



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

DIEGO MACIEL CARNEIRO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE UM
TÚNEL DE VENTO DE BAIXO CUSTO**

SANTARÉM, PA

2020

DIEGO MACIEL CARNEIRO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE UM
TÚNEL DE VENTO DE BAIXO CUSTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Oeste do Pará no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Dr. Carlos José Freire Machado

SANTARÉM, PA

2020

DIEGO MACIEL CARNEIRO

SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE UM
TÚNEL DE VENTO DE BAIXO CUSTO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Oeste do Pará no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Data de Aprovação : 13/03/2020

Aprovada por:



Dr. ALEXANDRE GUIMARAES RODRIGUES, UFPA

Examinador Externo à Instituição



Dr. SERGIO ANTONIO DE SOUZA FARIAS, UFOPA

Examinador Interno



Dr. EDSON AKIRA ASANO, UFOPA

Examinador Interno



Dr. CARLOS JOSE FREIRE MACHADO, UFOPA

Presidente

Carneiro, Diego Maciel.

Sequência de ensino investigativo através da construção de um túnel de vento de baixo custo / Diego Maciel Carneiro. - Santarém, 2020.

100f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências da Educação, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Orientador: Carlos José Freire Machado.

1. Ensino de Física. 2. Experimentos de Baixo Custo. 3. Teoria de Voo. I. Machado, Carlos José Freire. II. Título.

UFOPA/Sistema Integrado de Bibliotecas CDD 23 ed. 530.07

Elaborado por Bárbara Costa - CRB-15/806

AGRADECIMENTOS

Agradeço também aos professores Dr. Carlos José Freire Machado pela ajuda incondicional neste trabalho.

Agradeço a minha esposa Vânia Xavier e minha filha Valentina Antonina Xavier carneiro por serem minhas inspirações diárias.

Agradeço a meus pais, Ademir Quaresma Ferreira e Alda Iris Maciel Carneiro por sempre acreditarem em mim.

Agradeço a todos os servidores da Escola estadual de ensino fundamental e médio São Raimundo Nonato pelo apoio na aplicação do produto desta dissertação.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)- Código de financiamento 01.

RESUMO

Esta dissertação tem o objetivo de desenvolver uma sequência de ensino investigativo (SEI) através da utilização de atividades experimentais de baixo custo para abordar conceitos de teoria de voo no ensino médio. A atividade experimental inicial foi a construção de um protótipo denominado “Simulador radial de Sustentação” e posteriormente foi construído um “túnel de vento” com materiais acessíveis. Foi analisada a produção textual e pictórica de alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola estadual da zona urbana da cidade de Santarém. Utilizou-se a categorização hierárquica descendente (CHD) além das análises de similitude e nuvem de palavras nas respostas às questões propostas na primeira e na terceira atividade experimental desta SEI, através do software IRAMUTEQ (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*). Concluiu-se que a maioria dos relatos após a aplicação da SEI identificaram as diferentes fases do voo e explicaram a força de sustentação via Bernoulli e Leis de Newton.

Palavras-chave: Ensino de Física. Sequência de ensino investigativo. Experimentos de Baixo Custo. Teoria de Voo.

ABSTRACT

This dissertation aims to develop an research-based teaching investigation teaching sequence (RTS) through the use of low cost experimental activities to address concepts of flight theory in high school. The initial experimental activity was the construction of a prototype called “Radial Lift Simulator” and later a “wind tunnel” with accessible materials was built. The textual and pictorial production of students from the 1st year of high school in a state school in the urban area of the city of Santarém was analyzed. Descending hierarchical categorization (CHD) was used in addition to the similarity and word cloud analyzes in the answers to the questions proposed in the first and third experimental activity of this RTS, through the software IRAMUTEQ (Interface of R pour les Multidimensionnelles Analyzes de Textes et de Questionnaires). It was concluded that most of the reports after the application of RTS identified the different phases of the flight and explained the lift force via Bernoulli and Newton's Laws.

Keywords: Low cost experiments. Research teaching sequence. Low cost experiments. Theory of flight

Índice de Imagens

Imagem 1: O dirigível LZ 127 sobre o Rio de Janeiro.	21
Imagem 2: Fluido escoando em um tubo que varia em altura e área da seção reta.....	23
Imagem-3: O trabalho total exercido pelas forças F_1 e F_2	24
Imagem 4: Elementos de um perfil.....	28
Imagem 5- Resultante aerodinâmica.....	28
Imagem 6: Diferentes tipos de flaps.....	30
Imagem 7: Diagrama do corpo livre para um avião durante a subida.....	32
Imagem 8: Primeira atividade experimental proposta.....	45
Imagem 9: O protótipo denominado “Simulador radial de sustentação”	48
Imagem 10: Respostas à questão 2.....	51
Imagem 11: Respostas à questão 2.....	51
Imagem 12: Respostas à questão 3.....	52
Imagem 13: Respostas à questão 3.....	52
Imagem 14: Respostas à questão 3.....	53
Imagem 15: Respostas à questão 3.....	53
Imagem 16: Protótipo montado no laboratório Multidisciplinar da escola.....	55
Imagem 17: Explicação dos detalhes do circuito elétrico do protótipo.....	56
Imagem 18: “Simulador radial de sustentação” em detalhes.....	57
Imagem 19: O protótipo “Simulador Radial de Sustentação.....	84
Imagem 20: O “túnel” de vento em detalhes.....	86

Índice de Tabelas

Tabela 1: Modificações de algumas palavras do corpus.....	33
Tabela 2: Etapas da SEI.....	36
Tabela 3: Relatos dos alunos.....	37
Tabela 4: Relatos dos alunos.....	38
Tabela 5: Relatos dos alunos.....	39
Tabela 6: Relatos dos alunos.....	44
Tabela 7: Relatos dos alunos.....	58
Tabela 8: Relatos dos alunos.....	59
Tabela 9: Relatos dos alunos.....	58
Tabela 10: Relatos dos alunos.....	59
Tabela 11: Relatos dos alunos.....	59
Tabela 12: A apresentação dos significados de cada categoria.....	63
Tabela 13: Relatos dos alunos.....	64
Tabela 14: Relatos dos alunos.....	64
Tabela 15: Relatos dos alunos.....	66
Tabela 16: Relatos dos alunos.....	66
Tabela-17: Relatos dos alunos.....	67
Tabela 18: Formas reduzidas.....	69
Tabela 19: Fatores da análise	71
Tabela 20: A apresentação dos significados de cada categoria.....	74

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Dendograma de classes para as respostas da primeira pergunta.	40
Gráfico 2- Gráfico de similitude das respostas à primeira pergunta.....	41
Gráfico 3- Representação fatorial para as respostas da primeira pergunta.....	42
Gráfico 4 - Nuvem de palavras para as respostas da primeira pergunta.....	43
Gráfico 5: Dendograma de classes da primeira pergunta.....	60
Gráfico 6: Representação fatorial das respostas à primeira pergunta.....	61
Gráfico 7: Gráfico de similitude as respostas à primeira pergunta.....	62
Gráfico 8: Nuvem de palavras das respostas à primeira pergunta.....	63
Gráfico 9: Dendograma de classes das respostas à segunda pergunta.....	68
Gráfico 10: . Representação fatorial mostrando a posição relativa entre as cinco classes segundo o fator 1 x fator 2.....	70
Gráfico 11: Representação fatorial mostrando a posição relativa entre as cinco classes segundo o fator 1 x fator 3.....	71
Gráfico 12. Gráfico de similitude das respostas à segunda pergunta.....	72
Gráfico 13: Nuvem de palavras das respostas à segunda pergunta antes da aplicação do produto.....	73
Gráfico 14: Gráfico de similitude das respostas à segunda pergunta antes da aplicação do produto.....	75
Gráfico 15: Gráfico de similitude das respostas à segunda pergunta depois da aplicação do produto.....	75

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1– INTRODUÇÃO.	13
CAPÍTULO 2– REFERENCIAL TEÓRICO.	15
2.1. Sequência de Ensino Investigativo (SEI).	15
2.1.1. Etapas de uma SEI	16
2.2 – Experimentação	17
CAPÍTULO 3– EMPUXO E EQUAÇÃO DE BERNOULLI.	19
3.1 O empuxo do ar	19
3.2- O Princípio de Bernoulli.	21
3.3- Aplicações do Princípio de Bernoulli.	26
3.4 Conceitos básicos da física do voo.	27
3.4.1 Fases do voo.	29
3.5 – Efeito Coanda.	31
3.6 Leis de Newton e força de sustentação.	31
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA.	33
4.1– Classificação hierárquica descendente (CHD).	34
4.2 – Análise de Similitude.	35
4.3 – Nuvem de palavras.	35
4.4 – Metodologia de aplicação do produto.	35
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DA 1ª ATIVIDADE	37
5.1 – Análise do dendograma das respostas à 1ª atividade.	40
5.2 – Análise de similitude.	41
5.3 – Análise Fatorial de Correspondências.	42
5.4 – Análise da Nuvem de palavras.	43
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DA 2ª ATIVIDADE.	45
CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DA 3ª ATIVIDADE.	48
7.1 Análise da 1ª QUESTÃO.	49
7.2– Análise da 2ª QUESTÃO	50
7.3 – Análise da 3ª QUESTÃO.	52
7.4 – Análise da 4ª Questão.	54

CAPÍTULO 8 – ANÁLISE DA 4ª ATIVIDADE.	55
8.1 – Análise da 1ª Pergunta	57
8.2 – Análise das Respostas à 2ª Pergunta.	64
8.2.1 – Dendograma das Respostas à 2ª Pergunta	68
8.2.2 – Análise Fatorial das Respostas à 2ª Pergunta.	70
8.2.3 – Análise de Similitude.	72
8.2.4 Nuvem de Palavras.	73
CAPÍTULO 9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	79
APÊNDICE A - PRODUTO.	80
APÊNDICE B – IRAMUTEQ.	97

CAPÍTULO 1– INTRODUÇÃO.

Desde a antiguidade o homem busca dominar os céus. A evolução da aviação se conecta junto à evolução da ciência moderna. Desde o voo de Santos Dumont a aviação passou por diversas mudanças até se tornar mais segura e eficiente.

Com o fim da segunda guerra mundial os aviões se tornaram uma ferramenta que alavancava o desenvolvimento econômico de muitos países, e a partir desta época, o transporte aéreo se popularizou cada vez mais. Segundo Moreira, Sene ((2002)

O principal fator para o aumento do número de viajantes internacionais foram os avanços das técnicas de construção aeronáutica: os aviões ficaram maiores, mais rápidos e mais seguros. Além disso, os avanços tecnológicos a maior concorrência entre as empresas tornaram as passagens aéreas relativamente mais baratas.

Atualmente os aviões se tornaram meios de transporte mais acessíveis economicamente para as parcelas mais pobres da sociedade. Apesar de esta atividade ser corriqueira e fascinar bastante indivíduos de todas as idades, dificilmente vemos nos currículos escolares tópicos que abordem a física do voo. Segundo Studart, N. e Dahmen (2006):

[...]é surpreendente como a descrição do voo não tenha sido usada intensamente em livros didáticos e na sala de aula para demonstrar em todos os níveis de escolaridade a aplicação de princípios básicos da Física em exemplos atraentes. Nada contra as roldanas, os planos inclinados e outros exemplos ideais, que ainda são importantes como maneira de se treinar a abstração e reduzir problemas a seus elementos fundamentais. Mas um exemplo prático de um dia-a-dia cada vez mais próximo das pessoas desempenha sem dúvida um papel essencial ao mostrar para os alunos uma física presente na sua vida.”

Os PCN+ preveem que “*a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado*”.

É de vital importância que o ensino da Física deva ser pautado no pensamento crítico. O indivíduo deve ser capaz de lidar com situações problema, usando conceitos científicos de forma analítica e sucinta. A competência **Tecnologia na História** – *Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como*

resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social prevê que o estudante deva

[...] compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época, identificando como seus avanços foram modificando as condições de vida e criando novas necessidades. Esses conhecimentos são essenciais para dimensionar corretamente o desenvolvimento tecnológico atual, através tanto de suas vantagens como de seus condicionantes. Reconhecer, por exemplo, o desenvolvimento de formas de transporte, a partir da descoberta da roda e da tração animal, ao desenvolvimento de motores, ao domínio da aerodinâmica e à conquista do espaço, identificando a evolução que vem permitindo ao ser humano deslocar-se de um ponto ao outro do globo terrestre em intervalos de tempo cada vez mais curtos e identificando também os problemas decorrentes dessa evolução.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta didática para o ensino de Física no que diz respeito à conceitos básicos de Teoria de Voo para o Ensino Médio. Aplicou-se uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), baseada na proposta elaborada por Carvalho (2013), onde se parte de uma problematização inicial, e a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, se chega a uma contextualização da temática abordada. Foram analisadas e comparadas as produções textuais e pictóricas dos alunos, antes e depois da aplicação do produto desta dissertação.

O trabalho está dividido em nove capítulos que visam sintetizar os resultados da aplicação desta SEI, produto desta dissertação. O capítulo 2 traz uma breve fundamentação sobre as SEI's. O capítulo 3 traz o princípio de Bernoulli e suas aplicações, além de conter alguns conceitos importantes da Teoria de Voo. No capítulo 4 traz uma síntese da metodologia e de cada uma das análises utilizadas n nesta dissertação. Os capítulos 5, 6, 7 e 8 trazem as análises de cada uma das atividades propostas na SEI. O capítulo 9 traz as considerações finais, o apêndice A traz a SEI ,o produto desta dissertação e o apêndice B algumas considerações sobre o software *Iramuteq*.

CAPÍTULO 2– REFERENCIAL TEÓRICO.

2.1. Sequência de Ensino Investigativo (SEI).

Uma SEI pode ser entendida, segundo Carvalho (2013, p. 9), como

Uma sequência de atividades (aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada uma das atividades é planejada, sob o ponto de vista do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciarem os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e tendo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores.

Um dos mais importantes pilares que ajudam na construção de uma SEI é um problema inicial. Esta abordagem remete a alguns conceitos do psicólogo e biólogo suíço Jean Piaget (1886-1980). Este problema pode ser experimental ou não, e serve como base para a busca de uma solução usando um raciocínio lógico. Um outro aspecto importante é a importância do erro na construção do conhecimento. É um fato notório que ao usar o erro como ponto de partida para uma problematização pode-se conseguir resultados mais promissores que utilizar um método mais tradicional de ensino.

Como essa tarefa as vezes pode se estender a muitos alunos faz-se necessário o uso de algumas ideias do psicólogo russo Lev Vygotsky (1896-1934). Sua teoria descreve a aprendizagem como um processo social, assumindo que o sujeito necessita da interação com o meio para a aquisição de conhecimento, e o faz, através do processo de mediação, onde as relações interpessoais ganham relevância. Vygotsky ainda apresentou uma relação entre o pensamento e a linguagem, na qual ambas se desenvolvem independentemente e depois se mesclam, além de terem origem do meio social. Segundo Prass (2012):

As interações que favorecem o desenvolvimento incluem a ajuda ativa, a participação guiada ou a construção de pontes de um adulto ou alguém com mais experiência. A pessoa mais experiente pode dar conselhos ou pistas, servir de modelo, fazer perguntas, ensinar estratégias, para que a criança possa fazer aquilo que inicialmente não saberia fazer sozinho. Para Vygotsky a educação não se reduz a aquisição de um conjunto de informações, mas constitui uma das fontes do desenvolvimento, e a educação se define como o desenvolvimento artificial da criança. A essência da educação consistiria em garantir o desenvolvimento proporcionando a criança instrumentos, técnicas interiores e operações intelectuais.

Ao utilizar a interação social como base para sua teoria, Vygotsky mostra que há formas de comunicação não formais. Segundo Vygotsky (1984)

A educação não se reduz a aquisição de um conjunto de informações, mas constitui uma das fontes do desenvolvimento, e a educação se define como o desenvolvimento artificial da criança. A essência da educação consistiria em garantir o desenvolvimento proporcionando a criança instrumentos, técnicas interiores e operações intelectuais.

2.1.1. Etapas de uma SEI

As etapas para a elaboração de uma SEI são: 1) A apresentação do problema, que pode ser experimental ou teórico. 2) Realização de uma atividade de sistematização do conhecimento construído pelo aprendiz e 3) Contextualização do conhecimento no cotidiano do aluno e o aprofundamento desse conhecimento. A seguir apresentamos de forma pormenorizada cada uma destas etapas construídas através de um problema experimental.

Etapa – 1 Apresentação do problema experimental

Nesta etapa apresenta-se o problema experimental para os alunos. É interessante formar pequenas equipes para que os alunos discutam juntos e criem hipóteses sobre o problema abordado. Este material deve ser atrativo para prender a atenção dos alunos.

É nesta etapa em que o aluno deve tentar responder as questões propostas pelo professor, testando suas hipóteses. Segundo Carvalho (2013, pg. 11):

[...] o importante não é o conceito que se quer ensinar, mas as ações manipulativas que dão condições aos alunos de levantar hipóteses (ou seja, ideias para resolvê-lo) e os testes dessas hipóteses (ou seja, pôr essas ideias em prática). É a partir das hipóteses dos alunos que quando testadas experimentalmente deram certo que eles terão a oportunidade de construir o conhecimento. As hipóteses que quando testadas não deram certo também são importante nessa construção, pois é a partir do erro – o que não deu certo – que os alunos têm confiança no que é o certo, eliminando as variáveis que não interferem na resolução do problema. O erro ensina... e muito.

Etapa – 2 Sistematização do conhecimento.

Nesta etapa os alunos complementam a etapa anterior através da fala e da escrita, podendo ser produzido um problema a partir de um texto. O professor nessa fase tem grande importância, pois o debate pode fazer os alunos. Deve-se emergir nesse debate questões que poderiam gerar dúvidas nos alunos.

Etapa – 3 Contextualização e Aprofundamento do Conteúdo.

Nesta etapa se faz necessário abordar com os alunos as aplicações práticas e contextualizar o conteúdo no cotidiano do aluno. As atividades de contextualização devem estabelecer relações entre o problema experimental e alguma situação-problema concreta.

2.2 – Experimentação

Segundo OLIVEIRA et.al (2015),

A sociedade pós-moderna, com sua dinamicidade, premia a inovação e exige a criatividade, levando os cidadãos a uma dedicação crescente no desenvolvimento de novas competências e habilidades. No entanto, convivemos com baixos índices de desempenho escolar e insatisfação dos estudantes com os métodos da educação formal.

Neste sentido a proposição de atividades experimentais no ensino da física deve ser parte da prática educacional dos professores e também servir como motivação para que os estudantes procurem realizar investigações e conjecturarem hipóteses sobre os mais diversos fenômenos científicos que ocorrem em sua realidade.

Segundo o PCN+ (2000),

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável.

Isso inclui retomar o papel da experimentação, atribuindo-lhe uma maior abrangência para além das situações convencionais de experimentação em laboratório. As abordagens mais tradicionais precisariam, portanto, ser revistas, evitando-se “experiências” que se reduzem à execução de uma lista de procedimentos previamente fixados, cujo sentido nem sempre fica claro para o aluno. É tão possível trabalhar com materiais de baixo custo, tais como pedaços de fio, pequenas lâmpadas e pilhas, quanto com kits mais sofisticados, que incluem multímetros ou osciloscópios. A questão a ser preservada, menos do que os materiais disponíveis, é, novamente, que competências estarão sendo promovidas com as atividades desenvolvidas.

Outro fato que pode encorajar o uso de atividades experimentais, é o que se pode tornar uma abordagem experimental uma espécie de desafio, gerando um clima de competição que na maioria das vezes funciona muito bem para motivar os estudantes.

Ainda segundo os PCN+,

Experimentar pode significar observar situações e fenômenos a seu alcance, em casa, na rua ou na escola, desmontar objetos tecnológicos, tais como chuveiros, liquidificadores, construir aparelhos e outros objetos simples, como projetores ou dispositivos óptico-mecânicos. Pode também envolver desafios, estimando, quantificando ou buscando soluções para problemas reais.

Segundo Zômpero e Laburu (2011),

As atividades de investigação permitem promover a aprendizagem dos conteúdos conceituais, e também dos conteúdos procedimentais que envolvem a construção do conhecimento científico. Concordamos que essas atividades, sejam elas de laboratório ou não, são significativamente diferentes das atividades de demonstração e experimentações ilustrativas, realizadas nas aulas de Ciências, por fazerem com que os alunos, quando devidamente engajados, tenham um papel intelectual mais ativo durante as aulas. Consideramos que a apresentação do problema pelo professor é mais oportuna em nossas escolas, devido às condições do trabalho desenvolvido e ao número de alunos em nossas salas de aula. Sendo assim, a apresentação do problema pelos alunos individualmente dificultaria o desenvolvimento de tais atividades.

CAPÍTULO 3– EMPUXO E EQUAÇÃO DE BERNOULLI.

3.1 O empuxo do ar

Um peixe vive no fundo do oceano e observa uma água-viva flutuando acima dele por causa da pressão (a força do peso da coluna d'água sob ele por unidade de área) que aumenta com a profundidade que causa um empuxo. Do mesmo modo, por analogia, vivemos no fundo de um oceano de ar e olhamos para cima para observar um balão à deriva acima de nós. Um balão flutua no ar e uma água-viva fica suspensa na água pela mesma razão: cada um deles é empurrado para cima pela força de empuxo, igual ao peso do fluido (o ar ou a água, nestes exemplos) deslocado. A única diferença que existe entre estas duas forças é na densidade dos fluidos que, no caso do balão, é o ar, no da água-viva é a água. Num fluido o empuxo acontece porque a força total exercida na parte superior do corpo (cujos elementos de superfície têm uma componente vertical para cima) é menor que força total em sua parte inferior (cujos elementos de superfície têm uma componente vertical para baixo). Esta força é devida à pressão existente em cada ponto do espaço preenchida pelo fluido e tem dependência direta com sua densidade. Por isto o corpo humano flutua na água, que tem uma relativamente alta densidade, mas não flutua no ar, com uma densidade muito menor (aproximadamente mil vezes menor).

O empuxo é numericamente igual ao peso do fluido deslocado – o chamado *Princípio de Arquimedes*, que vale logicamente tanto para o ar como para a água – *Um objeto rodeado por ar sofre ação de uma força de empuxo dirigida para cima e igual ao peso do ar deslocado*. Sabemos que um metro cúbico de ar, nas condições ordinárias de pressão e temperatura, tem uma massa de aproximadamente 1,2 kg, de modo que seu peso é cerca de 12 N. Portanto, qualquer objeto de 1 metro cúbico, imerso no ar, sofre ação de um empuxo de aproximadamente 12 N. Portanto, se a massa de um objeto de 1 m³ for maior do que 1,2 kg, cujo peso será maior do que 12 N, ele cairá ao ser liberado no ar. Com uma massa menor do que 1,2 kg, ele se elevará no ar, e com uma massa igual a 1,2 kg ele estará flutuando, em equilíbrio, a uma altura estável.

Qualquer objeto que tenha uma massa menor do que a massa de um volume igual de ar, se elevará. Outro modo de exprimir a mesma coisa é dizer que qualquer objeto menos denso do que o ar se elevará nele. Os balões a gás que se elevam no

ar são, portanto, menos densos do que o ar. O empuxo máximo seria obtido se o balão fosse simplesmente evacuado, mas isso não é prático. O peso da estrutura necessária para evitar o colapso do balão é desvantajoso em relação ao empuxo adicional obtido. De modo que os balões são enchidos com um gás menos denso do que o ar, o que evita o colapso do balão ainda que o mantendo leve. Nos balões esportivos, o gás é simplesmente o ar aquecido.

Nos balões construídos para alcançar grandes altitudes, ou para permanecer no ar por muito tempo, geralmente o hélio é o gás usado. Sua densidade é suficientemente pequena para que o peso total do próprio hélio, do balão e de qualquer carga que carregue seja menor do que o peso do ar que ele desloca. Um gás de baixa densidade é utilizado em balões pela mesma razão que a cortiça ou o isopor é usado para fabricar salva-vidas. A cortiça e o isopor possuem a tendência nem um pouco surpreendente de subir para a superfície da água, como o balão tem a tendência nada surpreendente de elevar-se no ar. Ambos sofrem ação de um empuxo, como qualquer outra coisa. Eles apenas são suficientemente leves para que o empuxo seja significativo.

