

A MULHER NEGRA E O ENSINO DE FÍSICA DOS FOGUETES POR MEIO DA VIDA E OBRA DE KATHERINE JOHNSON, PROTAGONISTA DO FILME “ESTRELAS ALÉM DO TEMPO”

Carolini Felisberto de Souza [karolsouza18@gmail.com]

Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Instituto Federal de Santa Catarina, campus Araranguá / Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, campus Araranguá

Felipe Damasio [felipedamasio@ifsc.edu.br]

Instituto Federal de Santa Catarina, campus Araranguá / Universidade Federal de Santa Catarina, campus Araranguá

Israel Müller dos Santos [Israel.santos@ifsc.edu.br]

Instituto Federal de Santa Catarina, campus Araranguá / Universidade Federal de Santa Catarina, campus Araranguá

Resumo

O presente trabalho apresenta uma proposta didática que tem por objetivo levar para a sala de aula discussões *de, sobre e para* a física. Abordando a vida e a obra de Katherine Johnson, que é retratada no filme “Estrelas além do tempo”. Dessa forma busca se problematizar a imagem comumente disseminada no ensino de ciências que retrata uma ciência estritamente masculina e constituída por homens brancos. Para tanto, se propõe uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que aborda concomitantemente temas de física de foguetes e de filosofia da ciência. Esse produto educacional tem como aporte teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica e a epistemologia de Paul Feyerabend. Assim como perspectivas futuras para a pesquisa envolvem prioritariamente a elaboração de material instrucional para a UEPS, sua implementação e avaliação.

Palavras-chave: Katherine Johnson; Paul Feyerabend; Aprendizagem significativa; Leis de Newton; foguetes.

Introdução

Segundo alguns trabalhos existem um entendimento acerca de ciência construída anteriormente ao próprio ensino de ciência formal na escola [1] [2] [3]. Tais compreensões estão presentes no início da educação científica e, muitas vezes, encontram-se em desacordo com a moderna filosofia da ciência [3] [4]. Segundo Pujalte [1], há uma imagem deformada da ciência e estereotipada de cientista que é predominante em diversos trabalhos. As visões identificadas mostram-na como sendo essencialmente masculina, elitista e excludente, fundada em uma racionalidade científica centrada em um único método, no qual o apresenta como sendo solitário e interagindo somente com seu mundo, rodeado de vidrarias ou equipamentos técnicos e ao computador [2] [5] [6].

Esses estereótipos são encontrados em uma diversidade de meios, em que são geradas e sustentadas por agentes sociais, tais como: escolas, famílias, museus e a mídia visual e impressa [7].

Segundo Agrello e Garg [8], a ausência das mulheres é encontrada em diversas esferas profissionais e é bem nítida em ciência e tecnologia. Para Chassot [9], as contribuições femininas não são valorizadas nas salas de aulas, tem-se uma imagem construída em que as meninas são vistas como incapazes de aprender matemática e, quando aprendem, é porque são esforçadas e não inteligentes como é o caso dos meninos e ainda são apresentadas estatísticas desatualizadas sobre o papel das mulheres nas ciências.

Segundo Pujalte [1], há uma exclusão importante na componente de gênero, relegando as mulheres a um plano secundário, algo nítido também em relação ao caso de minorias étnicas¹. Costuma-se dizer que, em geral, o corpo docente não tem consciência de suas próprias representações. Em consonância com isso, Chassot [9] comenta que o número de mulheres que se dedicam às ciências, em termos globais, é ainda menor que o de homens, mesmo que nas últimas décadas tenha havido um significativo avanço da presença das mulheres nas mais diferentes áreas da ciência, mesmo naquelas que antes havia um domínio quase exclusivo dos homens. Segundo Bolzani [10], embora haja um aumento pequeno no percentual em bolsas de produtividade (PQ) do CNPq, isso ainda mostra que as cientistas brasileiras não recebem o mérito acadêmico adequado.

Também se encontra na bibliografia uma exclusão em relação aos negros, como no acesso às faculdades. Por exemplo, entre o ano de 2004 a 2017 o total de alunos autodeclarados brancos que ingressaram nos cursos de graduação de todos os centros de ensino da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foi de 72460. Já o total de alunos autodeclarados negros foi de 3510 [11]. Essa diferença reflete também na carreira científica, por exemplo, entre 2002 e 2012, nos Estados Unidos, nos cursos de doutorados, 15.255 brancos receberam o título de doutor e somente 1.140 negros. O número de negros que obtiveram o título de doutor foi 7% do de brancos [12].

Diante desse cenário uma possível **questão** de relevância que a presente pesquisa contribui é: como problematizar no ensino de física a ideia constituída de que os cientistas são prioritariamente homens e brancos? Como **hipótese**, a investigação levou em consideração a popularidade do cinema para utilizar como organizador sequencial o filme “Estrelas além do tempo”, que tem como uma das protagonistas a cientista negra Katherine Johnson.

O filme é uma adaptação do livro “Estrelas além do tempo”. Ele se passa em 1961 e conta a história de três mulheres negras, Katherine Johnson (Taraji P. Henson), Dorothy Vaughn (Octavia Spencer) e Mary Jackson (Janelle Monáe). Essas mulheres, chamadas “computadores”, foram contratadas para fazer cálculos manualmente para o programa espacial da NASA em plena corrida espacial. O filme foca na personagem de Katherine Johnson que, desde criança, apresentou características de capacidade intelectual acima da média, especialmente no que se referia à matemática. Em meio à segregação racial, essas três mulheres tinham que enfrentar não só o preconceito por serem negras, mas também por serem mulheres. Dentro da NASA havia também a segregação racial a partir da qual as pessoas negras eram separadas das brancas. Por não haver mulheres brancas qualificadas em número suficiente dentro do programa de mulheres computadores, e sendo Katherine Johnson qualificada, contrataram-na para trabalhar no grupo de tarefas espaciais responsável por garantir as viagens espaciais com segurança.

O filme narra o preconceito e as dificuldades que Katherine Johnson teve que enfrentar por ser uma mulher negra nesse período de segregação, não podendo nem colocar seu nome no seu

¹ Embora esse termo possa causar um desconforto, ele foi mantido, pois o autor utiliza esse termo.

próprio trabalho, por exemplo. Mesmo com todos os obstáculos, ela conseguiu se destacar naquele ambiente e, embora em 1962 a NASA começasse a usar computadores eletrônicos pela primeira vez, John Glenn se recusou a entrar no foguete antes que Katherine Johnson verificasse a rota criada pelo computador — ele se tornou o primeiro norte-americano a orbitar a Terra. O filme rendeu 236 milhões de dólares e foi indicado em três categorias ao Oscar: Melhor Atriz Coadjuvante, Melhor Roteiro Adaptado e Melhor Filme, além de ter sido laureado em uma diversidade de premiações.

Levando em consideração que o filme possa ter a potencialidade, tanto de problematizar a imagem masculina como a étnica-racial do cientista, além de possibilitar discutir a física de foguetes, e por não ter muito material disponível a presente pesquisa buscou pelos seguintes **objetivos**: (i) apresentar a vida e a obra de Katherine Johnson dentro do contexto da segregação racial; (ii) discutir a história da construção de foguetes abordando questões relacionadas à Guerra Fria e à corrida espacial; (iii) discorrer acerca da física envolvida no lançamento de foguetes e; (iv) construir uma sequência didática que discuta concomitantemente questões levantadas nos itens (i), (ii) e (iii).

A investigação se pautou nas recomendações para a pesquisa em ensino de ciência feitas por Moreira [13]. Segundo o autor, pesquisar é produzir conhecimentos dentro de um marco teórico/educacional, teórico/epistemológico e metodológico, e existe a necessidade desses marcos estarem em consonância e serem coerentes. Além disso, ele aponta que na pesquisa em educação científica o conteúdo específico das ciências deve sempre estar presente. Nesse sentido, destaca que um ponto frágil de muitas pesquisas é que seus autores relegam o conteúdo científico a um nível inferior. Moreira [14] ressalta, ainda, a importância de estar claro que o entendimento de professores e alunos acerca do conhecimento científico tem efeito sobre o processo de ensino e aprendizagem e que professores e pesquisadores devem ter consciência dessa influência.

Diante do exposto, acredita-se que a pesquisa em educação científica necessita desses aportes mencionados e que sejam articulado e coerente. Pesquisa recente destaca que a educação científica coerente com a epistemologia de Feyerabend se mostra alinhada e complementar com a proposta da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) [15]. Além disso, a metodologia das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) também se mostra em sintonia com os referenciais teóricos citados, pois ela foi pensada como uma sequência didática fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, origem da TASC.

Logo, a **proposta da pesquisa** se constitui em discutir a física de foguetes de forma concomitante a questões de filosofia e história da ciência, de acordo com a epistemologia de Feyerabend, mostrando a diversidade da ciência e de seus agentes, principalmente destacando o papel das mulheres e dos negros na construção do empreendimento científico. Toda essa abordagem pautada pelos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica.

