

# MISSÃO DE BALÃO DE ALTA ALTITUDE: UMA CARACTERIZAÇÃO DA ATMOSFERA POR ALUNOS DE ENGENHARIA NUM ÂMBITO DE ENSINO DE FÍSICA

*Data de submissão:*

*Data de aceite: 01/08/2023*

**Julio Cesar de Melo Caralp**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná - PPGECT  
Ponta Grossa – Paraná

**Hércules Alves de Oliveira Junior**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná - PPGECT  
Ponta Grossa – Paraná

**RESUMO:** Neste trabalho é apresentado o resultado de uma proposta de caracterização da atmosfera por meio de sensores em um balão de alta altitude para incremento de conceitos físicos e prática experimental de alunos do curso de engenharia mecânica e de bioprocessos e biotecnologia. A pesquisa justifica-se devido ao fato de que o estudo do clima resulta em um domínio de conhecimentos físicos e interdisciplinares que extrapolam qualquer ementa e documentos oficiais. Todos os dias institutos de monitoramento do clima e de tempo lançam balões atmosféricos acoplados por sensores para registros de umidade relativa do ar, temperatura e pressão ao longo da atmosfera. Um dispositivo tecnológico desse tipo exige uma quantidade vasta de conceitos físicos para total entendimento.

Dessa forma é possível ampliar o contato dos alunos com experiências de maior profundidade e tratamento de dados, tornando a aprendizagem mais significativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de física, Meteorologia, Engenharia.

**HIGH ALTITUDE BALLOON MISSION:  
A CHARACTERIZATION OF THE  
ATMOSPHERE BY ENGINEERING  
STUDENTS IN THE SCOPE OF  
PHYSICS TEACHING**

**ABSTRACT:** This work presents the result of a proposal for characterizing the atmosphere through sensors in a high-altitude balloon to increase physical concepts and experimental practice by students of mechanical engineering and bioprocesses and biotechnology. The research is justified due to the fact that the study of the climate results in a domain of physical and interdisciplinary knowledge that goes beyond any menu and official documents. Every day, climate and weather monitoring institutes launch atmospheric balloons coupled with sensors to record relative air humidity, temperature and pressure throughout the atmosphere. A technological device of this type requires a

vast amount of physical concepts to fully understand. In this way, it is possible to expand the contact of these students with experiences of more depth and data processing, making learning more meaningful.

**KEYWORDS:** Physics teaching, Meteorology, Engineering

## 1 | INTRODUÇÃO

As propostas de práticas educacionais diferenciadas geralmente são geradas em universidades por meio de pesquisas em ensino. Estas são debatidas em congressos e eventos da área, tentando apresentar alternativas ou melhorias ao ensino (BAZIN, 1987; PIASSI, 1995). Entretanto, pesquisas ao longo do tempo mostram que há um desinteresse dos alunos pela disciplina de física e isso se dá, entre vários atenuantes, por práticas desestimulantes (PIASSI, 1995). Em geral, atividades experimentais contribuem de alguma forma para a aprendizagem dos alunos, especialmente em laboratórios adequados (HEIDEMANN, et al., 2016; ROGERS, 1973). No entanto, são raras as instituições que têm laboratórios em condições de funcionamento pleno para atender turmas inteiras. Embora exista um processo de resgate da realização de atividades experimentais de demonstrações em sala de aula, com base na teoria de Vygotsky (GASPAR; MONTEIRO, 2005; ROGERS, 1974), essa ação em geral não consegue o engajamento completo dos estudantes (ROGERS, 1986; HENNIG, 1998). Há também a discussão sobre as experiências em laboratório substituírem atividades que podem ser verificadas diretamente na natureza.

