

Estado da publicação: O preprint foi publicado em um periódico como um artigo
DOI do artigo publicado: <https://doi.org/10.1590/0102-469839236>

CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO COMO APLICAÇÃO PEDAGÓGICA NO ENSINO TÉCNICO

Paulo Cesar Mioralli, Elson Avallone

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.3889>

Submetido em: 2022-04-04

Postado em: 2022-04-06 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

ARTIGO

CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO COMO APLICAÇÃO PEDAGÓGICA NO ENSINO TÉCNICO

ELSON AVALLONE¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9650-9239>

PAULO CESAR MIORALLI²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8611-4356>

RESUMO: Um túnel de vento didático foi projetado e construído como proposta pedagógica voltada a docentes e discentes de um curso técnico em mecatrônica integrado ao ensino médio do Instituto Federal de São Paulo. A proposta teve como objetivo analisar os resultados na aprendizagem a partir da execução do projeto agregado a um ensaio experimental, assim como averiguar a integração de conteúdos e a interdisciplinaridade nessa prática didática e também apresentar a análise técnico-matemática envolvida na construção do equipamento e no ensaio experimental. A abordagem simultânea e integrada entre análise da prática pedagógica e investigação técnico-matemática constitui-se em um diferencial desta pesquisa. Pontos positivos advindos da prática pedagógica foram evidenciados e podem subsidiar interações didáticas futuras no desenvolvimento de projetos com ensaio experimental. Além da comprovação de teorias existentes sobre dinâmica do ar, a proposta buscou aproximar os discentes ao universo da ciência aplicada por meio de uma mediação docente dialógica e incitante, assim como fornecer uma visão holística entre teoria e prática ambientadas no ensino médio integrado à formação profissional e tecnológica.

Palavras-chave: projeto escolar, prática pedagógica, interdisciplinaridade.

CONSTRUCTION OF A DIDACTIC WIND TUNNEL AS A PEDAGOGICAL APPLICATION IN TECHNICAL EDUCATION

ABSTRACT: A didactic wind tunnel was designed and built as a pedagogical proposal aimed at teachers and students of a technical course in mechatronics integrated with secondary education at the Federal Institute of São Paulo. The proposal aimed to: analyze the learning results from the execution of the project added to an experimental test; investigate the integration of contents and the interdisciplinarity in this teaching practice; presenting the technical-mathematical analysis involved in the construction of the equipment and in the experimental test. The simultaneous and integrated approach between analysis of pedagogical practice and technical-mathematical investigation constitutes a differential of this research. Positive points arising from the pedagogical practice were highlighted and can support future didactic interactions in the development of projects with experimental testing. Besides proving existing theories on air dynamics, the proposal sought to bring students closer to the universe of applied science through a dialogic and encouraging teacher mediation, as well as providing a holistic view between theory and practice set in secondary education integrated with professional training and technological.

Keywords: school project, pedagogical practice, interdisciplinarity.

¹ Instituto Federal de São Paulo. Catanduva, SP, Brasil. <elson.avallone@ifsp.edu.br>

² Instituto Federal de São Paulo. Catanduva, SP, Brasil. <mioralli@ifsp.edu.br>

CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO DIDÁCTICO COMO APLICACIÓN PEDAGÓGICA EN LA EDUCACIÓN TÉCNICA

RESUMEN: Se diseñó y construyó un túnel de viento didáctico como propuesta pedagógica dirigida a profesores y alumnos de un curso técnico en mecatrónica integrado en la escuela secundaria del Instituto Federal de São Paulo. La propuesta tuvo como objetivo analizar los resultados de aprendizaje de la ejecución del proyecto sumado a una prueba experimental, así como verificar la integración de contenidos y la interdisciplinariedad en esta práctica didáctica y también presentar el análisis técnico-matemático involucrado en la construcción de el equipo y en el ensayo experimental. El abordaje simultáneo e integrado entre el análisis de la práctica pedagógica y la investigación técnico-matemática constituye un diferencial de esta investigación. Se evidenciaron puntos positivos derivados de la práctica pedagógica y que pueden apoyar futuras interacciones didácticas en el desarrollo de proyectos con pruebas experimentales. Además de probar las teorías existentes sobre la dinámica del aire, la propuesta buscó acercar a los estudiantes al universo de las ciencias aplicadas a través de una mediación didáctica dialógica e incitadora, así como brindar una mirada holística entre la teoría y la práctica ambientada en la escuela secundaria integrada con la formación profesional y tecnológico.

Palabras clave: proyecto de escuela, práctica pedagógica, interdisciplinariedad.

INTRODUÇÃO

Os seres humanos sempre transformam a natureza em função de suas necessidades. A resolução de problemas, esclarecimento de dúvidas e busca por respostas científicas foram alguns dos critérios utilizados para a criação de novos projetos tecnológicos. Nesse contexto, a mecânica foi a ciência que mais se desenvolveu, tendo como destaque dentre suas áreas a mecânica dos fluidos, que estuda o comportamento físico dos fluidos e suas leis (BRUNETTI, 2008).

Acredita-se que essa ramificação da mecânica é abordada desde a antiguidade, onde conceitos e métodos eram aplicados, ainda que de forma desconhecida, para transformar simples pedaços de madeira em flechas longilíneas, utilizadas em muitos conflitos, já estudadas por Arquimedes, Marcus Vitruvius, Leonardo da Vinci, Galileu Galilei (pai da ciência moderna) e muitos outros (GARBRUCHT, 1987; TOKATY, 1994). Além disso, a mecânica dos fluidos teve grande importância no período das grandes navegações (MENDONÇA DIAS, 1960; CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO, 1994) e no desenvolvimento da ciência de precisão com Pedro Nunes, onde esse conhecimento permitiu a construção de barcos, armas e objetos militares (LEITÃO, 2002).

Zöllner e Nathan (2020) apresentam vários estudos de Leonardo da Vinci sobre o os primórdios do princípio da continuidade dos fluidos em pesquisas com sistemas de bombeamento e escoamentos em rios.

Simon Stevin (1548-1620), Evangelista Torricelli (1608-1647) e Blaise Pascal (1623-1662) estudaram os efeitos da pressão em corpos submersos (BRUNETTI, 2008; GARBRUCHT, 1987; TOKATY, 1994).

O suíço Daniel Bernoulli (1700-1782) fez diversos estudos sobre o movimento dos fluidos, adotando o princípio da conservação da energia, além de propor a propulsão a jato. É de sua autoria o termo “hidrodinâmica” (TOKATY, 1994), mas foi Leonhard Euler (1707-1783), também suíço, que formulou as equações básicas do movimento, homenageando seu criador com o nome de Teorema de Bernoulli.

Isaac Newton (1642-1727) desenvolveu a “Teoria da Semelhança Mecânica”, que proporcionou o estudo de modelos em escala reduzida serem comparados com protótipos em escala real (BARLOW *et al.*, 1999).

Tanto no voo de seus balões quanto no do 14-bis e a Demoiselle, o brasileiro Alberto Santos Dumont utilizou a aerodinâmica, provocando novos questionamentos sobre o comportamento dos fluidos diante da matéria (BARROS, 2003; MUSA, 2003). Com essa nova revolução científica, houve o aprofundamento dos estudos relacionados à dinâmica do ar com novos conceitos e teorias baseadas nos estudos de Newton, Bernoulli e Euler.

O processo de ensino-aprendizagem sobre dinâmica do ar, voltado para cursos técnicos de nível médio-integrado, muitas vezes esbarra na falta ou insuficiência de atividades práticas adequadas que corroborem para sua efetivação. Nesse contexto, Mussi (2019a) alerta para o estabelecimento da ligação entre o aprender e o saber fazer, bem como para a importância do uso de situações-problema na consolidação do aprendizado (MUSSI, 2019b). Dessa forma, os estudantes podem então fazer ligações com os conceitos teóricos e práticos aprendidos em sala de aula, aplicados a um projeto prático (MUSSI, 2019c).

Macedo (2005) faz referência ao resultado da aprendizagem ao se trabalhar com situações-problema e a necessidade dos estudantes de se relacionarem com contextos complexos, desenvolvendo criatividade, capacidade de formular problemas, deliberar soluções e adquirirem autonomia para a apropriação do conhecimento. A sugestão do autor envolvendo a situação-problema foca em identificar o problema, investigar e buscar possíveis soluções.

Meira (1998) aborda o tema da frustração dos professores em não ver o retorno de seu trabalho e esforço. Nas palavras da autora, “é preciso compreender de uma nova forma as relações entre desenvolvimento e aprendizagem”. Assim, trabalhos e pesquisas originários dos próprios estudantes, além de serem motivacionais, promovem o aprendizado, proporcionando a busca de conhecimentos, como a situação problema (MACEDO, 2005).

A literatura vigente é escassa de trabalhos atrelados ao estudo de dinâmica do ar, focado ao ensino técnico, com vistas à melhoria da prática pedagógica e do processo de ensino-aprendizagem. Uma

das maneiras de estudar a dinâmica do ar é através do uso de um túnel de vento, dispositivo mecânico que possibilita a visualização dos fenômenos aerodinâmicos em superfícies e corpos. Do ponto de vista técnico, Chanetz (2017) apresenta várias aplicações de túneis de vento, incluindo a de Gustav Eiffel no projeto da Torre Eiffel (EIFFEL; LEMOINE, 2016). Liu *et al.* (2019) e Barlow *et al.* (1999) mostram vários tipos de túneis de vento. Martins *et al.* (2018) propõem a construção de um túnel de vento didático, porém não trazem as dimensões, cálculos e resultados, tampouco os conceitos básicos sobre aerodinâmica. Adicionalmente, também não fazem menção ao procedimento metodológico e à análise da prática pedagógica.

Neste trabalho, um túnel de vento didático é projetado e construído para a realização de testes aerodinâmicos. A proposta é executar essa atividade com vistas à melhoria do processo de ensino-aprendizagem, cujas pretensões são: analisar os resultados na aprendizagem a partir do desenvolvimento desse projeto composto por um ensaio experimental; averiguar a integração de conteúdos e a interdisciplinaridade nessa prática didática e; apresentar a análise técnico-matemática envolvida na construção do equipamento e no ensaio experimental. A abordagem simultânea e integrada entre análise da prática pedagógica e investigação técnico-matemática constitui-se em um diferencial desta pesquisa quando comparada com trabalhos similares encontrados na literatura. A atividade foi realizada por docentes e discentes do curso Técnico em Mecatrônica Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de São Paulo, IFSP campus Catanduva. Com a pauta de investigação delimitada, buscou-se evidenciar pontos positivos advindos da prática pedagógica que possam subsidiar interações didáticas futuras no desenvolvimento de projetos com ensaio experimental. Ademais, a proposta procurou propiciar uma visão holística entre teoria e prática para discentes do ensino médio integrado à formação profissional e tecnológica, visando contribuir para a construção do conhecimento por meio da busca por uma prática educativa crítica e libertadora.