Diferentemente da água, a atmosfera não possui uma superfície livre bem definida. Não existe um “topo” para ela. Além disso, ao contrário da água, a atmosfera torna-se cada vez menos densa com o aumento da altitude. Enquanto a cortiça flutua na superfície da água, um balão cheio com hélio não se eleva até alguma superfície atmosférica. Quão alto ele subirá? Podemos responder a isso de várias maneiras. Um balão se manterá subindo enquanto deslocar um peso de ar maior do que o seu próprio peso. Como o ar torna-se menos denso com a altitude, um peso progressivamente menor de ar será deslocado, para um dado volume, quando o balão se eleva.

Quando o peso do ar deslocado se igualar ao peso total do balão, a aceleração ascendente deixa de existir. Podemos também dizer que, quando a força de empuxo sobre o balão se igualar a seu peso, o balão deixará de subir. De modo equivalente, quando a densidade média do balão (que inclui sua carga total) se igualar à densidade do ar circundante, o balão deixará de subir. Os balões de brinquedo cheios de hélio normalmente acabam se rompendo depois de soltos, porque quando se elevam a regiões onde a pressão é menor, o hélio do balão se expande, aumentando o volume do balão e distendendo a borracha até rompê-la.

Grandes dirigíveis são projetados de modo que, quando carregados, se elevam suavemente no ar; ou seja, seu peso total é apenas um pouco menor do que o peso do ar deslocado. Quando ele se encontra em movimento, a nave pode ser elevada ou abaixada por meio de “lemes” horizontais de controle.

Até aqui temos tratado da pressão para situações em que o fluido é estacionário, i.e., não está em movimento, porém seu movimento introduz efeitos adicionais, como veremos a seguir.

Imagem 1- O dirigível LZ 127 sobre o Rio de Janeiro



Fonte: Por Jorge Kfuri (1893-1965) - Arquivo da FAB; O Cruzeiro, Rio de Janeiro, 1930, # 83, p. 37., Domínio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7257457>

3.2- O Princípio de Bernoulli.

Considere um fluxo contínuo de água em um cano. Uma vez que a água não se “acumula” em nenhuma parte, a quantidade que atravessa qualquer seção do cano é a mesma que a de qualquer outra seção – mesmo se o cano se alargar ou se estreitar, i.e., qualquer que seja sua seção transversal.

No caso de um fluxo contínuo, um fluido se acelerará quando passar de uma parte mais larga para outra mais estreita do cano. Isso é evidente em um rio largo e lento, que passa a fluir mais rapidamente quando entra em um desfiladeiro estreito ou no caso do rio Amazonas que, no estreito de Óbidos, tem uma velocidade maior que em outras partes dele próprio (quem teve a oportunidade de passar de barco ao

largo por este trecho do rio teve a oportunidade de observar este interessante fenômeno). Outro exemplo é o de uma mangueira de jardim, em que o jato de água torna-se mais rápido quando você aperta a ponta dela e a torna mais estreita.

O movimento de um fluido em fluxo estacionário segue *linhas de corrente* contínuas, imaginárias, representadas pelas linhas finas. As linhas de fluxo são as trajetórias contínuas de minúsculas partes do fluido. Elas são mutuamente mais próximas em regiões mais estreitas, onde a velocidade do fluxo é maior. (As linhas de corrente são visíveis quando fumaça ou outros fluidos visíveis atravessam aberturas apertadas, como em um túnel de vento). Foi Daniel Bernoulli (1700-1782), um cientista suíço do século XVIII, quem primeiro estudou e sistematizou o movimento de fluidos em tubos. Sua descoberta, agora conhecida como o *Princípio de Bernoulli*, pode ser enunciada assim: *onde a rapidez do fluido cresce, a pressão interna do mesmo decresce e vice-versa, onde a rapidez diminui, a pressão interna aumenta*. Isto se aplica a situações em que atrito, turbulência e variações de altura não afetam a pressão.

O princípio vale quando o fluxo é suave e se dá ao longo de linhas de corrente. Onde as linhas de corrente de um fluido se acumulam, a rapidez do fluxo é maior, e a pressão interna do fluido, menor. Variações da pressão interna são evidentes na água que contém bolhas de ar. O volume de uma bolha de ar depende da pressão da água circundante. Onde a água é mais veloz, a pressão é reduzida e as bolhas tornam-se maiores. Na água mais lenta, a pressão aumenta e as bolhas são comprimidas e se tornam menores.

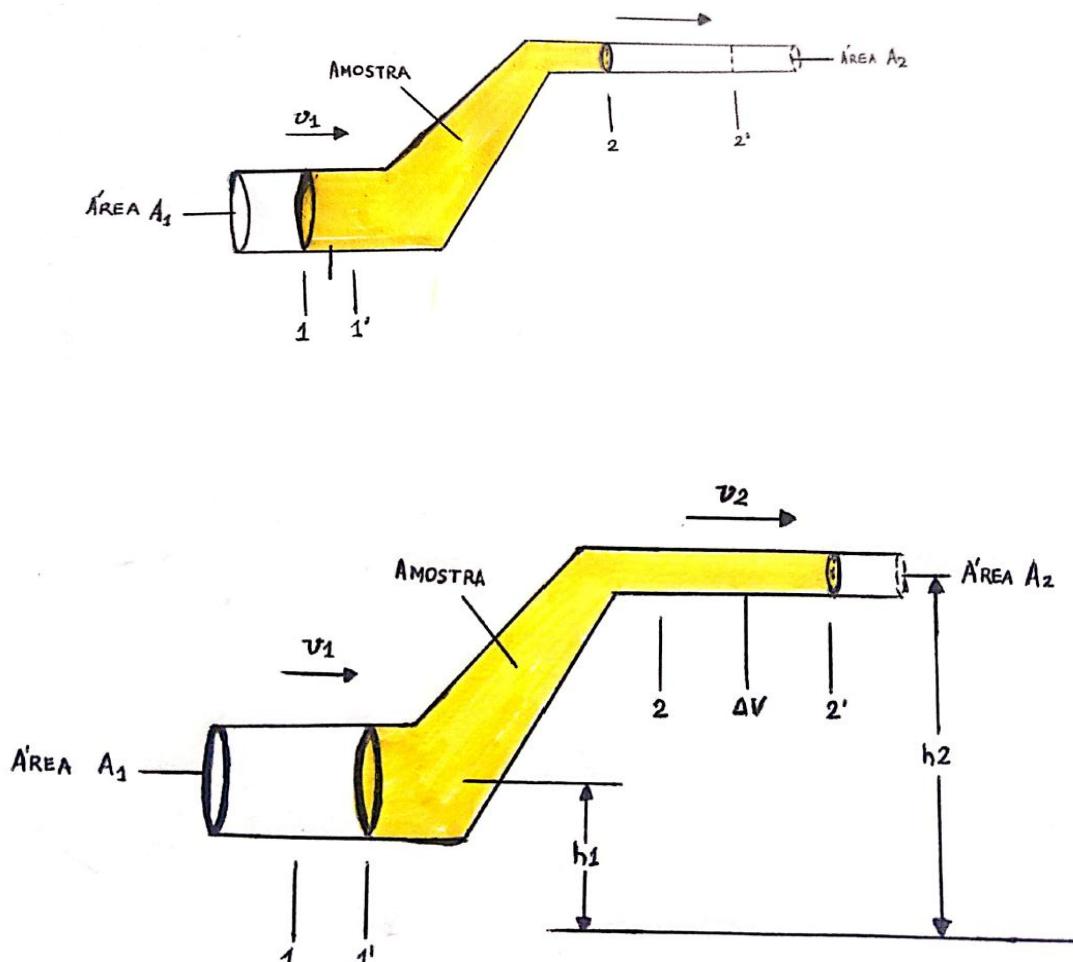
Uma maneira de aumentar muito a pressão de um fluido é levá-lo rapidamente ao repouso (no que é chamado de pressão de estagnação). Se você já teve o azar de ser atingido pelo jato de um canhão d'água, terá experimentado este efeito. A partir da Segunda Lei da Dinâmica escrita na forma de *variação de momento e impulso* percebe-se claramente que uma grande *variação de momentum* está associada a um grande *impulso*. Logo, quando a água proveniente do canhão o atinge, "zerando" o *momento linear* final, o impulso pode tirá-lo do chão. Em oficinas modernas, um jato de água de alta velocidade é capaz de cortar aço.

O Princípio de Bernoulli é uma consequência da conservação da energia, embora, surpreendentemente, ele tenha sido desenvolvido muito antes da

formulação do conceito de energia. O princípio segue também da segunda lei de Newton do movimento.

Em qualquer caso, o princípio de Bernoulli se aplica a todo fluxo suave e estacionário (chamado de fluxo laminar) de um fluido de densidade constante. Em velocidades com valores acima de determinado ponto crítico, todavia, o fluxo pode se tornar caótico (chamado de fluxo turbulento) e seguir caminhos ondulados. Isto ocasiona atrito sobre o fluido e dissipa parte de sua energia. Para demonstrar o princípio de Bernoulli, considere um fluido escoando em um tubo cuja elevação e a área da seção transversal sejam consideradas variáveis. O teorema do trabalho energia cinética será aplicado em uma amostra de fluido inicialmente contida entre os pontos 1 e 2 (figura 1). Durante um intervalo de tempo Δt essa amostra se descola pelo tubo e passa a ocupar a região entre os pontos 1' e 2'.

Imagem 2- Fluido escoando em um tubo que varia em altura e área da seção reta.



Fonte: O autor.

Considere ΔV o volume de fluido, com massa $\Delta m = \rho \Delta V$, que passa pela área da secção transversal no ponto 1 à altura h_1 , com velocidade de escoamento v_1 , durante o intervalo de tempo Δt . O mesmo volume de fluido passa pela área da secção transversal no ponto 2 à altura h_2 , com velocidade de escoamento v_2 , durante o mesmo intervalo de tempo. O efeito resultante total sobre o sistema é a transferência da massa Δm da região 1-1' para 2-2'. A variação de energia potencial do sistema é, então,

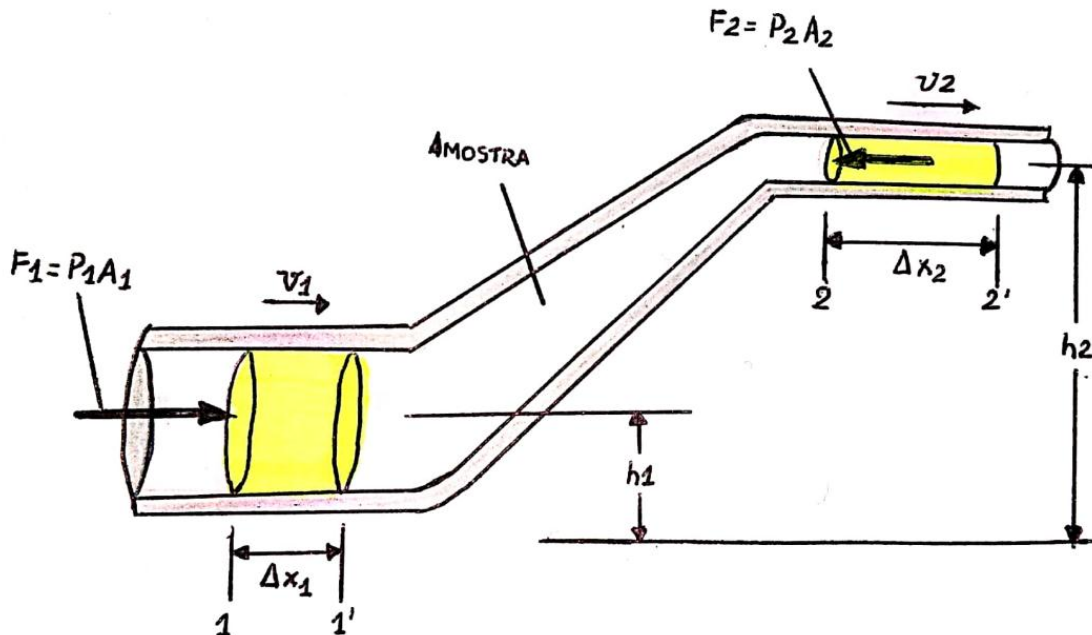
$$\Delta U = \Delta m \cdot g \cdot h_2 - \Delta m \cdot g \cdot h_1 = \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

E o trabalho realizado pelo campo gravitacional será: $\Delta W_g = - \Delta U$.

A variação de energia cinética do fluido é,

$$\Delta K = \frac{1}{2} \Delta m v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m v_1^2 = \frac{1}{2} \rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2)$$

Imagem 3: O trabalho total exercido pelas forças F_1 e F_2 .



Fonte: O autor.

O fluido a esquerda da figura abaixo empurra a amostra com uma força de módulo $F_1 = P_1 A_1$, onde P_1 é a pressão na região 1-1'. Essa força realiza um trabalho,

$$W_1 = F_1 \cdot \Delta x_1 = P_1 \cdot A_1 \cdot \Delta x_1 = P_1 \cdot \Delta V$$

Ao mesmo tempo, o fluido à direita da figura exerce uma força $F_2 = P_2 \cdot A_2$, que se opõe ao movimento da amostra. Essa força realiza um trabalho negativo,

$$W_2 = - F_2 \Delta x_2 = - P_2 A_2 \Delta x_2 = - P_2 \Delta V$$

O trabalho ΔW_{12} realizado por essas forças é

$$\Delta W_{12} = W_1 - W_2 = P_1 \Delta V - P_2 \Delta V = (P_1 - P_2) \Delta V$$

O trabalho total reúne tanto as forças de pressão quanto a força gravitacional, o que nos dá: $\Delta W_{total} = \Delta W_{12} + \Delta W_g = W_{12} - \Delta U$.

Que, de acordo com o teorema do trabalho-energia,

$$\Delta W_{total} = \Delta K$$

Assim,

$$(P_1 - P_2)\Delta V - \rho\Delta Vg(h_2 - h_1) = \frac{1}{2}\rho\Delta V(v_2^2 - v_1^2)$$

Dividindo ambos os lados por ΔV , obtém-se

$$P_1 - P_2 - \rho g(h_2 - h_1) = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)$$

Reunindo todas as grandezas que têm o índice 1 em um lado e aquelas que têm o índice 2 no outro, a equação fica

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Podemos reescrever o resultado acima como

$$P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante}$$

A equação acima é conhecida como equação de Bernoulli, aplicada ao escoamento em regime permanente de um fluido sem viscosidade e incompressível.

Nesta expressão observamos claramente que se a altura aumenta (profundidade diminui) a pressão diminui e que, se a velocidade do fluido aumentar (diminuir) sua pressão diminui (aumenta). Deste modo, a pressão não depende apenas da altura (profundidade), mas tem também uma dependência com o quadrado da velocidade do fluido

3.3- Aplicações do Princípio de Bernoulli

Provavelmente você já deve ter se deparado durante um dia chuvoso com muito vento que ao sairmos de guarda-chuva, corremos um risco muito grande de voar, caso você não esteja segurando muito bem no cabo. Isso ocorre devido a diferença de velocidade de escoamento do vento entre a parte externa e a parte interna do guarda-chuva. O vento é acelerado quando passa acima do guarda-chuva como indica o amontoamento das linhas de corrente nessa região. A pressão ao longo das linhas de corrente é reduzida onde elas se aproximam umas das outras. A pressão mais elevada na parte interna do telhado pode erguê-lo e fazê-lo voar bem distante.

Se concebermos o exemplo do guarda-chuva como sendo análogo à asa de um avião, podemos compreender melhor a força de sustentação que mantém um avião voando. Em ambos os casos, uma maior pressão do lado de baixo empurra o telhado ou a asa para a região acima, onde a pressão é menor. As asas são construídas com uma variedade de formatos. O que todas elas possuem em comum é o fato de que o ar é forçado a fluir mais rápido acima da superfície da asa do que abaixo dela. Isso é conseguido principalmente pela inclinação da asa em relação à horizontal, por um ângulo que é denominado *ângulo de ataque*.

Dessa maneira, o ar flui mais rápido acima da superfície superior da asa pela mesma razão pela qual ele flui mais rápido no estreitamento de um tubo ou em qualquer outra região contraída. Mais frequentemente, mas nem sempre, os diferentes valores de rapidez do fluxo do ar acima e abaixo de uma asa são reforçados pela diferença nas curvaturas das superfícies superior e inferior da asa (a curva do aerofólio). O resultado, então, é que as linhas de corrente tornam-se ainda mais próximas entre si ao longo da superfície superior da asa do que na superfície inferior. Quando a diferença média de pressão na asa é multiplicada por sua área superficial, temos uma força resultante agindo para cima – a sustentação.

A sustentação será maior quando existir uma grande área de asa e quando o avião estiver se deslocando rapidamente. Aviões planadores possuem uma asa com área muito grande em relação ao seu próprio tamanho, de modo que não precisam voar muito rápido para obter sustentação suficiente. Em outro exemplo, aviões de combate, projetados para voar em altas velocidades, possuem a área da asa muito

pequena em relação ao seu peso. Conseqüentemente, eles devem decolar e aterrissar com altos valores de rapidez.

O princípio de Bernoulli explica por que caminhões que passam próximos um do outro em uma autoestrada se puxam, e por que barcos que passam lado a lado um pelo outro correm o risco de colidirem. A água que flui entre os dois navios se desloca mais rapidamente do que a água que passa pelos lados de fora. As linhas de corrente são mais amontoadas entre os navios do que do lado de fora, de modo que a pressão da água que atua nos cascos é reduzida na região situada entre os barcos. A menos que os navios sejam pilotados de modo a compensar isso, as pressões maiores nos lados externos dos navios os forçam a se aproximar um do outro.

3. 4 Conceitos básicos da física do voo.

Nesta seção será feito um breve resumo sobre alguns conceitos básicos de teoria do voo de baixa velocidade abordados com os alunos durante a aplicação do produto desta dissertação. Em um avião em voo atuam quatro forças, a sustentação, o peso, a propulsão (tração) e o arrasto. Em resumo, segundo Studart e Dahmen(2006):

- Sustentação (S) é a componente da força aerodinâmica perpendicular à direção do movimento do voo;
- Arrasto (R), essencialmente uma força de atrito, é a componente da força aerodinâmica paralela à direção de voo;
- Peso é a força da gravidade ($P=mg$) atuando sobre o avião e dirigida para o centro da Terra;
- Tração (T) é a força produzida pelo motor e é dirigida ao longo do eixo longitudinal do avião.

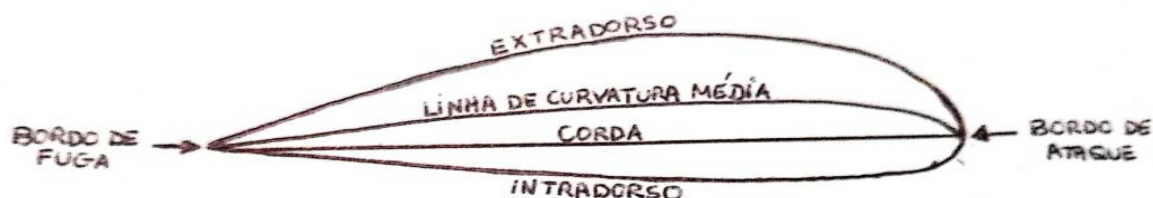
Classifica-se, quanto à função aerodinâmica, as partes em **superfícies aerodinâmicas**, aquelas que não produzem força útil ao voo, como a carenagem das rodas por exemplo e em **aerofólios**, que são as artes do avião que produzem força útil ao voo, como por exemplo as asas, hélice e estabilizador.

Os formatos dos cortes das asas são chamados de **perfis**. Temos dois tipos de perfis os **simétricos**, que são aqueles que pode ser dividido em artes iguais por uma linha reta e os **assimétricos**, que são aqueles que não podem ser divididos por uma linha reta, em partes iguais.

Na imagem abaixo podemos ver os elementos de um perfil em detalhe.

Imagem 4- Elementos de um perfil.

Imagem 4- Elementos de um perfil.



Fonte: O autor.

Bordo de ataque: Extremidade dianteira do perfil.

Bordo de fuga: Extremidade traseira do perfil.

Extradorso: Superfície superior do perfil

Intradorso: Superfície inferior do perfil

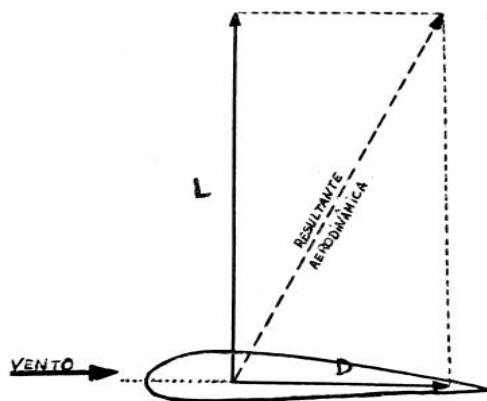
Corda: Linha reta que une o bordo de ataque ao bordo de fuga.

Linha de curvatura média: Linha que equidista o extradorso do intradorso.

Já mostrou-se que as diferentes velocidades nas partes superiores e inferiores da asa geram a força de sustentação, ou, **resultante aerodinâmica**, que empurra a asa para trás e para cima. Esta força é aplicada em um ponto da asa chamado **centro de pressão (CP)**.

Em geral, costuma-se dividir a resultante aerodinâmica conforme o desenho abaixo, em termos de duas componentes: a **sustentação (L)** e o **arrasto (D)**, ambas já citadas acima.

Imagem 5- Resultante aerodinâmica.



Fonte: O autor

A sustentação é a componente perpendicular ao vento relativo, e é importante frisar que nem sempre o arrasto é horizontal. Quando o vento relativo é inclinado, a sustentação e o peso são inclinados em relação à linha do horizonte.

3. 4. 1 Fases do voo.

Segundo ANTAS(1979), *consideram-se fases do voo as diferentes etapas que um avião tem que cumprir em terra e ar.* Em termos gerais, os aviões realizam três grandes fases, a decolagem, o voo de cruzeiro e o pouso. As demais fases foram citadas, com determinada ênfase, mas para termos didáticos, nesta dissertação enfatizou-se as três fases principais.

As fases da decolagem e do pouso são as fases mais críticas do voo. As estatísticas mostram que são nessas fases onde ocorrem o maior número de incidentes.

A fase inicial é a decolagem, onde o avião necessita adquirir uma determinada velocidade para que a força de sustentação comece a atuar. Os motores atingem suas maiores taxas de temperatura nesta fase, devido a necessidade de grande potência para vencer a inércia e a força de arrasto, e fazer o avião adquirir velocidade. A eficiência de superfícies aerodinâmicas como as asas (para elevação), o leme, ailerons e os elevadores dependem da velocidade adequada do fluxo de ar. Essa velocidade do fluxo de ar determina as velocidades mínimas de decolagem.

Abaixo estão dispostas algumas velocidades importantes que o pilotos devem monitorar durante a decolagem.

V1- Velocidade de decisão

V1 é a velocidade máxima na qual uma decolagem pode ser abortada, no caso de uma emergência. A V1 também é a velocidade mínima na qual um piloto pode continuar a decolagem após uma falha de motor. Caso uma falha do motor for detectada após a V1, a decolagem deverá ser continuada.

VR- Velocidade de rotação.

A velocidade de rotação é aquela em que o avião levanta o nariz para sair do chão. A rotação da aeronave começa em VR, o que torna possível a decolagem no final da manobra.

V2- Velocidade mínima de segurança.

V2 é a velocidade mínima de segurança onde o avião ainda pode continuar voando mesmo com um motor operando e mantendo todos os controles aerodinâmicos.

Durante a decolagem, os pilotos através do *checklist*, uma lista de tarefas elaboradas pelo fabricante do avião que ambos os pilotos devem seguir, devem anunciar ao atingir tanto a V1 como a VR. Tal tarefa é uma norma de segurança da aviação. Nesta fase a força de sustentação é maior que o peso da aeronave

O voo de cruzeiro é a fase intermediária entre a decolagem o pouso da aeronave. É uma etapa que geralmente tem a maior duração durante o voo. Nessa fase a aeronave mantém uma velocidade constante e apresenta melhor performance, o que faz que seu consumo de combustível seja mínimo, devido a baixa densidade do ar atmosférico em elevadas altitudes.

A última fase do voo é o pouso, sem dúvida uma das mais críticas dentre todas as outras fases. Trata-se de uma espécie de queda controlada da aeronave. Os aviões nessa fase, atingem as menores velocidades fazendo com que haja uma brusca diminuição em sua sustentação. Geralmente, nessa fase do voo os pilotos usam dispositivos hipersustentadores, dentre eles os *slats e flaps*.

Os *flaps* são dispositivos que servem para aumentar a curvatura do perfil, aumentando assim o coeficiente de sustentação. Em resumo, ele perturba o fluxo do ar no extradorso da asa. Abaixo encontram-se alguns tipos de *flaps* mais comuns.

Imagem 6- Diferentes tipos de flaps.