Nesse trabalho fez-se a coleta de dados ao longo da troposfera e estratosfera por meio de sensores acoplados em um balão atmosférico. Dessa forma não é necessário reproduzir as condições da atmosfera em um laboratório limitado. O balão meteorológico se eleva devido à baixa densidade do gás hélio em seu interior a uma altura de 30000m, fazendo com que os sensores que estão acoplados a ele por uma caixa de isopor (Payload) registrem simultaneamente temperatura, pressão e umidade relativa do ar nas camadas iniciais da atmosfera (troposfera, estratosfera e mesosfera). Ao longo de sua ascensão, o balão dilata-se devido à redução de pressão externa, chegando a um limite elástico onde o balão estoura. Nesse momento o Payload retorna ao solo com o paraquedas garantindo uma queda suave e segura dos sensores.

Profissionalmente utiliza-se radiossondas que transmitem esses dados em tempo real. Nesse trabalho essa parte foi adaptada por sensores programados em um Arduino e registrados em um cartão SD por meio de um DataLogger. Dessa forma se faz necessário o resgate de todo o material para posterior análise. Foi usado um rastreador Spot que notifica periodicamente o movimento do Payload e quando ele repousa.



Figura 1 – Balão pronto para lançamento. Fonte: Foto do autor.

A figura 1 mostra a estrutura básica do equipamento em fase de pré lançamento. Na parte superior da imagem pode-se observar o balão meteorológico e logo abaixo está o paraquedas enrolado fixado ao microcord de alta resistência. No solo está o payload (caixa branca), que carrega a filmadora e os sensores.

## 2 | ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

*O professor pode começar a estudar a atmosfera e seus fenômenos com seus alunos com uma pergunta básica: É possível estudar e caracterizar a atmosfera com um material acessível?*

A ideia de desenvolver um balão meteorológico para caracterização da atmosfera se justifica principalmente no fato de que conceitos da hidrostática, termodinâmica, eletrônica, mecânica e eletromagnetismo são básicos para o entendimento do funcionamento de um dispositivo como esse. As estruturas fragmentadas do balão devem ser estudadas separadamente devido à complexidade de cada componente. Transformar um dispositivo tecnológico largamente usado em institutos de meteorologia em um objeto didático com a finalidade de se ensinar física é um dos objetivos desse trabalho. A caracterização da atmosfera se faz mais real “visitando” ela em suas diferentes camadas.

Em um laboratório é possível fazer alguma simulação atmosférica. Em um software também é possível simular a atmosfera. Entretanto, coletar dados que possam caracterizar a atmosfera é uma experiência muito mais profunda para o estudante de qualquer nível de ensino, o que pode tornar a aprendizagem dos conceitos mais significativa e duradoura.

As primeiras etapas do trabalho se deram com a pesquisa dos alunos acerca de balões meteorológicos e programação de Arduino.

## 2.1 Materiais para confecção e montagem

Para a coleta dos dados atmosféricos foi utilizado um balão de meteorologia constituído de látex preenchido com gás hélio; uma caixa de isopor contendo sensores de pressão, temperatura, umidade relativa do ar e uma filmadora; um paraquedas para propiciar uma queda suave de todo material; GPS Spot para rastrear o ponto de queda.

O primeiro passo foi realizar o design de todo o equipamento e o que seria usado como ferramenta. Esse processo foi realizado pelos alunos de engenharia mecânica com supervisão e sugestões do supervisor. Os testes de eficácia de isolamento térmico bem como o sistema de abertura dos microrganismos foram iniciativas dos próprios alunos. Segundo passo foi realizar o planejamento de aquisição de material e o planejamento logístico de todas as etapas durante o lançamento do balão.



Figura 2 – Ferramentas e acessórios para a confecção da estrutura.

Fonte: Os autores.

## 2.2 Balão

Constituído de látex, o balão para ascensão atmosférica é preenchido de gás hélio, que devido a sua baixa densidade torna o empuxo do ar sobre o balão maior que o peso do equipamento. Esse balão tem a capacidade de elasticidade para que ao longo da atmosfera ele possa se expandir (devido à redução da pressão externa). Quando chega ao seu ponto de explosão a aproximadamente 33000m de altura, o balão se estilhaça e todo o equipamento retorna ao solo com a ajuda de um paraquedas. A velocidade de ascensão para esse caso foi de 6m/s, com 3,5m<sup>3</sup> de gás hélio. O paraquedas é colocado entre o payload e o balão, com a finalidade de garantir um pouso suave de todo o equipamento.