REFERENCIAL TEÓRICO

Projeto com ensaio experimental como melhoria do processo pedagógico

Atividades com projetos podem ser aplicadas em todas as áreas de conhecimento e níveis de ensino, pois é característica do ser humano elaborar projetos e buscar soluções, fato que favorece a produção do conhecimento (FAGUNDES, 1999). A aprendizagem por meio de projetos constitui-se em uma estratégia de capacitação ativa, na qual uma atividade prática é incluída como mecanismo de ensino. Esta metodologia é baseada em um ensino híbrido caracterizado pela interação entre diferentes disciplinas com o uso de recursos distintos. A exploração de um contexto, o desenvolvimento de ideias e a comunicação entre os envolvidos no projeto são os aspectos importantes dessa prática de ensino que busca melhorar a formação dos estudantes.

A experiência de professores no desenvolvimento de projetos escolares com seus alunos tem mostrado que essa prática educacional contribui na qualificação de indivíduos, tanto docentes quanto discentes, com consciência crítica e criativa. Conforme Prado (2003), um projeto coordenado pelo docente alicerça competências emancipatórias e associadas a novas experiências que imprimem uma postura reflexiva e investigativa ao professor, o que corrobora com a visão de educação de Delors *et al.* (1996), na qual a educação deve estar atrelada a constante atualização de conhecimento e despertar de competências à adaptação e às circunstâncias da vida em sociedade reestruturando a postura docente. No que tange aos alunos, Matos (2011) afirma que o discente que participa de um projeto escolar assume papel de protagonista no processo de aprendizagem, não se limitando a ser simplesmente um receptor de informações. A elaboração e execução de um projeto pelo discente cria uma oportunidade para que aprendizagens e competências diversas sejam desenvolvidas de maneira a responderem às diferentes demandas sociais e profissionais (MAINGAIN; DUFOUR, 2008). Nesse sentido, Pacheco (2011) vincula cognição e competência no desenvolvimento de projetos por discentes, referindo-se à capacidade que revela o domínio de um conjunto de saberes que pode se tornar visível em um dado contexto de ação.

A proposta pedagógica do ensino a partir de projetos é bem contextualizada por Hernandez (1998) e Martins (2001), que alegam que esta metodologia cria situações de aprendizagem mais dinâmicas e efetivas. Hernandez (1998) pondera que essa modalidade pedagógica pode capacitar indivíduos para as

necessidades do mundo do trabalho e da vida nas sociedades modernas. Acrescenta ainda que os projetos colaboram para a construção da subjetividade, aproximam os conteúdos à vivência prática e potencializam a compreensão dos vários fatores de um fenômeno. Para Martins (2001) um projeto como proposta pedagógica estabelece equilíbrio entre pensamento científico e desenvolvimento humano, por estar assentado em uma metodologia que tem como tripé: curiosidade, investigação e descoberta. Segundo o autor, essa metodologia conduz os sujeitos ativos do projeto ao domínio das habilidades didáticas renovadoras, perpassando pela discussão até a comprovação de conjecturas sobre os fatos, incluindo análise criativa de deduções e conclusões.

Quando o projeto envolve atividade experimental, maiores desafios podem surgir quando comparados com a execução de projetos puramente teóricos. Na visão de Silva (2017), dentre as principais dificuldades e barreiras a serem transpostas na elaboração de um projeto experimental estão a motivação, o tempo para preparação e desenvolvimento do projeto e a disponibilidade de materiais, equipamentos e espaço. Maldaner (2013) alerta ainda para as dificuldades em desmistificar o senso comum de alunos que idealizam algumas atividades experimentais como fenômenos espetaculares e inexplicáveis, comumente reforçados pela ficção na mídia através de práticas alquimistas, as quais são lançadas na imaginação dos discentes fora de seu real contexto.

Embora esses obstáculos, projetos com ensaios experimentais têm o diferencial de possibilitarem ao discente o alcance de uma aprendizagem significativa a partir do estabelecimento de uma relação sólida entre teoria e prática. Borges (2002) infere que o envolvimento do aluno em atividades experimentais proporciona o debate de interpretações e ideias acerca de observações e fenômenos com o objetivo de produzir conhecimento. Oliveira (2003) ressalta a relevância de teoria e prática como complementos fundamentais ao enriquecimento da aprendizagem, depreendendo que o desenvolvimento de projetos torna possível a percepção da concepção de teoria-prática em uma relação de distinção e dependência. Na mesma direção, Moura e Silva (2014) argumentam que experimentação e teoria são interdependentes e Silva *et al.* (2019) defendem que a prática experimental articula sempre o fenômeno e a teoria, correlacionando o fazer e o pensar.

No âmbito das ciências exatas, o desenvolvimento de projetos com experimentação é extremamente necessário, visto que aulas expositivas nesta área tendem a ser menos atrativas por se pautarem em dados teóricos, leis, equacionamentos e cálculos. Marcondes e Peixoto (2007) indicam a importância de projetos experimentais na área de ciências exatas quando afirmam que, sem essa prática, o processo de ensino fica restrito a baixos níveis cognitivos, centrado no professor com aulas essencialmente expositivas e com ausência de relação entre conteúdo e cotidiano. Da mesma forma, Pontone Junior (1998) aponta que a prática experimental em ciências exatas ajuda a minimizar o ensino baseado apenas na transmissão de conceitos, o qual proporciona aos alunos uma aversão aos assuntos abordados em face a essa maneira de ensino se resumir a conteúdos decorados.

A literatura vigente revela uma variedade de trabalhos com experimentação na área de ciências exatas vinculados principalmente aos ensinamentos de Física (BARBOSA *et al.*, 1999; SENRA; BRAGA, 2014; ROSA; ALVES FILHO, 2014) e de Química (MORAES *et al.*, 2007; MACHADO; MÓL, 2008; GUIMARÃES, 2009) voltados ao ensino médio. Muitos destes estudos costumam concentrar suas análises sobre a prática pedagógica, elencando as dificuldades dos alunos e professores no desenvolvimento da atividade, bem como identificando os pontos positivos e os conteúdos assimilados nesse contexto educacional. Outros têm como foco a análise técnico-matemática e procedimentos para a realização do ensaio experimental. A ausência de uma abordagem simultânea e integrada dos quesitos “prática pedagógica” e “análise técnico-matemática” ou a superficialidade de tratamento de um desses quesitos inviabiliza demais pesquisadores reproduzirem com fidelidade a experimentação com outros alunos em busca de resultados comparativos de aprendizado. Nesta perspectiva, Araújo e Abib (2003) analisam estudos disponíveis na literatura que abordam atividades experimentais de Física no ensino médio dividindo os trabalhos encontrados em dois grupos, qualitativos e quantitativos. Aqueles de enfoque qualitativo estavam alicerçados em aspectos metodológicos, enquanto que os de caráter quantitativo atrelavam-se a níveis mais expressivos de matematização do problema. Entretanto, não houve trabalhos enquadrados concomitantemente nos dois grupos averiguados. Trabalhos envolvendo construção de túnel de vento didático são encontrados com enfoque quantitativo na literatura e voltados

ao ensino superior (SOETHE *et al.*, 2011; LUAN; NOGUEIRA, 2017; SOUZA; OLIVEIRA, 2018; QUEIROGA; VIANA, 2021).

Para além da análise da prática pedagógica, em um curso técnico integrado ao ensino médio, a sistemática de condução e execução da atividade experimental de um projeto na área de ciências exatas, regrada por íntegra análise técnico-matemática, é primordial para que os discentes possam incorporar o aprendizado de forma concatenada. No caso do curso técnico em mecatrônica integrado ao ensino médio do Instituto Federal de São Paulo, campus Catanduva, uma das prerrogativas do egresso é atuar no setor industrial em processos mecânicos e eletroeletrônicos, de forma a projetar, instalar e operar equipamentos, estando estas ações em total consonância com o desenvolvimento de projeto com ensaio experimental cuja sistemática de realização do experimento seja bem definida.

Há uma escassez de estudos envolvendo projetos com ensaio experimental aplicados à área de mecânica em cursos técnicos integrado ao ensino médio. Complementarmente, projetos nesta área com ensaios experimentais que foquem na análise do processo pedagógico em simultaneidade e integrada com o procedimento técnico para a obtenção de resultados não são encontrados na literatura. A construção de um túnel de vento como proposta pedagógica vai ao encontro do que prescreve Brasil (2006), que a prática e a experimentação não devem ser esquecidas na ação pedagógica e devem ser confrontadas com os conceitos e teorias instituídos historicamente, constituindo-se em dinâmicas com antecedentes, implicações e limitações. Porém, se o procedimento técnico-matemático é tratado perfunctoriamente, não é possível saber com clareza como os conceitos e teorias foram contrapostos com a prática experimental dentro da proposta pedagógica. De forma a associar a díade prática pedagógica e procedimento técnico-experimental em um projeto escolar, a construção e ensaio experimental de um túnel de vento se traduz em uma proposta que possibilita a averiguação de ambos os aspectos.

Ademais, conforme apontam Auler e Delizoicov (2001) e Praia *et al.* (2007), uma compreensão mínima de questões ligadas à tecnologia e à ciência é essencial para a construção da cidadania, questões essas que são de fundamental relevância para discentes de ensino técnico integrado ao nível médio. Destarte, o projeto e ensaio experimental de um túnel de vento como proposta pedagógica busca também contribuir na formação de sujeitos aptos ao exercício da cidadania, com melhores condições de exercitarem a capacidade de diálogo, argumentação, dedução e intervenção em problemas variados da esfera social.

Integração de diferentes conteúdos e interdisciplinaridade no desenvolvimento de projetos

O desenvolvimento de projetos como prática pedagógica permite a aplicação simultânea e a integração de diferentes conteúdos adrede abordados em diferentes disciplinas. Conforme infere Ausubel (2003), o conhecimento prévio dos alunos é uma variável essencial para a aprendizagem significativa. Para o autor, novos conhecimentos adquirem significados quando encontram ancoragem interativa com algum conhecimento prévio particularmente relevante. Segundo Battistel *et al.* (2007), utilizar o conhecimento prévio dos alunos, como o adquirido em disciplinas do curso, possibilita a percepção entre a incoerência de seus conhecimentos e a realidade observada, implicando em uma mudança conceitual. Nessa direção, Souza *et al.* (2013) alegam que é possível desenvolver o conhecimento científico aliado ao conhecimento anterior. Pozo e Crespo (2009) complementam ainda que os conhecimentos científico e cotidiano são compatíveis e por este motivo apresentam relação entre si.

A integração e simultaneidade de diferentes conteúdos no desenvolvimento de projetos vai ao encontro da concepção de docentes da área técnica sobre a interdisciplinaridade que, segundo Dal Molin *et al.* (2016), consiste na relação entre as disciplinas e na integração de suas temáticas. Nessa ótica, Rehem (2016) abordou a interdisciplinaridade na construção e no planejamento de dispositivos didáticos, relacionando-os com os processos produtivos e o mercado de trabalho, o que exigiu uma prática fundamentada na teoria. Ysa (2018) relacionou a pedagogia e as ciências exatas, integrando as diversas disciplinas em um projeto específico de medida de pressão em um tubo de Venturi, constituindo uma experiência de alto valor para a construção e apropriação do conhecimento.