Fonte: O autor.

Os *slats* são lâminas que permanecem recolhidas em voo normal e se estendem quando necessárias, geralmente quando a aeronave se encontra a baixa velocidade.

3.5 – Efeito Coanda.

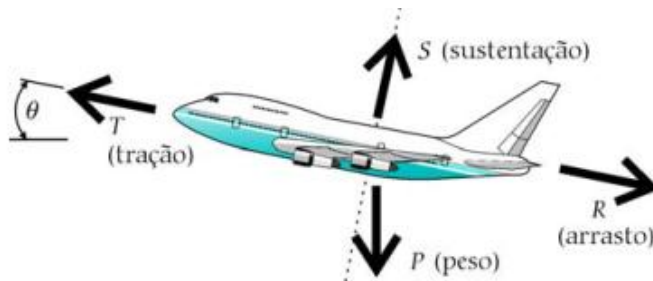
Uma experiência simples pode ajudar a entender o efeito Coanda. Aproxime a superfície um copo de uma torneira aberta. Faça com que um pequeno jato de água atinja a superfície. Pode-se perceber que o jato de água tenderá a acompanhar o perfil curvo do copo. Essa tendência dos fluidos acompanharem superfícies curvas é o efeito Coanda. A explicação do efeito reside na viscosidade do ar. Apesar de ela ser pequena, ela acaba sendo suficiente para gerar a aproximação do fluido da superfície curva do copo. O nome do efeito é em homenagem ao romeno Henri Coanda, que reconheceu as aplicações práticas do efeito para a aerodinâmica. O efeito Coanda pode ajudar combinado às leis de Newton e o princípio de Bernoulli a força de sustentação na asa dos aviões.

3.6 Leis de Newton e força de sustentação.

A explicação da força de sustentação em termos do princípio de Bernoulli apresenta algumas lacunas. Segundo Anderson e Eberhardt(2006), através de simulações numéricas foi possível analisar que o princípio dos tempos iguais só funciona com asas com sustentação zero. Outro problema está na explicação do voo invertido.

Uma explicação complementar à do princípio de Bernoulli são as leis de Newton. O princípio da inércia prevê que um corpo permanece em repouso ou em movimento uniforme caso nenhuma força aja sobre ele. O ar ao ser curvado e repentinamente acelerado sofre a ação de uma força. O princípio da ação e reação prevê que para cada ação deve haver uma reação de mesma intensidade, mesma direção porém com sentidos opostos. Ou seja, a asa precisa aplicar uma força(ação) no ar e a reação será a força de sustentação. A asa precisa desviar o ar para que a força de sustentação comece a atuar. A força de sustentação na asa de um avião é igual à quantidade de movimento do ar que ela desvia para baixo.

Imagem 7- Diagrama do corpo livre para um avião durante a subida



Fonte: Studart e Dahmen (2006)..

Há uma discussão muito conhecida em que alguns autores questionam se as leis de Newton explicariam melhor a força de sustentação em uma asa de avião do que o princípio de Bernoulli.

Segundo Studart e Dahmen (2006).

“Eis a questão: Princípio de Bernoulli ou leis de Newton para explicar como as asas de um aeroplano “realmente” funcionam? Na verdade, Newton e Bernoulli não se contradizem e tanto as leis de Newton quanto o “princípio” de Bernoulli são perfeitamente compatíveis. Aliás a equação de Bernoulli é facilmente obtida como uma equação de conservação de energia a partir das leis de Newton. A raiz da discórdia é que cada lado da disputa exige que apenas a sua interpretação deva ser ensinada, posto que seria “a correta”. Ambas as descrições podem e devem ser usadas. O ar, ao ser defletido pela asa, é acelerado para baixo exercendo força sobre a asa (2ª lei de Newton). Esta por sua vez, exerce uma força de reação (3ª lei de Newton) que origina a sustentação. Por outro lado, as linhas de corrente acima da asa estão mais comprimidas que as linhas abaixo da asa. Como consequência, a velocidade do ar acima da asa é maior do que a de baixo da asa [...] Dois graves erros carecem ser realçados. O primeiro que aparece em vários livros didáticos (talvez a explicação mais popular) usa a hipótese de que os tempos de trânsito do ar, por cima e por baixo da asa, são iguais. Daí, como a superfície superior da asa é, em geral, mais longa, a velocidade do ar acima é maior do que a velocidade abaixo. A solução numérica das equações da aerodinâmica e a experiência demonstram que esta hipótese, embora plausível, é falsa. Evidencia-se claramente que a concepção de “tempos iguais” ou “distância percorrida maior por cima da asa” é uma falácia. Na verdade o ar que flui pelo extradorso (a parte superior) da asa chega ao bordo de fuga antes que o ar que flui ao longo do intradorso (a parte inferior).”

Segundo Eastlake (2006):

[...] duas coisas acontecem simultaneamente quando um aerofólio está gerando sustentação. Se adotarmos a perspectiva minuciosa do campo de escoamento, usamos a conservação de massa e a conservação de energia, a lei de Bernoulli, para descrever o padrão de linhas de corrente .

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

A metodologia de análise da SEI será descrita nesse capítulo, o que envolve a análise das produções textuais e pictóricas dos alunos, assim como a caracterização do ambiente de aplicação. Este trabalho visa entender as concepções dos alunos em relação à física do voo antes e depois da aplicação do produto desta dissertação. Utilizou-se uma pesquisa de caráter qualitativo.

Para analisar os conteúdos das respostas dos alunos às perguntas utilizadas na SEI foram realizadas análises qualitativas com o auxílio do software *Iramuteq* utilizando vários métodos: a *categorização hierárquica descendente de Reinert*, a *análise fatorial por correspondência*, a *análise de similitude* e de *nuvem de palavras* (Apêndice B). Todas estas técnicas de análises qualitativas serviram como base inicial para a categorização das respostas dos alunos.

Segundo Justo & Camargo (2018)

O corpus é o conjunto de unidades de texto relacionados a uma determinada temática reunidos em um único arquivo de texto. Por exemplo, se um pesquisador decide analisar as matérias sobre beleza que saíram numa revista no período de cinco anos; o conjunto destas matérias constituirá um corpus. O corpus é construído pelo pesquisador.

Os segmentos de texto (ST), na maior parte das vezes, tem o tamanho de três linhas, dimensionadas pelo software em função do tamanho do corpus. Os segmentos de textos são os ambientes das palavras. Podem ser construídos pelo pesquisador, ou automaticamente pelo software. Embora seja o pesquisador que demarca os textos, nem sempre é ele que controla a divisão do corpus em segmentos de texto (ST). Numa análise padrão (standard), após reconhecer as indicações dos textos (pelas linhas com asteriscos) é o software que divide o material em ST. Mas o pesquisador pode configurar a divisão dos segmentos, por exemplo: no caso de uma grande quantidade de respostas curtas a uma pergunta aberta de um questionário, aconselha-se cada texto seja definido como um único ST.

Os textos analisados nessa dissertação passaram por algumas adequações antes de editar o *corpus*, e se encontram dispostas na tabela abaixo.

Tabela 1- Modificações de algumas palavras do corpus.

Texto.	Escrita Original	Modificação
12	Dobrar, Virar	Vira
1	Aquela vez que	Quando
11	Já houve	Houveram
31, 6, 25	Sentido contrário	Sentido_contrário
17	Bom para	Para
9,8, 11	Ponto de vista	Opinião
13	Trem de pouso	trem_p

Fonte: O autor

4.1– Classificação hierárquica descendente (CHD).

A CHD é uma análise na qual os segmentos de texto são classificados em função dos seus respectivos vocabulários, e apresentam por volta de três linhas, a variação destas ocorre conforme a transcrição do pesquisador e o tamanho do seu corpus, caracterizado pelo conjunto de texto que se pretende analisar. O conjunto desses segmentos é repartido em função da frequência das suas palavras raízes, conhecidas como formas reduzidas. Essa interface possibilita, com base no corpus original, a recuperação dos segmentos de textos e a associação de cada um, o que permite o agrupamento das palavras estatisticamente significativas e a análise qualitativa dos dados, ou seja, cada entrevista é denominada de Unidade de Contexto Inicial (UCI).

Segundo Justo, A. M.; Camargo, B. V(2018)

Os segmentos de texto são classificados em função dos seus respectivos vocabulários, e o conjunto deles é repartido em função da frequência das formas reduzidas. A partir de matrizes cruzando formas reduzidas e ST (em repetidos testes do tipo X^2), aplica-se o método de CHD e obtém-se uma classificação definitiva. Esta análise visa obter classes de ST que, ao mesmo tempo, apresentam vocabulário semelhante entre si, e vocabulário diferente dos segmentos das outras classes. A partir dessas análises o software organiza a análise dos dados em um dendograma que ilustra as relações entre as classes. As classes são formadas segundo a relação das várias UCI processadas e que apresentam palavras homogêneas. Para a classificação e a relação das classes, as UCI são agrupadas quanto às ocorrências das palavras por meio de suas raízes, originando as UCE, o que resulta na criação de um dicionário com formas reduzidas, utilizando-se, para tanto, do teste qui-quadrado, X^2 .

As Unidades de Contexto Elementar (UCE), ou segmentos de texto que compõem cada classe, são obtidas a partir das UCI e apresentam vocabulário semelhante entre si e diferentes das UCE das outras classes. Essa classificação é proposta de acordo com três termos. A primeira é a classificação simples no texto: Aqui, os textos permanecerão em sua forma completa, a classificação permitirá, assim, agrupar os textos mais próximos. Temos também a classificação simples em segmentos de texto: a classificação terá nos segmentos de texto (ST) e por fim a classificação dupla no RST (Reagrupamento de segmento de texto): a classificação é realizada em duas tabelas nas quais as linhas não são mais segmentos de texto, mas agrupamentos de segmentos de texto (RST). O mesmo tratamento é bem feito duas vezes, mas alterando o número de formulários ativos por RST.

Os resultados diretamente disponíveis apresentam um resumo da classificação (guia CHD) e uma análise fatorial de correspondências realizadas no corpus (guia AFC).

4.2 – Análise de Similitude.

Segundo Marchand & Ratinaud, 2012.

Esse tipo de análise baseia-se na teoria dos grafos e é utilizada frequentemente por pesquisadores das representações sociais. Possibilita identificar as coocorrências entre as palavras e seu resultado traz indicações da conexidade entre as palavras, auxiliando na identificação da estrutura do conteúdo de um corpus textual. Permite também identificar as partes comuns e as especificidades em função das variáveis descritivas identificadas na análise.

Essa análise produz gráficos da biblioteca *Igraph* de R. A tabela de entrada é uma tabela de presença / ausência. A matriz de similaridade é calculada a partir de um dos índices propostos. A maioria dos índices oferecidos é proveniente da biblioteca *proxy* da R.

4.3 – Nuvem de palavras.

Agrupa as palavras e as organiza graficamente em função da sua frequência. É uma análise lexical mais simples, porém graficamente interessante. Esta análise traz um conjunto de palavras agrupadas, organizadas e estruturadas em forma de nuvem. As palavras são apresentadas com tamanhos diferentes, ou seja, as palavras maiores são aquelas que detêm maior importância no corpus textual, a partir do indicador de frequência ou outro escore estatístico escolhido.

4. 4 – Metodologia de aplicação do produto.

O local de aplicação foi em uma escola estadual de ensino fundamental e médio na cidade de Santarém/Pa. A escola está localizada no perímetro urbano da cidade, possui biblioteca, laboratório multidisciplinar e informática. A escola participa desde 2014 da Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas além de contar com muitos outros projetos de ciências em convênio com a UFOPA e outras instituições. Todos os estudantes assinaram um *Termo de Consentimento Livre e Esclarecido*. O modelo se encontra no apêndice C desta dissertação.

Na tabela abaixo encontra-se disposta a ordem de aplicação das atividades da SEI.

Tabela 2: Etapas da SEI.

N	Tempo	Atividade
1	40 minutos	Apresentação do problema: Foram demonstrados alguns aspectos básicos da física do voo através de um simulador de voo e depois proposto aos alunos a produção de um texto no qual os alunos explicariam com seus conhecimentos prévios, como um avião voa.
2	60 minutos	1ª Atividade experimental: Na sala de aula, os alunos tiveram uma aula teórica sobre alguns conceitos básicos da Hidrodinâmica e o princípio de Bernoulli. Posteriormente os alunos formaram grupos e em um ambiente fora da escola realizassem uma experiência a qual vislumbassem o princípio de Bernoulli. Pediu-se que eles registrassem em vídeo o resultado e que escrevessem um pequeno texto explicando o que observaram. Na sala de aula realizou-se uma atividade de socialização dos vídeos e dos textos produzidos.
3	80 minutos	2ª Atividade experimental: Na sala de aula levou-se um protótipo denominado simulador radial de sustentação. Pediu-se que os alunos respondessem algumas questões, dentre elas, o princípio físico que explicasse a experiência proposta. Posteriormente pediu-se que os alunos desenhassem um esquema de quais forças atuavam no experimento e que também desenhassem a trajetória das linhas de corrente, e por último, que relacionassem a experiência demonstrada com o voo de um avião.
4	80 minutos	3ª Atividade experimental: Neste último momento, no laboratório da escola, apresentou-se aos alunos o túnel de vento caseiro. Após os alunos se familiarizarem com o protótipo, pediu-se que eles respondessem algumas questões. Primeiro, o que aconteceria se invertêssemos a asa e, também, que explicassem como um avião voa, para compararmos com as respostas da primeira aula da SEI antes da aplicação do produto.
5		Socializando as respostas e reorganizando as ideias: Neste último momento, os alunos leram as respostas da última atividade, socializando e discutindo as ideias. Por fim, realizou-se um aprofundamento das ideias a partir de uma aula teórica com a exibição de alguns vídeos e do uso do simulador de voo.

Fonte: O autor

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DA 1ª ATIVIDADE

O *corpus* geral teve 31 textos e a partir da classificação hierárquica descendente obtiveram-se três classes. Dos 31 segmentos de texto a categorização classificou 24, o que corresponde a 77, 42%.

A classe 1 corresponde a 6 dos 31 segmentos de texto, o que equivale a 25 % do *corpus* do texto analisado. Os indivíduos desta classe conseguiram identificar todas as fases do voo.

Tabela 3: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
26	<i>Primeiramente deve-se abastecer a nave para não dar problema na hora do voo de cruzeiro depois se deve aquecer os motores para deixá-lo numa temperatura boa em relação ao clima logo após deverá percorrer a pista até chegar na velocidade v1 e nesse período acontece o voo ascendente que é a sustentação maior que o peso e nisso tem que atingir uma velocidade específica a cada motor depois de levantar voo o primeiro se deve retirar os trens de pouso e o vento que bate na asa que onde o ar está mais rápido no extradorso por ter maior distância e onde vai ter o controle esse nome do processo é chamado de voo de cruzeiro. No final o trem de pouso é abaixado e se dá início ao voo descendente no qual o peso é maior que a sustentação onde tem que diminuir a velocidade para ter um pouso tranquilo. (grifo nosso)</i>
24	<i>Primeiramente o piloto deve ligar o motor e testar os motores para um voo seguro. Para o avião levantar voo ele precisa atingir uma determinada velocidade e depende muito do tempo por exemplo quando está quente as moléculas do ar tendem a dispersar fazendo com que o avião precise de mais pista para decolar. Após a decolagem o piloto mantém a velocidade [ficando] assim estável e estarão em voo de cruzeiro. Para pousar o peso do avião precisa ser maior do que a sustentação.</i>
27	<i>O avião percorre a pista até atingir a velocidade de decolagem v1 para poder efetuar o voo mas tudo isso depende do clima e da carga que o avião está levando. Outro método que também ocorre na decolagem é o voo ascendente onde a sustentação tem que ser maior do que o peso. A força de sustentação é junto com o motor. Na descida o avião realiza o voo descendente onde o peso dele tem que estar maior que a sustentação.</i>
28	<i>Na minha concepção o voo de um avião depende da temperatura do ar e depende do peso do avião. Ele tende a ter um formato na medida certa relacionada ao peso dele acho que para voar planar ele precisa de asas com uma estrutura adequada para ele percorrer uma certa distância no ar o motor serve para atuar uma determinado a força relacionada ao avião.</i>

Fonte: O autor

O texto 26 traz um relato cheio de palavras chaves que remetem à termos específicos da aviação. Percebe-se que o texto relaciona variáveis como *temperatura* e *clima* como fatores que influenciam o voo de um avião. Nota-se também que o autor do texto entende a ideia do voo **ascendente** e **descendente**, explicando em termos de força essas fases do voo. O autor do texto também relata a essência do princípio de Bernoulli no fim de seu relato “*vento que bate na asa que onde o ar está mais rápido no extradorso por ter maior distância*”.

O texto 24 reconhece a importância da temperatura para a distância de decolagem dos aviões, inferindo corretamente tal relação. “...quando está quente as

moléculas do ar tendem a dispersar fazendo com que o avião precise de mais pista para decolar.”

O texto 27 estabelece relação entre voo e palavra *clima* em seu relato. Este relato também relaciona *carga*, que neste caso pode ser entendido como o peso máximo de decolagem do avião, como variável relevante para explicar o voo. O texto 28 relata que o formato aerodinâmico das asas é uma variável importante para o voo de um avião. Este relato utiliza uma explicação voltada à noção de forças.

A classe 2 corresponde a 10 dos 24 segmentos de texto, o que equivale 41,67% do corpus do texto analisado.

Tabela 4: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
8	<i>Para o avião decolar ele precisa de um motor e da força do vento e se torna um voo ascendente que é quando a sustentação é maior que o peso. Para decolar, o avião precisa atingir a velocidade V1, ele precisa de uma asa para se estabilizar no ar que se chama um voo de cruzeiro com o vento que passa com mais força por cima de sua asa que se chama extradorso e o vento que passa por baixo de sua asa com menos velocidade que se chama intradorso. Quando ele vai pousar se chama voo descendente que é quando o peso está maior que a sustentação.</i>
20	<i>... O avião é o meio de transporte que é muito utilizado mas eis a pergunta de como os aviões voam a sustentação deve ser maior que o peso durante a decolagem assim que o avião está a metros do solo o ar passa por ele em extradorso e intradorso na asa ou seja por cima ou por baixo respectivamente no extradorso o vento passa mais rápido. É através da sustentação que o avião fica em equilíbrio no céu quando o avião for pousar o peso será maior que a sustentação. A sustentação vai variar de acordo com o tipo de asa. Lembrando que no voo ascendente a sustentação é maior que o peso e no voo descendente a sustentação é menor que peso.”</i>
32	<i>O avião para voar precisa de um motor, de hélices e de asas para conseguir levantar voo, e para isso acontecer, ele tem que alcançar uma certa velocidade chamada v1 e para saber essa velocidade temos que levar em consideração vários fatores como o clima e o peso do avião. Se o avião não alcançar esta velocidade tem um grande perigo de cair logo na subida do avião. Existem duas forças, a de sustentação que tem que ser maior do que o peso do avião e graças as asas do avião pode ir para frente em linha reta porém as asas tem que aguentar a força do vento passando por cima extradorso e por baixo da hélice intradorso e em caso de problemas no motor as asas ajudam o avião a plainar em segurança até uma pista ou área e quando o avião for pousar a força de sustentação tem que ser menor do que o peso para poder pousar sem nenhum problema.</i>
2	<i>O avião precisa das asas e hélices para manter uma estabilidade no ar sendo assim o ar passa com mais frequência pelo extradorso da asa, dependendo dos vários fatores que vemos a velocidade de decolagem o avião tem que estar a aproximadamente uns 3000 m da superfície voo ascendente a sustentação é maior que o peso é quando a sustentação é maior que o peso sendo assim ele tem a intenção de subir ou seja decolar. Voo descendente a sustentação é menor que peso, quando o peso é maior que a sustentação sendo assim ele tem intenção de baixar ou seja pousar.</i>

Fonte: O autor

No texto oito, percebe-se que para explicar a física do voo uma versão combinada entre o princípio de Bernoulli e a noção de força. Emergiram do texto termos técnicos da aviação como *extradorso*, *intradorso* e *V1*.

No texto 20 observa-se uma noção mais voltada ao princípio de Bernoulli. Percebe-se tal importância no trecho: “o **ar passa por ele em extradorso e intradorso na asa ou seja por cima ou por baixo respectivamente no extradorso o vento passa mais rápido.**”

No texto 32 atribui importância a várias partes do avião, como motor e hélice, para o voo de um avião: “O avião para voar precisa de um **motor, de hélices e de asas para conseguir levantar voo**”.

O texto 2 relata a necessidade do escoamento do ar entre as diferentes partes da asa como principal fator para o voo de um avião “[...] assim o ar passa com mais frequência pelo extradorso. “

A classe 3 corresponde a 8 dos 24 segmentos de texto, o que equivale 33,33% do corpus do texto analisado. Os textos dessa classe apresentaram carência de embasamento teórico.

Tabela 5: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
7	<i>Os aviões maiores possuem duas turbinas e duas asas que são o que dão força para manter o avião no ar, á que nos aviões menores que não possuem turbinas porém possuem hélices que são quase as mesmas coisas que a turbina só que não com tanta força como a dos aviões maiores. A asa do avião possui uma força que leva para cima com força faz o avião voar [...]</i>
6	<i>[...] o avião voa com ajuda das asas e motores. O voo é realizado com o impulso do motor e rodas. Decola com ajuda da hélice. É mantido no ar pela sustentação das asas. Na minha concepção o avião tem que ter ajuda de um piloto para manter o equilíbrio no ar. Para mim o vento é um grande contribuinte para o voo do avião, ele vai em sentido contrário do avião mantendo ele no ar [...]</i>

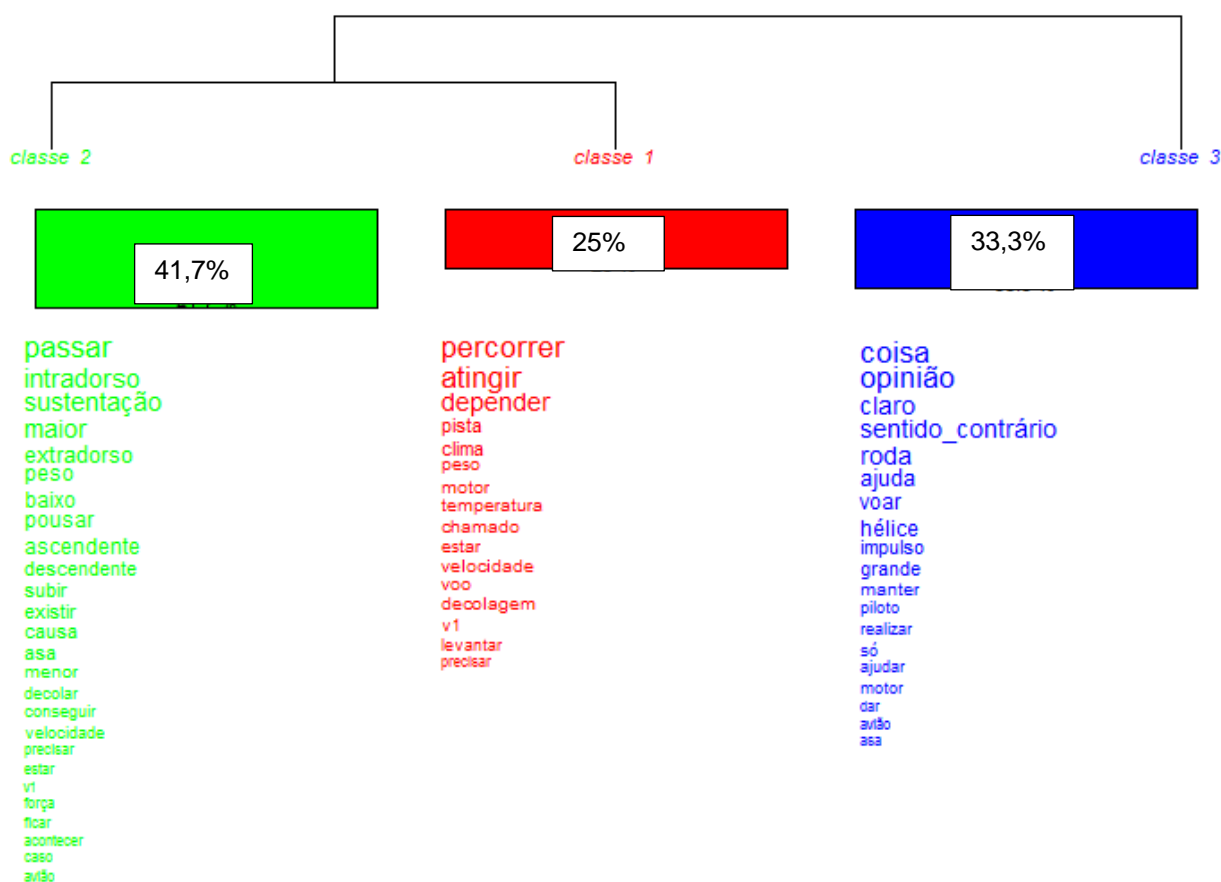
Fonte: O autor.