Marco Teórico

Segundo Moreira [13], na pesquisa em educação de ciências há trabalhos que possuem algumas debilidades ou deficiências. Tais trabalhos não possuem um referencial teórico ou, quando possuem, ele é inconsistente. Para impedir que tais debilidades ocorram nesta pesquisa, se irá

fundamentá-la em referenciais metodológicos, teórico-epistemológico e teórico-educacional que a literatura mostra como coerentes e complementares.

A justificava para a escolha dos marcos teóricos desta pesquisa remete a fatores colocados a seguir. Segundo Damasio e Peduzzi [16], a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica e a epistemologia de Paul Feyerabend são coerentes e complementares. Por sua vez, as visões racionalistas de ciência não os são, tais como a epistemologia de Karl Popper e Mario Bunge. Ao fundamentar a educação científica na epistemologia de Feyerabend e na TASC, segundo os autores, pode-se construir um ambiente de ensino subversivo, que poderá formar pessoas inquisitivas, flexíveis, criativas, inovadoras e tolerantes.

Por sua vez, o referencial metodológico adotado se fundamenta nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). Tais unidades foram propostas por Moreira [17] como sequências didáticas fundamentadas teoricamente, principalmente na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Sendo assim, parece natural que elas sejam coerentes e complementares com a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (que também se alicerça na TAS) e, por consequência, com a epistemologia de Paul Feyerabend.

Em relação à aprendizagem significativa, para que ela seja construída há duas condições necessárias: um material potencialmente significativo e que o sujeito tenha uma predisposição em aprender. Ausubel ainda sugere princípios programáticos para criar um ambiente em que a aprendizagem significativa possa ser construída: a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora, a organização sequencial e a consolidação [18].

O filme na proposta aqui apresentada está integrado na UEPS dentro dos princípios da TAS, principalmente na organização sequencial. Esse princípio sugere que se disponibilizem ideias-âncoras e que se tire partido das suas dependências sequenciais naturais. O filme também está integrado a UEPS na principal sugestão de Ausubel para manipular a estrutura cognitiva do aluno, o organizador prévio. Essa estratégia pode ser constituída por materiais introdutórios abordados antes do material instrucional em si, em um nível alto de generalização e abstração. Sua utilidade é que podem se constituir em pontes entre o conhecimento prévio do sujeito e o que se irá se apresentar no processo de ensino-aprendizagem. Organizadores prévios podem, portanto, ser vistos como pontes cognitivas [15].

Segundo Damasio e Peduzzi [16], a aprendizagem significativa proposta por Ausubel não é suficiente em tempos de mudanças rápidas e drásticas. Para os autores, é necessário que ela também seja subversiva, ou seja, é necessário que seja aquela em que há uma perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela, e que pode tratar construtivamente com a mudança sem se deixar dominar por ela. Nesse cenário, a aprendizagem significativa se torna também crítica-subversiva, sendo esse tipo de subversão a que se refere à Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. Moreira [18], ao construí-la, tal qual Ausubel, também sugere princípios facilitadores: Perguntas ao invés de respostas, Diversidade de materiais, Aprendizagem pelo erro, Aluno como preceptor representador, Consciência semântica, Incerteza do conhecimento, Desaprendizagem, Conhecimento como linguagem e Diversidade de estratégias.

Dessa forma de acordo com Damasio e Peduzzi [15], o ensino orientado pela epistemologia de Paul Feyerabend olha para o futuro. Nesse tipo de abordagem, a ciência não é vista como absoluta e não deve ser imposta ao sujeito sem questionamentos. Nesse cenário, o ensino pode se

tornar voltado para o aluno e o professor deixa de ter o papel de detentor de todo o saber. Os conceitos se tornam flexíveis e a história da ciência é mostrada mais plural e multifacetada. Então, segundo os autores [15], a epistemologia de Feyerabend se torna coerente e complementar com a proposta de Moreira. Afinal, essa perspectiva relativista oferece a oportunidade de implementação dos princípios da TASC no ensino *de* e *sobre* ciência por meio da abordagem explícita de história e filosofia da ciência.

Logo, toda a abordagem descrita a seguir pretende tratar a ciência como uma construção plural, multifacetada, provisória e construída por sujeitos das mais diversas origens étnicas, sociais e de gênero. Além disso, todo o material instrucional é pensando em ser abordado tanto nos princípios da TAS, bem como nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. Toda essa abordagem se materializa na construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que perpassa a discussão feita neste trabalho.

Revisão bibliográfica

O recorte da revisão aqui descrita se estabeleceu ao último decênio. Os periódicos consultados se limitaram ao indexados com Qualis/Capes A e B na área de ensino de ciências e física, foram eles: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Investigação em Ensino de Ciências (IENCI), Experiências em Ensino de Ciências (EENCI), Ciência & Educação (C&E), Revista Latino-americana de Educação em Astronomia (RLEA) e A Física na Escola. Os indicadores que orientaram a revisão foram: (i) visão de professores e alunos acerca dos cientistas; (ii) abordagem da temática das mulheres na ciência e física; (iii) questão étnica-racial no ensino de física ou na ciência; (iv) física de foguetes no ensino de física.

É importante ressaltar que não se pretendeu com esta revisão fazer um estado da arte acerca do tema em estudo. Sendo assim, não serão citados todos os trabalhos acerca desses temas publicados no período e nos periódicos citados. Neste trabalho serão descritos apenas os que contribuíram com o desenvolvimento da pesquisa. Os artigos foram selecionados a partir de seus títulos, resumos e palavras-chave. A lista que descreve os artigos estudados está na Tabela 1.

Tabela 1- quantidade de artigos selecionados para a revisão bibliográfica

Periódico	(i)	(ii)	(iii)	(iv)
RBEF	0	1	0	0
CBEF	0	1	1	0
IENCI	2	2	0	0
EENCI	2	1	0	1
RLEA	0	0	0	0
C&E	1	1	1	0
FnE	0	1	0	1
Total	5	7	2	2

(i) *Visão de professores e alunos acerca dos cientistas*

Com relação à imagem de cientista comumente disseminada que é construída socialmente, encontrou-se nos artigos citados, como sendo de um homem branco e solitário, sem vida social, considerado gênio e louco, estudioso, que vive dentro do laboratório de jaleco branco e ao redor de vidrarias [1] [20] [21] [22] [23].

Dessa forma, Pujalte et. al. [1] em seu artigo fazem um estudo exploratório sobre as visões que as populações têm sobre o que é um cientista e acerca da natureza da ciência. Os autores citam que também ocorre uma importante exclusão na componente de gênero, relegando as mulheres a um plano significativamente secundário. Essa proposta trata-se de uma revisão de trabalhos que buscou investigar a imagem de ciência e de cientista, que remete ao fato de que ainda muitos alunos e professores possuem essa visão inadequada do cientista e que se deve buscar elaborar propostas para a superação dessa imagem.

Semelhante ao artigo anterior Moura e Cunha [20] elaboram uma sequência didática aplicada a um grupo de estudantes e nessa proposta foi comparada a concepção estereotipada que eles possuem sobre cientista antes e após a proposta para levantamento da evolução dos conceitos abordados. Os estudantes, por meio de desenhos, puderam mostrar sua concepção do que é ser um cientista. Com aplicação da proposta, o número de alunos que viam o cientista do sexo masculino, inventores, loucos e solitários diminuiu e, conseqüentemente, aumentou a quantidade de mulheres indicadas como cientistas.

Já Ribeiro e Silva [21] apresentam uma intervenção didática focada na exploração de História da Ciência. Nessa proposta eles buscam reconstruir o conhecimento científico e a reconstrução de visões estereotipadas de cientista. Foi utilizado um pré-teste e um pós-teste, além de um grupo focal. Como resultado percebeu-se que a proposta contribuiu para a (re)construção da imagem do cientista e para a progressão das imagens sustentadas pelos alunos em relação ao cientista.

A proposta de Trópia [22] baseia-se em debates partindo da utilização de uma música, em que se mostra o cotidiano da ciência e do cientista. Assim busca-se identificar as características de um cientista e modificar a imagem estereotipada acerca dele. Contudo, ao realizar o debate antes da proposta, o autor não encontrou a imagem estereotipada de cientista que ele buscava, a maioria dos alunos representaram formas diversas do que é ser cientista. Dessa forma, não houve mudanças significativas da visão em que os estudantes possuem sobre cientista.

O trabalho de Fernandes e Rodrigues [23] buscou elaborar e validar um instrumento de categorias para analisar três concepções: 1) concepção sobre o papel do cientista, 2) concepção sobre a Natureza da Ciência (NdC) e 3) concepção sobre a Natureza da Tecnologia (NdT). Buscou-se ver se os participantes possuem concepções ingênuas sobre a NdC, ou seja, visões empíricas e técnica-instrumental. Ao final da proposta foram avaliadas as concepções e os autores sugeriu que eles possuem uma visão de ciência estereotipada.