## 2.3 Payload

Esse é um termo técnico para a caixa de isopor que agrega os sensores, o rastreador, a filmadora e baterias. Há a necessidade de isolar termicamente devido as baixas temperaturas registradas nessa altitude, próximas a  $-40^{\circ}\text{C}$ . É usado um sensor BME-280 da Bosh, que tem a capacidade de detectar pressão, altitude, temperatura e umidade relativa do ar simultaneamente. O sensor é conectado a um Arduíno acoplado a um data logger Shield, para armazenamento das informações em um cartão SD. No interior do payload há uma filmadora de alta resolução e um GPS Spot Trace para que ao término da viagem do Payload seja possível a localização e resgate. A massa do payload foi de 862g, permitindo uma menor quantidade de gás hélio necessário.

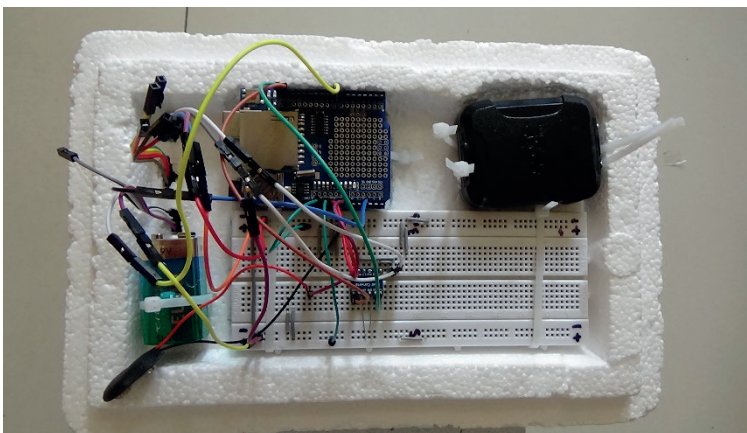


Figura 3 – Parte interna da tampa do Payload, montado com sensores e placa de Arduíno.

Fonte: Os autores.

Na figura 3 está a montagem da parte interna da tampa do payload. No canto superior direito está o GPS Spot Tracer, a esquerda o Arduíno conectado aos sensores na parte externa. Na parte inferior da imagem um protoboard para manter estabilidade nas conexões e um conversor de tensão, Para caracterizar a atmosfera é necessário realizar as leituras de pressão atmosférica, umidade relativa do ar e temperatura. A escolha do BME-280 da Bosh justifica-se devido ao fato de que esse sensor tem a capacidade de realizar a leitura dessas variáveis de forma simultânea e poder funcionar em condições extremas, como as da atmosfera de alta altitude.



Figura 4 – Payload completo. Fonte: Os autores.

GPS e rastreamento

## 2.4 GPS e rastreamento

Durante o desenvolvimento da estrutura do balão várias simulações acerca da trajetória do Payload foram realizadas. Os cálculos preliminares informavam que se o lançamento fosse da cidade de Ponta Grossa, a queda se daria no oceano atlântico, o que não seria interessante para o grupo de pesquisa. O lançamento do balão foi nas proximidades da cidade de Guarapuava, mais precisamente na cidade do Turvo, com pouso nas proximidades da cidade de Moreira Sales, noroeste do estado do Paraná. As previsões realizadas no site Hab Hub Predict apontavam para uma queda na região de Castro (INMET, 2021). Entretanto essa previsão teve um acréscimo de mais de 400km de diferença devido a qualidade do gás hélio contratado, problema observado apenas depois do lançamento, como apresentado na Figura 5.