Pode-se perceber claramente nos relatos acima certa confusão em relação à turbina e as hélices. O texto consegue diferenciar o motor turbohélice e motor à reação, mas devido à carência de informações não consegue expressar muito bem essa diferença no texto. Observa-se que esta classe conseguiu descrever de maneira mais correta a fase de decolagem do voo.

5.1 – Análise do dendograma das respostas à 1ª atividade.

Pode-se dispor essas classes e suas relações em um dendograma, ou diagrama de árvore, que pode representar as similaridades entre as classes. Para cada classe foi computada uma lista de palavras geradas a partir do teste qui-quadrado (χ^2). (MARIA,2017)

Gráfico 1- Dendograma de classes para as respostas da primeira pergunta.



Fonte: O autor.

No dendograma o *corpus* foi dividido em dois *subcorpos*. No primeiro obteve-se a classe 1, dos que conseguiram identificar todas as fases do voo a 25 % do total. Neste mesmo *subcorpos* houve uma subdivisão com a classe 2, dos que pareceram identificar mais enfaticamente a fase de decolagem do voo que corresponde a 41,7% do total

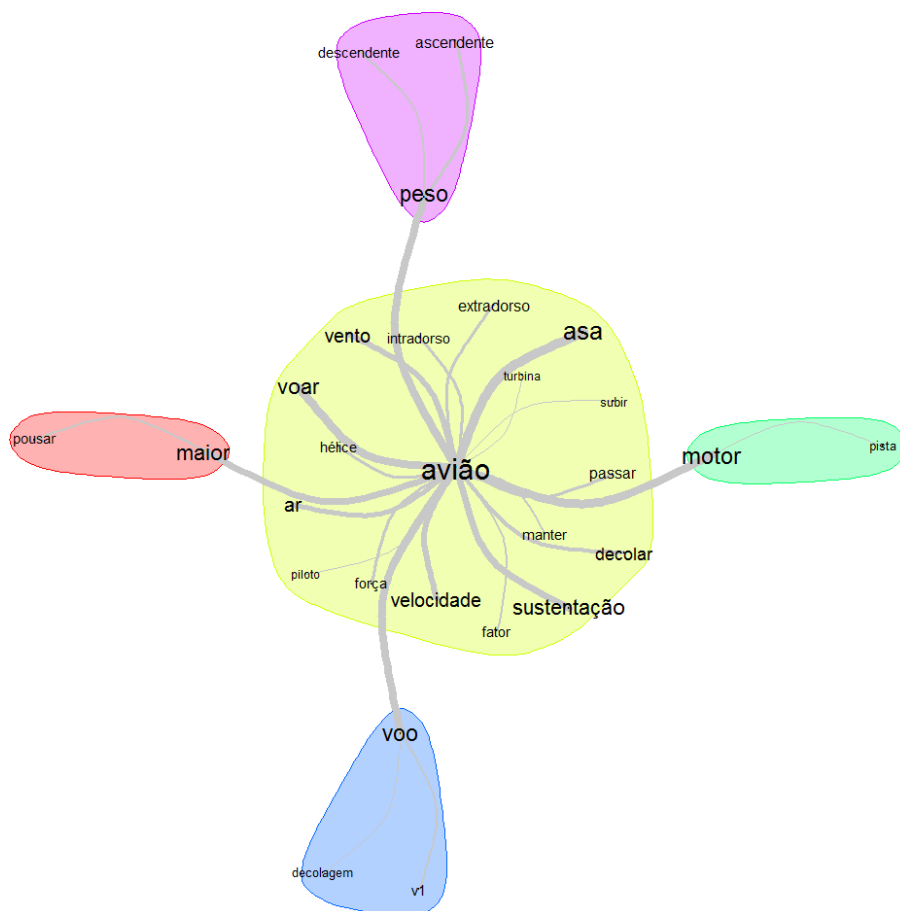
No outro *subcorpus*, temos a classe 3, dos classe apresentaram carência de embasamento teórico que representa 33,3%. Nota-se que as classes 1 e 2 apresentam entre si conteúdos em comum.

Os textos da classe 3, não apresenta semelhança conteúdos em comum com as classes 1 e 2, devido os textos não apresentarem palavras relevantes que representem o *corpus*.

5.2 – Análise de similitude.

Outra análise foi feita foi a análise de similitude. Neste tipo de análise montam-se grafos² que representam as ligações entre as palavras do corpus textual analisado. Essa análise possibilita entender a estrutura de construção do texto e temas de relativa importância.

Gráfico 2- Gráfico de similitude das respostas à primeira pergunta.



Fonte: O autor.

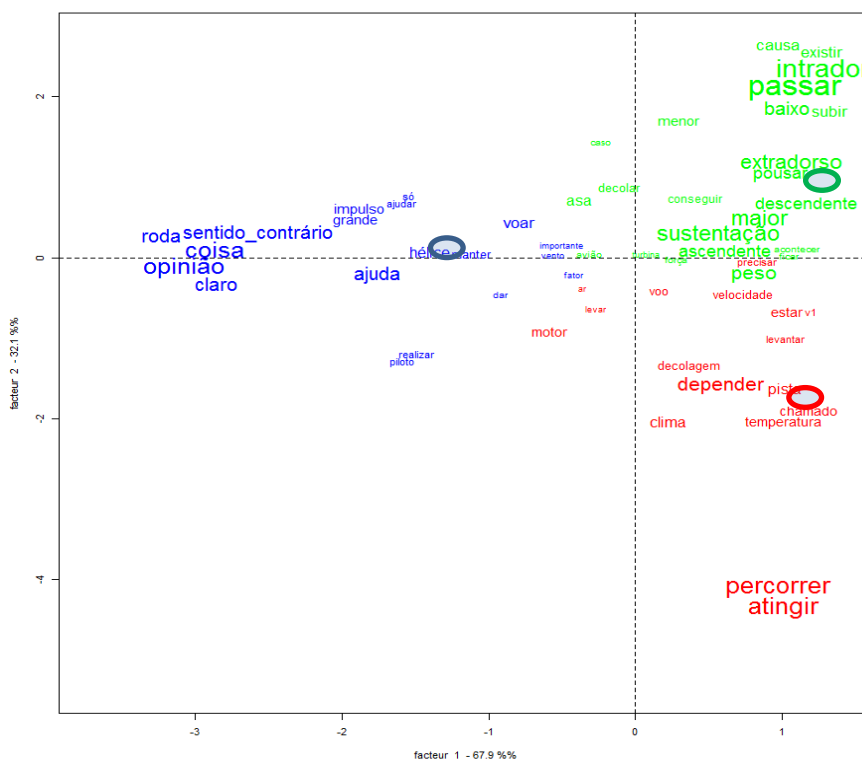
A partir desta análise baseada na teoria dos grafos é possível identificar as ocorrências entre as palavras e indicações das relações entre elas, ajudando no entendimento da estrutura de conteúdo e do corpus textual. Observa-se que a palavra que mais se destaca nos textos é *avião*. Dela se ramificam outras que apresentam expressão significativa, como *voo*, *peso*, *asa*, *velocidade* e *sustentação*.

Nos extremos das ramificações notam-se algumas relações entre *velocidade*, *v1* e *decolagem*, *asa* e *extradorso*, *sustentação* e *maior*, *peso*, *ascendente* e *descendente*. Observa-se que as relações representadas no grafo demonstram que a maioria dos indivíduos conseguia entender alguns aspectos básicos do voo.

5.3 – Análise Fatorial de Correspondências.

Outra análise utilizada foi a análise fatorial das correspondências (AFC) realizadas sobre a tabela de contingência cruzando formas e classes no (aba AFC). No plano fatorial mostrado na figura abaixo podemos ver as palavras agrupados por classes, onde podemos ver quais palavras se destacam por classe de conteúdo categorizado.

Gráfico 3- Representação fatorial para as respostas da primeira pergunta.



Fonte : O autor

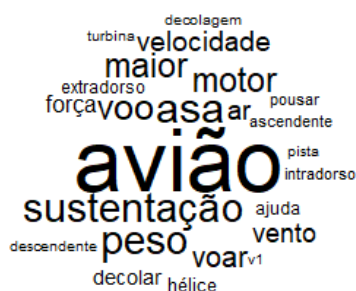
Podemos observar no plano as três classes dispostas e as palavras com maior relevância para cada classe. Utilizaram-se círculos coloridos para representar a posição exata de cada classe no plano. Nota-se que o centro a posição da classe 1 coincide em uma região próxima às palavras *temperatura* e *pista*. A posição da classe 2 encontra-se bem em cima da palavra *pousar*. E classe 3 coincide em uma posição próxima à palavra *hélice* e *manter*.

Percebe-se que as classes 1 e 2 aparecem interligadas, o que pode evidenciar que há uma correlação entre os textos. Essa similaridade pode ser vista no dendograma de classes acima. É possível perceber também que a classe 3 apresenta-se mais afastada e menos interligada com as outras classes. Esse fato evidencia que os textos das classes 1 e 2 apresentaram maior clareza e riqueza nas descrições do que os textos da classe 3. Ainda assim, alguns palavras das classes 2 e 3 apresentam forte relação, entre eles, *vento* e *avião*.

5. 4 – Análise da Nuvem de palavras.

A última análise utilizada nesta questão foi a nuvem de palavras. É uma análise lexical mais simples, porém, bastante interessante, na medida em que possibilita rápida identificação das palavras-chaves de um *corpus*, isto é, a rápida visualização de seu conteúdo, pois as palavras mais importantes estão mais perto do centro e graficamente são escritas com fonte maiores. (Salviati,2017).

Gráfico 4- Nuvem de palavras para as respostas da primeira pergunta.



Fonte : O autor

Através da análise da nuvem de palavras podemos observar que as palavras que mais emergem dos textos são *avião*, *sustentação*, *peso*, *asa*, *motor*, *velocidade*

seguida de outras palavras. Abaixo encontra-se disposta uma tabela com uma caracterização em função das respostas à pergunta proposta.

Tabela 6. A apresentação dos significados de cada categoria.

Dimensões	Categorias
Explicação em termos de força.	Força de sustentação
	Temperatura
	Velocidade relativa do ar
Explicação em termos do princípio de Bernoulli.	Extradorso
	Intradorso
	Escoamento
	Outras
	Não codificados
Falta de domínio conceitual.	Decolar
	Outras

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DA 2ª ATIVIDADE.

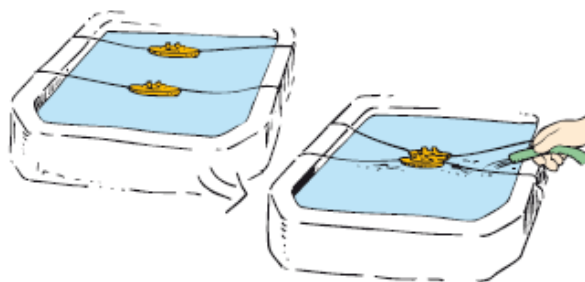
A primeira atividade experimental foi proposta na segunda aula da SEI. Primeiramente foram utilizados alguns slides e vídeos para ilustrar alguns conceitos da física de fluidos como os conceitos de linha de corrente, equação da continuidade, princípio de Bernoulli e suas aplicações. É importante dizer que se frisou durante a aula que a terceira Lei de Newton pode ser usada de maneira complementar para explicar a força de sustentação.

A atividade experimental foi proposta em grupo, que em média tinham cinco pessoas. Dos grupos formados, quatro entregaram um pequeno texto sobre a experiência proposta. Nesse texto, os alunos descreveriam a experiência e tentariam criar suas hipóteses. Abaixo, segue o roteiro utilizado pelos alunos para reproduzir a experiência em casa, com materiais de encontrados em qualquer residência.

PERGUNTA Atividade Experimental.

Prenda frouxamente com barbante um par de barcos de brinquedo lado a lado como indicado. Em seguida, dirija uma corrente de água por entre os barcos. Eles começarão a se aproximar e colidirão. Por quê?

Imagem 8- Primeira atividade experimental proposta.



Fonte: Paul Hewitt Física Conceitual, 12ª ed.

Pediu-se que os alunos realizassem a experiência em casa, discutissem entre si o que foi observado e escrever um pequeno texto criando uma hipótese.

A classificação foi feita em cima dos textos produzidos em equipe. O primeiro grupo não conseguiu obter sucesso, pois segundo o texto:

[...] Na nossa experiência os barcos não se colidiram juntos, primeiro um chegou no centro depois o outro, por causa da posição deles. Se tivesse os dois certos de posição, eles tinham colidido [...]

Outro fato que foi tema do texto dessa primeira equipe foi que eles estabeleceram uma relação pressão e tempo como responsáveis pelo afastamento dos barquinhos em direção ao centro do recipiente.

[...] A pressão da água também é importante ar o tempo certo em que água faça o canal de fluidos e que faz com que os barcos se movimentam para o centro [...]

Outra equipe tentou explicar o fato de os barcos permanecerem em “grudados” relacionando a pressão com a velocidade com que eles se movem em direção ao centro do recipiente.

[...] Depois da colisão dois barcos eles se mantêm na superfície mesmo se encostando, o que permite isso é a pressão da água criada com canal de fluidos que faz com que eles fiquem em velocidade semelhante e causando assim uma junção dos barcos de papel [...]

A segunda equipe conseguiu reconhecer que a explicação mais correta para a experiência é o princípio de Bernoulli. A equipe utilizou pequenos potes para realizar a experiência.

[...], podemos observar que a corrente de água entre a aproximação e logo em seguida uma colisão. De acordo com o princípio de Bernoulli a velocidade do fluido cresce e a pressão interna do mesmo decresce, pois se uma partícula de um fluido aumenta enquanto ela escoar ao longo de uma linha de corrente, a pressão do fluido deve diminuir. Como foi o caso dois potes que estavam numa bacia com água, presos a um barbante e logo em seguida, uma corrente de água, fez reação, fazendo os potes se encontrarem no meio [...]

É possível perceber que há alguma relação estabelecida pela hipótese do grupo entre o fenômeno observado e as leis de Newton. No final do texto, há uma menção ao princípio da conservação da Energia.

[...] o comportamento do fluido movendo-se ao longo da linha de corrente e traduzido para os fluidos o princípio da conservação dá energia [...]

A terceira equipe obteve sucesso parcial no resultado esperado e relatou no texto:

[...] Enchemos a bacia plástica até sua metade, colocamos o barbante com a fita adesiva na horizontal da bacia. Após alguns minutos o movimento da água fez com que os barquinhos ficassem balançando até se chocarem. No entanto, não obtivemos o resultado que gostaríamos, pelo fato do barco não possuir o peso necessário e não conter a pressão para que os barquinhos se encontrassem.

Percebe-se que há uma tentativa de explicar o fato dos barquinhos não terem ficado unidos em função de uma aparente diferença no peso dos dois barquinhos em função da pressão.

A última equipe fez um relato no qual esboça a explicação para a experiência proposta em função da transição entre o escoamento laminar e o escoamento turbulento.

[...] O experimento consistia em colocar dois objetos flutuantes na água, presos por algum fio. No recipiente é despejado mais água através de uma mangueira e logo os dois objetos vão se aproximando até se encostarem. Tal experimento sobre fluidos, no caso, a água. Temos dois tipos de escoamento: o laminar o que é quando o fluido tem trajetórias bem definidas sem gerar turbulência e em geral atua em com baixa velocidade e o turbulento, com trajetórias irregulares e aleatórias geralmente mais rápido [...]

Podemos perceber também que há uma associação que o grupo fez entre a noção de escoamento do ar com velocidade de fluxo. Mas o grupo não conseguiu deixar claro em sua explicação como o que gera a colisão dos objetos flutuantes no centro do recipiente acontece.

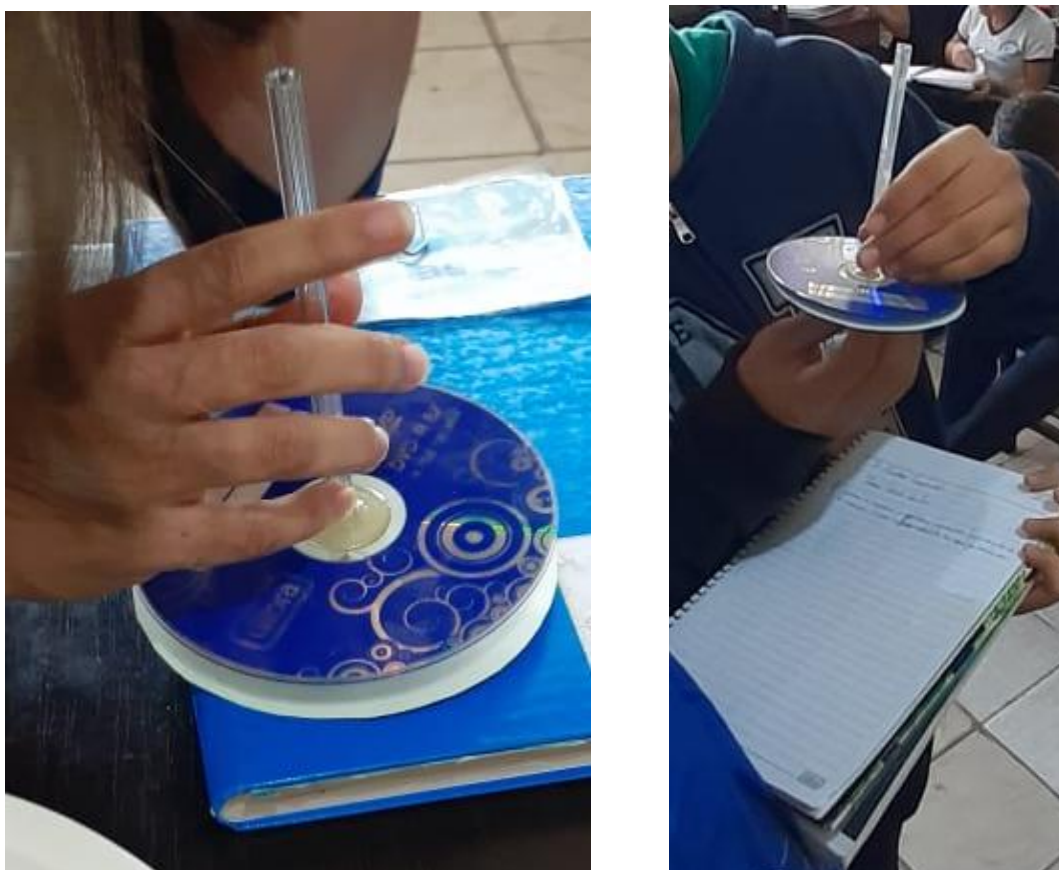
[...] ao entrar em contato com a água do recipiente, passa a ser turbulenta como a primeira temporada velocidade não surte muito efeito nos dois objetos porém a segunda tende a formar inconsistências na água onde se movimentam espalha-se por todo o recipiente, chegando até a borda, e como a reação acaba voltando e repetindo este ciclo isso resulta do afastamento do objeto da borda e a colisão no meio do recipiente [...]

As quatro equipes produziram vídeos curtos das demonstrações feitas por eles, mostrando que houve interação e bastante troca de informações entre os estudantes. É bem evidente que atividades experimentais fomentam o espírito de equipe e da troca de informações, mesmo para estudantes que são introvertidos.

CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DA 3ª ATIVIDADE.

A 3ª atividade experimental proposta foi a construção de um protótipo denominado “Simulador radial de sustentação”, que consiste no esquema mostrado abaixo. A sua construção está detalhada no produto que está no apêndice A desta dissertação.

Imagem 9: O protótipo denominado “Simulador radial de sustentação”



Fonte: O autor.

Colamos um tubo de caneta a um *compact disc* (CD) através de uma cola específica. Depois cortamos um disco de papel *couche* de 250 g, com as mesmas dimensões do C.D. Depois foi feito um furo no centro de papel aonde foi colado uma agulha pequena.

Posteriormente, foi proposto aos alunos tentarem fazer com que o disco de papel utilizando o tubo de caneta acoplado no CD. As perguntas a serem respondidas estão dispostas abaixo.

7.1 Análise da 1ª QUESTÃO.

Em relação à 1ª questão, pediu-se para os alunos identificarem o princípio físico que podia explicar a experiência. Cerca de 84% dos alunos conseguiram identificar o princípio de Bernoulli e a 3ª Lei de Newton como princípios físicos envolvidos na explicação da experiência.

O aluno 3 relata a experiência dessa forma

A experiência fluxo de ar é montada com dois discos um leve um pesado uma agulha e um tubo de caneta preso a um CD. O procedimento é feito quando a pessoa assopra o canudo perto do CD leve e o que ocorre é que os discos se juntam sem haver toque físico o experimento explicado com princípio de Bernoulli que diz que quando a velocidade de um fluido cresce a pressão interna decresce então quando se assopra no tubo a velocidade das correntes de aumentam e esse ar passa entre os discos fazendo com que a velocidade de escoamento do ar entre os discos aumente e a pressão interna entre estes diminua fazendo com que eles se aproximem. Existe a influência da terceira lei de Newton lei da ação e reação. Quando soprarmos tem a ação de puxar para frente e a reação faz com que os discos leve entre em contato com o disco pesado com a mesma força.

O aluno 7 também reconhece as leis de Newton como responsável pela explicação da experiência

Nessa experiência vimos que há dois princípios físicos envolvidos: a lei de Newton que diz que toda ação gera uma reação, assim quando assopramos o tubo da caneta fazemos com que o que os discos se juntem.

Este aluno também reconhece o princípio de Bernoulli como explicação para explicação da experiência "o princípio físico de Bernoulli que diz que quando a velocidade do fluido cresce a pressão do mesmo decresce."

O aluno 23 também reconhece como explicação para experiência proposta no princípio de Bernoulli

Na experiência é possível identificar o princípio de Bernoulli onde o ar foi para baixo do tubo sair no final de disco com grande velocidade, e portanto conforme este princípio a pressão entre os dois discos diminui fazendo eles se aproximarem

Muitas respostas a essa questão utilizaram o princípio da Ação e Reação como forma complementar de explicação para o fenômeno observado na experiência. O aluno 8 enfatiza

A explicação da experiência envolve o princípio de Bernoulli hoje a velocidade do vento cresce sendo assim sua pressão interna diminui. A explicação para experiência envolve também a terceira lei de Newton, conhecida como a lei da ação e reação. Ela acontece quando a força do vento toca no disco mais leve fazendo com que essa força tem uma reação

oposta O que faz o disco subir com a mesma força, obviamente no sentido oposto

O aluno12 também usa essa versão combinada de princípios físicos para explicar a experiência:

Precisando de fazer impressão com sopro tivemos o princípio físico de Bernoulli junto com a lei de ação e reação. Após assoprar no tubo da caneta a velocidade do ar aumenta e a pressão diminui quando há uma corrente de ar correndo entre o tubo faz com que os dois discos se unem onde aponta estabiliza para melhor sustentação entre os discos mas não interfere em nada pois é a diminuição pressão interna entre os discos que faz com que eles se juntem.

O aluno 13 atribuiu relata a seguinte observação

Na experiência mostrada temos dois princípios físicos, Bernoulli e Ação e reação [...]. Quando soprarmos pelo canudo da caneta para passar por baixo do DVD, onde o ar irá bater no papel e no mesmo tempo o papel irá ser sugado a se juntar ao DVD. A velocidade aumenta e a pressão diminui.