A partir dos trabalhos citados, percebe-se que, na maioria dos casos, existe uma visão ingênua da ciência por parte de alunos. Também foi possível encontrar exemplos de que é possível haver uma evolução conceitual quando se discute aspectos de filosofia e história da ciência na educação básica. Na pesquisa relatada neste artigo parte-se dessas premissas para levantar questões problematizando a imagem do cientista comumente disseminada. Dentro da literatura há respaldo de que uma proposta didática pode ajudar os alunos a terem uma evolução desse entendimento ingênuo do empreendimento científico.

(ii) Abordagem da temática das mulheres na ciência

A abordagem de mulheres na ciência nos artigos é um pouco escassa sendo mostrada por meio de estatísticas [8] e [24]. E são poucos trabalhos que mostram com proposta didática em busca de influenciar mais mulheres no ensino de ciência como no caso de [25] [27] e [28].

O artigo de Agrello e Garg [8] faz uma revisão de literatura sobre o atual status da mulher na física, focalizando em países em desenvolvimento como Brasil e Índia. Percebeu-se na pesquisa que o número de mulheres na pós-graduação é bem baixo comparado ao número de homens. Entretanto, em alguns cursos na área de ciências e tecnologia, esse número tem aumentado, mas decrescido em cursos de física. Desse modo, as autoras descrevem que é preciso que haja uma mudança nesse panorama.

Assim como o artigo anterior o de Menezes et al. [24] buscam analisar dados relacionados à evasão de ingressantes e também concluintes dos cursos de licenciatura, bacharelado, mestrado e doutorado de física da UFSC entre o ano de 1988 a 2017. Os autores mostraram como o número de mulheres dentro dos cursos de física da UFSC ainda é pequeno e como a evasão de mulheres é grande. A partir do estudo, concluiu-se que o número de mulheres quando relacionado com o de homens é pequeno. Ainda identificou-se que esse número vai diminuindo na medida em que se progride na carreira. Por fim, é feita uma reflexão sobre possíveis apontamentos de causas para esse número tão pequeno de mulheres nos diversos cursos de física da UFSC.

Diferente dos artigos [8] e [24] Silva e Ribeiro [25] buscam conhecer a trajetória de mulheres cientistas dentro de um ambiente baseado em padrões e valores masculinos. A análise dessas trajetórias mostrou como o ambiente regido por padrões e valores masculinos restringem e dificultam a participação das mulheres na ciência. Mostrou, ainda, que as mulheres enfrentam um conjunto de barreiras para seguir a carreira científica. Os autores defendem a necessidade de introduzir na ciência uma perspectiva de gênero.

O trabalho de Ortiz e Silva [26] contribuiu buscando investigar as dificuldades apresentadas por acadêmicos de um curso de ciências biológicas sobre o episódio da descoberta da dupla hélice do DNA. Para essa investigação foi elaborada uma proposta didática com o objetivo de trabalhar com a contextualização do referido episódio e as controvérsias existentes na história a respeito da participação da cientista Rosalind Franklin na construção do modelo do DNA. Ao final da proposta, os autores apontam aspectos positivos para a utilização da história da ciência auxiliando na compreensão da ciência e do fazer científico.

Por sua vez, Heerdt e Batista [27] buscaram elaborar uma unidade didática composta por um grupo de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas com o propósito de desnaturalizar o papel secundário da mulher na construção do conhecimento científico e na ciência. Esse artigo teve como base referenciais teóricos dos saberes docentes da Natureza da Ciência (NdC) e das questões de gênero na Ciência como um instrumento teórico e metodológico para a formação docente.

Nessa proposta Heerdt e Batista [28] fazem uma sequência didática com o objetivo de compreender e explicar os saberes docentes mobilizados durante o processo de formação, de forma que evidencie a discussão da natureza da ciência e das relações intrínsecas de gênero. Como

resultado, a metodologia utilizada mostrou-se eficaz no propósito, percebe-se a incompreensão das terminologias científicas e suas inter relações, além do desconhecimento tanto de discussões de cunho epistemológico como de aspectos históricos e filosóficos da ciência. Além da falta de um vocabulário que não reforce estereótipos de gênero e a invisibilidade e negação da existência das questões de gênero.

A proposta de Brunelli, Damasio e Raicik [29] procurou contextualizar a vida acadêmica de Márcia Barbosa, uma cientista brasileira premiada. O grupo apresentou uma UEPS no ensino de física que aborda o conteúdo em que a Márcia Barbosa foi premiada. O estudo das diversas anomalias da água, contextualizado junto à vida da cientista e o reconhecimento que ela recebeu internacionalmente. Os autores argumentam que tal abordagem é uma possibilidade de motivar estudantes homens e estudantes mulheres a olharem para a ciência como algo também construído por mulheres.

Nos trabalhos descritos percebe-se que existe uma necessidade de discussão da questão de gênero na educação científica. Eles trazem dados que mostram que as mulheres ainda estão marginalizadas nas carreiras científicas, principalmente na física. Ademais, mostra que existe a possibilidade, por meio de sequências didáticas, de que essa visão seja desconstruída e que as mulheres se enxerguem como parte do empreendimento científico, tal qual a proposta relatada neste artigo pretende fazer.

(iii) Questão étnica-racial no ensino de física ou na ciência

Brito et al. [30] tratam de uma sequência didática buscando articular a garantias de direitos humanos e sociais e o respeito à diversidade étnico-racial. A proposta tem como objetivo permitir uma discussão em sala de aula, por meio dos pressupostos históricos, culturais e científicos do céu africano, indígena e do assim denominado céu ocidental com constelações em variadas culturas como ponto de partida. Os autores esperam que a proposta contribua, como um material didático aos professores, estudantes e promotores culturais na diminuição dos preconceitos e posturas discriminatórias nos ambientes formais e não formais de ensino, incorporando novos paradigmas e metodologias à práxis em educação científica.

Francisco Junior [31] não elaborou uma proposta didática, porém apresentou caminhos de como iniciar uma discussão sobre o tema. O objetivo do autor era aproximar o tema do racismo ao ensino de ciências concomitantemente com a discussão de conhecimentos científicos. O trabalho buscou discutir e apontar tendências às quais possam nos ajudar a compreender e minimizar a discriminação racial.

A quantidade bastante reduzida de trabalhos mostrou como essa temática ainda é muito pouco explorada na pesquisa em ensino de física e no ensino de ciências, assim como no caso anterior. Ainda, os trabalhos apresentados mostraram possíveis estratégias a ser usada quando se pretende discutir a questão étnica na educação científica.

(iv) Física de foguetes no ensino de física

A proposta de Silva [32] se baseia na introdução dos educandos do 9º ano do ensino fundamental em cinemática: parte da física que estuda o movimento dos objetos. Para tanto, ele fez uso de lançamento de foguetes para explicar os conceitos físicos. Na proposta buscou-se trabalhar com aprendizagem significativa rompendo com o ensino tradicional. Como resultado, o conhecimento construído acerca de cinemática teve participação do aluno em todo seu processo.

Negreiros e Oliveira [33] relatam a proposta em que consiste utilizar materiais de baixo custo para a construção de foguetes, sendo possível, a partir deles, discutir diversas áreas: mecânica clássica, programação e eletrônica. A proposta possibilitou fornecer aos estudantes uma visão mais ampla, e até mesmo necessária, acerca da integração entre áreas distintas.

Esses poucos trabalhos mostram que a temática de física de foguetes é ainda muito pouco explorada na pesquisa em ensino de física. Além disso, não se encontrou trabalhos em que se discute, de forma concomitante, a física de foguetes e a história e filosofia da ciência que permeia o tema. Dessa forma, acredita-se que a pesquisa relatada neste trabalho se mostra inédita.

A física dos foguetes: Katherine Johnson

Katherine Coleman Goble Johnson, filha de Joylette Coleman e Joshua Coleman, nasceu em 26 de agosto de 1918, na cidade de White Sulphur Springs (Virgínia Ocidental, EUA). Desde pequena teve uma enorme facilidade com matemática, além de muito curiosa e de se destacar em vários estágios da escola, fazendo com que se formasse com as maiores honras em 1937 aos 19 anos de idade. Johnson começou a trabalhar como professora logo após se formar, porém deixou seu trabalho quando se matriculou na pós-graduação em matemática. Ela foi uma das primeiras estudantes negras a integrar as escolas de pós-graduação da Virgínia Ocidental em 1939 na West Virginia University. Entretanto, logo após as primeiras aulas, Johnson decidiu se dedicar a começar uma família com o marido. Voltou a trabalhar quando suas três filhas ficaram mais velhas. Em 1953, ela começou a atuar na seção de computação do Comitê Consultivo Nacional de Aeronáutica (NACA) no laboratório Langley [34].