Segundo Japiassu (1976) e Demo (1997) existem abordagens diferentes sobre interdisciplinaridade. Contudo, Japiassu (1976) assevera que a interdisciplinaridade objetiva combater três pontos atrelados ao processo de aprendizagem, sendo a fragmentação do saber, a dissolução do complexo e a superação de modelos impostos. Dentre as concepções mais aceitas de interdisciplinaridade, destaca-se a de Fazenda (2011) que parte do pressuposto de que deve haver interação dinâmica entre as disciplinas por meio de um processo mútuo entre os saberes, visando entrelaçar os sentidos para a promoção do conhecimento a partir da comunicação entre os indivíduos com base na reciprocidade.

Cascino (2004) alerta para práticas pedagógicas reducionistas ao simples cruzamento de disciplinas ou de partes dos conteúdos disciplinares, as quais podem não ser efetivas no processo de aprendizagem, visto que não há interdisciplinaridade de fato. Segundo o autor, assim como para Fazenda (2002, 2011, 2012, 2014), a interdisciplinaridade requer um olhar para além das relações entre as disciplinas, devendo haver o diálogo e valorização nas relações produzidas entre docentes e discentes no processo de ensino-aprendizagem. Hartmann e Zimmermann (2007) também defendem que deve haver um trabalho integrado entre professor e estudante, assim como Augusto e Caldeira (2007) afirmam que há a necessidade de discussão coletiva, sob a mediação docente, para o desenvolvimento de um ensino mais efetivo. Práticas pedagógicas que podem ser confundidas com a interdisciplinaridade são a multidisciplinaridade e a pluridisciplinaridade. Japiassu (1976) e Trindade (2004) explicam que a multidisciplinaridade se caracteriza pela aplicação simultânea de um único tema por várias disciplinas, não havendo, porém, integração e real cooperação entre elas. Para os autores, na pluridisciplinaridade há uma interação entre os assuntos das disciplinas, com visão do objeto de estudo a partir de diferentes ângulos e sem diálogo entre as partes envolvidas. Ferrari (2007) ressalta que esses dois termos precisam ser transpostos porque não cooperam para a superação à fragmentação do saber, tal qual a interdisciplinaridade. Percebe-se então que, para cada formato de interação didática, a relação entre disciplinas e conteúdos é orquestrada de maneira distinta, sendo a interdisciplinaridade a forma mais defendida pelos pesquisadores.

No tocante à integração de conteúdos e à interdisciplinaridade inseridas no desenvolvimento de projetos, apontamentos positivos dessa prática pedagógica podem ser observados. Para Martins (2001), quando a metodologia de projeto é interdisciplinar e a abrangência da área de conhecimento é maior, as diferentes disciplinas se relacionam com o objetivo de aprofundar o conhecimento, tornando os estudos mais dinâmicos e interessantes, de forma que uma disciplina auxilia outra, favorecendo a investigação, a construção de novos conceitos e a tomada de atitudes diante de fatos da realidade. Almeida (2002) complementa que as fronteiras disciplinares são rompidas pela integração de conteúdos no desenvolvimento de projetos. O rompimento dessas fronteiras permite integrar as disciplinas no desenrolar das investigações, aprofundando-as verticalmente em sua própria realidade concomitantemente com o estabelecimento de articulações horizontais numa relação de reciprocidade entre elas, tendo como pano de fundo a unicidade do conhecimento em construção. Morin (2015) é ainda mais taxativo ao afirmar que a integração de conteúdos fomentada pelo desenvolvimento de projetos busca solucionar aspectos globais e complexos da aprendizagem, nos quais estudantes são incapazes de articular entre si os conteúdos e saberes adquiridos de forma isolada.

Dessa maneira, a integração de conteúdos e a interdisciplinaridade em projetos constitui-se em uma prática efetiva em busca do aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem. Trabalhar esses aspectos torna-se necessário e ao mesmo tempo um desafio. A literatura vigente apresenta diversas discussões sobre interdisciplinaridade e integração de conteúdos, porém não foca nem exemplifica aplicações práticas desses conceitos em atividades com projetos, principalmente voltados ao ensino técnico na área de mecânica e dinâmica do ar.

O túnel de vento é um equipamento amplamente utilizado na construção aeroespacial e automotiva, portanto tem aplicação prática para trabalhos que poderão ser desenvolvidos pelos futuros profissionais. Tais trabalhos tem características interdisciplinares e geralmente requerem um esforço conjunto dos indivíduos envolvidos, pautado no diálogo e na discussão com alta criticidade. A sólida formação tecnológica específica é o alicerce para a lida com situações reais, nas quais o saber e o pensar diários são imprescindíveis para o mercado de trabalho. Assim, a construção de um túnel de vento didático como prática pedagógica, buscando-se integrar diferentes conteúdos com interdisciplinaridade

no projeto, torna-se de alto valor colaborativo na edificação de profissionais habilitados aos labores e exigências do setor industrial mecânico, além do que, essa atividade representa a desconstrução de práticas educacionais tradicionais nessa área de atuação.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Abordagem empírico-pedagógica

Segundo Almeida e Szymanski (2010), o delineamento dos procedimentos de uma pesquisa e a análise de dados dependem do processo metodológico optado pelo pesquisador. O foco deste trabalho é a construção de um túnel de vento como proposta pedagógica, na qual se pretende: analisar os resultados na aprendizagem a partir do desenvolvimento desse projeto composto por ensaio experimental; averiguar a integração de conteúdos e a interdisciplinaridade nessa prática didática e; apresentar a análise técnico-matemática envolvida na construção do equipamento e no ensaio experimental.

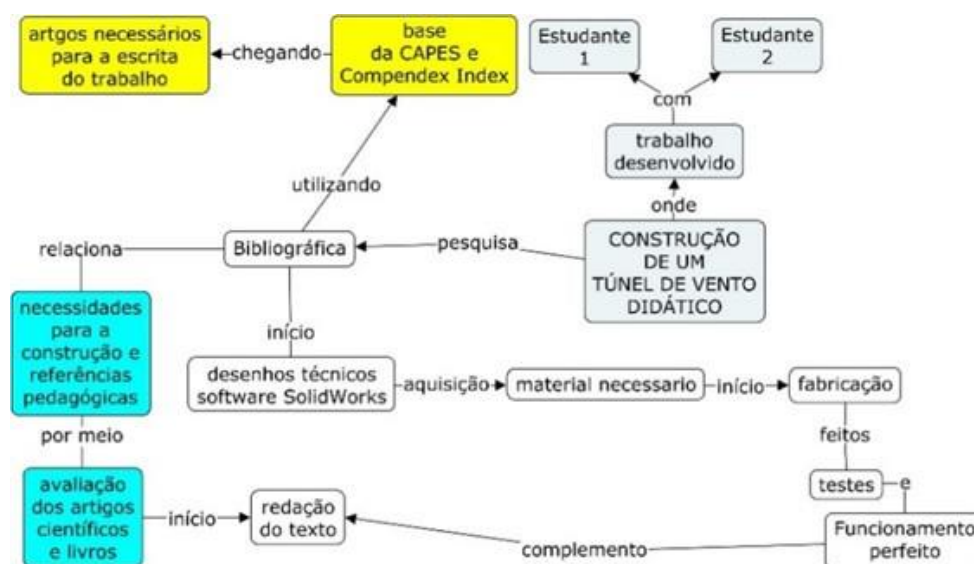
Para a análise das duas primeiras pretensões supramencionadas, foi utilizada uma metodologia de caráter qualitativo. Santos e Greca (2013) alegam que a pesquisa qualitativa facilita a compreensão de uma dada situação educacional. O aspecto positivo de uma abordagem qualitativa é a obtenção de explicações em maior profundidade sobre o objeto de pesquisa (MILES; HUBERMAN, 1994). Fortin (2009) afirma que, na pesquisa qualitativa, o pesquisador está centrado na compreensão do fenômeno em estudo.

Gil (2008) argumenta que há sete tipos de pesquisa, dentre os quais um deles é o estudo de caso. De acordo com Yin (1994), o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno dentro de seu contexto, tendo como vantagem a combinação de diferentes fontes de evidência que podem incluir registros de arquivos, documentação, observações diretas da atividade e/ou dos participantes, artefatos físicos, entrevistas e/ou questionários. Dessa forma, o estudo de caso foi considerado como sendo o tipo de pesquisa que se enquadra na prática proposta.

Os participantes do projeto foram dois docentes da área de mecânica e dois discentes, todos vinculados ao curso Técnico em Mecatrônica Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de São Paulo, campus Catanduva. Os docentes, além de participantes, atuaram como orientadores da atividade. A quantidade de discentes participantes está atrelada à necessidade do acompanhamento docente de forma a garantir a segurança dos alunos no manuseio dos equipamentos e maquinários do laboratório de fabricação mecânica para a confecção das partes do túnel de vento.

A proposta de condução do projeto foi organizada em conjunto com todos os envolvidos. Foi confeccionado um mapa conceitual para o desenvolvimento do projeto como um todo, Figura 1, seguindo o plano apresentado pelo MEC ([s.d.]). O referido mapa é uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento e sequência para a execução de um projeto, exibindo as etapas de forma hierárquica (NOVAK; CAÑAS, 2010) e facilitando a visualização do resultado e conclusão do trabalho. Foi utilizado o software *CMapTools*, de plataforma aberta, desenvolvido pelo *Institute for Human Machine Cognition* da *University of West Florida*, que utiliza uma arquitetura flexível (IHMC, [S.d.]) para a confecção do mapa.

Figura 1. Mapa conceitual para a construção do túnel de vento.



A coleta de dados e a avaliação da prática pedagógica foram realizadas por meio da técnica de grupo focal (GOMES; BARBOSA, 1999; DIAS, 2000; CRUZ NETO *et al.*, 2002). Um debate entre os docentes e os discentes participantes foi realizado ao final do projeto, visando a avaliação e a reflexão acerca da proposta pedagógica. Conforme afirma Morgan (1997), na técnica de grupo focal há a coleta de dados por meio das interações entre os indivíduos ao se discutir um tópico específico. Veiga e Gondim (2001) ressaltam que o grupo focal se constitui em um recurso para compreender o processo de construção das percepções individuais.

A técnica de grupo focal segue a linha de pensamento de Thiollent (2011) que, quando a estruturação dos sujeitos da pesquisa está organizada de maneira simples e fácil para a realização de discussões, é possível coletar e analisar dados a partir da narrativa dos envolvidos na atividade. De acordo com Gondim (2003), a utilização de grupos focais está ainda relacionada com os pressupostos e premissas do pesquisador, o qual recorre a essa técnica com uma visão ou intuito específico. No caso da construção do túnel de vento como proposta pedagógica, o grupo focal é uma forma de reunir informações necessárias para melhoria do processo de ensino-aprendizagem, além de promover autorreflexão nos discentes a respeito da interligação dos conteúdos das disciplinas com projetos reais.