O aluno 19 explica maneira sucinta, como entendeu a experiência demonstrada:

Os discos se encontram assoprarmos no tubo da caneta devido ao princípio de Bernoulli que diz que quando a velocidade de um fluido aumenta sua pressão diminui. Podemos também entender a experiência a partir da terceira lei de Newton que diz que para toda ação existe uma reação, ou seja, ao soprarmos o ar no tubo da caneta realizamos uma ação e a reação ocorre quando os discos se encontram, então a direção é a mesma porém os sentidos opostos

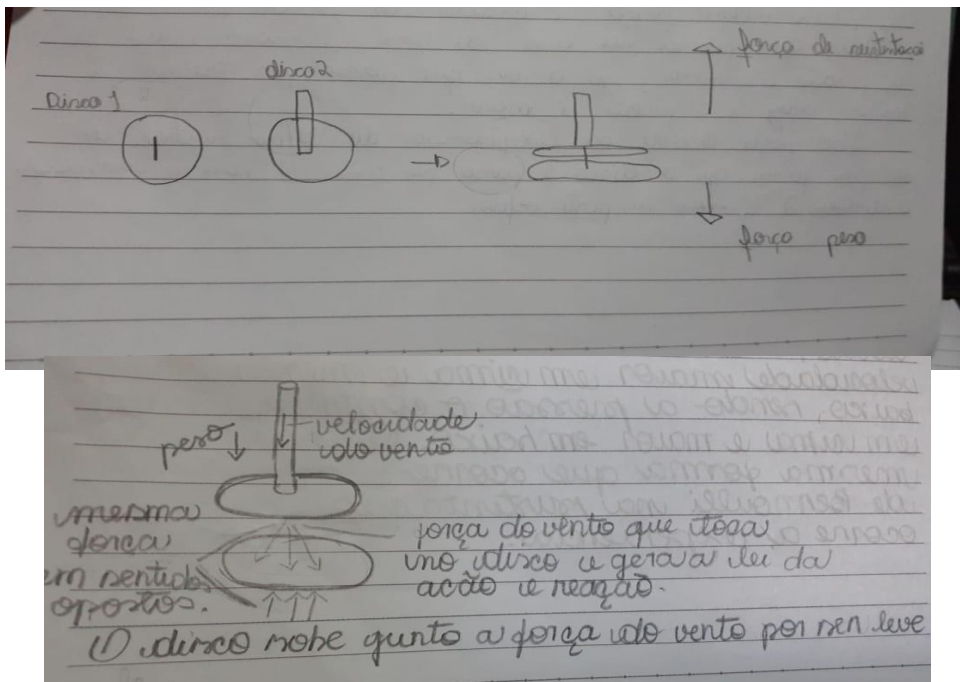
Um aluno relatou que além das explicações combinadas poderíamos adicionar o conceito de inércia para explicar a experiência Reconhece três princípios físicos para explicar a experiência são eles inércia, ação e reação e princípio de Bernoulli. A inércia está presente pois

Um corpo tende a permanecer em repouso até que uma força seja aplicada sobre ele. No caso da experiência, a força seria o próprio ar. O princípio da Ação e reação está presente pelo fato de disco subir devido à ação de soprar. E o princípio de Bernoulli está envolvido pois como a velocidade do fluido cresce a pressão interna decresce

7.2– Análise da 2ª QUESTÃO

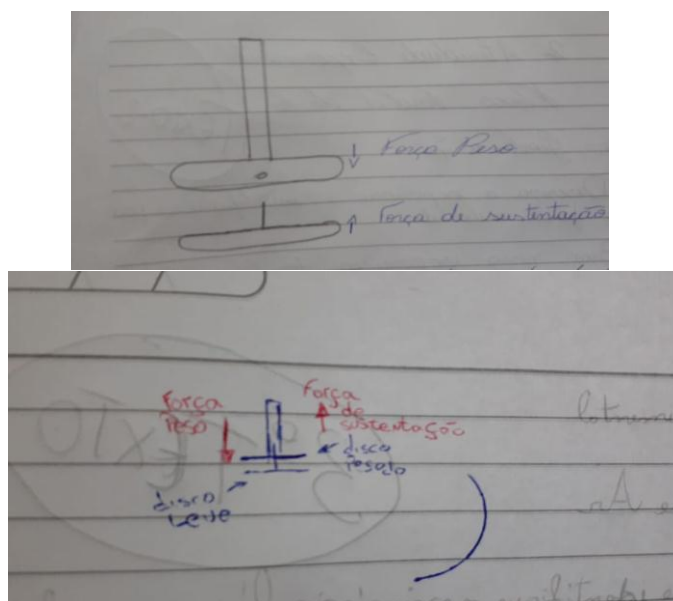
Na segunda questão foi proposto que os alunos desenhassem um esquema das forças atuam no protótipo. Esta questão foi proposta com o intuito de investigar o nível de abstração dos alunos em relação à pergunta proposta. Alguns desenhos estão dispostos abaixo:

Imagem 10: Respostas à questão 2.



Fonte: O autor.

Imagem 11: Respostas à questão 2.

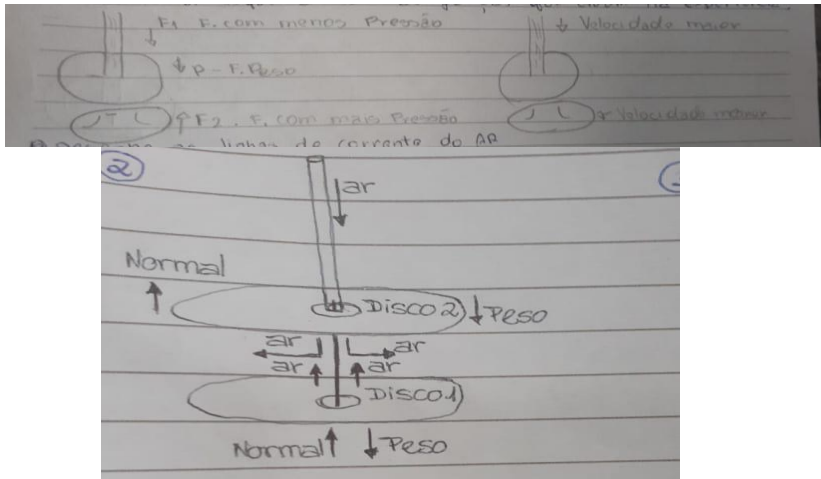


Fonte: O autor

7.3 – Análise da 3ª QUESTÃO.

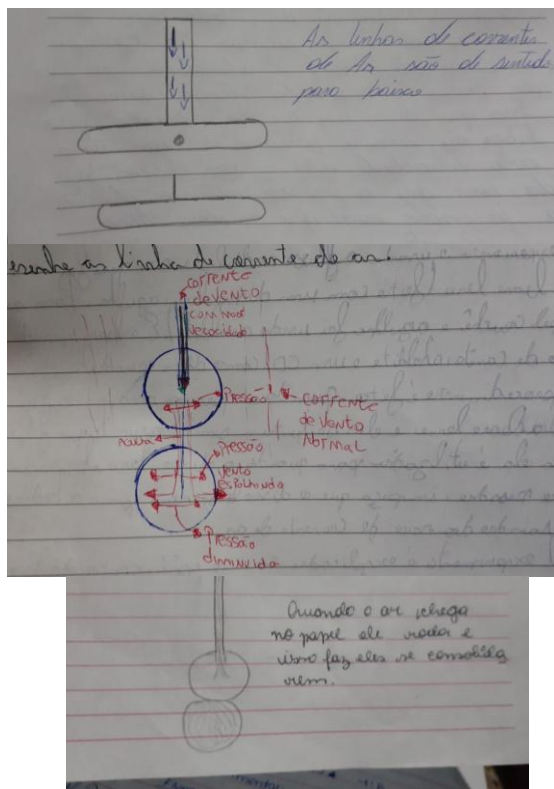
Na terceira questão foi proposto aos alunos esboçarem um desenho das linhas de corrente de ar. Alguns desses esquemas estão dispostos abaixo.

Imagem 12: Respostas à questão 3.



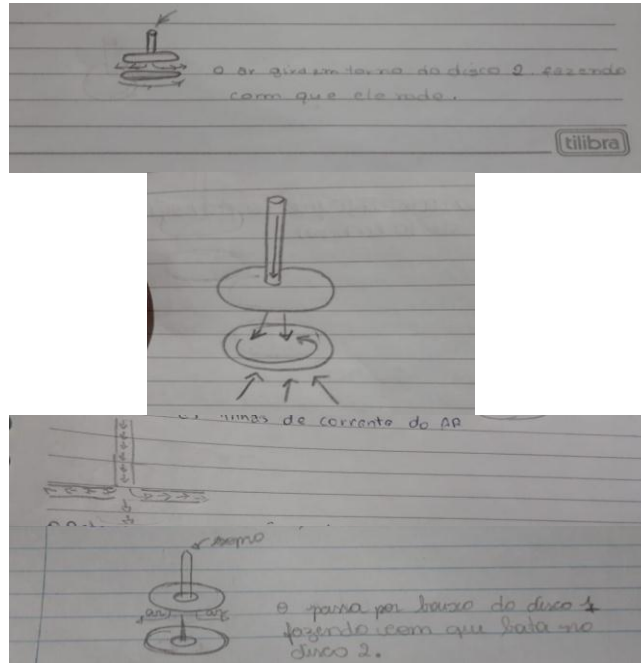
Fonte: O autor.

Imagem 13: Respostas à questão 3.



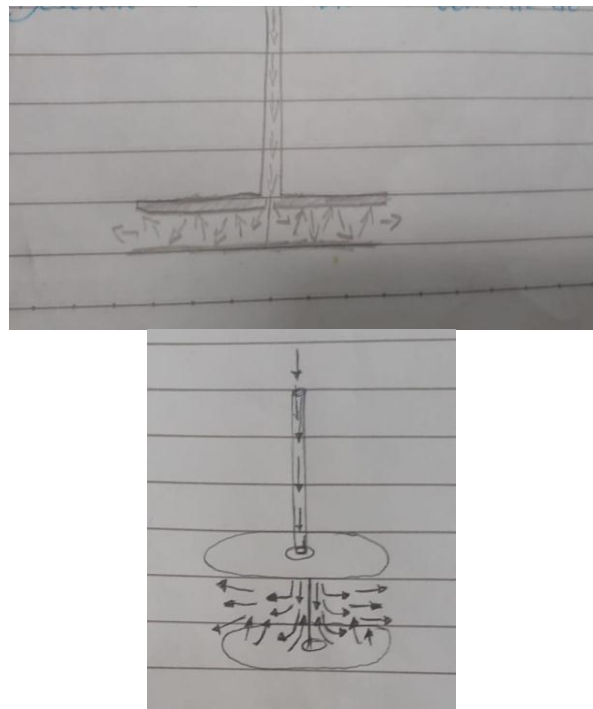
Fonte: O autor.

Imagem 14: Respostas à questão 3.



Fonte: O autor.

Imagem 15: Respostas à questão 3.



Fonte: O autor.

7.4 – Análise da 4ª Questão.

A ideia da inclusão da quarta questão era propor aos alunos que relacionassem a experiência demonstrada com a força de sustentação que atua na asa dos aviões em voo.

O aluno 8 estabelece uma relação entre a experiência demonstrada e a força de sustentação na asa dos aviões

A experiência se relaciona a força de sustentação, Pois para um avião se sustentar o ar deve circular a asa como velocidade maior em cima e Menor em baixo da asa sendo a pressão contrário menor em cima e maior embaixo. Ou seja da mesma forma que acontece na experiência demonstrada

O aluno 11 estabelece uma relação entre a experiência demonstrada e a força de sustentação de um avião em voo

Onde há menos pressão vai ter mais velocidade fazendo com que o avião suba e o disco de papel também

O aluno 12 estabelece uma relação entre a experiência demonstrada e a força de sustentação que faz com que os aviões voem

[...] a força de sustentação que faz com que o avião voe é a mesma força que faz com que os discos se juntem. O ar que passa por cima da asa do avião tem mais velocidade menos pressão gerando uma força para cima.

A ideia de escoamento surge no relato do aluno 17

Relacionada a um avião em voo com a experiência demonstrada é a questão da força de sustentação atuando através de corrente de Ventos, o que ocorre em ambas as situações

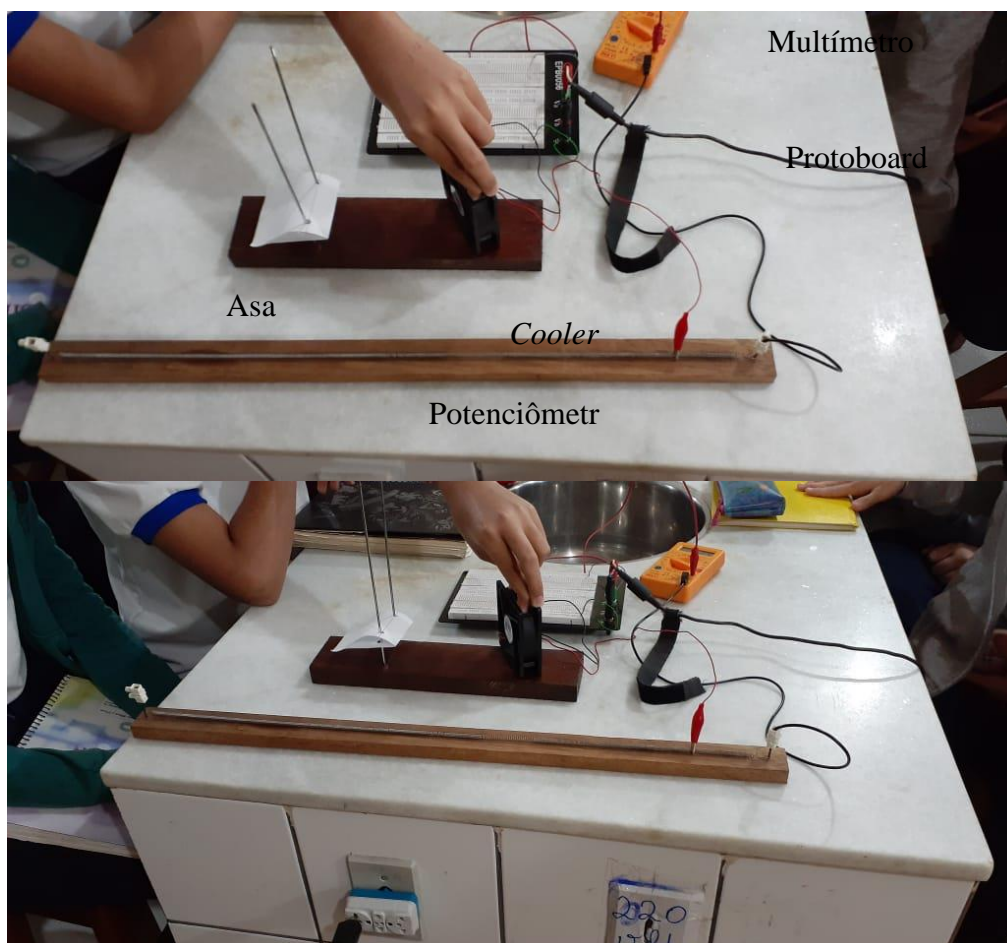
O relato do texto 23 é bem preciso relaciona a experiência demonstrada com a força de sustentação na asa dos aviões. Um fato interessante é que o aluno tem concepções sobre escoamento do ar:

Os dois casos envolvem princípio de Bernoulli onde no experimento dos discos o ar que passava pelo tubo saía no final aumentando sua velocidade fazendo com que a pressão entre dois discos diminuísse fazendo os discos se tocando. No caso da asa dos Aviões a duas passagens de ar possíveis em cima embaixo da asa. Em cima da asa o ar passa com mais velocidade fazendo com que a pressão diminua conforme o princípio de Bernoulli já o ar que passa embaixo da asa tem pouca velocidade e nessa região a pressão fica maior com isso surge a força de sustentação fechar

CAPÍTULO 8 – ANÁLISE DA 4ª ATIVIDADE.

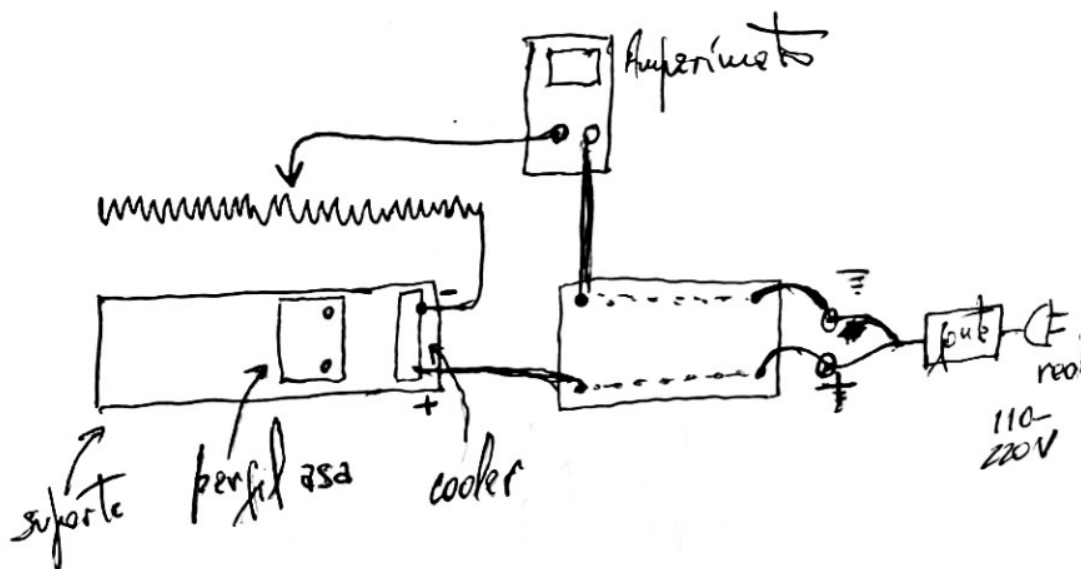
A atividade final da SEI consistiu na demonstração e experimentação do túnel de vento caseiro como aplicação prática do Princípio de Bernoulli. Sua construção foi feita a partir de materiais de baixo custo – um cooler de computador de 12 V & 0,26 A, um potenciômetro de mola de 64 Ω de resistência elétrica máxima, um *protoboard*, uma fonte usada de Notebook de 19 V, dois raios de bicicleta (suporte da asa) e uma folha de papel. No produto (apêndice A) serão detalhadas as etapas de sua construção. Foi montado um circuito elétrico com uso de um *protoboard*, que tem finalidade maior de apresentação do aparelho aos alunos, esquematizado na imagem 16.

Imagem 16: O protótipo montado no laboratório Multidisciplinar da escola.



Fonte: O autor.

Imagem 17: Esquema do circuito elétrico montado.



Fonte: O autor.

O modelo foi mostrado em detalhes para os alunos no laboratório multidisciplinar da escola. O circuito de potência para a ventoinha (*cooler*) foi apresentado *in loco* para aos alunos, mostrando seus vários componentes. A maioria dos estudantes não conhecia alguns conceitos básicos da eletricidade, por isso enfatizou-se a função de cada componente do modelo, dentre eles a resistência elétrica, responsável por regular a intensidade de corrente elétrica que alimentava a ventoinha. A corrente elétrica foi monitorada por um multímetro digital, para não passar do limite máximo de potência da ventoinha, que corresponde a uma corrente elétrica de 260 mA. Durante a aplicação desta fase da SEI os alunos puderam manipular o túnel de vento e fazer alguns testes com os perfis.

Imagem 18: Explicação dos detalhes do circuito elétrico do protótipo.



Fonte: O autor

8.1 – Análise da 1ª Pergunta

Dos 30 textos resultantes da pergunta aos alunos, 25 (cerca de 83%) foram selecionados pela classificação hierárquica descendente (CHD), que gerou cinco classes.

Na classe 1 estão 4 dos 25 segmentos de texto, correspondendo a 16% do corpus analisado. Na maioria das respostas à questão, os indivíduos utilizaram a palavra “pressão”. O texto 31 e 13 aliam a resposta a palavra *força*, uma interpretação além do princípio de Bernoulli.

Tabela 7: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
31	<i>Ao inverter a asa, a pressão fica maior na parte de cima ao contrário de quando está normal sendo assim a asa cai a velocidade na parte de cima diminui e a força de sustentação aponta para baixo [...]</i>
13	<i>[...] Ao invertemos a asa ocorre as mesmas forças atuam, só que com mudança de que o ar vai mudar a pressão onde estiver maior pressão que no caso é a baixo das asas, onde era maior ficaria menor no caso em cima onde era menor ficaria maior e fazendo com que o avião caia [...]</i>

Fonte: O autor

A classe 2, correspondendo a 16% do corpus do texto analisado, ou seja, 4 dos 25 segmentos de texto. Nesta classe temos respostas que utilizam o termo *pressão* como explicação para a questão.

Tabela 8: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
4	<i>A asa cairá pois no caso o avião ficaria de cabeça para baixo e isso indicaria o peso para cima e isso faria com que o ar passasse mais rápido por baixo e não por cima da asa [...]</i>
10	<i>[...] Quando a asa invertida a pressão é maior em baixo contendo a sua mesma velocidade o ar não mantém o voo. [...]</i>
7	<i>[...] A asa irá cair pois o avião ficaria de cabeça para baixo e o peso se ficaria para cima e isso faria com que o ar passa mais rápido por baixo e não por cima. O princípio de Bernoulli diz quanto maior a velocidade menor a pressão isso indicaria que o avião iria se aproximar do solo rapidamente [...]</i>

Fonte: O autor.

Os textos usam uma versão combinada para explicar a resposta. Outra característica desta classe foi que a maioria dos indivíduos respondeu a questão de maneira similar. Os indivíduos citaram o princípio de Bernoulli explicando a diferença de velocidade de escoamento do ar na parte de baixo e de cima da asa. Alguns textos também assumiram que o peso ficaria para cima.

A classe 3 corresponde a 24% do corpus do texto analisado, ou seja, 6 dos 25 segmentos de texto. Nessa classe nota-se uma relação com a segunda classe, sendo que a maioria dos indivíduos dessa classe usou o termo *velocidade maior* ou *menor* de forma recorrente para responder a questão.

Tabela 9: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
28	<i>Ao inverter a asa do avião a parte protuberante fica para baixo sendo assim o ar que passa com maior velocidade em cima passa agora em baixo e com menos velocidade em cima, portanto conforme o princípio de Bernoulli na parte com velocidade menor a pressão será maior fazendo com que a asa seja empurrada para baixo.</i>
1	<i>Ao inverter a asa do avião ela passa o ar com maior velocidade na parte de cima do que embaixo. Com isso na parte com velocidade menor a pressão será maior fazendo com que a asa seja empurrada para baixo, que é o princípio de Bernoulli.</i>

A classe 4 corresponde a 16% do corpus do texto analisado, com 4 dos 25 segmentos de texto. Observa-se que esta classe tem uma relação com as classes 1 e 5, sendo que os alunos usaram as palavras *subir* e *ar* para explicar a questão proposta.

Tabela 10: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
9	<i>Ao inverter a asa, ela não vai ter sustentação para permanecer no ar, o peso vai puxar para baixo e o ar não conseguir a sustentar a asa. Por isso não terá a força para subir e deixaria ela sem sustentação.</i>
3	<i>Quando se inverte a asa as correntes de ar passam ao mesmo tempo só que a pressão na parte de cima aumenta impossibilitando a subida do avião. Com isso a asa do avião não consegue subir pois não tem sustentação porque a pressão está em cima tentando colocar ele para subir e forçadamente ele desce.</i>

Fonte: O autor.

A classe 5 corresponde a 28% do corpus do texto analisado, ou seja, a 7 dos 25 segmentos de texto. É uma ramificação da classe 4 e predominantemente surge uma relação entre a “sustentação” e “peso”.

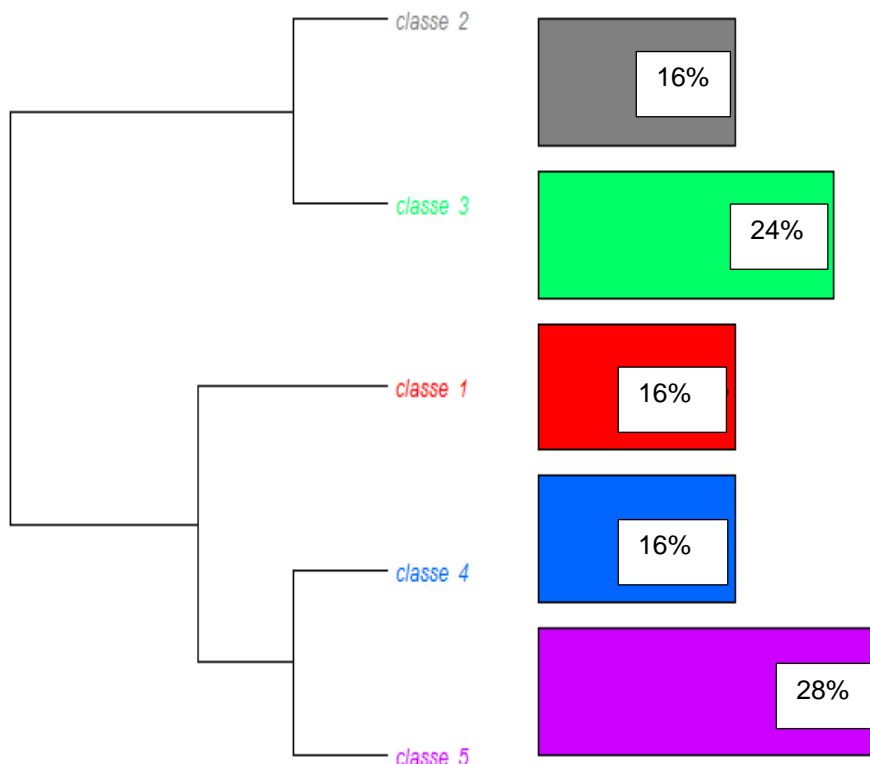
Tabela 11: Relatos dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
34	<i>Ao inverter a asa, ela não vai ter sustentação para permanecer no ar, o peso vai puxar para baixo e o ar não conseguir a sustentar a asa. Por isso não terá a força para subir e deixaria ela sem sustentação.</i>
24	<i>Quando invertemos a asa não decola pois a sustentação iria ficar para baixo ou peso iria ficar para cima, isso iria ficar invertido o avião cairia não teria capacidade para subir.</i>

Fonte: O autor.