Johnson começou a trabalhar em um programa espacial da NASA, antiga NACA, intitulado de West Computing Group (WCG, em português, Grupo de Matemáticas do Oeste), no qual apenas mulheres negras trabalhavam fazendo cálculos manuais antes da NASA adotar o uso de computadores eletrônicos. Essas mulheres, como dito anteriormente, eram chamadas de “as computadores”. A primeira equipe formada começou em 1935, era de mulheres brancas. Havia uma necessidade de mais mulheres para a tarefa, porém encontrar mulheres brancas com tais habilidade se tornou muito difícil, então em 1943 foi introduzindo outro grupo em um local separado de apenas mulheres negras [35].

Nessa época, os EUA adotavam políticas oficiais de segregação racial, tais políticas de segregação perduraram por décadas. A história sobre as relações raciais nos EUA passaram por alguns períodos importantes. O primeiro deles sendo considerado o mais violento foi o das leis “Jim Crow”. Eram leis segregacionistas que tiveram início logo após a abolição da escravidão. O segundo momento deu início a separação entre brancos e negros, sendo que nesse período já havia sido reconhecido direitos iguais aos negros [36].

As leis segregacionistas criavam impedimentos para os negros, como: não era permitido o direito ao voto, as exceções eram para aqueles que tivessem antepassados ou houvessem votado ao menos uma vez. Outras atitudes eram, por exemplo, fazer os negros serem submetidos a exames sobre a Constituição norte-americana, usar bíblias diferentes da dos brancos, não poderem olhar pela mesma janela, proibiam também casamentos inter-raciais. Fundamentam juridicamente uma separação entre brancos e negros em escolas, transportes, hotéis, bares, restaurantes e em outros lugares públicos. Havia placas indicativas como “só para brancos” ou “só para negros” [35].

Além de tudo, era comum ocorrer linchamentos de negros por grupos organizados de brancos. O julgamento para esse tipo de atividade não era eficaz, tornando esse tipo de atividade socialmente aceitável no país [36]. Esse tipo de segregação étnico-racial também acontecia dentro da NASA, a sala em que “as computadores” negras trabalhavam era separada, bem como o uso de banheiros [35].

Apenas duas semanas depois de entrar no grupo de matemáticas do Oeste, Johnson foi designada por Dorothy Vaughan para uma posição temporária no projeto na Divisão de Cargas de Manobras da Divisão de Pesquisa de Voo no chamado Space Tasks Group (STG, em português, Grupo de Tarefas Espaciais). Ela passou a analisar dados do teste de voo, buscando calcular trajetórias, janelas de lançamento e caminhos de retorno de emergência para voos espaciais [33]. O cenário de segregação racial e de gênero não impediu que Johnson se destacasse [37].

Johnson forneceu, em 1958, cálculos para o documento *Notes on Space Technology*. Nesse mesmo ano, a NACA se tornou NASA. Uma das contribuições de seu trabalho que, talvez, não seja tão famosa foi em 1960. Ela e o engenheiro Ted Skopinski foram coautores da determinação do ângulo de Azimute para posicionar um satélite sobre uma posição da Terra. Essa contribuição levou-na a ser considerada a primeira mulher que recebeu coautoria em um relatório de pesquisa da NASA. Ela também trabalhou no programa do Ônibus Espacial e no do Satélite de Recursos Terrestres [34].

Com a corrida espacial avançando, o trabalho de Johnson se tornou cada vez mais complexo. Segundo Veloso [38], colocar um homem na Lua se tornou uma questão de honra para os Estados Unidos quando os russos passaram na frente dos americanos lançando o Sputnik e, principalmente, colocando o primeiro homem em órbita em 1961. Isso levou o presidente J. F. Kennedy a se comprometer com o desafio de firmar os Estados Unidos como a maior potência mundial e colocar o primeiro americano a Lua antes da URSS. Então, explorar o espaço tornou-se uma tarefa realizável, porém custosa.

Um dos trabalhos que ficou mais conhecido de K. Johnson, sendo o foco do Filme “Estrelas além do tempo”, foi em 1962. Nesse ano a NASA se preparava para a missão orbital de John Glenn. Na época estava sendo introduzindo computadores programados com equações orbitais que controlariam a trajetória da cápsula. Devido à complexidade do voo orbital exigia-se a construção de uma rede mundial de comunicações, conectando estações de rastreamento em todo o mundo com computadores da IBM em Washington/DC, Cabo Canaveral e Bermudas. Os computadores lidavam com os cálculos, entretanto os astronautas estavam receosos de colocar suas vidas sob os cuidados das máquinas. Então, como parte da lista de verificações prévias, Glenn pediu aos engenheiros que Johnson executasse os mesmos cálculos das equações que haviam sido programadas no computador, verificação essa em máquina de calcular mecânica de mesa. O voo de Glenn foi um

sucesso e marcou um ponto de virada na competição entre os Estados Unidos e a União Soviética. Johnson também fez parte da missão Apollo 11, em 1969. A missão tinha como objetivo enviar os primeiros homens à Lua. Ela fez parte da equipe que calculou a localização e o momento de se lançar o foguete da missão. Katherine Johnson foi coautora de 26 relatórios de pesquisa [34].

Ela aposentou-se em 1986, depois de trinta e três anos em Langley. Em 2018, ela completou 100 anos, por coincidência no *Women's Equality Day* americano. Suas contribuições lhe renderam vários prêmios, tais como: Prêmio de realização em grupo (pela Apollo e orbitador lunar), três doutorados honorários, uma menção honrosa do estado de Virgínia, uma escola pública de ensino médio da Carolina do Norte lançou um instituto STEM em seu nome. Em 2015, recebeu do presidente Obama a maior honraria civil dos Estados Unidos, a Medalha Presidencial da Liberdade, sendo apenas a décima sétima mulher a receber esta honraria [35]. O texto lido na cerimônia dizia que “ela se recusou a ser limitada pelas expectativas da sociedade em questão de gênero e raça e aumentou os limites do alcance da humanidade”.

Em 2016, ela foi incluída na lista feita pela televisão inglesa BBC como uma das 100 mulheres mais inspiradas e influentes de todos os tempos [39]. A NASA prestou também homenagens a ela, a primeira foi a nomeação da Instalação de Pesquisa Computacional Katherine Johnson no Centro de Pesquisa Langley, em Hampton, Virgínia. Mais recentemente, renomeou uma unidade em Fairmont, Virgínia Ocidental, de Unidade de Verificação e Validação Independente Katherine Johnson.

A física dos foguetes: um pouco da história

A história da construção das espaçonaves é extensa e plural, portanto aqui serão feitos alguns recortes, procurando, no entanto, não dar a impressão de uma linearidade e valorizando, assim, a construção coletiva da ciência e engenharia. Pode-se iniciar, como tendo a primeira data significativa para a construção dos modernos foguetes, 1896, quando Konstantien Tsiolkowski publica seu artigo “Exploração do Espaço Cósmico por meio de um Engenho Reativo”. Nele, ele mostra a possibilidade de voos interplanetários por meio de foguetes estabelecendo a equação clássica do foguete. Foram fundamentais para o trabalho de Tsiolkowski, tanto os trabalhos de Kepler e Galileu, mas principalmente o da mecânica newtoniana (como será mostrado na seção seguinte).

Em 1918, a I Guerra Mundial estava em seus momentos finais, os aliados da Alemanha estavam sendo derrotados um por um, já havia sido elaborado um plano de paz com os 14 pontos de Wilson, o qual sugeria acabar com a polícia secreta alemã e a ambição por novos territórios. Somente em 1919 foi assinada a rendição que recebeu o nome de *Tratado de Versalhes*. Todos os representantes dos países envolvidos na guerra se reuniram em Versalhes, porém apenas a Alemanha foi impedida de entrar na reunião e, por ter sido derrotada, foi imposta a assinar o tratado sem questionar [40].

Com a Alemanha derrotada e com o Tratado de Versalhes assinado, ela teve que acabar com a produção de armamento. Entretanto, o governo e as industriais continuaram a criar armas escondidas fazendo duplo uso das tecnologias, criando programas de estudos fora do país de pesquisa e desenvolvimento, criando fundos secretos que pagavam a pesquisa e desenvolvimento.

Nos anos de Wieman (república estabelecida na Alemanha em 1919 que durou até 1933 com a ascensão do nazismo) havia um entusiasmo do povo alemão pelo voo. Embora o tratado proibisse a produção de armas, o tratado não abordava o uso de foguetes, então a pesquisa aeronáutica se desenvolveu [41].

Em 1926, o americano Robert H. Goddard lançou o primeiro foguete empregando propelentes líquidos, esses propelentes apresentaram uma maior velocidade de ejeção que os sólidos. Até aquele momento somente era empregado em foguetes os propelentes sólidos, tais como: pólvora negra, pólvoras de base simples (nitrocelulose) e de bases duplas (nitroglicerina e nitrocelulose) e “composites”, explosivos contendo um ligante plástico² [42]. Robert H. Goddard foi tão importante que foi considerado o pai da propulsão moderna de foguetes, em 1959, a NASA fundou *Goddard Space Flight Center* da NASA em Greenbelt, Maryland [34].