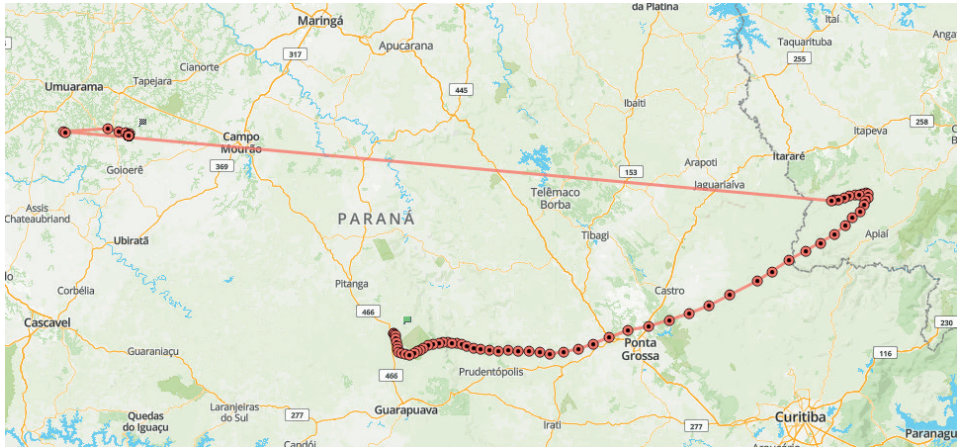


Figura 5 – Deslocamento do balão do Turvo até Moreira Sales. Fonte: Os Autores.

Ao se deslocar na vertical devido ao gás em seu interior, o balão carrega o payload e também se desloca na horizontal rumo a leste do estado do Paraná. Durante esse trajeto foi possível rastrear o balão pelo serviço da Spot. Depois do payload aterrissar, a equipe de busca se deslocou até o local informado pelo GPS. O erro de posição é de menos de 2% segundo o fabricante. Com o payload em mãos novamente, foi possível analisar as imagens e fazer o tratamento de dados e análises ao longo das primeiras camadas da atmosfera.

### 3 | RESULTADOS

Para uma análise inicial, parte-se da equação fundamental da hidrostática, a equação para um fluido homogêneo se da por (HALLIDAY, 2009; NUSSENZVEIG, 1999):

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1)$$

A equação (1) é a variação da pressão em função da altitude. Entretanto essa forma matemática não pode ser aplicada ao caso da atmosfera, pois essa equação se trata de um fluido incompressível. O gráfico dessa função é uma reta decrescente, o que não condiz com os dados experimentais. A forma correta seria usar a forma diferencial da equação fundamental da hidrostática (ATKINS, 2008),

$$dp = - \rho g dh \quad (2)$$

que na sua forma integral assumindo a densidade do ar sendo diretamente proporcional a pressão. Integrando a equação (2) e substituindo  $p = Mp/RT$ , obtemos a equação barométrica;

$$p = p_0 e^{\frac{-gM}{RT}h} \quad (3)$$

A equação (3) determina um gráfico com comportamento muito próximo aos dados experimentais ao longo da atmosfera terrestre. No caso do BME-280 a curva se comporta como a equação barométrica com uma pequena saturação perto dos 23000m. Isso ocorre pelas condições extremas de temperatura nessa altitude. Podemos observar na Figura 6 que a pressão a 1120m (altitude de Turvo) está próxima de 900hPa. A pressão decai de forma exponencial até um patamar, devido a provável saturação do sensor, como apresentado no gráfico da Figura 6.