Podemos perceber que em todas as classes houve um consenso de que o princípio de Bernoulli pode responder a questão proposta, porém alguns textos usaram o conceito de força para responder à pergunta, a diferença consiste simplesmente em explicar o fenômeno em termos das leis de Newton ou da formulação de energia, conforme foi discutido no capítulo 3, dedicado a explicar a equação de Bernoulli. O dendograma abaixo mostra as relações entre as classes.

Gráfico 5: Dendograma de classes da primeira pergunta.



Fonte: O autor.

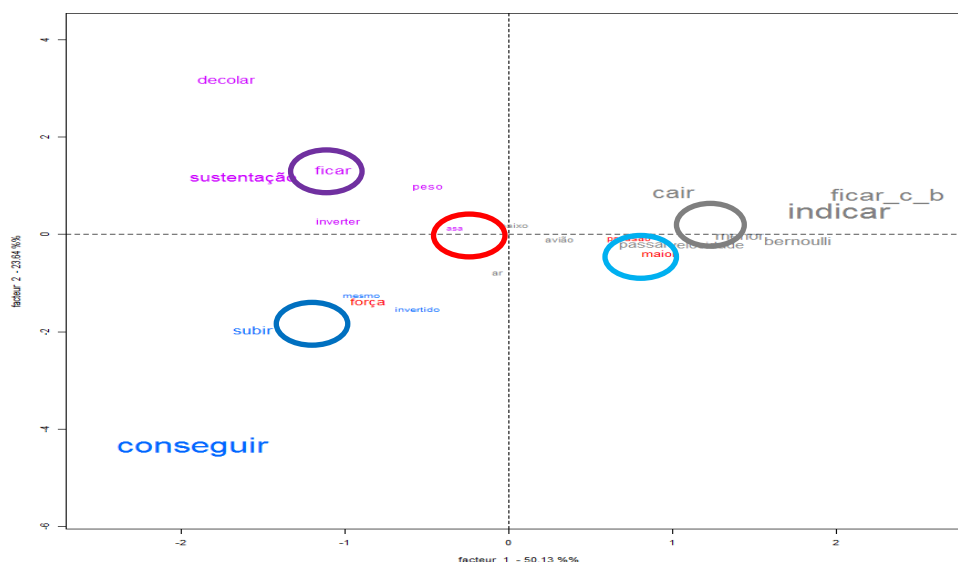
Podemos interpretar, de acordo com o dendrograma, que o *corpus* foi dividido em dois *subcorpos*. Um une as classes 2 e 3 e o outro as classes 1, 4 e 5. No primeiro *subcorpo*, a classe 3, é caracterizada pelo termo *velocidade* e a classe 2 *Bernoulli*. No segundo *subcorpo* a classe 1 é caracterizada pela palavra *pressão* e *força*. A classe 4, associa os termos *ar* e *subir* e a classe 5, associa *sustentação* e *peso*.

Percebe-se que os textos das classes 2 e 3 apresentam uma relação entre *velocidade* como explicação para a pergunta, o que demonstra que os textos estão voltados para uma explicação via princípio de Bernoulli.

Já na outra ramificação, das classes 1, 4 e 5, os alunos deixam claro que o avião não conseguiria permanecer em voo caso invertêssemos a asa. Nos textos das classes 4 e 5 percebe-se que a maioria dos estudantes não veem a possibilidade de o avião adquirir sustentação caso sua asa seja invertida.

O gráfico 6 abaixo apresenta no plano cartesiano a análise fatorial de correspondência (AFC), entre os fatores 1 e 2, onde as elipses representam os centroides dos grupos.

Gráfico 6: Representação fatorial das respostas à primeira pergunta. As elipses representam os centróides dos grupos.



Fonte: O autor.

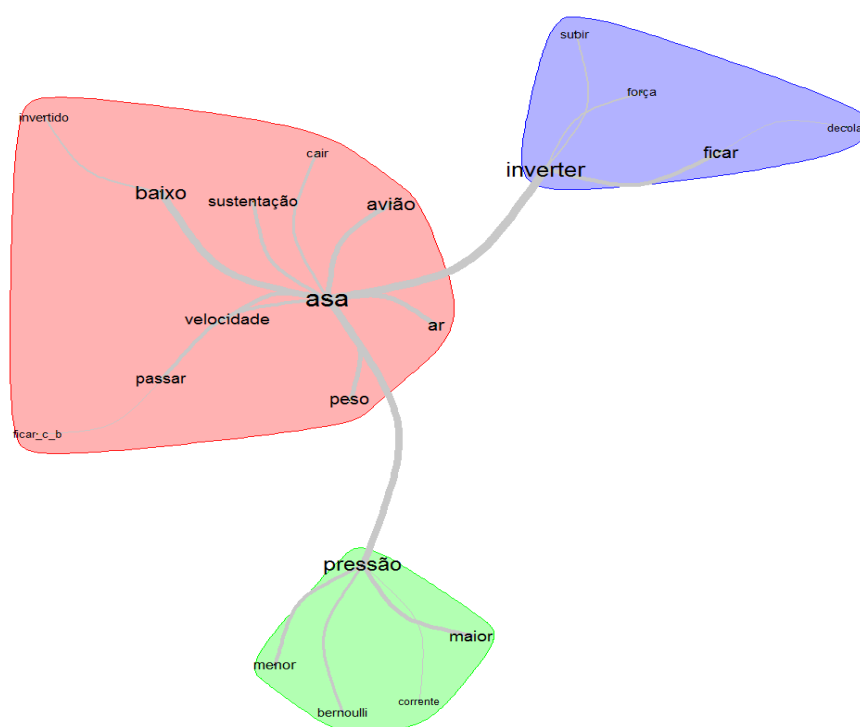
O fator 1 explica 50,13% e o fator 2 a 23,64% de toda a variância dos dados. Pode-se observar o grupo 1(formado pelas classes 1, 4 e 5) no quadrante esquerdo e o grupo 2 (formado pelas classes 2 e 3), no quadrante direito. Em relação ao fator 1 percebe-se uma separação entre os grupos 1 do grupos 2. Esse fato mostra a diferença nas respostas de cada grupo. Para os grupos 1, se o avião inverter a asas ele não consegue voar. Já no grupo 2,a maioria dos textos citam que o avião consegue voar ao inverter a asas e usam o princípio de Bernoulli para explicar a pergunta proposta.

Em relação ao fator 2, nota-se uma separação mais significativa entre as classes 4 e 5 do grupo 1, e as classes 2 e 3 do grupo 2. É possível inferir essa separação ao teor das respostas dadas pelos grupos. A classe 2 apresenta textos que trazem uma explicação alicerçada no princípio de Bernoulli. Já o classe 3 apresenta textos que trazem uma explicação vaga e incompleta à questão proposta.

A classe 4 apresenta textos que explicam em termos de Bernoulli (parcialmente completo), enquanto na classe 5, a maioria dos textos apresentam uma explicação em termos de forças. A análise fatorial por correspondência conseguiu demonstrar essa separação entre os grupos, e também das classes, em função de cada concepção de resposta dada pelos alunos.

Foi gerado um grafo de similitude no qual as palavras com mais relevância do corpus estão dispostas.

Gráfico 7: Gráfico de similitude as respostas à primeira pergunta.



Fonte: O autor.

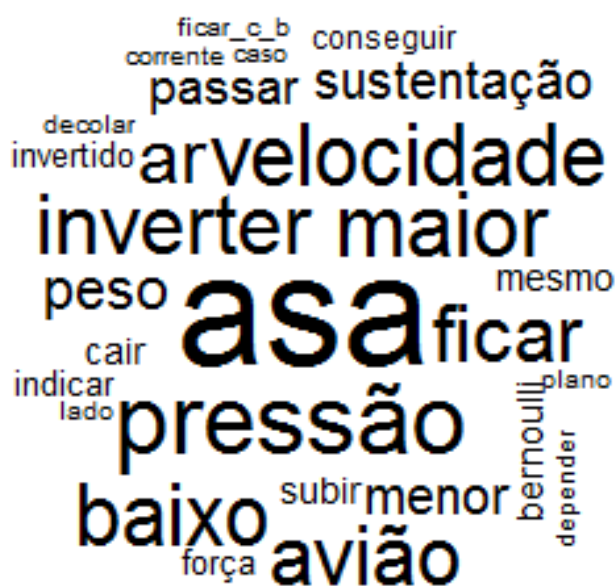
Nota-se que as palavras que mais se destacam são *asa*, *inverter*, *avião*, *peso*, *baixo*, *pressão*. Dessas palavras se ramificam outras que apresentam expressão significativa, como *decolar*, *ar*, *fora*. Nos extremos das ramificações notam-se algumas relações entre *inverter* e *subir*, *pressão*, *maior* e *menor*.

Percebem-se as relações em cada uma das ramificações do gráfico acima. Na ramificação superior pode-se perceber que os textos explicam em termos de *força* sua resposta à pergunta proposta. Na ramificação central percebem-se relações que demonstram uma versão combinada entre *força* e o *princípio de*

Bernoulli nas respostas. Já a ramificação inferior traz respostas que remetem a uma explicação apenas em função do *princípio de Bernoulli*.

Outro gráfico de importância para relacionarmos os termos mais recorrentes nas respostas da questão proposta é a nuvem de palavras. O gráfico 8 mostra a nuvem construída a partir da análise dos textos. As palavras mais evocadas são *asa*, *pressão*, *velocidade*, *sustentação* seguidas de outras com menos representatividade. Observa-se que *asa* é a palavra mais importante para explicar o voo, logicamente. As palavras *inverter*, *velocidade*, *pressão* estão relacionadas à explicação física do fenômeno voar. Essa explicação remete Observa-se que passar aqui está relacionado ao fluxo de ar / vento pelas asas – o ar passa.

Gráfico 8: Nuvem de palavras das respostas à primeira pergunta.



Fonte: O autor.

Abaixo se encontra a tabela de categorização em termos de dimensão.

Tabela 12. A apresentação dos significados de cada categoria.

Dimensões	Categorias	Concepções	Classes	Grupo
O avião voa	Diferença de pressão	Os alunos entendem que a diferença de <i>pressão</i> nas asas gera a força de <i>sustentação</i> .	2	2
	Diferença de velocidade	Os alunos entendem que a diferença de <i>velocidade</i> nas asas gera as diferenças de <i>pressão</i> .	3	2
O avião não	Forças verticais	Os alunos relacionam a influência das <i>forças verticais</i> .	1	1

consegue voar	Escoamento do ar	Os alunos entendem que há diferença de <i>velocidade</i> no escoamento do ar na <i>asa</i> dos aviões.	4	1
	Sustentação/peso	Os alunos identificam a força de sustentação e a força peso.	5	1

Fonte: O autor.

Observa-se que a tabela 12 mostra a separação das classes e grupos, em termos das concepções dos textos. A primeira dimensão é formada pelos textos que sugerem que o avião consegue voar se invertermos as asas. Os textos foram divididos em duas categorias em função de diferentes concepções dos textos. A primeira categoria, denominada diferença de pressão, é formada por textos (da classe 2 e grupo 2) que conseguem identificar que a diferença de *pressão* nas asas gera a força de *sustentação*. A segunda categoria, denominada diferença de velocidade, é formada por textos (da classe 3 e grupo 2) que conseguem identificar que a diferença de *velocidade* nas asas gera as diferenças de *pressão*.

A segunda dimensão é formada pelos textos que sugerem que o avião não consegue voar se invertermos as asas. Os textos foram divididos em três categorias em função das diferentes concepções dos textos. A primeira categoria denominada forças verticais, é formada por textos (da classe 1 e grupo 1) que relacionam a influência das *forças verticais* no texto, sem identifica-las nominalmente. A segunda categoria, denominada escoamento do ar, é formada por textos (da classe 4 e grupo 1), é formada por textos que identificam a diferença de *velocidade* no escoamento do ar na *asa* dos aviões. A última categoria foi denominada sustentação e peso, é formada por textos (da classe 5 e grupo 1) que identificam a força de sustentação e a força peso nominalmente. Pode se perceber que há uma similaridade entre as categorias forças verticais, e sustentação e peso.

8.2 – Análise das Respostas à 2ª Pergunta.

Foram analisados 29 textos referentes às respostas dos alunos à questão “Explique com suas palavras como o avião voa”. A caracterização hierárquica descendente (CHD) classificou 25 destes textos em cinco classes com um aproveitamento 86,21%. Como as respostas à questão são curtas, optou-se por

escolher o processo de construção dos *segmentos de texto* (ST) por parágrafos na composição inicial do *corpus* e a construção dos agrupamentos na CHD foi escolhida como *simples em textos*. Deste modo o programa Iramuteq considera cada texto como um ST único para realizar a comparação textual.

A classe 1 responde por 20% do *corpus* analisado, o que corresponde a 5 dos 25 segmentos de texto. As palavras *maior*, *peso* e *decolar* tem uma importância forte nesta classe. O uso recorrente dessas palavras indica que os estudantes responderam a questão a partir do ponto de vista do voo ascendente, no qual a força de sustentação é maior que o peso, fazendo com que o avião ganhe altura. Trata-se da fase inicial do voo.

Tabela 13: Relato dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
21	<i>O avião consegue voar a partir do momento em que a velocidade é alta e a sustentação é maior que o peso. Vamos supor que o avião esteja parado e só com a força peso ele se movimenta assim que ganha velocidade a sustentação vai aumentando o que faz igualar com peso e quando a velocidade for alta a sustentação se torna maior que o peso e o avião decola.</i>
7	<i>Para o avião levantar o voo é necessário uma certa velocidade, ao atingir q essa velocidade ele começa a decolar. O avião deve ganhar velocidade para aumentar a sustentação até chegar um tempo em que decola. Quando ele sobe a sustentação e o peso vamos igualando até que a sustentação aumenta e fica maior que o peso.</i>

Fonte: O autor

A classe 2 também corresponde a 20% do *corpus* do texto analisado. Os estudantes dessa classe responderam utilizando, de maneira significativa, as palavras *cima*, *asa*, *baixo*, *ar escoa*, *motor*, *ganhar*, *trem de pouso*. Os estudantes desta classe identificaram em suas respostas forças horizontais e explicam a física do voo a partir de uma versão do princípio de Bernoulli aliada a uma ideia de fluxo de ar nas asas.

Tabela 14: Relato dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
11	<i>Por que o motor e o trem_p fazem com que o avião ganhe velocidade e isso faz com que o avião comece a ganhar mais velocidade e assim as forças que propulsionam o avião mostram que de acordo com a asa fazem com que o ar_escoa por baixo e por cima da asa e aí a menor parte do ar_escoa por cima comparado com a velocidade fazendo o avião decolar.</i>
5	<i>O avião consegue voar por que o motor e o trem_p fazem com que o avião ganhe velocidade e isso faz com que ele corra e ganhe muita velocidade e assim as forças que propulsionam o avião mostram que de acordo com a asa fazem com que o ar_escoa por baixo da asa por cima fazendo o avião decolar.</i>

Fonte: O autor.

Na classe 3 estão 6 dos 25 segmentos de texto, o que corresponde a 24% do *corpus*. Os estudantes dessa classe responderam utilizando, de maneira mais recorrente, as palavras *asa*, *sustentação*, *motor*, *pressão* e *precisar*. As respostas dos textos dessa classe associaram corretamente a relação entre as forças verticais do voo (sustentação) além de utilizarem uma explicação em termos de pressão, o que remete ao princípio de Bernoulli.

Tabela 15: Relato dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
08	<i>Para um avião conseguir voar ele precisa da asa e motor e para poder decolar ele precisa de uma velocidade assim quando ele levantar o ar_escoa pela intradorso e o extradorso com a mesma velocidade só que com diferentes pressões caso avião enquanto no ar houver problema no motor ele pode planar e procurar um espaço para um pouso seguro pois o ar_escoa pelas suas asas intradorso e extradorso.</i>
03	<i>Primeiramente, a partida do avião ocorre depois do acionamento dos motores. Depois, dá a volta na pista para pegar velocidade e quando está na linha reta atinge a velocidade v1, quando subirá se controla o manche para ele subir com isso é acionado o flap para aumentar a área de sustentação e para pegar sustentação tem que ter uma asa no formato aerodinâmico para o ar_escoa em cima e embaixo ao mesmo tempo e a pressão na parte de cima diminuir assim tendo a sustentação quando está próximo de chegar diminui igualmente a potência do motor e acionar o trem_p e assim vai descendo lentamente até entrar em contato com o chão.</i>

Fonte: O autor

A classe 4 tem 20% do *corpus*, ou seja, 5 dos 25 segmentos de texto. As palavras mais recorrentes nesta classe foram *cima*, *maior*, *asa*, *baixo* e *ar*. Suas observações são bastante parecidas com a o grupo da classe 3, com mais ênfase, porém, no escoamento do ar.

Tabela 16: Relato dos alunos.

Aluno	Resposta Textual
1	<i>O avião voará a partir de quando o motor for ligado assim iniciará a velocidade v1 quando o avião ganhar velocidade dependendo do ar ele subirá por cima da asa e o ar_escoa com maior velocidade que se chama extradorso por baixo entre extradorso assim o avião ficará plano e se chamará de voo de cruzeiro</i>
10	<i>O avião voa pelo princípio de Bernoulli que com atuação na asa faria com que o ar_escoa por baixo da asa faça uma pressão maior do que a pressão que do ar_escoa por cima da asa junto com o peso fazendo com que o avião decole de acordo com a velocidade que o avião está atuando no momento para que o avião voe dependendo da corrente de ar</i>

Fonte: O autor.

A classe 5, corresponde a 16% do *corpus* do texto analisado, ou seja, 4 dos 25 segmentos de texto. As palavras mais recorrentes nesta classe foram *sustentação*, *força*, *peso*, *intradorso* e *extradorso*. As respostas apresentam uma explicação em termos de composição de forças, mas também combinam uma versão do princípio de Bernoulli para explicar a física do voo.

Tabela 17: Relato dos alunos

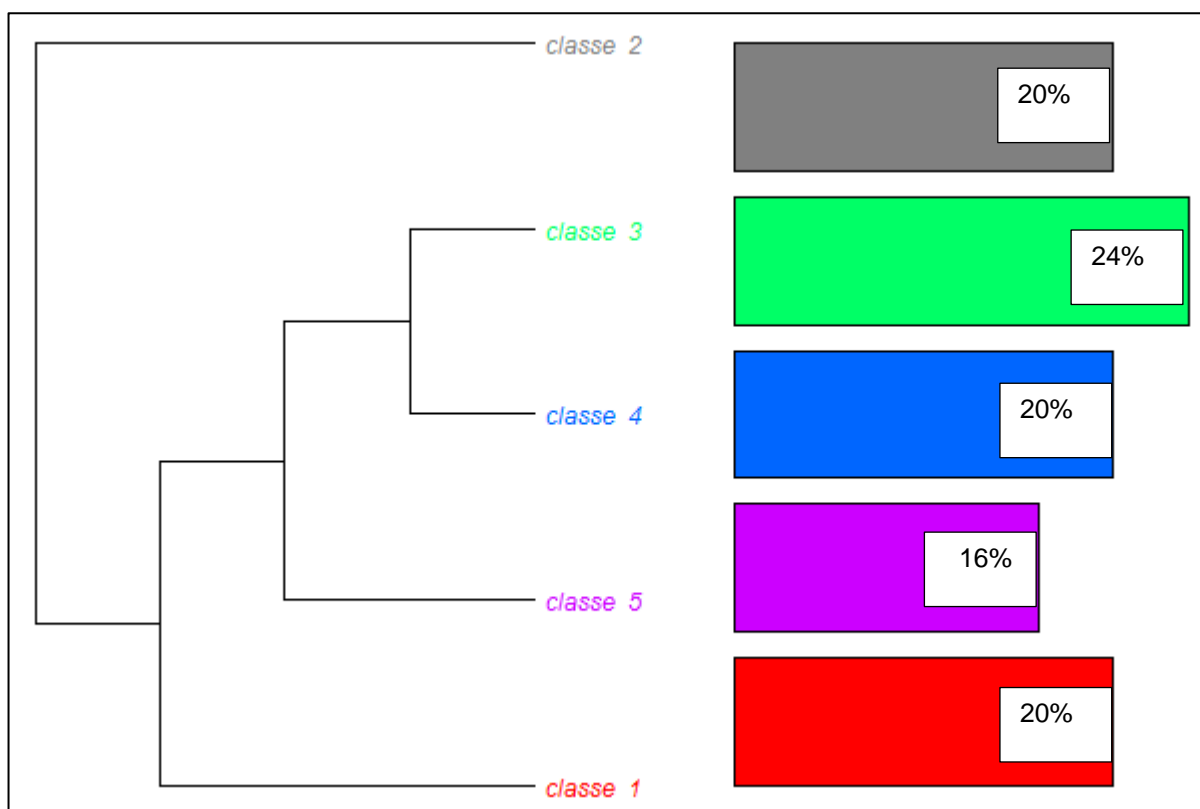
Aluno	Resposta Textual
29	<i>No avião há duas forças de sustentação e peso mas para manter o avião voando a sustentação tem que ser maior que o peso do avião também precisa do extradorso sua parte interna e do intradorso a parte externa sendo assim mantém sua velocidade apta a voar</i>
26	<i>Devido as forças como o peso e a sustentação para manter o avião em voo na asa o ar_escoa por extradorso cima e intradorso baixo claro que a estrutura da asa influencia a asa para o ar_escoar</i>
22	<i>Na asa do avião o ar_escoa fluido com grande velocidade em tempo mínimo sem tempo de mudança de direção conforme a inércia o ar_escoa por cima e por baixo da asa sendo chamados respectivamente de extradorso e intradorso logo na região do extradorso a velocidade do fluido será maior e logo a pressão será menor e a pressão será maior embaixo e levando o avião pela força de sustentação que será maior do que a força peso</i>

Fonte: O autor.

8.2.1 – Dendograma das Respostas à 2ª Pergunta

Abaixo na figura 9 está representado o dendograma de classes gerado pela CHD.

Gráfico 9: Dendograma de classes das respostas à segunda pergunta.



Fonte: O autor.

No dendograma, o *corpus* foi em duas ramificações. Uma delas contém somente a classes 2, correspondente que explicam em termos do fluxo de ar nas asas e reconhece as forças horizontais e o Princípio de Bernoulli que correspondem a 20% do total.

Na outra ramificação obteve-se as classe 1 que corresponde a 20% dos textos que explicaram em termos de forças verticais. Ela se ramifica entre as classes 5, que corresponde a 16% e identificam nos textos as forças verticais e enunciam o princípio de Bernoulli, classe 3, que corresponde a 24% explica em termos de *pressão* e reconhece a *força de sustentação* e classe 4, que corresponde a 20% e explica em termos de *pressão* e *escoamento de ar*.

Alguns alunos da classe 1 confundiram velocidade com sustentação, o que denotou uma certa falta de percepção dos conceitos das grandezas físicas. A palavra *maior* foi usada sempre relacionando a *força de sustentação* com a *força peso*, o que identifica um entendimento da fase ascendente do voo. Esta classe teve também uma associação entre as palavras *aumentar* e *decolagem*, o que reforça a ênfase dos alunos desta classe na explicação apenas no sentido do *voo ascendente*.

A classe 2 consegue identificar as forças horizontais e o escoamento de ar na asa do avião. Alguns textos usam a palavra *motor* no sentido de propulsão ou aceleração. Esta classe dá mais ênfase ao *voo horizontal* mas em alguns textos observa-se menções à *decolagem* do avião.