Com a ascensão do nazismo, Hitler (sempre se mostrando ressentindo com o Tratado de Versalhes) ofereceu oportunidades para engenheiros e técnicos buscarem uma expansão da tecnologia militar [41]. O engenheiro alemão Wernher von Braun ganhou destaque já durante II Guerra Mundial (1939-1945). Borges [42] coloca que Wernher von Braun sempre foi apaixonado por foguetes, viagens espaciais, fogos, velocidade e aviões. Wernher von Braun foi o chefe técnico da construção dos mísseis alemães das séries V1 e V2 [42].

No início dos anos de 1940 Wernher von Braun trabalhava no projeto de V2 Vergeltungswaffen 2 (arma de vingança) e V1 flying bombs (bombas voadoras), desenvolvidos como mísseis balísticos, máquinas voadoras para atingirem lugares distantes da base de lançamento. Em oito de setembro de 1944, a equipe nazista conseguiu lançar o primeiro míssil V2 contra Londres. Os judeus presos do campo de concentração de Mittelwerke foram obrigados a trabalhar dia e noite sem descanso, mesmo que fosse até a morte, para que os foguetes ficassem prontos. O estado nazista fazia com que eles produzissem cerca 700 mil mísseis por mês, mais de 25 mil judeus morreram na fabricação dos V2. Ao mesmo tempo, a equipe terrestre alemã estava perdendo as forças e Hitler apostava nessas armas para vencer a guerra, mas os V2 chegaram tarde para ajudar em uma vitória nazista [43].

Estava claro para Wernher von Braun que a Alemanha perderia, então no final de 1944 ele começou a planejar seu pós-guerra. Ele foi enviado para Baviera e se rendeu aos americanos junto com outros líderes da equipe, a opção por se entregar aos americanos em detrimento dos soviéticos foi, segundo ele, “porque somente um povo que segue a Bíblia pode garantir a paz desejada” [44].

Após a II Guerra Mundial, ele trabalhou para os EUA por 15 anos na construção de mísseis balísticos em uma operação militar chamada *Project Paperclip*. Acompanhado de mais 125 homens, desenvolveram foguetes para o Exército dos EUA e ajudaram nos lançamentos V-2 em *White Sands Proving Ground*, Novo México. Também projetou mísseis balísticos *Redstone* e *Júpiter* do Exército. Além dos veículos de lançamento de *Júpiter C*, *Juno II* e *Saturn I*, foi com o *Júpiter C* que se pôde orbitar o primeiro satélite americano intitulado de *Explorer I*, no ano de 1958. Wernher von Braun se tornou um dos maiores defensores da exploração espacial nos Estados Unidos, escrevendo vários livros e artigos para revistas como a *Collier's*, além de participar de três programas de televisão da Walt Disney sobre viagens espaciais, um chamado *Man in Space* [34].

² A diferença entre foguetes de propelente sólido e líquido será discutida na próxima seção.

Contudo, em 1960 a equipe de von Braun foi transferida pelo presidente Eisenhower para a recém-criada NASA. Ele se tornou diretor do *Marshall Space Flight Center* da NASA. Wernher von Braun trabalhou no foguete que levou o astronauta americano Alan Shepard em um voo suborbital em 1961. Após esse sucesso, o presidente John F. Kennedy desafiou os Estados Unidos a enviar um homem para a Lua até o fim da década de 1960. Wernher von Braun também foi o principal arquiteto do lançamento de *Saturn V* – que impulsionaria os americanos à Lua em 20 de julho de 1969. No ano seguinte, Wernher von Braun mudou-se para Washington, DC para liderar o esforço de planejamento estratégico da agência. Então em 1972, ele se aposentou da NASA e começou a trabalhar para a *Fairchild Industries* de Germantown, Maryland. Ele morreu em Alexandria, Virgínia, em 16 de junho de 1977 [45].

A física de foguetes: Newton e além

Na missão Apollo 13, em certo momento o astronauta Jim Lovell disse: colocamos o *Sir Isaac Newton* a pilotar a nave [46]. Isso porque, para entender o funcionamento de um foguete, a compreensão das três leis de Newton é fundamental.

Um foguete, em sua forma mais simples, é uma câmara que envolve um gás sob pressão com uma pequena abertura que permite ao gás escapar, e assim, de acordo com a terceira lei de Newton, impulsionando o foguete na direção oposta da do gás expelido. Atualmente, a maior parte dos foguetes opera com propelentes sólidos ou líquidos. Os foguetes com propelentes sólidos são normalmente mísseis, foguetes de pequeno porte (VLS) ou foguetes auxiliares. Os foguetes brasileiros, lançados a partir da base de Alcântara (Figura 1), são desse tipo.



Figura 1 – Satélite brasileiro na base de Alcântara. **Fonte:** Agência Espacial Brasileira (AEB)

O foguete de propelente sólido (Figura 2) é bastante simples, ele possui poucas partes móveis. Basicamente ele dispõe de quatro partes principais: (i) uma caixa que contém o propelente sólido e que é capaz de suportar a pressão quando o foguete está operando, normalmente é feita de metal de alta resistência ou materiais compostos como vidro, Kevlar e carbono; (ii) o propelente sólido principal (propellant grain) que ocupa a maior parte da caixa; (iii) a câmara de combustível (combustion chamber) que canaliza a descarga dos produtos da combustão e; (iv) o ignitor (igniter) que inicia o funcionamento do foguete e normalmente são compostos que liberam calor, como materiais pirotécnicos [49] [50].

O funcionamento inicia quando um sinal elétrico é enviado ao ignitor que inflama o propelente principal, que possui combustível e oxidante. A temperatura dos gases oriundos da combustão pode variar entre 2000K a 3800K. Eles são ejetados através do bocal (nozzle) quando a energia térmica é convertida em energia cinética no escape. O desenho do bocal tem grande

importância no desempenho desse tipo de foguete, pois determina como grande parte da energia total vai ser convertida em cinética [50].

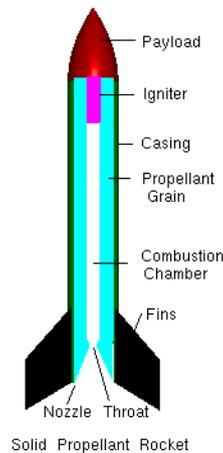


Figura 2 – Esquema do funcionamento do foguete de propelente sólido. **Fonte:** NASA

A vantagem desse tipo de foguete é que ele não necessita de tanques de líquidos antes de operar, sua desvantagem é que ele tem menos eficiência que os de propelentes líquidos e também que, quando iniciado o processo, o foguete de propelente sólido não pode interrompê-lo, irá queimar todo o combustível disponível. A velocidade da transformação do propelente em gases ejetados é chamada de taxa de queima [49] [50].

Os foguetes de propelente líquido (Figura 3) são normalmente os foguetes espaciais. O funcionamento desse tipo de foguete é bem mais complexo que o tipo de propelente sólido. Uma primeira diferença é que ele tem tanques de armazenamento separados, um para o combustível (fuel) outro para o oxidante (oxidizer). Outras partes importantes são: bombas (pumps), uma câmara de combustão e um bocal (nozzle) [34].

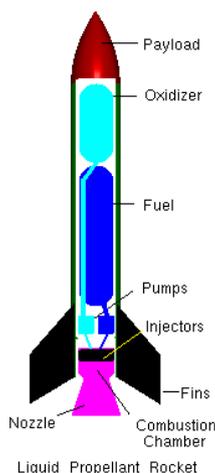


Figura 3 – Esquema do funcionamento do foguete de propelente líquido. **Fonte:** NASA

Os combustíveis desse tipo de foguete são normalmente hidrogênio líquido ou querosene. O oxidante, por sua vez, é normalmente oxigênio líquido. Dentro da câmara de combustão, eles são

combinados e elevam a temperatura e pressão a altos valores, o gás ao se expandir é ejetado por meio do bocal na extremidade inferior. A massa desse tipo de foguete é um fator importante: quanto maior a massa, maior a dificuldade de ele sair do chão. Ademais, os foguetes de propelente líquido são muito mais massivos que os de propelente sólido. A massa de um foguete pode ser a diferença entre o sucesso e o fracasso [34].

Diferentemente do avião, um foguete não necessita de atmosfera para funcionar, ao contrário, funciona melhor na ausência dela. Para haver combustão na ausência de matéria, basta que o foguete já leve o combustível e o comburente, como nos casos dos dois tipos descritos. Em uma viagem espacial, inclusive, pode-se até desligar os motores, o movimento vai ser inercial e pode ser facilmente explicado pela primeira lei de Newton. A rigor, o movimento não tem força resultante igual à zero, pois está sob influência das forças gravitacionais diversas e, portanto, não seguirá em linha reta [46].