Projeto e construção do túnel de vento

O túnel de vento desenvolvido para fins didáticos tem uma construção simples, contudo apresenta todas as especificações básicas de um equipamento de ensaio. Além do túnel de vento, um perfil aerodinâmico também foi construído e inserido no interior do túnel para o ensaio experimental. O desenvolvimento do projeto foi dividido em 7 etapas, conforme especificadas na Tabela 1.

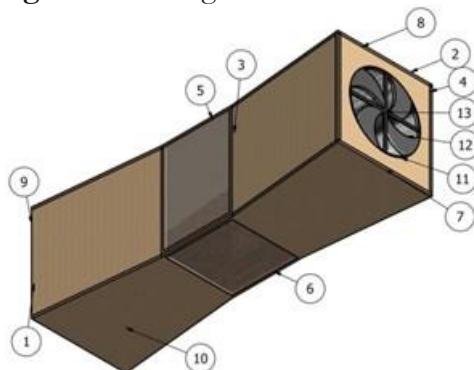
Tabela 1. Etapas para o desenvolvimento do túnel de vento.

ETAPA	ATIVIDADE
1	Pesquisa bibliográfica
2	Projeto e desenho no <i>software</i> SolidWorks®
3	Aquisição de materiais e componentes
4	Confecção das partes
5	Montagem geral e funcionamento
6	Construção do perfil aerodinâmico
7	Ensaio experimental

A etapa de pesquisa bibliográfica foi realizada em busca de projeto similares e averiguação de dimensões características para a confecção de um túnel de vento de pequeno porte. Na segunda etapa, o túnel de vento, suas partes e componentes foram projetados e desenhados com o uso do *software*

SolidWorks®. A Figura 2 apresenta a visão geral do túnel de vento com cada uma de suas partes identificadas. A estrutura é dividida em 13 partes, sendo algumas delas fabricadas pelos estudantes no próprio campus e outras adquiridas no mercado.

Figura 2. Visão geral do túnel de vento.



As partes numeradas na Figura 2 são:

- Parte 01: Filtro de sucção de ar, que organiza o fluxo de ar, eliminando interferências no ensaio;
- Parte 02: Exaustor com diâmetro de 300 mm e motor de $\frac{1}{4}$ de HP;
- Parte 03: Placa de zinco interna, responsável também pela organização do fluxo de ar e redução da turbulência gerada pelas paredes internas;
- Parte 04: Placa de zinco, oposta à “Parte 3”, com a mesma função da anterior;
- Parte 06: Placa de acrílico transparente para visão da área de ensaio;
- Parte 07: Estrutura de sustentação lateral do túnel;
- Parte 08: Estrutura de sustentação lateral, oposta e simétrica à “Parte 07”;
- Parte 09: Estrutura superior do túnel;
- Parte 10: Estrutura inferior do túnel e simétrica à “Parte 09”;
- Parte 11: Estrutura e berço do exaustor;
- Parte 12: Hélice do exaustor;
- Parte 13: Pino de fixação da hélice sobre a armadura.

As Figuras 3 e 4 apresentam as vistas em plano e em perspectiva com as dimensões em milímetros das partes estruturais do túnel de vento.

Figura 3. Vista lateral e perspectiva.

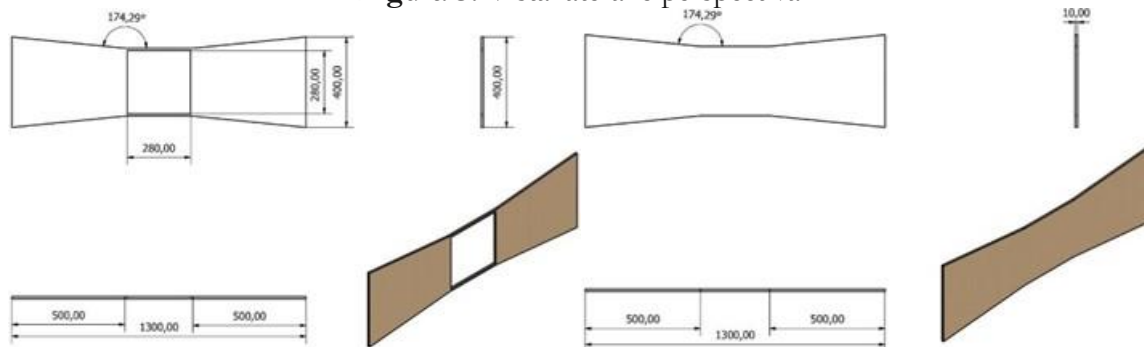
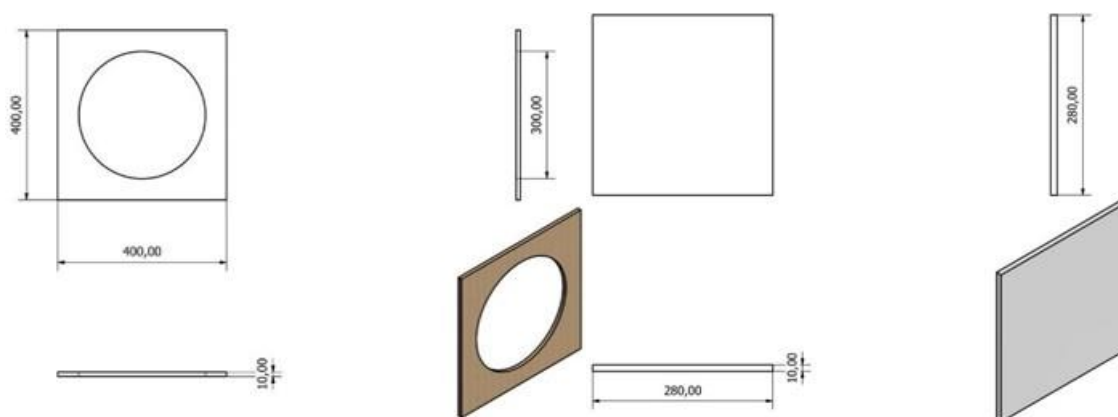


Figura 4. Dimensões do berço do exaustor.



Na terceira etapa da Tabela 1, para a montagem da estrutura do túnel foram utilizadas pranchas de MDF (*Medium Density Fiberboard*) de 10 mm de espessura. Esse material foi escolhido por ser um produto abundante desde os anos 80 (ELEOTÉRIO, 2000) e também uma madeira de reflorestamento de curta rotação e custo relativamente baixo (DIX; MARUTZKY, 1997). Um exaustor de parede de 300 mm de diâmetro com motor elétrico monofásico de $\frac{1}{4}$ de HP foi utilizado para o fornecimento de vazão de ar no túnel. Uma placa Arduino® MEGA (ARDUINO, 2015) foi utilizada para o controle de rotação do exaustor. Um barramento de luzes LED de 220 Volts foi instalado em uma calha na parte superior interna do túnel de vento, visando facilitar a visualização do escoamento de ar sobre o perfil aerodinâmico. Para a obtenção da velocidade do ar na região da área de ensaio, foi utilizado um tubo de Pitot. Para a organização do fluxo de ar, foram usadas placas de zinco em duas paredes internas do túnel e também um filtro de sucção de ar do lado oposto ao do exaustor. Uma placa de acrílico foi usada como anteparo para a visão da área de ensaio.

As pranchas de MDF foram submetidas a processos de usinagem, etapa 4, dando origem às diferentes partes constituintes do túnel de vento, em dimensões exatas, conforme os desenhos prévios mostrados nas Figuras 3 e 4. Na etapa 5, o conjunto de peças MDF usinadas foi devidamente montado e os demais componentes necessários ao túnel foram instalados e tiveram seu funcionamento testados. A Figura 5 apresenta imagens do processo de fabricação de partes do túnel. A Figura 6 mostra a estrutura montada do túnel e detalhes do exaustor instalado.

Figura 5. Processo de fabricação de partes do túnel: (a) berço do exaustor, (b) janela de visualização da área de ensaio.

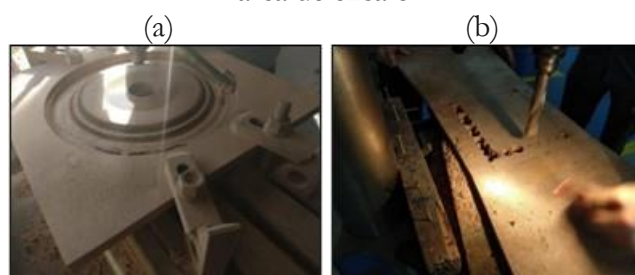


Figura 6. Estrutura montada do túnel e detalhes do exaustor instalado.



Para análises de sustentação e de arrasto, um perfil aerodinâmico foi construído e inserido no túnel de vento, sendo esta a etapa 6 do projeto. Optou-se pela construção de uma asa de isopor com

perfil GÖ387 (Göttingen) (KANDIL, 2017; RIEGELS, 1958), a qual foi instalada em um dispositivo que permite seu deslocamento vertical, conforme a Figura 7.

Figura 7. Dispositivo com perfil aerodinâmico GÖ387 para deslocamento vertical.



Na última etapa da Tabela 1, com o túnel de vento completamente montado, seus acessórios instalados e o perfil aerodinâmico pronto, um ensaio experimental com escoamento de ar no túnel de vento pôde ser realizado.

Análise Técnica e Equações Governantes

Medidas experimentais foram coletadas em um ensaio de escoamento de ar pelo túnel de vento, visando a obtenção da velocidade de escoamento do fluido com o uso de um tubo de Pitot. O tubo de Pitot cria um diferencial de pressão a partir da desaceleração completa do fluido em um de seus pontos. Esse diferencial de pressão pode ser utilizado na equação de conservação de energia, Eq. (1), desenvolvida por Daniel Bernoulli (BRUNETTI, 2008; MUNSON et al., 2009; ROSKAM; LAN, 1997) para o cálculo da velocidade.

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + z_1 g = \frac{V_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + z_2 g \quad (1)$$

sendo V a velocidade do ar, p a pressão do ar, z a cota de altura em relação a um referencial, g a aceleração da gravidade e ρ a densidade do ar. Os subíndices 1 e 2 representam dois pontos tomados para análise do escoamento.