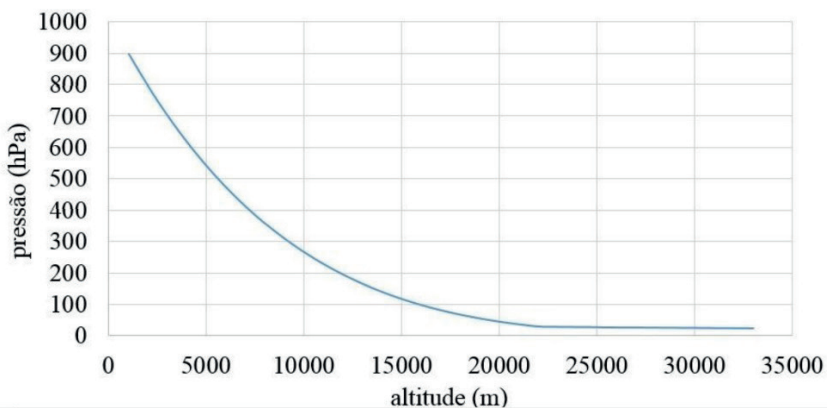


Figura 6 – Curva de Pressão em função da altitude.

Fonte: Os autores.

A atmosfera se desloca devido a diferenças de pressão e temperatura. Conhecer esses dados é primordial para entender o aspecto atual do clima e prever o tempo. O movimento vertical da atmosfera é fundamental para ocorrer as chuvas. É o transporte da umidade até níveis mais altos que forma o ciclo da água.

Na Figura 7 pode-se notar uma variação intensa na temperatura, da altitude de lançamento (1120m) até 4000m. Isso ocorre devido a quantidade de vapor d'água que existe na atmosfera. Quando há o aumento volumétrico do balão ocorre a liberação de energia térmica e alguma quantidade de gás é condensado. Isso gera diferentes níveis de formação de nuvens ao longo da troposfera.

Acima dos 16000m podemos observar uma mudança de comportamento térmico. É o marco do fim da primeira camada (troposfera) e início da segunda camada (estratosfera). Algo notável na Figura 7 é o aumento de temperatura após o balão passar para a estratosfera aos 16000m. Essa camada agrega a camada de ozônio que devido a várias reações químicas envolvendo radiação ultravioleta libera calor no processo. No início da



estratosfera a temperatura é menor e vai subindo gradativamente até o seu fim, quando inicia a mesosfera. A partir de 22000m houve algum tipo de saturação por parte do BME-280. Na parte superior da estratosfera há radiação ultravioleta de alta energia, responsável por alterações no DNA de seres vivos. Alunos do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia enviaram microrganismos, expostos ao lado externo do Payload para posterior análise de crescimento populacional e outras questões.

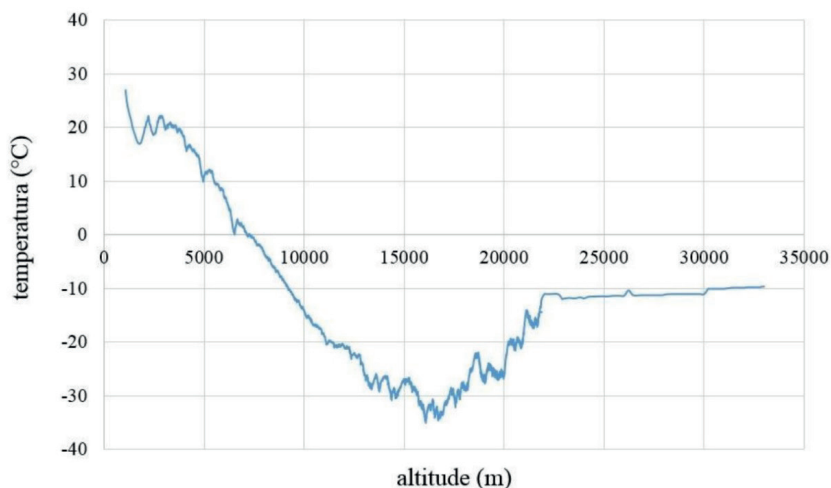


Figura 7 – Variação da temperatura em função da altitude. Fonte: Os autores.

Para determinar a previsão do tempo e o estado atual do clima se faz necessário obter a umidade relativa do ar. Essa informação consiste em conhecer a quantidade de vapor d'água presente naquela região. É o transporte de vapor d'água na atmosfera que forma as nuvens de precipitação e permite o meteorologista prever o volume de precipitação pluviométrica.