No entanto, para um foguete deixar o solo, pode-se dizer que ele deve produzir um empuxo (não confundir com o termo da física de fluidos) maior que seu peso. Um foguete ideal seria aquele com 91% em massa de propelentes, 3% de tanques, motores, etc. e 6% de carga útil, como satélites, astronautas ou espaçonaves [34]. A eficácia de um foguete é chamada de Termo de Fração de Massa (MF, em inglês). Esse termo é obtido de acordo com a equação (2):

$$MF: \frac{\text{massa de propelentes}}{\text{massa total}} \quad (2)$$

O MF de um foguete ideal seria, assim, 0,91. Um foguete perfeito teria MF 1,0, mas não faria muito sentido fazer um lançamento sem carga útil. Quanto menor o MF, menor o alcance do foguete. Como curiosidade, ônibus espaciais tinham MF em torno de 0,82. Uma solução para foguetes muito grandes, que necessitam de massas muito grandes para entrar em órbita, é descartar partes ao longo do lançamento. Como exemplo, os ônibus espaciais ejetavam seus propulsores de foguete sólidos e tanques externos quando eles estavam esgotados. Essa técnica é conhecida em inglês como *staging* [34].

Para descrever o movimento de um foguete precisa-se levar em consideração que se trata, portanto, do movimento de um corpo de massa variável. Para descrever a equação da velocidade do foguete em função da massa e obtê-la sem causar confusão com sinais, se pode considerar o caso em que massa é adicionada aos corpos que se movem [51]. Para aplicá-la aos foguetes, a razão de troca de massa é um valor negativo. Considerando uma massa $m(t)$ com velocidade $v(t)$ se movendo em um meio qualquer, ao qual é adicionada uma massa Δm com velocidade $u(t)$ menor e no mesmo sentido e direção de $v(t)$. Em um tempo $t + \Delta t$ a massa acumulou a massa menor Δm de tal maneira que sua massa é agora $m(t + \Delta t) = m(t) + \Delta m$, e sua velocidade é $v(t + \Delta t)$. A variação do momento linear ΔP é dada pela equação (3):

$$\Delta P = (p_{total})_{t+\Delta t} - (p_{total})_t \quad (3)$$

Escrevendo agora (3) em termos de massa e velocidades tem-se (4):

$$\Delta P = (m + \Delta m)(v + \Delta v) - (mv + u\Delta m) \quad (4)$$

Sendo a velocidade $V = u - v$ de Δm relativa a m , pode-se reescrever (4) da seguinte forma:

$$\Delta P = m\Delta v + \Delta m\Delta v - V\Delta m \quad (5)$$

Dividindo ambos os lados por Δt se obtém (6):

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = (m + \Delta m)\frac{\Delta v}{\Delta t} - V\frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (6)$$

No limite de $\Delta t \rightarrow 0$ se tem a Força externa, como mostra (7). Essa Força externa representa qualquer força externa, como a gravitacional ou resistência do ar.

$$F_{ext} = m \cdot a - V\dot{m} \quad (7)$$

Nessa equação, a representa a aceleração. Se F_{ext} for zero, então o P do sistema será constante. No caso de um foguete no espaço profundo sem influência gravitacional a F_{ext} é essencialmente zero. Pode-se aplicar a equação para o movimento de um foguete e obtêm-se (8):

$$m \cdot a = V\dot{m} \quad (8)$$

Separando os membros e integrando pode-se encontrar (9):

$$\int dv = \int V \frac{dm}{m} \quad (9)$$

Assumindo que V é constante, ao integrar nos limites encontra-se (10):

$$\int_{v_0}^v dv = -V \int_{m_0}^m \frac{dm}{m}$$

$$v = v_0 + V \ln \ln \frac{m_0}{m} \quad (10)$$

Essa é, portanto, a equação da rapidez do foguete em função da massa. Assim m_0 é sua massa inicial, m é a sua massa em qualquer tempo e V a rapidez com que o combustível é ejetado do foguete. Devido à natureza da função logarítmica, pode-se perceber a importância de (2). Também a partir de (10), pode-se perceber a relevância da velocidade de ejeção dos vapores para que o foguete seja lançado [51].

A física de foguetes: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

Conforme mencionado, as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) foram propostas por Moreira [16] como sequências didáticas fundamentadas, principalmente, na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Conforme Moreira, as UEPS podem ser elaboradas a partir de aspectos sequenciais. Sob esses aspectos é que se desenvolveu a UEPS “A física de foguetes na sala de aula em uma perspectiva *de* e *sobre* ciência”, em apêndice. Essa UEPS é constituída de atividades experimentais, apresentações de *slides*, vídeos e textos que perpassam as discussões. Nesse sentido, discutem-se a seguir os aspectos sequenciais sugeridos e pontos gerais da UEPS supracitada.

Definição do tópico específico a ser abordado

De acordo com a concepção de desenvolvimento de uma UEPS, inicialmente tem-se que definir o tópico específico que se pretende trabalhar em sala de aula. Isso posto, a proposta didática que perpassa a abordagem aqui descrita é fundamentada em dois pilares: uma educação *sobre* e *de* ciência. Para isso, pretende-se problematizar a opinião desalinhada com a moderna filosofia da ciência de que o empreendimento científico é construído por homens brancos. Com esse objetivo, definiu-se por uma discussão explícita que aborde a pluralidade metodológica e que mostre que a ciência é praticada por indivíduos das origens mais diversas. A opção foi apresentar a vida e a obra de Katherine Johnson, como parte da diversidade de gênero e étnica de quem constrói a ciência.

Para mostrar o caráter plural da ciência também se definiu que se discutirá explicitamente a história da construção dos foguetes pela agência espacial americana, principalmente o envolvimento dos nazistas nesse processo e como o contexto sociopolítico influenciou no desenvolvimento da ciência. Por fim, busca-se fazer uma abordagem concomitante de conceitos de física de foguetes no que se refere aos seus diferentes tipos, a aplicação das leis de Newton para entender seu funcionamento e como ele pode voar na ausência de atmosfera, ao contrário do avião.

Criação de situações iniciais para os alunos externarem seus conhecimentos prévios

Para iniciar o desenvolvimento das atividades, precisam-se desenvolver estratégias que permitam aos alunos externalizar, sem receio, seus conhecimentos prévios *de* e *sobre* a ciência. Para isso, a UEPS propõe a exibição do filme “Estrelas além do tempo”. Após, sugere-se uma discussão acerca de pontos que o professor acredite que mereçam ser destacados acerca *de* e *sobre* ciência. Ao longo da discussão, recomenda-se a construção com os estudantes de um quadro que resuma as respostas dadas aos questionamentos feitos pelo professor para que, dessa forma, seja possível socializar os conhecimentos prévios dos alunos. Cabe destacar que não se almejam respostas “certas” e únicas, mas o diálogo e a socialização dos entendimentos acerca das questões que serão discutidas na UEPS para que este conhecimento prévio possa guiar o professor em ensinar estabelecendo relações com que os alunos já sabem, conforme sugere Ausubel em sua Teoria da Aprendizagem Significativa.

Proposição de situações-problema

Esse aspecto sequencial de uma UEPS procura, em um nível introdutório, levantar questões que serão discutidas ao longo da unidade. Tais perguntas devem levar em conta o conhecimento prévio dos alunos. Logo, cada professor deve fazer adaptações em sua prática. No entanto, algumas características devem ser levadas em consideração na hora de elaborar as questões. Elas devem envolver o tópico em pauta e os alunos devem entendê-las como problemas possíveis de modelar mentalmente a partir de seus conhecimentos prévios.

Na UEPS desta proposta sugere-se abordar tanto o filme exibido como o desenvolvimento de três experimentos. Para as questões ligadas ao filme, recomenda-se lembrar brevemente do que ele tratava e levantar as seguintes situações-problema: (i) Por quem a ciência é produzida? (ii) O que é necessário para ser um “bom” cientista? (iii) Mulheres são “boas” cientistas? (iv) Você

saberia citar algum cientista homem famoso? E uma cientista mulher? E um cientista negro? (v) Alguém nesta sala poderia ser um(a) “bom(a)” cientista? Por que?

O primeiro experimento sugerido é a construção do carro foguete (Figura 4), a partir do qual se poderá levantar as seguintes situações-problema: (i) O que causou o movimento do carro?; (ii) Se estivesse no vácuo o carro também iria se mover? e; (iii) Qual(Quais) lei(s) famosa(s) da física pode(m) explicar o movimento do carro?

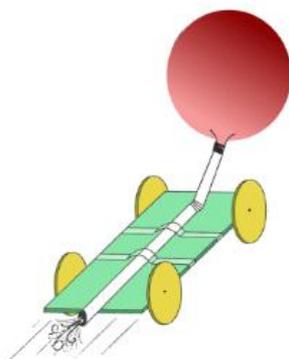


Figura 4 – Experimento do carro foguete. **Fonte:** NASA

O segundo experimento recomendado é o carro de Newton (Figura 5). A partir do experimento pode-se levantar as seguintes situações-problema: (i) Qual a relação entre o número de elásticos usados e a distância percorrida pelo carro?; (ii) Qual a relação da massa do bloco e a distância percorrida? e; (iii) Qual famosa lei da física pode explicar as observações feitas na realização do experimento?