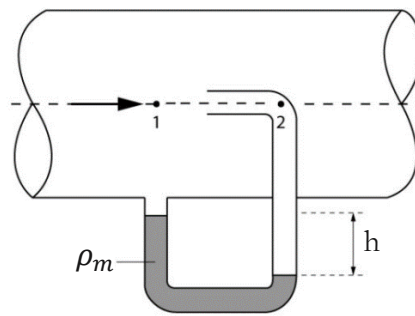
A Figura 8 apresenta o esquema de funcionamento de um tubo de Pitot, o qual é composto basicamente por um tubo em “U” para tomada de pressão em dois pontos (1 e 2). As pressões nos pontos 1 e 2 são chamadas, respectivamente, de *pressão estática* e *pressão de estagnação*. A velocidade no ponto 2 é nula em função da desaceleração do fluido e a velocidade no ponto 1 corresponde à velocidade de escoamento do ar. Neste caso, não há diferença de cotas entre os pontos 1 e 2. Os parâmetros ρ_m e h representam, respectivamente, a densidade e o desnível do fluido manométrico, sendo este utilizado para a obtenção da diferença de pressão entre os pontos 1 e 2 do escoamento. O fluido manométrico utilizado no experimento foi etanol e a diferença de pressão é obtida por meio de manometria. Assim, manipulando algebricamente a Eq. (1), a velocidade de escoamento de ar é obtida como segue:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}} \quad (2)$$

$$p_2 - p_1 = gh(\rho_m - \rho) \quad (3)$$

sendo o desnível h do fluido manométrico medido no experimento e sendo conhecidas as densidades dos fluidos e a aceleração da gravidade.

Figura 8. Esquema de funcionamento do tubo de Pitot.

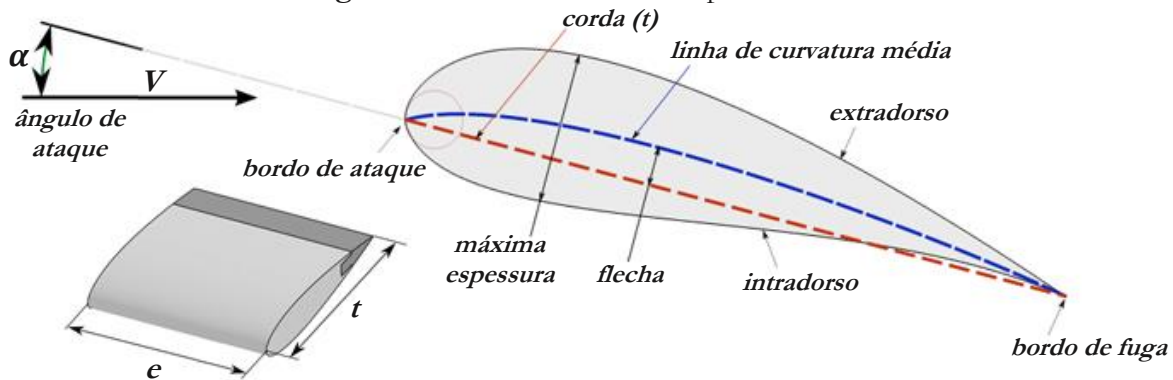


Fonte: Adaptado de Brunetti (2008).

Para melhor compreensão da relação entre velocidade e pressão de um fluido, foi proposto aos alunos o experimento mental validado por Daniel Bernoulli, quando este desenvolveu a Lei da Conservação da Energia para os fluidos. Este experimento está descrito na obra *Hydrodynamica* (BERNOULLI, 1738) e teve como base de análise um reservatório que descarregava água por um tubo horizontal em seu fundo. Através de pequenas transformações desta configuração específica, foram propostas várias variantes experimentais que foram solucionadas por meio de experimentos mentais. De maneira similar, esse processo de análise mental foi utilizado no túnel de vento, resultando na aplicação da referida Lei da Conservação da Energia. Manterola (2015) faz uma análise e validação do experimento mental de Bernoulli, promovendo assim, a construção da criação em relação à criatividade de construção.

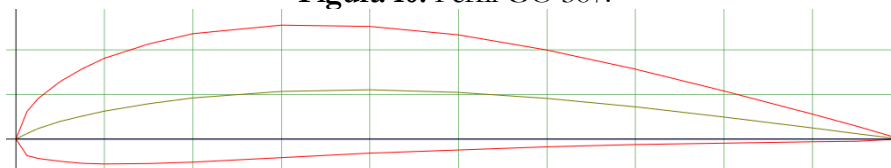
Na análise aerodinâmica do perfil GÖ 387, foi utilizado o *software Airfoil Tools* ([s.d.]) para a geração do perfil e obtenção de parâmetros aerodinâmicos necessários para o cálculo das forças de sustentação e de arrasto no perfil. Esse perfil foi escolhido por ser de fácil construção, pois possui um intradorso (região inferior) praticamente reto. As características de um perfil aerodinâmico são apresentadas na Figura 9. A Figura 10 e a Tabela 2 apresentam, respectivamente, o perfil GÖ 387 gerado no *software Airfoil Tools* e os parâmetros aerodinâmicos deste perfil. Similarmente a este estudo, Araújo *et al.* (2017) utilizaram um aplicativo, *Wind Tunnel*, visando o fortalecimento dos conceitos de dinâmica dos fluidos sobre perfis aerodinâmicos para alunos do ensino médio.

Figura 9. Características de um perfil aerodinâmico.



Fonte: Autor.

Figura 10. Perfil GÖ 387.



Fonte: Airfoil Tools ([s.d.]).

Tabela 2. Parâmetros aerodinâmicos do perfil GÖ 387.

Corda (<i>t</i>) [m]	0,15
------------------------	------

Envergadura (e) [m]	0,15
Área Alar (S) – ($S = t \cdot e$) [m ²]	0,0225

Com base nos parâmetros aerodinâmicos obtidos, a força de sustentação (F_l) e a força de arrasto (F_d) sobre o perfil são calculadas conforme segue (FOX *et al.*, 2018):

$$F_l = C_l \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (4)$$

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (5)$$

sendo V a velocidade do ar na área de ensaio do túnel, obtida conforme Eq. (2). Os parâmetros (C_l) e (C_d) são, respectivamente, o coeficiente de sustentação e o coeficiente de arrasto no perfil, os quais são obtidos por meio do *software Airfoil Tools* ([s.d.]) a partir do conhecimento do número de Reynolds (Re) do escoamento de ar sobre o perfil, Eq. (6). O número de Reynolds é um parâmetro adimensional que permite averiguar a estabilidade do escoamento. Para o cálculo do número de Reynolds é preciso obter a velocidade de escoamento no túnel a partir do ensaio experimental.

$$Re = \frac{\rho V t}{\mu} \quad (6)$$

sendo μ a viscosidade dinâmica do ar.

Os conceitos supracitados sobre dinâmica do ar foram avaliados como um processo educacional por Eastlake (2006), sendo ressaltado o fato de fazerem sentido para públicos de diferentes níveis. Embora a origem dos conceitos englobe complexidade matemática, Eastlake (2006) infere que é possível descrever o fenômeno de forma simplificada, adequada ao nível dos estudantes.

RESULTADOS E AVERIGUAÇÕES

Percepções acerca da prática pedagógica

As percepções acerca da prática pedagógica foram elencadas a partir das discussões no grupo focal, sendo agrupadas em tópicos conforme os pontos previamente estabelecidos para serem averiguados nessa proposta didática.

Sobre a avaliação da aprendizagem a partir do desenvolvimento do projeto, alguns efeitos positivos foram observados:

- Houve participação e interesse efetivos dos discentes, incluindo questionamentos pertinentes atrelados a conhecimentos prévios de conteúdos abordados;
- A existência de ensaio experimental no projeto serviu como motivação e incentivo para a não desistência da atividade, fato que, segundo os discentes, poderia ter ocorrido em função da complexidade matemática inerente ao ensaio;
- A necessidade de utilizar diversos laboratórios para a construção do túnel de vento contribuiu para maior desenvoltura e habilidade prática no manuseio de máquinas e equipamentos que os discentes esperam ter contato próximo quando adentrarem o mercado de trabalho;
- A atuação conjunta dos discentes na resolução dos problemas e na transposição das etapas do projeto favoreceu a troca de ideias e a capacidade de organização para a execução do todo;
- A realização do ensaio experimental em conjunto com os cálculos matemáticos a ele atrelados ampliam a visão da necessidade de um encadeamento de ações para o êxito da atividade;
- A ambientação e o dinamismo para o desdobramento do projeto acarretam em uma atmosfera mais descontraída do que a da sala de aula, contribuindo para a exposição de dúvidas e apresentação de opiniões e pontos de vista de forma mais desinibida;

- A visão e o entendimento de como utilizar conceitos técnicos e aplicar equacionamento matemático é significativamente ampliada no desenvolvimento de um projeto com ensaio experimental.

A respeito da integração entre conteúdos de diferentes disciplinas e interdisciplinaridade no projeto, constatações também foram enumeradas. A Tabela 3 apresenta as disciplinas e conteúdos do curso que se integram no projeto de construção do túnel de vento, além de relacioná-los com a aplicabilidade no projeto.

Tabela 3. Disciplinas, conteúdos e aplicabilidade no projeto.

Disciplinas	Conteúdos	Aplicabilidade
Desenho Técnico Mecânico e Metrologia	Terminologia e sistema métrico, conversão de unidades, instrumentação e leitura de desenhos	Projeto e desenho do túnel de vento
Eletricidade Básica	Tensão, corrente elétrica e circuitos	Instalação do motor elétrico e do barramento LED no túnel
Eletrônica Aplicada	Dispositivos de potência	Controle de rotação do motor elétrico
Física	Eletricidade	Instalação do motor elétrico e do barramento LED no túnel
Hidráulica e Pneumática	Mecânica dos fluidos	Instalação do tubo de Pitot, medida do diferencial de pressão, construção do perfil aerodinâmico e realização do ensaio experimental
Língua Portuguesa e Literaturas	Gramática, redação e dissertação	Pesquisa bibliográfica e escrita de relatório técnico
Matemática	Funções e operações	Cálculos matemáticos
Prática de Usinagem	Processos de fabricação e usinagem	Confecção do perfil aerodinâmico e construção das partes constituintes do túnel
Programação Aplicada à Mecatrônica	Algoritmos, fluxogramas e lógica de programação, comunicação com periféricos	Escrita do código de programação em linguagem C e comunicação com o Arduino
Projeto Integrador em Mecatrônica	Habilidades para a pesquisa e trabalho em grupo	Pesquisa bibliográfica, integração de conhecimentos adquiridos e organização para o desenvolvimento do projeto
Resistência dos Materiais e Elementos de Máquinas	Dimensionamento de componentes e elementos normalizados	Confecção das partes constituintes do túnel
Microcontroladores	Arquitetura e características de um sistema microcontrolador	Compilação do programa em linguagem C, leitura e aquisição de dados pelo Arduino
Tecnologia dos Materiais	Segurança no trabalho e propriedades mecânicas	Uso adequado dos laboratórios, aquisição de materiais, confecção do perfil aerodinâmico e construção das partes constituintes do túnel

Baseado na Tabela 3, conhecimentos prévios de 43% das disciplinas da grade curricular do curso Técnico em Mecatrônica Integrado ao Ensino Médio do IFSP campus Catanduva foram necessários para a execução do projeto. Desse total de disciplinas, 77% foram da parte profissionalizante. Pierson e Neves (2001) relatam que muitas vezes os discentes não enxergam a conexão entre as disciplinas estudadas e um trabalho que abranja conceitos do curso, promovendo a integração como uma possibilidade de fazer essa junção, conforme definido. Ressalta-se que a Tabela 3 foi construída a partir

do grupo focal com participação efetiva dos alunos, mostrando que a visualização da conexão entre disciplinas e projeto é possível.