A classe 3 consegue identificar a *força de sustentação*, além de alguns textos identificarem a velocidade v_1 , também conhecida como velocidade de decisão durante a decolagem. Um texto citou a palavra *flap* e conseguiu identificar que o aumento da área da asa ajuda no aumento da força de sustentação.

Na classe 4 os textos citam bastante *cima* e *baixo* no sentido de relacionar às diferentes partes da asa com a palavra *pressão*. A palavra *maior* aparece na maioria dos textos dessa classe associada à palavra *pressão*.

Os textos da classe 5 apresentam mais recorrentemente as palavras *peso*, *força*, *sustentação*, alguns textos reconhecem as palavras *extradorso* e *intradorso*, o que denota um entendimento parcial do Princípio de Bernoulli. A tabela abaixo também contém o cruzamento das palavras que se repetem entre as classes.

Pode-se notar que nas classes 1 e 5 aparece *peso*, as classes 2 e 4 aparecem as palavras *baixo* e *cima*, mostra uma ideia mais próxima do Princípio de Bernoulli. Também percebe-se que a palavra *peso* aparece nas classes 1 e 5 e denota um entendimento em termos de forças. A palavra *asa*, aparece nas classes 2, 3 e 4.

Tabela 18. Palavras (formas reduzidas) com maior frequência nas 5 classes da CHD.

Forma	CG	C1	C2	C3	C4	C5
Maior	Adj	C1			C4	
baixo	Adj		C2		C4	
cima	Sub		C2		C4	
asa	Sub		C2	C3	C4	
voo	Sub				C4	

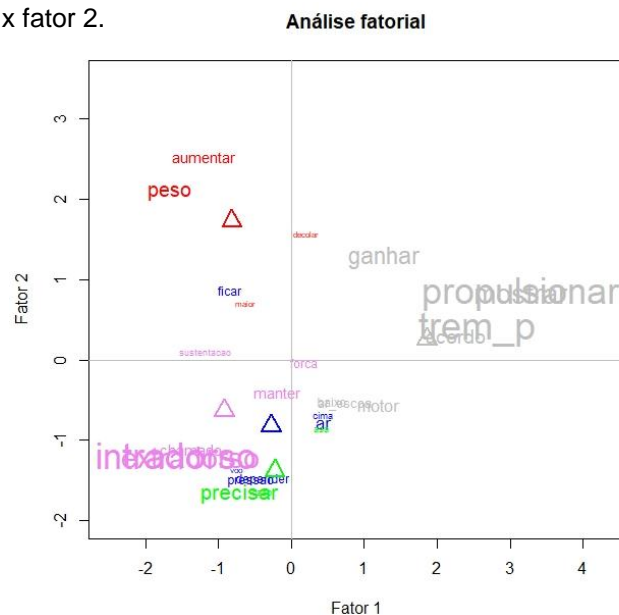
ar	Sub				C4	
pressão	Sub			C3	C4	
peso	Sub	C1				C5
motor	Sub		C2	C3		
trem_p	Sub		C2			
força	Sub		C2			C5
sustentação	Sub			C3		C5
intradorso	Sub					C5
extradorso	sub					C5
aumentar	ver	C1				
decolar	ver	C1	C2			
ar_escoa	ver		C2			
ganhar	ver		C2			
propulsionar	ver		C2			
precisar	ver			C3		

Fonte: O autor.

8.2.2 – Análise Fatorial de Correspondência das Respostas à 2ª Pergunta.

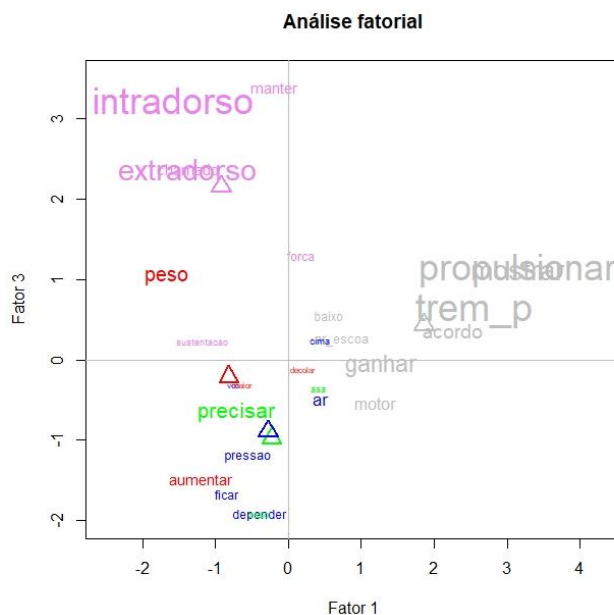
No gráfico 10 abaixo está disposta a análise fatorial de correspondência (AFC), representada no plano cartesiano.

Gráfico 10. Representação fatorial mostrando a posição relativa entre as cinco classes segundo o fator 1 x fator 2.



Fonte: O autor.

Gráfico 11. Representação fatorial mostrando a posição relativa entre as cinco classes segundo o fator 1 x fator 3.



Fonte: O autor.

Observamos neste gráfico que as palavras características da classe 1, em vermelho, encontram-se afastadas, acima e à esquerda das demais classes. Da mesma forma as palavras da classe 2, em cinza, que se encontram acima e à direita. Os centros das classes 3 e 4 estão muito próximos entre si, tanto em relação aos fatores 1 e 2 (gráfico 10), quanto ao fator 1 e 3 (gráfico 11), ou seja, estes fatores, que representam 88% de toda a variância dos dados, não diferenciam substancialmente nestas classes. Este fato aconselha a uma união entre estas classes para formar apenas uma. A classe 3 associa de forma geral pressão com sustentação, enquanto a classe 4 associa a pressão com o escoamento do ar, o que significa também sustentação. Portanto ambas as classes foram unidas em uma única para efeito de categorização.

Na tabela abaixo encontram-se dispostos os fatores e suas respectivas variâncias e a complementação dos dados em relação aos percentuais absolutos e acumulados.

Tabela 19. Fatores da análise.

Fatores	Variância	Porcentagem	Porcentagem Acumulada
Fator 1	0,29468	39,13836	39,13836

Fator 2	0,1918	25,47404	64,6124
Fator 3	0,17576	23,34369	87,95609
Fator 4	0,09068	12,04391	100

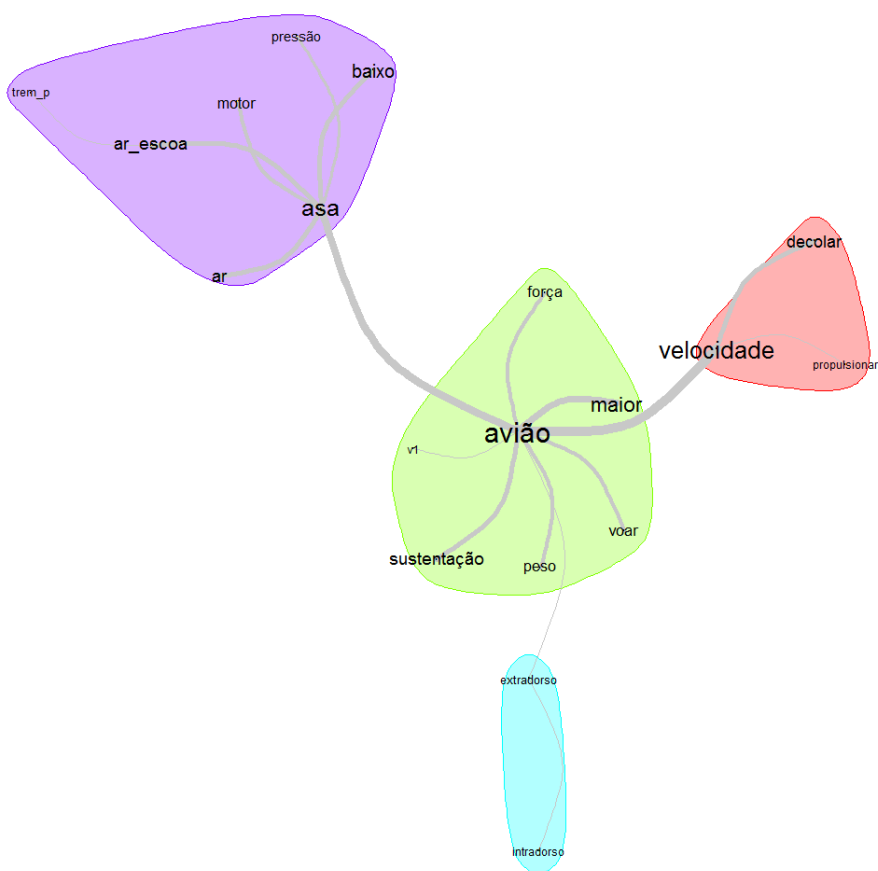
Fonte: O autor.

Nesta tabela observamos que o fator 1 responde por quase 40% de toda a variância dos dados, porém os fatores 2 e 3 também tem uma importância relevante, respondendo por 25% e 23% cada um, respectivamente. Estes três fatores conjuntamente respondem por 88% de toda a variância da amostra, de modo que o fator 4 pode ser desconsiderado da análise estatística.

8.2.3 – Análise de Similitude.

A figura abaixo é um grafo de similitude das respostas para a segunda pergunta proposta na SEI.

Gráfico 12: Gráfico de similitude as respostas à segunda pergunta.



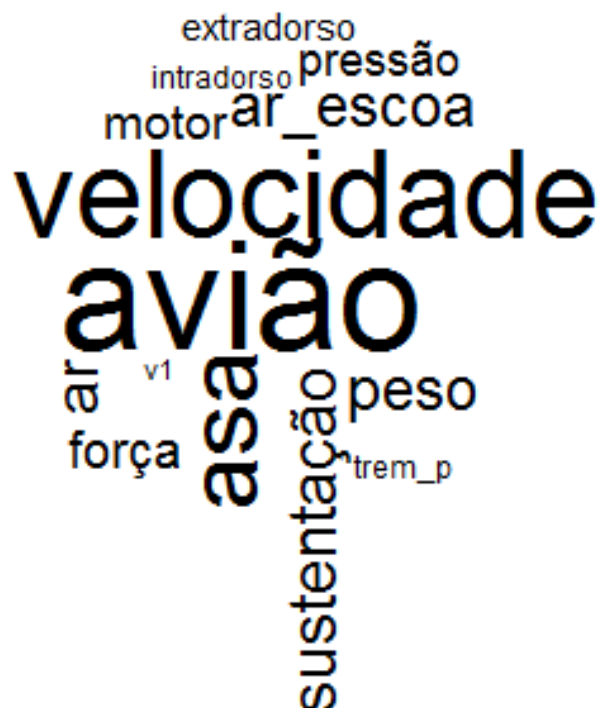
Fonte: O autor.

Identificaram-se no grafo três palavras que mais se destacam: *avião*, *asa* e *velocidade*. Delas se ramificam palavras que apresentam relevância para os textos como: *sustentação*, *peso*, *força*, *motor*. No ramo inferior do grafo percebemos que há uma associação entre *asa*, *escoamento de ar*, *voo*, *pressão* e *ar*, o que demonstra um entendimento em termos do Princípio de Bernoulli. Na parte inferior do grafo, vê-se uma relação entre as palavras *avião*, *peso*, *força* e *velocidade*, o que evidencia explicações que se basearam em termos de força sua explicação.

8.2.4 Nuvem de Palavras.

A última análise foi da nuvem de palavras obtida por meio das respostas dos alunos a segunda pergunta.

Gráfico 13. Nuvem de palavras das respostas à segunda pergunta.



Fonte: O autor.

Verificou-se que as palavras *avião*, *velocidade*, *asa*, *sustentação* são as formas mais citadas nos textos enquanto *motor*, *pressão* e *ar escoa* são formas que emergem com menor relevância para a análise.

Ao compararmos os gráficos de similitude dos textos antes da aplicação do produto com os textos depois da aplicação percebem-se alguns padrões recorrentes e algumas diferenças que podem indicar novas relações estabelecidas pelas classes.

Abaixo encontra-se a tabela de classificação em termos de dimensão para as classes.

Tabela 20. A apresentação dos significados de cada categoria.

Dimensões	Categorias	Concepções
Explicação em termos de forças verticais	Decolar/ Velocidade	Os alunos entendem que para decolar o avião necessita atingir uma determinada velocidade.
	Peso	Os alunos entendem que para o avião decolar a força de sustentação deve ser maior que a força peso.
Explicação em termos do Princípio de Bernoulli	Fluxo de ar através da asa	Os alunos relacionam a força de sustentação ao escoamento de ar na asa dos aviões.
	Propulsão, Motor e aceleração	Os alunos relacionam a influência das forças horizontais no voo com o conceito de variação de velocidade.
	Pressão	Os alunos entendem que há diferenças de pressões na asa dos aviões.
	Sustentação	Os alunos identificam a força de sustentação mas não identificam a força peso como outra força vertical.
Explicação parcial em termos do Princípio de Bernoulli	Extradorso e Intradorso	Os alunos identificaram nominalmente as diferentes partes das asas do avião.
	Forças Verticais	Os alunos identificam as forças verticais que atuam no avião em voo e explicam parcialmente o princípio de Bernoulli

Fonte: O autor.

Devido a fatores de similaridade, optou-se por unir as classes 3 e 4. Percebe-se que em cerca de 44% dos textos os alunos conseguiram identificar o princípio de Bernoulli como sendo explicação para a pergunta proposta. Os outros textos apresentaram versões que combinavam o conceito de forças para a resposta.

Entende-se que após a aplicação do produto o número de formas na árvore de similitude diminuiu. Percebe-se que antes da aplicação do produto o termo *asa* aparecia mais isolado e sem ramificações. Após a aplicação do produto, constata-se que há ramificações com os termos *ar_escoa* e *pressão*. Nota-se que o termo

velocidade se tornou mais significativo nas respostas após a aplicação do produto, e o termo *motor* diminuiu sua relevância. Foi possível notar também que os alunos demonstraram, após a aplicação do produto, uma melhor organização das ideias, os textos se tornaram mais claros.

A tabela 19 foi construída a partir de uma análise nos segmentos de texto, em termos das concepções de cada classe. A primeira dimensão nos traz os alunos que explicam a física do voo em termos da identificação de forças verticais, sendo mais associada à fase de decolagem do voo. As outras dimensões nos trazem uma concepção mais próxima de Bernoulli, sendo que a terceira dimensão apresenta um domínio conceitual menor.

Gráfico 14: Gráfico de similitude das respostas à segunda pergunta antes da aplicação do produto.

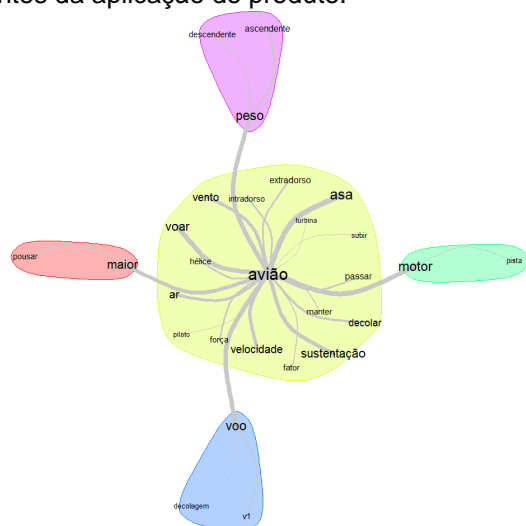
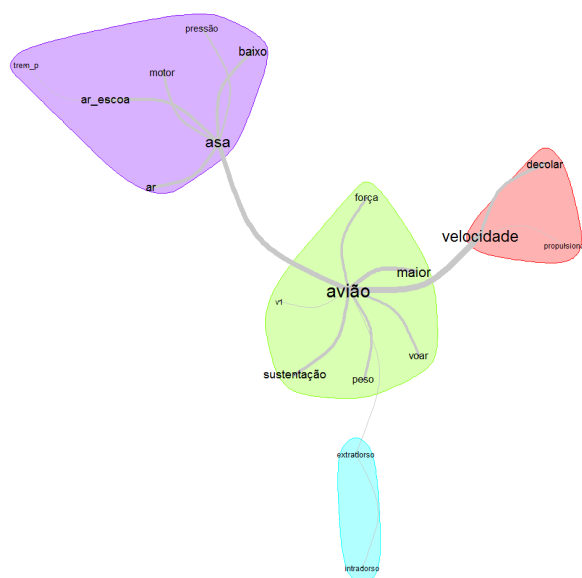


Gráfico 15: Gráfico de similitude das respostas à segunda pergunta depois da aplicação do produto.



Ao comparar os planos fatoriais antes e depois da aplicação do produto, percebe-se que o número de classes geradas pela CHD aumentou. Percebeu-se que esse aumento se deve a um aumento na similaridade entre as respostas em comparação com os textos após a aplicação do produto.

CAPÍTULO 9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.

O trabalho apresentou uma temática que muitas das vezes é ignorada pela maioria dos professores de física. A aviação e a física do voo ainda são bastante complexas ao grande público, mas é uma eficaz ferramenta para o ensino de conceitos de ciência. A SEI tomou como base os passos de CARVALHO (2014).

No primeiro momento, foi proposto aos alunos para que redigissem um texto no qual, com suas próprias palavras, eles explicassem como um avião consegue voar e se sustentar no ar. Neste primeiro momento foram apresentados vídeos e foi utilizado um simulador de voo para demonstrar melhor algumas dúvidas dos alunos.

No segundo momento, houve uma aula a qual os alunos foram se familiarizando com conceitos básicos de hidrodinâmica e teoria de voo. Foram novamente apresentados alguns vídeos para que os alunos pudessem melhorar o entendimento em relação a algumas dúvidas que surgiam no decorrer da aula. No término desse encontro foi proposto aos alunos realizarem uma atividade experimental em grupo, na qual iriam responder a uma pergunta proposta. Foi pedido aos alunos que filmassem a atividade para uma socialização entre os grupos.

No terceiro momento, montou-se um protótipo para demonstração do princípio de Bernoulli utilizando materiais de baixo custo. Nesta etapa, pediu-se para os alunos responderem algumas questões como forma de relacionar o experimento físico proposto com a atividade que os alunos realizaram em grupo no segundo momento. Nesse ponto obtivemos um resultado bem relevante. Mais da metade dos alunos conseguiu relacionar o protótipo demonstrado em sala de aula com a atividade proposta para os grupos.

No último momento, foi apresentado um outro protótipo que tinha como intuito demonstrar a força de sustentação que atua na asa de um avião em voo. Além desta atividade, propôs-se novamente aos alunos que respondessem algumas questões, incluindo, a pergunta proposta no primeiro encontro.

Foi possível observar que os alunos conseguiram inferir melhor sobre o fenômeno do voo. Muitos outros termos, além dos analisados no primeiro momento, emergiram dos textos, mostrando o poder que demonstrações experimentais têm no processo ensino aprendizagem. É importante frisar que, como algumas das atividades foram realizadas em grupo, surgiram questões bem interessantes nas socializações entre os alunos. Uma observação importante foi que alguns alunos

que tinham bastante dificuldades de relacionamento entre si, transpuseram tais barreiras conseguindo se integrar mais aos colegas durante a etapa de elaboração de hipóteses.

Pode-se perceber que após a aplicação do produto houve uma melhora significativa nos textos, sendo que em sua maioria, continham uma explicação bem mais plausível para os fenômenos observados – os conceitos contidos nos textos ficaram melhor colocados.

É importante frisar que o produto dessa dissertação pode ser utilizado nos níveis de ensino básico e superior, tornando-o multifacetado quanto à sua aplicação no ensino do Princípio de Bernoulli.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANTAS, Luiz Mendes. **Glossário de termos técnicos.**São Paulo: Traço, Coleção Aeroespacial, 756 p, 1979.

ANDERSON,D e EBERHARDT, S. **Como os aviões voam:Uma descrição física do voo.** Física na Escola, v. 7, n. 2, 2006

CAMARGO, Brígido Vizeu; JUSTO, Ana Maria. **Tutorial para uso do IRAMUTEQ.** Temas em Psicologia, Ribeirão Preto, v. 21, n. 2, p. 513-518, dez. 2018.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências por Investigação: Condições de implementação em sala de aula.** São Paulo: Learning, 2013.

EASTLAKE, C. N. **A visão de um engenheiro aeronáutico acerca da sustentação.** Física na Escola, v. 7, n. 2, 2006.

HEWITT, P. G. **Física conceitual.** 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOMA, Jorge M. **Aerodinâmica e Teoria de Vôo: noções básicas.** 31 ed. São Paulo: ASA, 2012.

MOREIRA, João Carlos; SENE, Eustáquio. **Geografia para o ensino médio: geografia geral e do Brasil.** São Paulo: Scipione, 2002.

OLIVEIRA, M. M. et al. **Práticas experimentais de física no contexto do ensino pela pesquisa: uma reflexão.** Experiências em Ensino de Ciências – V5(3), pp. 29-38, 2010.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio.** Brasília: MEC/SEF, p.1-23, 2000. . Acesso em: 21 set 2019.

RATINAUD, P., & MARCHAND, P. **Application de la méthode ALCESTE à de “gros” corpus et stabilité des “mondes lexicaux” : analyse du “CableGate” avec IraMuTeQ.** Em: Actes des 11eme Journées internationales d’Analyse statistique des Données Textuelles (835– 844).

SOUZA, M. et. al. **O uso do software IRAMUTEQ na análise de dados em pesquisas qualitativas.** Rev Esc Enferm USP. 2018;

STUDART, N.; DAHMEN, S. R. **A Física do Voo em Sala de Aula** STUDART, Nelson; DAHMEN, Silvio Renato. Física na Escola, v. 7, n. 2, p. 36 – 42, 2006.

VYGOTSKY, L.S. **Teorias da Aprendizagem.** São Paulo: Martins Cortez,1984.

ZÔMPERO, A.F. e Laburú, C.E. **Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens.** Rev. Ensaio | Belo Horizonte, v.13, n.03, p.67-80, set-dez, 2011.

APÊNDICE A.

SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA.

**DIEGO MACIEL CARNEIRO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ**

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE UM
TÚNEL DE VENTO DE BAIXO CUSTO
SANTARÉM, SETEMBRO 2020.**

SANTARÉM – 2020.

Apresentação

A Sequência de Ensino Investigativo (SEI) foi montada para o ensino Médio. Primeiramente, de acordo com Carvalho (2014) uma SEI “deve iniciar com um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado e ofereça condições para que pensem e trabalhem com as variáveis do fenômeno científico central do conteúdo programático.”

Posteriormente deve-se propor uma atividade de sistematização com os alunos para que suscitar os conhecimentos adquiridos. A terceira atividade é a contextualização, na qual o deve-se apropriar do conteúdo e associa-lo ao seu cotidiano. Dentro das etapas da SEI serão introduzidas atividades experimentais abaixo detalhadas.

PRIMEIRA AULA – 40 min

Neste momento inicial o professor, mostra um simulador de voo para os alunos, demonstrando a decolagem, o voo de cruzeiro e o pouso. Caso haja impossibilidade, é possível encontrar muitos vídeos na internet que demonstram o voo e suas fases. Essa é a problemática da SEI.

Posteriormente é sugerido aos alunos escreverem um pequeno texto sobre como eles acham que um avião consegue voar, usando conceitos de física básica.

Logo em seguida, usaram-se alguns slides bem ilustrativos, são apresentados alguns conceitos de física e teoria de voo. Os slides estão dispostos no apêndice.

Depois pede-se que os alunos façam um vídeo de uma atividade experimental bem simples a ser feita em casa e em grupo. Esta atividade foi retirada do livro Física Conceitual e consiste na primeira problemática da SEI.

Sugestões de vídeos

Canal Aviões e música – Como o avião voa de verdade (sem cálculos) EP. 209

<https://www.youtube.com/watch?v=UpU6QdspDcY>

Canal Aero Por trás da aviação – As velocidades na decolagem de um avião.

<https://www.youtube.com/watch?v=Kcm9vmNxFBM>

1º Proposta Experimental.

OBJETIVO

Nesta primeira proposta encontro, o professor propõe que os alunos em grupo realizem uma experiência simples para a verificação do princípio de Bernoulli.

MATERIAIS:

- 1- Bacia de lavar roupa.
- 2- Litros de água.
- 3- Barbantes.
- 4- Barquinhos de papel ou qualquer outro material que flutue.

PROCEDIMENTO

Prenda frouxamente com barbante um par de barcos de brinquedo lado a lado como indicado. Em seguida, dirija uma corrente de água por entre os barcos. Eles começarão a se aproximar e colidirão. Por quê?

Produza um vídeo e redija um texto explicando sua hipótese sobre a atividade proposta.