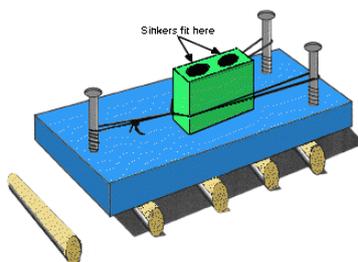


Figura 5 – Experimento do carro de Newton. **Fonte:** NASA

O terceiro experimento é a corrida dos antiácidos (Figura 6). A partir desse experimento as situações-problema sugeridas são: (i) Por que, ao esmagar o antiácido, a reação ocorreu mais rápido?; (ii) O que esse experimento sugere sobre o fornecimento de combustível para um melhor desempenho, tudo de uma vez ou em pequenas porções? e; (iii) Qual a relação que os três experimentos com a explicação de como os foguetes podem voar?

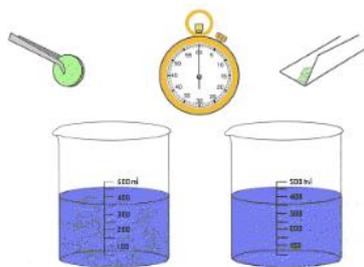


Figura 6 – Experimento da corrida de antiácidos. **Fonte:** NASA

É importante ressaltar que não se pretende que os alunos tenham condições de responder as situações-problema neste momento da UEPS. Esse aspecto sequencial serve para compartilhar com os alunos as questões que serão abordadas ao longo das atividades e que, ao final, espera-se que eles tenham evoluído conceitualmente, tanto em aspectos *de* e *sobre* ciência, e que tenham condições para responder aos questionamentos.

Apresentação do conhecimento a ser abordado

Uma vez discutidas as situações-problema, o próximo aspecto sequencial é apresentar o conteúdo a ser abordado. Tal apresentação deve levar em consideração os princípios da teoria de Ausubel, a saber: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, consolidação e organização sequencial. Para uma primeira apresentação de slides, sugere-se abordar diferentes aspectos apresentados anteriormente, tais como: (i) Discussão da segregação racial e da discriminação étnica; (ii) Apresentação do papel importante das mulheres na ciência, focando na vida e obra de Katherine Johnson; (iii) Abordagem da história do foguetes e como questões sociopolíticas influenciam no desenvolvimento da ciência; (iv) Exposição dos diferentes tipos de foguetes.

Abordagem do conhecimento em um nível mais alto de complexidade

Uma vez tendo discutido de maneira introdutória o conteúdo foco da unidade, esse momento propicia o levantamento de algum aspecto específico do conteúdo que está sendo apresentado. Nesta proposta de UEPS parece natural que o aprofundamento esteja relacionado à física de foguetes. Por isso, sugere-se uma segunda apresentação de slides a seguinte sequência: (i) Breve revisão das leis de Newton; (ii) Explicação de como as leis de Newton explicam o funcionamento dos foguetes; (iii) Discussão acerca da equação do foguete.

Retomada das características mais relevantes

Em continuidade à discussão, sugere-se (por meio de textos de apoio e apresentação de slides) que se retome os aspectos mais gerais das questões abordadas até então, permitindo enxergar o conteúdo todo como uma unidade de ensino. Nesse sentido, recomenda-se discutir novamente as situações-problemas levantadas a partir do filme e dos experimentos, procurando que os alunos

cheguem conjuntamente às respostas para elas. O professor deve orientar a atividade de tal modo que as respostas construídas estejam de acordo com o que é cientificamente aceito, sem desvalorizar outras formas de conhecimento.

Avaliação da aprendizagem na UEPS

As avaliações de aprendizagem dos alunos devem evitar serem apenas verificadoras e ao final da instrução. Uma recomendação é realizá-las ao longo da UEPS por meio de diversas atividades. As avaliações podem ser somativas e, como exemplo, o professor pode construir tabelas para acompanhar cada evidência de aprendizagem significativa durante a realização das atividades. Moreira sinaliza, no entanto, a importância de uma avaliação somativa individual, que pode ser uma prova, seminário, artigo ou trabalho. No caso de realização de prova, ela deve trazer “questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência” [12, p. 47].

Avaliação da UEPS

Uma UEPS somente será exitosa se ao final de sua aplicação houver indícios de aprendizagem significativa. Segundo Moreira: “aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso a ênfase em evidências, não em comportamentos finais” [12, p. 47]. Caso não haja tais indícios de aprendizagem significativa, cabe ao professor reavaliar a atividade e modificá-la para atividades futuras. Nessa UEPS sugere-se que, em um grupo focal, os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas e seu próprio aprendizado.

Considerações finais

Muitas vezes, os alunos e professores possuem uma imagem estereotipada do cientista, em que ele é visto como sendo exclusivamente do sexo masculino e branco. Assim, buscou-se contribuir com a problematização dessa imagem comumente disseminada de cientista ao produzir textos procurando mostrar a pluralidade dos praticantes do empreendimento científico e acerca da ciência produzida por eles. Para além disto, se produziu uma proposta didática por meio de UEPS para levar à sala de aula discussões *de, sobre e para* a física, com o intuito de contribuir com a formação de cidadãos capazes de entender ciência e natureza da ciência alinhada com a moderna filosofia da ciência.

A proposta buscou problematizar no ensino de física a ideia constituída de que os cientistas são prioritariamente homens e brancos. E como **hipótese**, que a popularidade do cinema pode ajudar na organização sequencial. Para tanto, propõe-se utilizar o filme “Estrelas além do tempo”, que tem como uma das protagonistas a cientista negra Katherine Johnson.

Com o desenvolvimento da pesquisa relatada neste artigo, acredita-se ter alcançado os **objetivos** traçados na investigação, a saber: (i) apresentar a vida e a obra de Katherine Johnson dentro do contexto da segregação racial; (ii) discutir a história da construção de foguetes abordando

questões relacionadas à guerra fria e à corrida espacial; (iii) discorrer acerca da física envolvida no lançamento de foguetes e; (iv) construir uma sequência didática que discuta concomitantemente questões discutidas nos itens (i), (ii) e (iii). Tais objetivos estão em consonância com a crença de que há uma necessidade de produção de textos e materiais que abordem episódios histórico-filosóficos para que se potencialize a inserção da história da ciência na educação. Visto que há uma insuficiência de material pedagógico no Brasil adequado que aborde a História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências, principalmente visando à desconstrução de visões deformadas do conhecimento científico [52].

As **perspectivas futuras** para a pesquisa envolvem prioritariamente a elaboração de material instrucional para a UEPS, sua implementação e avaliação. A diversidade de estratégias e o não foco na narrativa e no livro texto estão em consonância com os princípios da TASC. A elaboração do material instrucional não deve se limitar aos proponentes da sequência didática. Seria salutar, inclusive, que demais professores e pesquisadores desenvolvessem materiais e houvesse uma troca entre os membros da área do ensino de física. Uma das possibilidades futuras, que pode ser colocada na sequência, quando adaptada por outros professores, é a incorporação de construção de foguetes (de garrafa PET, por exemplo) e até mesmo de se inserir competição de foguetes — os proponentes da sequência original optaram por não incluir por questões específicas do contexto para o qual a planejaram.

Enfim, não só os materiais instrucionais podem ser construídos coletivamente, mas também seria interessante que a própria sequência didática fosse modificada para cada contexto e expectativa de cada docente, até mesmo seguir na íntegra a proposta aqui apresentada se for o caso. Afinal, a UEPS apresentada é uma sugestão que não deve limitar o professor que deseje utilizá-la. Além disso, os resultados de suas implementações podem ser compartilhados para modificações na sequência didática de forma a pensar sempre em um ensino *de, sobre e para* a física.

Referências bibliográficas

- [1] A. P. Pujalte et al. *Ciência & Educação (Bauru)*. **20**, 535 (2014).
- [2] V. B. Carvalho, L. Massarania. *Intercom-Revista Brasileira de Ciências da Comunicação*. **40**, 213 (2017).
- [3] D. G. Pérez et al. *Ciência & Educação (Bauru)*. **7**, 125 (2001).
- [4] N. A. M. Pinheiro et al. *Ciência & Educação*. **13**, 71. (2007).
- [5] L. Kosminsky, M. Giordan. *Química nova na escola*. **15**, 11 (2002).
- [6] I. Fernández et al. *Enseñanza de las Ciencias*. **20**, 477 (2002).
- [7] G. S. M. Silva, G. A. M. Scalfi, *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*. Buenos Aires (Argentina). **Anais**, 12 (2014).
- [8] D. A. Agrello, R. Garg. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. **31**, 1305 (2009).
- [9] A. Chassot. *Revista Contexto & Educação*. **19**, 9 (2004).