Visando a ocorrência da interdisciplinaridade na prática pedagógica, os docentes mantiveram uma postura instigante para com os discentes ao longo de todo o desenvolvimento do projeto, com base em conversas e discussões constantes dos eventos. Os docentes buscaram manter uma conduta de orientação com perspectiva dialógica, articulando os conteúdos das disciplinas com o ensaio experimental e objetivando, a partir de suas atitudes, um maior engajamento da aprendizagem dos discentes por meio de novas relações entre os executores do projeto. Os seguintes pontos foram levantados no grupo focal sobre integração de conteúdos e interdisciplinaridade no projeto:

- As dúvidas de aprendizado sobre determinado conteúdo, transmitido somente via explicação teórica pelo docente, podem ser sanadas pela interação com outro conteúdo inserido na prática experimental e também via discussão com outro discente participante do projeto;
- A construção do túnel de vento e a realização do ensaio experimental permitiram compreender como diferentes conteúdos podem ser utilizados simultaneamente e interligados entre si, fatos que muitas vezes não são visualizados na explicação teórica do docente;
- O ensaio experimental possibilitou a manipulação física de diferentes conteúdos através da observação direta de eventos, diferentemente do que ocorre dentro da sala de aula, onde o discente recebe passivamente os conteúdos de forma fragmentada;
- A forma de apresentação, sequencial e estruturada, de alguns conteúdos em livros didáticos, a qual não era compreendida pelos discentes, passou a ter significado após a realização do projeto e do ensaio experimental;
- Conteúdos com grau de abstração, no entendimento discente, podem ser materializados pelo desenvolvimento do projeto com ensaio experimental;
- Os conteúdos verificados experimentalmente e a ligação entre eles tornam-se peremptórios na memória dos discentes, facilitando o uso dos conceitos no futuro;
- O desenvolvimento do projeto e a realização do ensaio experimental possibilitou aos discentes maior capacidade de raciocínio em reconhecer a necessidade de aplicação simultânea de conteúdos, bem como a relação entre eles em projetos reais;
- A visualização da conexão entre os conteúdos e a dependência entre eles em determinadas situações é facilitada pela postura e atitude incitadoras do docente, nas quais se busca estimular o raciocínio e a percepção dos discentes para a construção da inteligência cognitiva.

Dificuldades encontradas pelos discentes no desenvolvimento do projeto e na realização do ensaio experimental foram arroladas no grupo focal. Foi apurado que, na forma como o projeto foi conduzido, as dificuldades estavam relacionadas fundamentalmente à sua parte técnica, com destaque para:

- Utilização de máquinas e ferramentas disponíveis no laboratório de fabricação mecânica em função de algumas partes do projeto apresentarem grau de complexidade de construção maior do que elementos didáticos construídos nas aulas e disciplinas do curso;
- Adaptação à necessidade constante de uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) dentro dos laboratórios e seguir as rígidas normas de segurança de uma oficina mecânica (NR 6 - SECRETARIA DO TRABALHO, [S.d.]);
- Recorrente análise de exequibilidade do projeto e verificação de discrepâncias durante a execução, promovendo a adaptabilidade e a procura de soluções, não só mecânicas e eletrônicas, mas também viáveis economicamente;
- Pesquisa bibliográfica e manuseio com bases de dados.

Embasado nas percepções acerca da prática pedagógica, nota-se que o desenvolvimento do projeto com ensaio experimental contribuiu para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem, possibilitando aos discentes interconectarem, e assimilarem de maneira mais contundente, conteúdos e disciplinas regradados a discussões instigantes orquestradas pelas atitudes e intenções docentes. Salienta-se

que este projeto não se constitui em uma solução às dificuldades de aprendizado observadas dentro da sala de aula, tampouco tem pretensões para tal. Trata-se de um ensaio pedagógico e experimental em busca da intensificação e fixação da aprendizagem de conceitos técnicos transmitidos em um curso técnico em mecatrônica integrado ao ensino médio do Instituto Federal de São Paulo, assim como, busca aproximar o discente a situações reais de trabalho, pois, conforme assevera Berbel (2011), o ambiente pedagógico pode proporcionar liberdade e autonomia nas decisões do futuro profissional.

Ensaio Experimental e Resultados Técnico-Matemáticos

Para o ensaio experimental no túnel de vento, os valores da Tabela 4 foram utilizados para a aceleração da gravidade (g), a densidade (ρ) do ar, a viscosidade dinâmica (μ) do ar e para a densidade do etanol (ρ_m) (fluido manométrico no tubo de Pitot). Os dados das propriedades do ar foram extraídos de Bergman e Lavine (2019) e a densidade do etanol foi calculada pela ferramenta *The Engineering ToolBox* (2021), todas as propriedades considerando condições normais de pressão atmosférica e temperatura de 20 °C.

Tabela 4. Parâmetros utilizados no ensaio experimental.

Aceleração da gravidade (g) [m/s^2]	9,81
Densidade do ar (ρ) [kg/m^3]	1,194
Viscosidade dinâmica do ar (μ) [$Pa \cdot s$]	$1,81 \cdot 10^{-5}$
Densidade do etanol (ρ_m) [kg/m^3]	789,4

O túnel de vento foi submetido ao escoamento de ar e o desnível h do fluido manométrico no tubo de Pitot foi medido. Assim, a velocidade V do escoamento foi obtida a partir das Eqs. (2) e (3) e o número de Reynolds Re calculado pela Eq. (6). O valor obtido para Re foi usado como dado de entrada no *software Airfoil Tools* para a obtenção dos coeficientes de sustentação (C_l) e de arrasto (C_d) sobre o perfil GÖ 387, sendo que os valores obtidos para esses coeficientes se constituem na condição de melhor planeio e maior eficiência do perfil. De posse dos coeficientes de sustentação e de arrasto, os valores das forças de sustentação (F_l) e de arrasto (F_d) foram calculados pelas Eqs. (4) e (5). A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para os parâmetros supramencionados.

Tabela 5. Parâmetros obtidos a partir do ensaio experimental.

Desnível (h) [m]	0,007
Velocidade do Ar (V) [m/s]	9,52
Número de Reynolds (Re)	$9,42 \cdot 10^4 \approx 10^5$
Coefficiente de Sustentação (C_l)	1,1151
Coefficiente de Arrasto (C_d)	0,02217
Força de Sustentação (F_l) [N]	1,358
Força de Arrasto (F_d) [N]	0,027

O *software Airfoil Tools* permite a simulação de perfis aerodinâmicos com algumas opções preestabelecidas para o número de Reynolds como números inteiros. Por este motivo, o número de Reynolds obtido na Tabela 5 foi aproximado da forma $Re = 9,42 \cdot 10^4 \approx 10^5$ para a obtenção dos coeficientes de sustentação e de arrasto. A partir do número de Reynolds, o *software Airfoil Tools* fornece também, além dos coeficientes para a melhor eficiência do perfil, o ângulo de ataque (α), Fig. 9, para esta condição, cujo valor é $\alpha = 6,25^\circ$.

O ensaio experimental agregado à análise matemática da dinâmica do ar no interior do túnel de vento permitiu aos alunos melhor compreensão dos conceitos que regem o fenômeno físico. A visualização do fenômeno contribuiu para a clarificação dos efeitos das variáveis intrínsecas ao problema, comprovando o prescrito pelas equações governantes. Destaca-se nesse processo a edificação do

conceito de diferença de pressão, observado no tubo de Pitot para a obtenção da velocidade de ar no túnel e também no fenômeno de sustentação, dado pela diferença de pressão entre o intradorso (região inferior) e o extradorso (região superior) do perfil aerodinâmico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do projeto do túnel de vento com ensaio experimental comprovou teorias existentes sobre dinâmica do ar e aproximou os discentes ao universo da ciência aplicada. Conceitos matemáticos e físicos de forças aerodinâmicas atrelados a voos de aeronaves e aerodinâmica em veículos puderam ser demonstrados por meio de uma atividade proativa e motivadora, na qual os discentes foram imersos em uma prática laboriosa de construção do conhecimento, ou seja, não meramente acatando informações de maneira passiva.

Analisando o desenvolvimento do projeto como prática pedagógica, averiguou-se que este formato didático contribuiu positivamente no processo de ensino-aprendizagem. O diálogo entre docentes e discentes foi ampliado e a visualização do elo entre assuntos teóricos abordados no curso e sua aplicabilidade em uma situação experimental real foi clarificada, o que permitiu aos estudantes externalizarem seus conhecimentos prévios para a ressignificação de conteúdos. A realização do projeto auxiliou ainda no rompimento de limites de aprendizado no que concerne a compreensão de conceitos técnicos-matemáticos por vezes vistos com certo grau de complexidade e sem aparente vínculo com a realidade, fato que caracteriza a prática como uma ação libertadora para a construção do conhecimento pela introdução de condições mais favoráveis ao exercício cognitivo.

A partir das ações e instigações docentes, o ensaio experimental facultou a manipulação de diferentes conteúdos pelos discentes, assim como a percepção de integração entre eles, fornecendo uma visão holística ao que costuma ser fragmentado em processos didáticos habituais dentro da sala de aula. Foi observado que o conhecimento adquirido dessa forma se conserva na memória discente para aplicações futuras. A abordagem dialógica ao longo do projeto objetivou favorecer a criação de sentido para os conteúdos e a ocorrência da interdisciplinaridade. Muitos estudos abordam e conceituam a interdisciplinaridade, fornecendo diretrizes para que ela ocorra de fato. Todavia, exemplos de como executar atividades interdisciplinares em um curso técnico integrado com foco em dinâmica do ar não são encontrados. O desenvolvimento do projeto de construção do túnel de vento com ensaio experimental mostra que é possível cooperar para o preenchimento dessa lacuna, dando indícios de que a interdisciplinaridade, além da simples integração entre disciplinas e conteúdos, pode ser alcançada.

A presente proposta pedagógica buscou transpor o paralelismo existente entre análise da prática didática (enfoque qualitativo) e investigação técnico-matemática (enfoque quantitativo) comumente encontrado na literatura em trabalhos com experimentação na área de ciências exatas. Visando uma análise simultânea e integrada, no desenvolvimento do projeto procurou-se notabilizar a matematização do problema e seu procedimento técnico para além de um simples roteiro e verificação de leis, incorporando tomada de ações para obtenção de dados, aplicação de equações governantes e apresentação de resultados, conjuntamente com a verificação de aspectos intelectivos no decorrer da atividade, os quais incluem assimilação e integração de conteúdos, conexão entre teoria e prática, agregados ainda ao despertar da curiosidade e tomada de decisões por parte dos discentes.