Deve-se socializar os vídeos, além dos textos produzidos pelos grupos em sala para que a etapa de sistematização da SEI seja respeitada. Nesta etapa é importante que o professor observe se todos os alunos participaram da elaboração do texto do grupo.

SEGUNDA AULA – 60 min

Nesta segunda etapa, é importante que haja uma continuidade na abordagem através da proposição de mais uma experiência prática.

2ª Proposta Experimental.

OBJETIVO

Neste segundo encontro, o professor traz um experimento chamado “Simulador de Sustentação Radial”, montado com materiais de baixo custo.

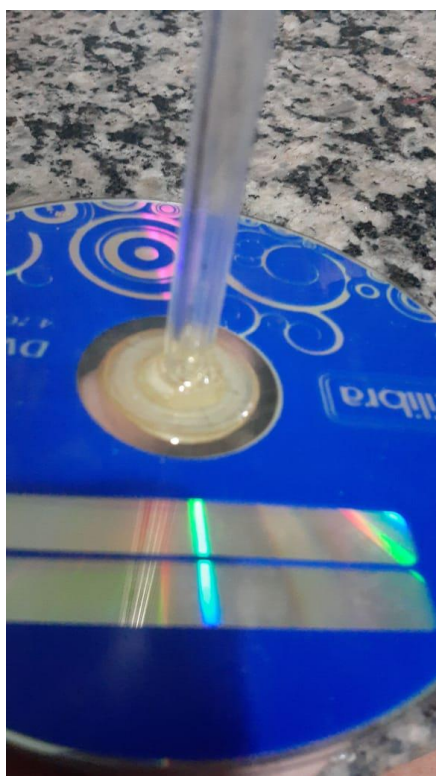
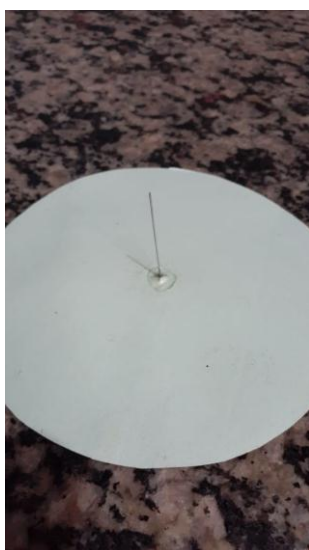
MATERIAIS:

1. Cd (compact disc) ou dvd
2. Tubo de cola de silicone,
3. Tubo de caneta esferográfica,
4. Folha de papel couche,
5. Alfinete
6. Tubo de cola branca.

PROCEDIMENTOS:

- 1- Cole o tubo da caneta usando a cola de silicone. É importante colar o tubo alinhado com o furo central do cd.
- 2- Recorte uma folha de papel couchê com as mesmas dimensões do cd.
- 3- Utilizando o alfinete, fure um buraco central, alinhado com o furo central do cd e o tubo de caneta.
- 4- Utilize a cola branca para fixar o alfinete no furo central devidamente alinhado com o cd e o tubo da caneta

Imagem 19: O protótipo “Simulador Radial de Sustentação”.



Fonte: O autor.

PERGUNTAS- Atividade Experimental 2- Fluxo radial de ar.

1-Identifique o princípio físico que explica a experiência e o descreva.

2-Desenhe o esquema das forças que atuam na experiência demonstrada.3-
Desenhe as linhas de corrente do fluxo de ar que passa pela tubo da experiência demonstrada.

4-Estabeleça uma relação entre a experiência demonstrada e o voo de um avião.
Explique.

É importante estimular os alunos a escreverem bem detalhadamente suas respostas para que se possam emergir do texto hipóteses mais coesas.

TERCEIRA AULA – 80 min

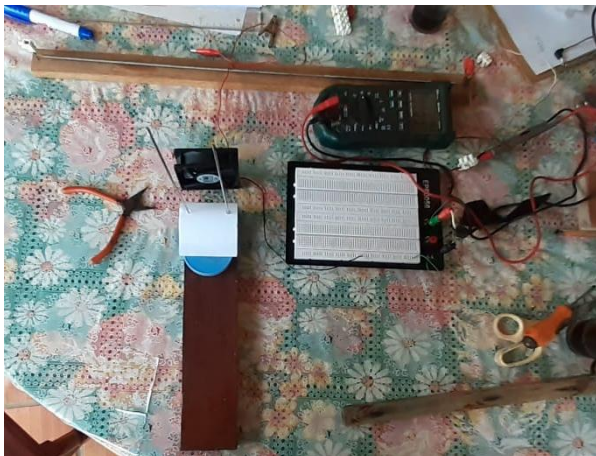
OBJETIVO

Neste último encontro, o professor propõe uma última experiência chamada “protótipo do túnel de vento”, montado com materiais de baixo custo.

MATERIAIS:

- 1- Cooler de computador de 12 V-0,26 A;
- 1- Potenciômetro de mola de 64 Ω ;
- 1- Protoboard, uma fonte de 19 V de Notebook,
- 2- Dois raios de bicicleta
- 1- Pedaco de madeira de 20 x 40 cm
- 1- folha de papel(A4).
- 1- Multímetro configurado para o modo amperímetro.

Imagem 20: O “túnel” de vento em detalhes.



Fonte: O autor.

Este protótipo foi montado para simular a força de sustentação que atua na asa dos aviões em voo. Utiliza-se uma fonte de notebook de 19 V para alimentar um cooler de computador de 12 V. Para regular a corrente elétrica máxima que chega ao cooler usa-se um potenciômetro de 64 Ω e assim controla-se a velocidade do vento que a ventoinha fornece ao conjunto.

A asa foi montada com papel A4, e, que por ser leve, torna-se um material mais propício para ser utilizado. Furam-se dois buracos nas asas por onde irão passar os raios que estão dispostos 5 cm entre si.

Ao ligar o conjunto é importante estar atento ao valor máximo de corrente (no cooler utilizado, 0,26 A). Outro fato importante é se atentar para a posição com que o vento relativo proveniente do cooler atinge a asa. Por vezes é importante suavizar o atrito entre a o orifício pelo qual os raios passam e os raios. Sugere-se usar esmalte.

PERGUNTAS- Atividade Experimental 3- Simulador de sustentação.

1-O que acontece ao invertermos a asa? Explique detalhadamente

2- Explique detalhadamente como um avião voa.

SLIDES

SLIDE -1

FLUIDOS IDEAIS.

O movimento em um fluido real é muito complexo. Para simplificar sua

SLIDE -2

TIPOS DE ESCOAMENTO.

- **Escoamento Estacionário** – também conhecido como laminar, é obtido quando a velocidade de escoamento é pequena, ou seja, quando a velocidade de escoamento for a mesma em todos os pontos. Ex.: a água de um rio calmo, escoamento de ar e gases.

Escoamento não estacionário – ou turbulento é quando a velocidade do fluído varia no decorrer do tempo. Ex.: quedas d'água em virtude de rochas e outros obstáculos existentes.

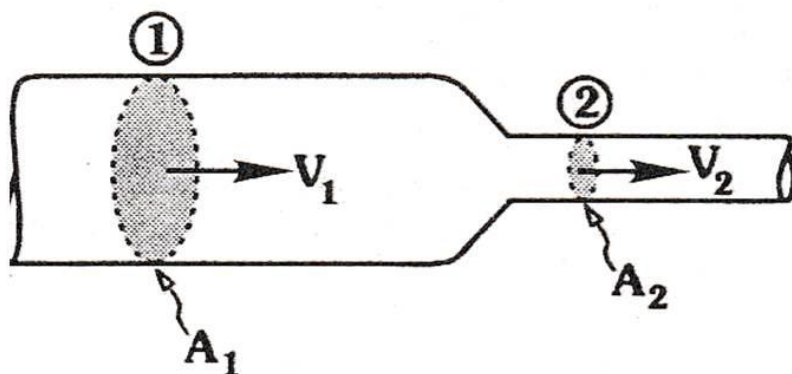
SLIDE 3

FLUXO

- Q : Quantidade de volume que um fluido que

SLIDE 4

- Considere a figura abaixo:



$$Q_1 = Q_2$$

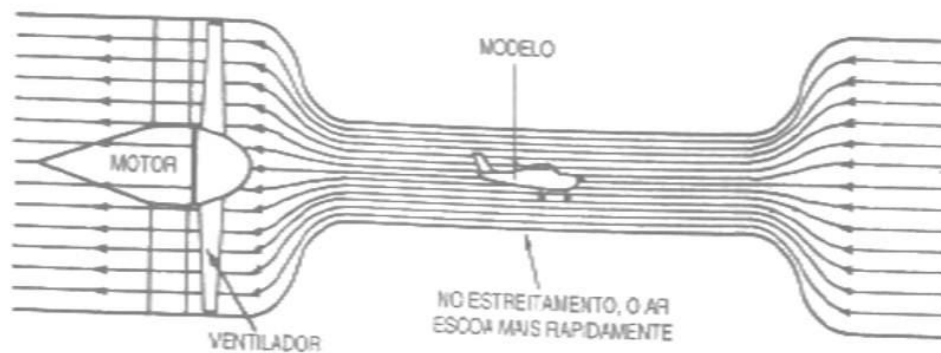
$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

SLIDE 5

EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE.

Uma vez que o volume de água que flui em um tubo com seções transversais de diferentes áreas A se mantém constante, a velocidade v

SLIDE 7



SLIDE 8

PRINCÍPIO DE BERNOULLI.

Considere um fluxo contínuo de água em um cano. Uma vez que a água não se "acumula", a quantidade de água que atravessa qualquer seção do cano é a

SLIDE 9

Daniel Bernoulli, um cientista suíço do século XVIII, estudou o movimento de fluidos em tubos. Sua descoberta, agora conhecida como o **princípio de Bernoulli**, pode ser enunciada assim:

Onde a velocidade do fluido cresce, a pressão interna do mesmo decresce.

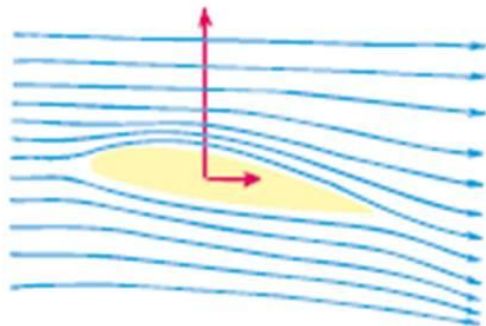
Em forma matemática: $\frac{1}{2} mv^2 + mgh + pV = \text{constante}$ (ao longo de uma mesma linha de corrente); onde m é a massa de algum pequeno volume V de fluido, v é a sua velocidade, g é a aceleração da gravidade, h é a sua elevação e p é a sua pressão interna.

SLIDE 10

Se a massa m for expressa em termos da densidade do fluido, onde $m = \rho V$, e cada termo for dividido por V ,

SLIDE 11

APLICAÇÕES DO PRINCÍPIO DE BERNOULLI.

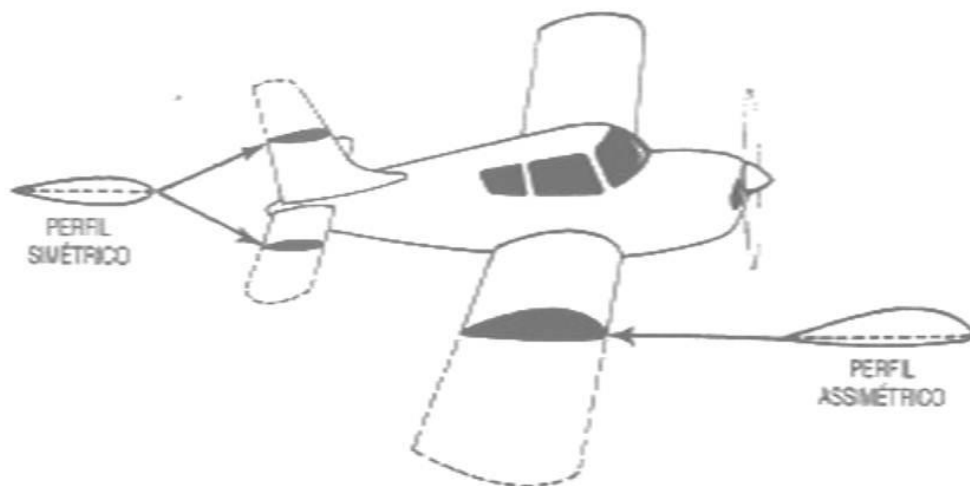


O vetor vertical representa a força resultante ascendente (sustentação) que tem sua origem na maior pressão do ar abaixo da asa do que acima dela. O vetor horizontal representa a resistência aerodinâmica.

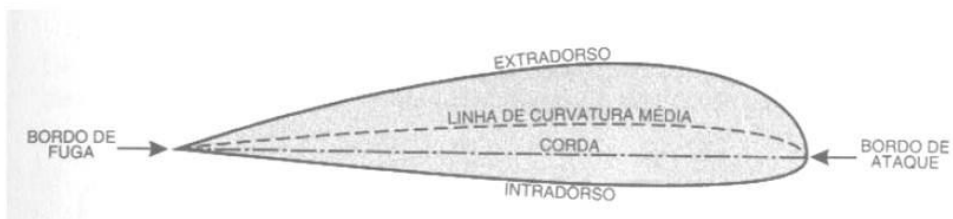
SLIDE 12

SUPERFÍCIES AERODINÂMICAS DE UM AVIÃO.

SLIDE 13

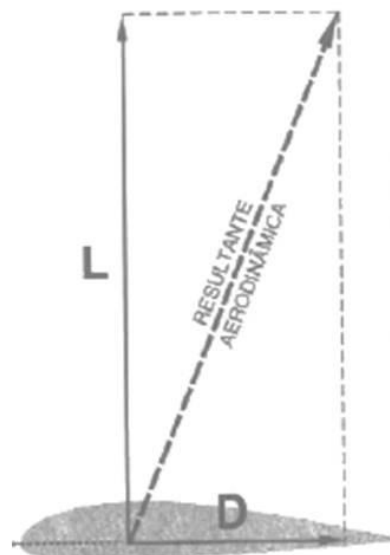
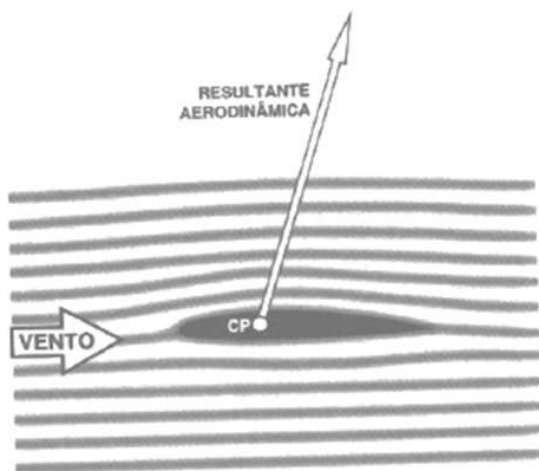


SLIDE 14

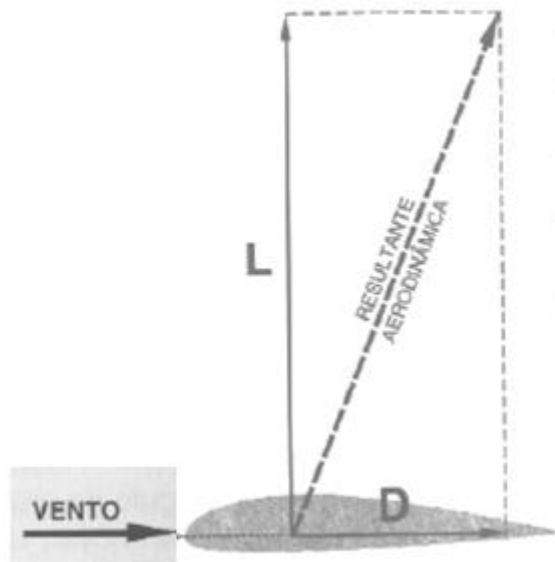


SLIDE 15-

RESULTANTE AERODINÂMICA E CENTRO DE PRESSÃO.



SLIDE 16-



SLIDE 17-

ÂNGULO DE ATAQUE.

Inclinação da asa em relação à horizontal,

ÂNGULO DE ATAQUE POSITIVO

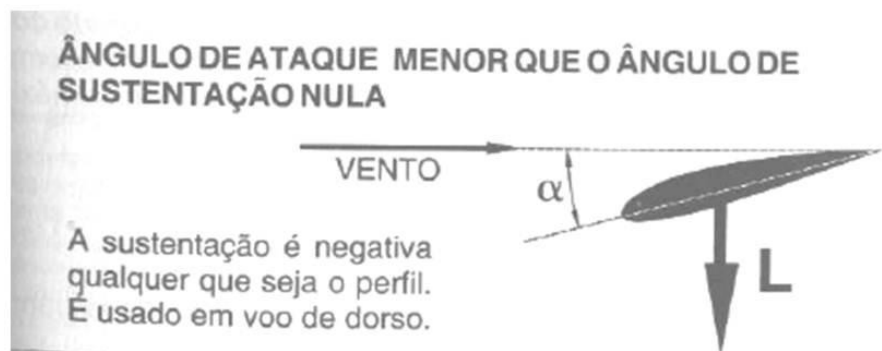
A sustentação é positiva
qualquer que seja o perfil.



SLIDE 18



SLIDE 19



APÊNDICE B – IRAMUTEQ.

Segundo SOUZA et al 2018 “o IRAMUTEQ (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires), criado por Pierre Ratinaud e mantido até 2009 na língua francesa, mas que atualmente conta com dicionários completos em várias línguas. O IRAMUTEQ é desenvolvido na linguagem Python e utiliza funcionalidades providas pelo software estatístico R. No Brasil, ele começou a ser utilizado em 2013 em pesquisas de representações sociais, entretanto, outras áreas também se apropriaram do seu uso, e contribuem para a divulgação das várias possibilidades de processamento de dados qualitativos, visto que permite diferentes formas de análises estatísticas de textos, produzidas a partir de entrevistas, documentos, entre outras(5-10). A classificação hierárquica descendente (CHD), uma das análises realizadas pelo software IRAMUTEQ, já existia como proposta do software ALCESTE (Analyse Lexicale para Context d’un Ensemble de Segments de Texte). Além da CHD, o IRAMUTEQ incluiu outras formas de análises, como as textuais.”

A CHD, na qual os segmentos de texto são classificados em função dos seus respectivos vocabulários, e apresentam, majoritariamente, por volta de três linhas, a variação destas ocorre conforme a transcrição do pesquisador e o tamanho o seu corpus, caracterizado pelo conjunto de texto que se pretende analisar. O conjunto desses segmentos é repartido em função da frequência das formas reduzidas. Essa interface possibilita, com base no corpus original, a recuperação dos segmentos de textos e a associação de cada um, o que permite o agrupamento das palavras estatisticamente significativas e a análise qualitativa dos dados, ou seja, cada entrevista é denominada de Unidade de Contexto Inicial (UCI). As Unidades de Contexto Elementar (UCE), ou segmentos de texto que compõem cada classe, são obtidas a partir das UCI e apresentam vocabulário semelhante entre si e diferentes das UCE das outras classes.”

Segundo Justo, A. M.; Camargo, B. V(2018) “Trata-se de um software que viabiliza diferentes tipos de análise de dados textuais, desde aquelas bem simples, como a lexicografia básica, que abrange sobretudo a lematização e o cálculo de frequência de palavras; até análises multivariadas como classificação hierárquica descendente, análise pós-fatorial de correspondências e análises de similitude. Por meio desse software, a distribuição do vocabulário pode ser organizada de forma

facilmente compreensível e visualmente clara com representações gráficas pautadas nas análises lexicográficas.

Extraído do tutorial de Brígido Vizeu Camargo e Ana Maria Justo (Laboratório de Psicologia Social da Comunicação e Cognição - UFSC – Brasil).

Análise de corpus textual

A análise textual é um tipo específico de análise de dados, na qual tratamos de material verbal transcrito, ou seja, de textos. Essa análise tem várias finalidades, sendo possível analisar textos, entrevistas, documentos, redações etc. Pode-se a partir da análise textual descrever um material produzido por um produtor, seja individual ou coletivamente, como também podemos utilizar a análise textual com a finalidade comparativa, relacional, comparando produções diferentes em função de variáveis específicas que descrevem quem produziu o texto. Para que se possa compreender a análise textual, é necessário inicialmente delimitar alguns conceitos importantes.

As noções de: corpus, texto e segmento de texto

Corpus

O corpus é construído pelo pesquisador. É o conjunto de unidades de contexto inicial que se pretende analisar. Por exemplo, se um pesquisador decide analisar as matérias sobre beleza que saíram numa revista no período de cinco anos; o conjunto destas matérias constituirá um corpus. O corpus é construído pelo pesquisador.

Texto

A definição destas unidades é feita pelo pesquisador e depende da natureza da pesquisa. No exemplo anterior cada matéria sobre beleza seria um texto. Se a análise for aplicada a um conjunto de entrevistas, cada uma delas será um texto. Caso a análise diga respeito às respostas de "n" participantes a uma questão aberta, cada resposta será um texto e teremos "n" textos. Quando se tratar de pesquisas documentais, atas de reuniões, cartas, etc.; cada exemplar destes documentos será um texto. Um conjunto de unidades de textos constitui um corpus de análise. O corpus adequado à análise do tipo Classificação Hierárquica Descendente deve constituir-se de um conjunto textual centrado em um tema. O material textual deve

ser monotemático, pois a análise de textos sobre vários itens previamente estruturados ou diversos temas resulta na reprodução da estruturação prévia dos mesmos.”

Segmentos de texto

Os segmentos de texto (ST), na maior parte das vezes, tem o tamanho de três linhas, dimensionadas pelo software em função do tamanho do corpus. Os segmentos de textos são os ambientes das palavras. Podem ser construídos pelo pesquisador, ou automaticamente pelo software. Embora seja o pesquisador que demarca os textos, nem sempre é ele que controla a divisão do corpus em segmentos de texto (ST). Numa análise padrão (standard), após reconhecer as indicações dos textos (pelas linhas com asteriscos) é o software que divide o material em ST. Mas o pesquisador pode configurar a divisão dos segmentos, por exemplo: no caso de uma grande quantidade de respostas curtas a uma pergunta aberta de um questionário, aconselha-se cada texto seja definido como um único ST.

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar do estudo em âmbito de mestrado intitulado SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DE BAIXO CUSTO e que tem como objetivo de desenvolver uma Sequência de Ensino Investigativo através da utilização de atividades experimentais de baixo custo para abordar conceitos de teoria de voo no ensino médio.

PARTICIPAÇÃO NO ESTUDO

A minha participação no referido estudo será de elaborar textos a partir de questões propostas na aplicação da S.E.I e realizar algumas atividades experimentais guiadas.

RISCOS E BENEFÍCIOS

Fui alertado(a) de que, da pesquisa a se realizar, posso esperar alguns benefícios, tais como adquirir habilidade no entendimento da física do voo. Fui alertado também que é possível que aconteçam desconfortos como permanência de dúvidas quanto a assuntos estudados na oficina.

SIGILO E PRIVACIDADE

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, me identificar, será mantido em sigilo. Os pesquisadores se responsabilizam pelo uso, guarda e confidencialidade dos dados de pesquisa.

Autorizo o uso de minha imagem, áudio e vídeo para fins da pesquisa, sendo seu uso restrito a finalidades acadêmicas para análises/interpretações.

AUTONOMIA

É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como me é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que eu queira saber antes, durante e depois da minha participação. Também fui informado de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por

desejar sair da pesquisa, não sofrerei qualquer prejuízo à assistência que venho recebendo.

CONTATO

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são *Prof. Diego Maciel Carneiro da SEDUC-Pa e Prof. Dr. Carlos José Freire Machado* da Universidade Federal do Oeste do Pará/UFOPA e com ele poderei manter contato pelos telefones (93) 99205-5403.

O Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) é composto por um grupo de pessoas que estão trabalhando para garantir que seus direitos como participante de pesquisa sejam respeitados. Ele tem a obrigação de avaliar se a pesquisa foi planejada e se está sendo executada de forma ética.

DECLARAÇÃO

Declaro que li e entendi todas as informações presentes neste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e tive a oportunidade de discutir as informações deste termo. Todas as minhas perguntas foram respondidas e eu estou satisfeito com as respostas. Entendo que receberei uma via assinada e datada deste documento e que outra via assinada e datada será arquivada pelo pesquisador responsável do estudo.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, **manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.**

Dados do(s) participante(s) da pesquisa	
Nome:	
Telefone:	
E-mail:	
Assinatura	

Santarém, 20 de novembro de 2019.

Nome e Assinatura do Pesquisador