- [10] V. S. Bolzani. *Ciência Cultura*. **69**, 56-59, (2017).
- [11] SAAD-UFSC. Disponível em: <<http://saad.ufsc.br/graficos-evolucao-de-ingressos-de-negros-e-brancos-na-ufsc/>>, acesso em: 1 março 2019.
- [12] BRASIL. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2011/05/percentual-de-negros-no-ensino-superior-e-metade-do-de-brancos>>, acesso em: 1 março 2019.
- [13] M. A. Moreira. *Revista Chilena de Educación Científica*. **3**, 10 (2004).
- [14] M. A. Moreira. *Comportamentalismo, construtivismo e humanismo - Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências*. (IF-UFRGS, Porto Alegre, 2009).
- [15] F. Damasio, L. O. Q. Peduzzi. *Investigações em Ensino de Ciências*. **20**, 61 (2015).
- [16] F. Damasio, L. O. Q. Peduzzi. *Revista Labore em Ensino de Ciências*. **1**, 14 (2017).
- [17] M. A. Moreira. *Aprendizagem Significativa em Revista*. **1**, **43** (2011).
- [18] M. A. Moreira. *Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica - Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências*. (IF-UFRGS, Porto Alegre, 2006).
- [19] F. Damasio, M. D. Melo. *Experiências em Ensino de Ciências*. **8**, 70 (2013).
- [20] J. C. Moura, H. F. Cunha. *Experiências em Ensino de Ciências*. **13**, 104 (2018).
- [21] G. Ribeiro, J. L. C. Silva. *Investigações em ensino de Ciências*. **23**, 130 (2018).
- [22] G. Trópia. *Experiências em Ensino de Ciências*. **13**, 63 (2018)
- [23] G. W. R. Fernandes, A. M. Rodrigues, C. A. R. Ferreira. *Investigações em Ensino de Ciências*. **23**, 256 (2018).
- [24] D. P. Menezes. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. **35**, 324 (2018).
- [25] F. F. da Silva, P. R. C. Ribeiro. *Ciência & Educação (Bauru)*. **20**, 449 (2014).
- [26] E. Ortiz, M. R. Silva. *Investigações em Ensino de Ciências*. **21**, 106 (2016).
- [27] B. Heerdt, I. L. B. Batista. *Investigações em Ensino de Ciências*. **21**, 30 (2016).
- [28] B. Heerdt, I. L. B. Batista. *Experiências em Ensino de Ciências*. **11**, 39 (2016).
- [29] S.C.H. Brunelli, F. Damasio, A. C. Raicik. *A Física na Escola*. **15**, 40 (2017).
- [30] A. A. Brito, V. Bootz, N. T. Massoni. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. **35**, 917 (2018).
- [31] W. E. Francisco Junior. *Ciência & Educação (Bauru)*. **14**, 397 (2008).
- [32] H. R. Silva. *Experiências em Ensino de Ciências*. **12**, 198 (2017).
- [33] S. G. Negreiros, G. F. B. Oliveira. *Física na Escola*. **15**, 63 (2017).

- [34] NASA, National Aeronautics and Space Administration. Disponível em <https://www.nasa.gov/>. Acesso em 03 março de 2019.
- [35] M. L. Shetterly. *Estrelas além do tempo*. (HarperCollins Brasil, 2016).
- [36] E. D. Xavier, S. P. *Desenvolvimento em Questão*. **7**, 43 (2009).
- [37] J. Ballenger, B. Polnick, B. Irby. *Women of color in STEM: navigating the workforce*. (IAP, 2016).
- [38] E. M. Veloso. *Cadernos Aslegis*. **39**, 153. (2010).
- [39] BBC. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/world-38012048>>, acesso em: 1 de março 2019.
- [40] A.P. Tota, P.I.A. Bastos. *História Geral*. (São Paulo: Editora Nova Cultural, 1994).
- [41] J. Cornwell. Os cientistas de Hitler, ciência, guerra e o pacto com o demônio. (Imago, Brasil, 2003).
- [42] M. Koffi. *Otimização de empuxo de um foguete movendo-se na atmosfera*. (Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.24.18.50/doc/publicacao.pdf>
- [43] F. M. Borges. *Na busca da cultura espacial*. (Tese de Doutorado, PUC-SP, SÃO PAULO, 2013)
- [44] Documento Cultura. Disponível em: <<https://youtu.be/HTeNEUGWTQI>>, acesso em: 20 de março de 2019.
- [45] E. BERGAUST. *Wernher von Braun*. Stackpole Books, 2017.
- [46] F.L. SILVEIRA. *Propulsão de foguetes no espaço: como é possível o empuxo se não existe atmosfera?*. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=propulsao-de-foguetes-no-espaco-como-e-possivel-o-empuxo-se-nao-existe-atmosfera>>. Acesso em 21 de março de 2019.
- [47] A. Cavalheiro. *Velocidade de Escape*. Disponível em: <<https://youtu.be/gj3UFZoHwcY>>, acesso em 20/03/2019.
- [48] M. A. PIRES. *Tecnologias de comunicação e informação como meio de ampliar e estimular o aprendizado de física*. (Dissertação em Ensino de Física, UFRGS, 2005).
- [49] P. Kuentzmann. *Introduction to Solid Rocket Propulsion*. RTO/VKI Special Course on “Internal Aerodynamics in Solid Rocket Propulsion”, held in Rhode-Saint-Genève, Belgium, 27-31 May 2002, and published in RTO-EN-023.
- [50] A. Adami, M. Mortazavi, M.Nosratollahi. *J. Aerosp. Technol. Manag.* **9**, 71 (2017).
- [51] G. R. Fowles, G.L. Cassiday. *Analytical Mechanics*. (Orlando: Saunders College Publishing, 1998).

[52] A. S. Teixeira. *Frota estelar de Araranguá: o ensino de e sobre ciência por meio da série de ficção científica jornada nas estrelas*. (Trabalho de Conclusão de Curso, IFSC, 2016).

Apêndice 1 – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

A física dos foguete na sala de aula em uma perspectiva de, sobre e para a física.

Objetivo: apresentar a vida e obra de Katherine Johnson, além de como a ciência é influenciada pelo contexto sócio histórico. Ainda, revisar as leis de Newton e mostrar como elas explicam o voo de um foguete, e de apresentar a equação do foguete.

1. Situação inicial: propõe a exibição do filme “Estrelas além do tempo”. Após, levantar uma discussão com as respostas dos alunos aos questionamentos feitos pelo professor.

2. Situações-problema: A partir da exibição do filme levantar situações-problema com questões sobre ciência: (i) Por quem a ciência é produzida? (ii) O que é necessário para ser um bom cientista? (iii) Mulheres são boas cientistas? (iv) Você saberia citar algum cientista homem famoso? E uma cientista mulher? E um cientista negro? (v) Alguém nesta sala poderia ser um(a) bom(boa) cientista? Por quê?. Para situações-problema de ciência sugere-se aos alunos que desenvolvam três experimentos: “Carro de Newton”, “carro foguete” e “Corrida de antiácidos”, principalmente: (i) o que as experiências podem ajudar a entender a física do voo de um foguete e (ii) que leis são essas?.

3. Revisão: iniciar uma aula de revisão utilizando a Apresentação de slides 1. As questões ali colocadas são: (i) Discussão da segregação racial e da discriminação étnica; (ii) Apresentação do papel importante das mulheres na ciência, focando na vida e obra de Katherine Johnson; (iii) Abordagem da história do foguetes e como questões sociopolíticas influenciam no desenvolvimento da ciência; (iv) Exposição dos diferentes tipos de foguetes.

4. Nova situação-problema, em um nível alto de complexidade: por meio da Apresentação de slides 2, busca-se problematizar em um nível de complexidade maior: (i) Breve revisão das leis de Newton; (ii) Explicação de como as leis de Newton explicam o funcionamento dos foguetes; (iii) Discussão superficial da equação do foguete.

5. Avaliação somativa individual: as avaliações deverão acontecer por meio de questões abertas que exijam o máximo de transformação no conteúdo abordado. Não deverão ser utilizadas questões que tenham respostas que possam ser encontradas no material instrucional sem uma reflexão prévia.

6. Aula expositiva dialogada integradora final: usando a Apresentação de slides 3, retoma-se todo o conteúdo da UEPS de forma integradora, revendo as situações-problema e buscando mediar a construção de respostas por meio dos alunos.

7. Avaliação da aprendizagem na UEPS: deverá estar baseada na participação dos alunos nas atividades, nas observações feitas em sala de aula e na avaliação somativa individual, cujo peso não deverá ser superior a 50%.

8. Avaliação da própria UEPS: sugere-se que, em grande grupo, os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas na UEPS e seu próprio aprendizado. Além disso, o docente deverá avaliar a

UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos e, se necessário, reformular algumas atividades.

Total de aulas: 9 a 12.