O caráter investigativo e dinâmico da atividade, transpassando o ensino tradicional de sala de aula, foi primordial para oportunizar aos discentes o levantamento de hipóteses e a análise de argumentos científicos. A maneira como o docente intermedeia o desdobramento da prática, visando manter aguçados o interesse e atenção dos alunos, também é de suma importância para o êxito do trabalho. É por meio da mediação docente que uma possível prática empirista simples e roteirizada seja acrescida de cunho especulativo, tornando-se apropriada para a construção do conhecimento com rigor científico e prazer pelo resultado alcançado. Destaca-se neste contexto a indispensabilidade de capacitação docente nas esferas técnica e pedagógica para atuação no projeto, incluindo mudanças substanciais nas práticas convencionais de ensino para a gerência e delineamento da atividade. Formação continuada é imprescindível para que o docente aumente suas percepções para ações pedagógicas e revise suas concepções de ensino em busca de um perfil cada vez mais polivalente e multifacetado.

A proposta metodológica do túnel de vento não teve como intuito substituir o ensino tradicional aplicado no curso técnico integrado ao ensino médio, mas servir como um instrumento adicional para fomentar e enriquecer o processo de ensino-aprendizagem. Ressalta-se ainda que não há uma forma específica para a condução da proposta pedagógica. A regência e os procedimentos para a execução da prática podem e precisam ser aprimorados. A experimentação de variações na forma de atuação, assim como o uso de práxis alternativas poderão potencializar ainda mais o aprendizado no desenvolvimento de projeto com ensaio experimental.

REFERÊNCIAS

AIRFOIL TOOLS. *GÖ 387 AIRFOIL (goe387-il)*. Estados Unidos da América. [S.d.]. Disponível em: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=goe387-il>. Acesso em: 24 abr. 2020.

ALMEIDA, Laurinda R.; SZYMANSKI, Heloisa. A dimensão afetiva na situação de entrevista de pesquisa em educação. In: SZYMANSKI, Heloisa. (Org.). *A entrevista na pesquisa em educação: a prática reflexiva*. Brasília: Liber, 2010, p. 87-98.

ALMEIDA, Maria E. B. Como se trabalha com projetos (Entrevista). *Revista TV ESCOLA*. Secretaria de Educação a Distância. Brasília: Ministério da Educação, SEED, 2002.

ARAÚJO, Francisco A. G. de; OLIVEIRA, Meirivâni M. de O.; NOBRE, Eloneid F.; PINHEIRO, Alexandre G.; CUNHA, Marcony S. O estudo de dinâmica dos fluidos com o aplicativo wind tunnel. *Revista do Professor de Física*, v. 1, n. 2, p. 25–36, 2017. < <https://doi.org/10.26512/rpf.v1i2.7070>>

ARAÚJO, Mauro S. T.; ABIB, Maria L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, 2003.

ARDUINO. *Arduino MEGA*. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>. 2015. Acesso em: 24 abr. 2020.

AUGUSTO, Thais G. S; CALDEIRA, Ana M. A. Dificuldades para a implantação de práticas interdisciplinares em escolas estaduais, apontadas por professores da área de ciências da natureza. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.12, n.1, p.139-154, 2007.

AULER, Décio; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para quê? *ENSAIO – Pesquisa em Educação e Ciências*, v. 3, n. 1, 2001.

AUSUBEL, David P. *Aquisição e retenção de conhecimentos*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BARBOSA, Joaquim de O.; PAULO, Sérgio R. de; RINALDI, Carlos. Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.16, n. 1, p. 105-122, 1999. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6881/13276>. Acesso em: 23 abr. 2020.

BARLOW, Jewel B.; RAE JR., William H.; POPE, Alan. *Low-speed wind tunnel testing*. 3rd ed. New York: Wiley, 1999.

BARROS, Henrique L. de. *Santos-Dumont e a invenção do voo*. Rio de Janeiro: Zahar Editor, 2003.

BATTISTEL, Orildo L.; FIGUEIREDO, Jacieli; OLIVEIRA, Gilberto O. de; MENEGAT, Tânia M. C.; BULEGON, Ana M. A Solução de Problemas e as Concepções Espontâneas em Física: uma estratégia de abordagem em dinâmica. In: *Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2007, São Luiz-MA. Anais... São Luiz-

MA, 2007. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0635-1.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2020.

BERBEL, Neusi A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, v. 32, n. 1, p. 25-40, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0383.2011v32n1p25>>

BERGMAN, Theodore L.; LAVINE, Adrienne S. *Incropera: Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. 8. ed. São Paulo: LTC, 2019.

BERNOULLI, Daniel. *Hydrodynamica* (em latim), 1738. ETH Bibliothek. Disponível em: <https://www.e-rara.ch/zut/content/structure/1227730>. Acesso em: 28 abr. 2021.

BORGES, Antônio T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607/6099>. Acesso em: 23 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*. Brasília: 2006.

BRUNETTI, Franco. *Mecânica dos fluidos*. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO. (Org.). *Henrique, o Navegador*. Exposição comemorativa do 6º centenário do nascimento do Infante D. Henrique, 4 março a 4 setembro. Porto. Porto: [s.n.], 1994.

CASCINO, Fabio. *Educação Ambiental: princípios, história, formação de professores*. 4 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2004.

CHANETZ, Bruno. A century of wind tunnels since Eiffel. *Comptes Rendus Mécanique*. A century of fluid mechanics: 1870–1970. v. 345, n. 8, p. 581–594, 2017.

CRUZ NETO, Otávio; MOREIRA, Marcelo R.; SUCENA, Luiz F. M. Grupos focais e pesquisa social qualitativa: o debate orientado como técnica de investigação. In: *Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais*, XIII, Ouro Preto-MG, 2002.

DAL MOLIN, Viviane T. S.; ILHA, Phillip V.; LIMA, Ana P. S. de; CARLAN, Carolina; SOARES, Félix A. A. Práticas Interdisciplinares no Ensino Médio Integrado: concepções dos docentes das áreas técnicas e básicas. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, Acta Scientiae, v. 18, n. 3, 2016.

DELORS, Jacques; AL-MUFTI, In'am; AMAGI, Isao; CARNEIRO, Roberto; CHUNG, Fay; GEREMEK, Bronislaw; GORHAM, William; KORNHAUSER, Aleksandra; MANLEY, Michael; QUERO, Marisela P.; SAVANÉ, Marie-Angélique; SINGH, Karan; STAVENHAGEN, Rodolfo; SUHR, Myong W.; NANZHAO, Zhou. *Educação: um tesouro a descobrir*. Relatório para a UNESCO da Comissão Internacional sobre Educação para o século XXI. Porto: Edições Asa, 1996.

DEMO, Pedro. *Conhecimento moderno: sobre ética e intervenção do conhecimento*. Petrópolis-RJ: Vozes, 1997.

DIAS, Cláudia A. Grupo Focal: técnica de coleta de dados em pesquisas qualitativa. *Informação & Sociedade: Estudos*, v. 10, n. 2, 2000.

DIX, Brigitte; MARUTZKY, Reiner. *Use of wood from short-rotation plantations*. Holz Zentralblatt. II. 9. ed. Alemanha: CAB Abstractson CD-ROM, v. 123. p. 141–142, 1997.

EASTLAKE, Charles N. A visão de um engenheiro aeronáutico acerca da sustentação, Bernoulli e Newton. *Física na Escola*, v. 7, n. 2, p. 52–57, 2006.

EIFFEL, Gustave; LEMOINE, Bertrand. *The Eiffel Tower: the three-hundred metre tower*. Köln: TASCHEN, 2016.

ELEOTÉRIO, Jackson R. *Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina*. Dissertação (Mestrado em Ciências). São Paulo: Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FAGUNDES, Léa da C. *Aprendizes do futuro: as inovações começaram*. Brasília-DF: MEC, 1999.

FAZENDA, Ivani C. A. *Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa*. 10.ed. Campinas: Papirus, 2002.

_____. *Integração e interdisciplinaridade no Ensino Brasileiro: efetividade ou ideologia*. São Paulo: Loyola Jesuítas, 2011.

_____. *Didática e interdisciplinaridade*. 17.ed. Campinas: Papirus, 2012.

_____. *Interdisciplinaridade: um projeto em parceria*. 7.ed. São Paulo: Loyola Jesuítas, 2014.

FERRARI, Elza de L. *Interdisciplinaridade: um estudo de possibilidades e obstáculos emergentes do discurso de educadores do ciclo II do ensino fundamental*. Tese (Doutorado em Educação). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

FORTIN, Marie-Fabienne. *Fundamentos e etapas do processo de investigação*. Lisboa: Lusodidacta, 2009.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.; MICHTELL, John W. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 9. ed. São Paulo: LTC, 2018.

GARBRECHT, Günther. *Hydraulics and hydraulic research: a historical review*. Rotterdam, Boston: A.A. Balkema, 1987.

GIL, Antonio C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, Maria E. S.; BARBOSA, Eduardo F. A técnica de Grupos Focais para obtenção de dados qualitativos. *EDUCATIVA*. Instituto de Pesquisas e Inovações Educacionais, 1999.

GONDIM, Sônia M. G. Grupos focais como técnica de investigação qualitativa: desafios metodológicos. *Paideia*, v. 12, n. 24, p. 149-161, 2003.

GUIMARÃES, Cleidson C. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 3, p. 198-202, 2009.

HARTMANN, Angela M.; ZIMMERMANN, Erika. O trabalho interdisciplinar no Ensino Médio: a reaproximação das “duas culturas”. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 7, n. 2, 2007.

HERNÁNDEZ, Fernando. *Transgressão e mudança na educação: os projetos de trabalho*. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

IHMC, University of West Florida. *CMapTools*. Institute for Human Machine Cognition of University of West Florida. Flórida-USA, [S.d.]. Disponível em: <https://cmap.ihmc.us>. Acesso em: 24 abr. 2020.

JAPIASSU, Hilton. *Interdisciplinaridade e patologia do saber*. Rio de Janeiro: Imago, 1976.

KANDIL, Mohamed A. F.; ELNADY, Abdelrady O. Performance of GOE-387 Airfoil Using CFD. *International Journal of Aerospace Sciences*, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017. <<http://dx.doi.org/10.5923/j.aerospace.20170501.01>>

LEITÃO, Henrique de S. O comentário de Pedro Nunes à navegação a remos. In *Problema Mechanicum Aristotelis de Motu nauigij ex remis*. Lisboa-Portugal: Culturais da Marinha, 2002.

LIU, Bokay; LI, Shichao; GAO, Hongli; DAI, Zhikun; HONG, Xin. Suspension force measuring system for hypersonic wind tunnel test: design and tests. *Measurement*, v. 143, p. 226–233, 2019.

LUAN, Francisco; NOGUEIRA, Ramon M. Pesquisa e desenvolvimento de um protótipo didático de túnel de vento para observação de escoamento de fluido em superfícies aerodinâmicas. In: *Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia*, 2017. Anais... Fortaleza-CE: DeVry Brasil campus Faculdade Nordeste, 2017.

