubel, D. P. (1963) *The psychology of meaningful verbal learning: an introduction to school learning*. New York: Grune & Stratton. 255 p.
- Barrios, A. et al. A multi-user remote academic laboratory system. *Computers & Education*, 62(2013), 111–122, 2013.
- DE jong, T.; Njoo, M. (1992) Learning and instruction with computer simulation: learning processes involved. In: CORTE, E. de; LINN, M. C.; MANDL, H.; VERSCHAFFEL, L. (Ed.). *Computer-based learning environments and problem solving*. Berlin: Springer-Verlag. p. 411-427.
- Dormido, S. Control learning: present and future. (2003) In: *IFAC WORLD CONGRESS, 15*, Barcelona. *Proceedings*. Oxford: Pergamon. p. 314-319.
- Farrokhnia, M. R.; Esmailpour, A. (2010) A study on the impact of real, virtual and comprehensive experimenting on students' conceptual understanding of DC electric circuits and their skills in undergraduate electricity laboratory. *Procedia: social and behavioral sciences*, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 5474-5482.
- HSU, Y. S.; THOMAS, R. A. (2002) The impacts of a web-aided instructional simulation on science learning. *International Journal of Science Education*, London, v. 24, p. 955-979.
- Huang, Y.-M.; Chiu, P.-S.; Liu, T.-C.; Chen, T.-S. (2011) The design and implementation of a meaningful learning-based evaluation method for ubiquitous learning. *Computers & Education*, Elmsford, v. 57, n. 4, p. 2291-2302, Dec.
- Huppert, J.; Lazarowitz, R. (2002) Computer simulations in the high school: students' cognitive stages, science process skills and academic achievement in microbiology. *International Journal of Science Education*, London, v. 24, p. 803-821.
- Jonassen, D. H. (1995) Supporting communities of learners with technology: a vision for integrating technology with learning in schools. *Educational Technology*, Englewood Cliffs, NJ, v. 35, n. 4, p. 60-63.
- Jonassen, D. H. (2000) *Computers as mindtools for schools: engaging critical thinking*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Merrill. 297 p.
- Kapp, K. M.; O'Driscoll, T. (2010) *Learning in 3D: adding a new dimension to enterprise learning and collaboration*. San Francisco, CA: Pfeiffer. 389 p.
- Malhotra, N. (2001) *Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada*. Porto Alegre: Bookman.
- Marconi, M. A.; Lakatos, E. M. (2008) *Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, de elaboração, análise e de interpretação de dados*. São Paulo: Atlas.
- Martin-Villalba, C.; Urquita, A.; Dormido, S. (2008) Object-oriented modelling of virtual-labs for education in chemical process control. *Computers and Chemical Engineering*, Amsterdam, v. 32, n. 12, p. 3176-3186, Dec.
- Mattar, F. N. (1999) *Pesquisa de Marketing*. Edição Compacta. São Paulo: Editora Atlas.
- Moreira, M. A. (2011) *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares*. 1a Ed. São Paulo: LF Editorial. 179 p.
- Stefanovic, M. (2013) The objectives, architectures and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education. *Computers & Education*, Elmsford, v. 69, p. 250-262, Nov.
- Tao, P.; Gunstone, R. (1999) The process of conceptual change in force and motion during computer supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 36, p. 859-882.
- Zacharia, Z. C. (2003) Beliefs, attitudes, and intentions of science teachers regarding the educational use of computer simulations and inquiry-based experiments in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 40, p. 792-823.
- Zacharia, Z. C. (2007) Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, Oxford, v. 23, p. 120-132.
- Zacharia, Z. C.; Anderson, O. R. (2003) The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing laboratory inquiry-based experiments on students' conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics*, New York, v. 71, p. 618-629.
- Zacharia, Z. C.; Olympiou, G.; Papaevripidou, M. (2008) Effects of experimenting with physical and virtual manipulative on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 45, n. 9, p. 1021-1035.