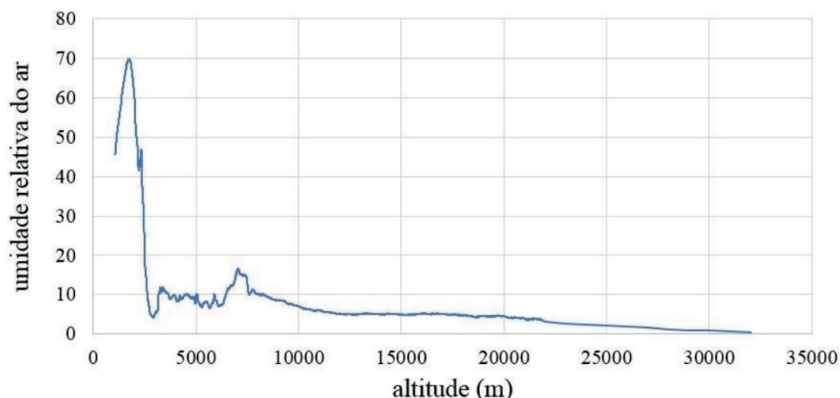


Figura 8 - Umidade relativa do ar ao longo da atmosfera.

Fonte: Os autores.

No dia do lançamento, a cidade do Turvo estava com o clima característico e algumas névoas. Essa condensação de vapor d'água de baixa altitude gerou o pico de umidade perto de 2500m como pode-se notar na Figura 8. Na faixa de 4000m até 7500m, houve algumas flutuações devido a camada de formação de nuvens de precipitação. Depois dessa região a umidade oscila de forma sutil, tendendo a um patamar que indica uma consistência de umidade acima da troposfera.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento foi muito produtivo em termos de planejamento, estudo e compreensão de cada aspecto do equipamento. Ficou nítido que é possível obter dados de alta precisão com material de fácil acesso. Alunos participarem de um estudo dessa profundidade é didático e incentivador. O sensor BME-280 mostrou ser preciso às condições extremas que a atmosfera de alta altitude proporciona. O objetivo de transformar um equipamento tecnológico em um objeto didático para responder à pergunta inicial: “É possível estudar e caracterizar a atmosfera com material acessível?” foi atingido e a missão deixou algumas possibilidades de pesquisas futuras. Os autores puderam notar o maior engajamento só estudantes na realização do projeto e na busca por mais conceitos de física para aprimorar o lançamento do balão, o que pode nos levar a inferir que a experiência diferenciada dos estudantes os levaram a adquirir uma aprendizagem mais significativa dos conceitos de física.

## REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; DE PAULA, J. Atkins, **física-química**. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v. 1.

BAZIN, M. (1987). **Three years of living science in Rio de Janeiro: learning from experience**. Scientific Literacy Papers, 67-74. Brasil. 1998.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 v. 4.

HEIDEMANN, L.A. ARAUJO, I.S. VEIT, E.A. **Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica**. Revista Brasileira de Ensino de Física 38, 2016.

HENNIG, Georg J.. **Metodologia do Ensino de Ciências**, 3º ed. Porto Alegre, 1998.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em <https://mapas.inmet.gov.br/> Acesso em: 04 agosto de 2021.

NUSSENZVEIG, Moysés, **Curso de Física Básica**, vol 3, Editora Edgard Blücher, LTDA (1999).

PIASSI, LUÍS P. C. **Que Física ensinar no 2º grau?** Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências. Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1995.

ROGERS, C. **A Terapia Centrada no Paciente**. Lisboa: Moraes Editores, 1974.

ROGERS, C. **Liberdade para Aprender**, 2ª. Edição. Belo Horizonte: Inter Livros de Minas Gerais, 1973.

ROGERS, C. **Liberdade de Aprender em Nossa Década**, 2ª. Edição. Porto Alegre: Ed. Artes Médicas, 1986.