MACEDO, Lino de. *Ensaios pedagógicos: como construir uma escola para todos?* Porto Alegre: Artmed, 2005.

MACHADO, Patrícia F. L.; MÓL, Gerson de S. Experimentando química com segurança. *Química Nova na Escola*, n. 27, p. 57-60, 2008.

MAINGAIN, Alain; DUFOUR, Barbara. *Abordagens Didáticas da Interdisciplinaridade*. Lisboa: Instituto Piaget, 2008.

MALDANER, Otavio A. *A Formação Inicial e Continuada de Professores de Química: Professores/Pesquisadores*. Ijuí-RS: Ed. Unijuí, 2013.

MANTEROLA, Alain U. La analogía provocativa como estrategia pedagógica: el caso histórico de la mecánica de fluidos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, Historia y Epistemología. v. 33, n. 3, p. 159–174, 2015.

MARCONDES, Maria E. R.; PEIXOTO, Hebe R. da C. Interações e transformações – química para o ensino médio: uma contribuição para a melhoria do ensino. In: ZANON, Lenir; MALDANER, Otavio A. (Orgs). *Fundamentos e propostas de ensino de química para a educação básica no Brasil*. Ijuí-RS: Ed. Unijuí, p.43-65, 2007.

MARTINS, Ana V. C.; DELGADO, Lara R. G. P.; CÂNDIDA, Poliana. Projeto e construção de túnel de vento didático. In: *Semana Nacional de Ciência e Tecnologia*, III, 2018, Valparaíso de Goiás-GO. Anais... Valparaíso de Goiás-GO: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás campus Valparaíso, p. 34–36, 2018. Disponível em: [https://www.ifg.edu.br/attachments/article/11531/Anais%20\(1\)%20da%20secitec2018.pdf](https://www.ifg.edu.br/attachments/article/11531/Anais%20(1)%20da%20secitec2018.pdf). Acesso em: 23 abr. 2021.

MARTINS, Jorge S. *O trabalho com projetos de pesquisa: do ensino fundamental ao ensino médio*. 8 ed. Campinas-SP: Papirus, 2001.

MATOS, Marcelo da C. Currículo e projetos socioculturais: investigando a disciplina escolar educação física. *Arquivos em Movimento*, v. 7, n. 2, 2011.

MEC. *Caderno de acompanhamento pedagógico*. Brasília-DF, [S.d.]. Disponível em: http://educacaointegral.mec.gov.br/images/pdf/pme/acompanhamento_pedagogico.pdf. Acesso em: 28 abr. 2020.

MEIRA, Marisa E. M. Desenvolvimento e aprendizagem: reflexões sobre suas relações e implicações para a prática docente. *Ciência & Educação*, v. 5, n. 2, p. 61-70, 1998.

MENDONÇA DIAS, Fernando de Q. e. *Infante D. Henrique*. Lisboa-Portugal: Marinha de Portugal, 1960.

MILES, Matthew B.; HUBERMAN, Alan M. *Qualitative data analysis: an expanded sourcebook*. 2. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994.

MORAES, Roque; RAMOS, Maurivan G.; GALLIAZZI, Maria do C. Aprender Química: Promovendo Excursões em discursos da Química. In: ZANON, Lenir; MALDANER, Otavio A. (Orgs). *Fundamentos e propostas de ensino de química para a educação básica no Brasil*. Ijuí-RS: Ed. Unijuí, p. 193-209, 2007.

MORIN, Edgar. *Ensinar a viver*. manifesto para mudar a educação. Porto Alegre-RS: Sulina, 2015.

MORGAN, David L. *Focus groups as qualitative research*. Qualitative Research Methods Series. 16. London: Sage Publications, 1997.

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C. Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores. *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 7, n. 2, p. 336-348, 2014.

MUNSON, Bruce R.; YOUNG, Donald F.; OKIISHI, Theodore H.; HUEBSCH, Wade W. *Fundamental of fluid mechanics*. 6 ed. USA: John Wiley & Sons, 2009.

MUSA, João L. *Alberto Santos Dumont: Eu naveguei pelo ar*. 2. ed. São Paulo: Nova Fronteira, 2003.

MUSSI, Mônica. C. Pedagogia como ciência e a proposta contextualizada. *Pedagogias contemporâneas: tendências e desenvolvimento da pedagogia do século 21*. Disciplina 4, Unidade 6. Formação pedagógica para educação profissional de nível médio. Centro Paula Souza, 2019a.

_____. A emergência da noção de competência na pedagogia. *A pedagogia das competências*. Disciplina 4, Unidade 8. Formação pedagógica para educação profissional de nível médio. Centro Paula Souza, 2019b.

_____. Trajetória histórica da metodologia de situação-problema. *Pedagogias contemporâneas: tendências e desenvolvimento da pedagogia do século 21*. Disciplina 4, Unidade 5. Formação pedagógica para educação profissional de nível médio. Centro Paula Souza, 2019c.

NOVAK, Joseph D.; CAÑAS, Alberto J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. *Práxis Educativa*, v. 5, n. 1, p. 9-29, 2010.

NR 6 - SECRETARIA DO TRABALHO. NR 6 - Equipamento de proteção individual - EPI. Normas regulamentadoras de engenharia e medicina do trabalho. Brasil: [s.n.], [S.d.].

OLIVEIRA, Fernanda M. F. de. *As dimensões da teoria e da prática nos cursos de graduação em administração: contribuições da metodologia de projetos à luz do pensamento complexo*. Dissertação (Mestrado em

Educação Tecnológica). Belo Horizonte-MG: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG, 2003.

PACHECO, José A. *Discursos e Lugares das Competências em Contextos de Educação e Formação*. Porto: Porto Editora, 2011.

PIERSON, Alice; NEVES, Marcos R. Interdisciplinaridade na formação de professores de ciências: conhecendo obstáculos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 1, n. 2, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4168>. Acesso em: 23 abr. 2020.

PONTONE JUNIOR, Renato. As atividades prático-experimentais em ciências. *Presença Pedagógica*, v. 4, n. 24, p. 71-75, 1998.

POZO, Juan I.; CRESPO, Miguel. Á. G. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. 5. ed. Porto Alegre-RS: Artmed, 2009.

PRADO, Maria E. B. B. *Pedagogia de Projetos*. Série “Pedagogia de Projetos e Integração de Mídias” - Programa Salto para o Futuro, 2003.

PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

QUEIROGA, Arthur de L.; VIANA, Rhander. Projeto de túnel de vento didático. *CREEM*, Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, XXVII, ABCM, Curitiba-PR, 2021.

REHEM, Cleunice M. O Professor da educação profissional: que perfil corresponde aos desafios contemporâneos? *Boletim Técnico do Senac*, 2016. Disponível em: <http://www.bts.senac.br/index.php/bts/article/view/342/328>. Acesso em: 24 abr. 2020.

RIEGELS, Friedrich W. *Airfoil sections: results from wind tunnel investigations*. Münch - Deuschland: R. Oldenburg, 1958.

ROSA, Cleci. W da; ALVES FILHO, José de P. Estudo da viabilidade de uma proposta didática metacognitiva para as atividades experimentais em física. *Ciência & Educação*, v. 20, n. 1, p. 61-81, 2014.

ROSKAM, Jan; LAN, Chuan-Tau. E. *Airplane aerodynamics and performance*. Lawrence, Kan: Darkorporation, 1997.

SANTOS, Flavia M. T. dos; GRECA, Ileana M. Metodologias de pesquisa no ensino de ciências na América Latina: como pesquisamos na década de 2000. *Ciência & Educação*, v. 19, n. 1, p. 15-33, 2013.

SENRA, Clarice P.; BRAGA, Marco A. B. Pensando a natureza da ciência a partir de atividades experimentais investigativas numa escola de formação profissional. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 7-29, 2014.

SILVA, Edson D. da. *A importância das atividades experimentais na educação*. Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em Docência do Ensino Superior). Rio de Janeiro. Universidade Cândido Mendes. AVM – Faculdade Integrada., 2017.

SILVA, Roberto R. da; MACHADO, Patricia F. L.; TUNES, Elizabeth. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, Wildson L. P. dos; MALDANER, Otavio A.; MACHADO, Patricia F. L. (Orgs). *Ensino de Química em foco*. 2 ed. Ijuí-RS: Ed. Unijuí, p. 195-216, 2019.

SOETHE, Viviane L.; SOUZA, Luiz F. dos S.; DEYNA, Arthur. Projeto e construção de um túnel de vento didático. *COBENGE*, Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, XXXIX, Blumenau-SC, 2011. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/8/sexoestec/art2060.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2021.

SOUZA, Diógenes L; OLIVEIRA, Fernando L. de. Projeto e construção de um mini túnel de vento didático de bancada experimental para estudos aerodinâmicos. In: BONATTO, Franciele; HOLZMANN, Henrique A.; DALLAMUTA, João (Orgs.). *Engenharia Mecânica e Industrial: projetos e fabricação*. Ponta Grossa-PR: Atena, 2018, p. 132-150.

SOUZA, Luiz E. S.; LIMA, Jacqueline de C. P.; LIMA NETO, Willis. S. de Ensino de ciências no Brasil: desafios contemporâneos no ensino da física a partir de uma proposta interdisciplinar. *Revista Magistro*, v. 8, n. 2, p. 147–162, 2013.

THE ENGINEERING TOOLBOX. *Ethanol* - Density and Specific Weight. Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/ethanol-ethyl-alcohol-density-specific-weight-temperature-pressure-d_2028.html. Acesso em: 23 abr. 2021.

THIOLLENT, Michel. *Metodologia da pesquisa-ação*. 18 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

TOKATY, Grigory A. *A history and philosophy of fluid mechanics*. New York: Dover, 1994.

TRINDADE, Inêz L. *Interdisciplinaridade e contextualização no “novo ensino médio”*: conhecendo obstáculos e desafios no discurso dos professores de ciências. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemáticas). Belém-PA: Universidade Federal do Pará, 2004.

VEIGA, Luciana; GONDIM, Sônia M. G. A utilização de métodos qualitativos na ciência política e no marketing político. *Opinião Pública*. v.2, n. 1, p. 1-15, 2001.

YIN, Robert K. *Case study research: design and methods*. 2. ed., v. 5. California: Sage, 1994.

YSA, Oscar A. Una experiencia de construcción de conocimiento en la escuela técnica. In: *Congreso Pedagógico de UTE-CTERA*, XXIII, 2018, Buenos Aires-AR. Anais... Buenos Aires-AR: UTE-Unión de Trabajadores de la Educación, 2018. Disponível em: <https://educacionute.org/wp-content/uploads/2019/08/ysa-oscar.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2020.

ZÖLLNER, Frank; NATHAN, Johannes. *Leonardo da Vinci*: obra completa de pintura e desenho. São Paulo: Taschen, 2020.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Ambos os autores tiveram participação ativa em todas as etapas do projeto.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não há conflito de interesse com o presente artigo.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.