

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ

LICENCIATURA EM FÍSICA

GEOVANA DOMINGOS

**PROPOSIÇÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTERDISCIPLINAR: EXPLORANDO
A RELAÇÃO ENTRE COR E TEMPERATURA DAS ESTRELAS**

ARARANGUÁ

2025

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ARARANGUÁ

LICENCIATURA EM FÍSICA

GEOVANA DOMINGOS

**PROPOSIÇÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTERDISCIPLINAR: EXPLORANDO
A RELAÇÃO ENTRE COR E TEMPERATURA DAS ESTRELAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Araranguá como parte dos requisitos para obtenção do título em Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Leal Dias
Coorientadora: Profa. Ma. Larissa do Nascimento Pires

ARARANGUÁ

2025

RESUMO

A astronomia, ciência dedicada ao estudo dos corpos celestes, desempenha um papel crucial no entendimento do universo e na formação científica dos estudantes. No entanto, sua inclusão nos currículos escolares, especialmente no ensino médio, enfrenta desafios significativos, como a falta de recursos e a formação inadequada dos professores. Neste sentido, este trabalho pretende desenvolver uma proposta didática que utiliza a relação entre cor e temperatura das estrelas para explicar conceitos de termodinâmica e física moderna aos estudantes do ensino médio. A fundamentação teórica baseia-se nas teorias de David Ausubel e Edgar Morin, justificando a escolha de uma abordagem interdisciplinar e colaborativa. Com tal proposta, espera-se que mediante a interdisciplinaridade, essencial para superar a fragmentação do conhecimento e enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, possamos contribuir com uma maior inserção da Astronomia em sala de aula.

Palavras-chaves: Astronomia, Termodinâmica, Física Moderna, Ensino Médio, Interdisciplinaridade, Educação Científica.

ABSTRACT

Astronomy, the science dedicated to the study of celestial bodies, plays a crucial role in understanding the universe and in the scientific formation of students. However, its inclusion in school curricula, especially at the high school level, faces significant challenges such as a lack of resources and inadequate teacher training. In this context, this work aims to develop a didactic proposal that uses the relationship between the color and temperature of stars to explain concepts of thermodynamics and modern physics to high school students. The theoretical foundation is based on the theories of David Ausubel and Edgar Morin, justifying the choice of an interdisciplinary and collaborative approach. With this proposal, it is hoped that through interdisciplinarity, which is essential to overcoming the fragmentation of knowledge and enriching the teaching-learning process, we can contribute to a greater incorporation of Astronomy in the classroom.

Keywords: Astronomy, Thermodynamics, Modern Physics, High School, Interdisciplinarity, Scientific Education.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Demonstração de espectro de Corpo Negro	19
Figura 2 - Catástrofe do Ultravioleta	20
Figura 3 - Lei de Wien	22
Figura 4 - Tabela periódica do espectro de emissão	23
Figura 5 - Ilustração das classes espectrais	27
Figura 6 - Classificação espectral	28

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Classes espectrais de estrelas	29
Quadro 2 - Apresentação dos artigos seleccionados	34
Quadro 3 - Aspectos sequenciais da UEPS	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC - Base Nacional Comum Curricular
CBEF - Caderno Brasileiro de Ensino de Física
C&E - Ciência e Educação
FnE - Física na Escola
IAU - União Astronômica Internacional
K - Kelvin
M \odot - Massa Solar
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NGC - New General Catalogue
PPP - Projeto Político Pedagógico
RBECT - Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia
RBEF - Revista Brasileira de Ensino de Física
RELEA - Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia
TUIMP - The Universe In My Pocket (O Universo no Meu Bolso)
UA - Unidade Astronômica
UEPS - Unidade de Ensino Potencialmente Significativo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 A Física das Estrelas: Relação Entre Cor e Temperatura.....	13
2.1.1 Estrelas.....	13
2.1.2 Origem e Natureza da Luz.....	14
2.1.3 Radiação Térmica.....	16
2.1.4 Corpo Negro.....	18
2.1.5 Radiação de Corpo Negro.....	19
2.1.6 Lei de Wien.....	20
2.1.7 Linhas Espectrais.....	21
2.1.8 Cor das estrelas.....	23
2.1.9 Espectroscopia Estelar.....	24
2.1.10 Classificação Espectral e Temperatura das Estrelas.....	25
2.2 Referenciais Educacionais.....	28
2.2.1 David Ausubel.....	28
2.2.2 Edgar Morin.....	31
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
4 METODOLOGIA.....	38
4.1 Referencial Metodológico: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.....	38
4.2 Etapas do Planejamento da UEPS.....	39
5 CONSTRUÇÃO DA UEPS.....	41
5.1 Objetivo da UEPS.....	41
5.2 Aspectos Sequenciais.....	42
5.2.1 Diagnóstico Inicial.....	42
5.2.2 Objetivos de Aprendizagem.....	42
5.2.3 Organização do Conteúdo.....	43
5.2.4 Sequência das Atividades.....	43
5.2.5 Atividades de Aprendizagem.....	43
5.2.6 Estratégias de Mediação.....	43
5.2.7 Avaliação Contínua.....	44
5.2.8 Integração e Aplicação.....	44
5.2.9 Reflexão e Revisão.....	44
5.3 Sequência da UEPS.....	44
6 ANÁLISE DA UEPS SOB A PERSPECTIVA DE AUSUBEL E MORIN.....	50
6.1 Contribuições de Ausubel.....	50
6.2 Contribuições de Morin.....	52
6.3 Reflexões Finais.....	53
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
8 APÊNDICES.....	56
8.1 Apêndice 1.....	56

8.2 Apêndice 2.....	57
8.3 Apêndice 3.....	57
8.4 Apêndice 4.....	58
8.5 Apêndice 5.....	59
8.5 Apêndice 6.....	59
9 REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A astronomia é a ciência que se dedica ao estudo dos corpos celestes e dos fenômenos que ocorrem no universo. Ela abrange uma vasta gama de tópicos, desde planetas e estrelas até galáxias e o cosmos como um todo. Conforme aponta Smith (2010, p. 23), “a astronomia é uma das ciências mais antigas e desempenha um papel crucial na compreensão da nossa posição no universo”.

Desde os tempos antigos, civilizações como os babilônios, egípcios e gregos observaram o céu, buscando padrões e tentando entender os movimentos dos corpos celestes. Com o desenvolvimento do telescópio no século XVII, especialmente com as observações de Galileu Galilei, a astronomia entrou em uma nova era de descobertas e avanços.

Atualmente, a astronomia é dividida em várias subáreas, como a astrofísica, que estuda as propriedades físicas dos objetos celestes; a cosmologia, que investiga a origem e a evolução do universo; a astrobiologia, que explora a possibilidade de vida em outros planetas, entre outras. Dentro da astrofísica, o estudo da relação entre cor e temperatura das estrelas é particularmente relevante para o ensino de termodinâmica e física moderna, pois oferece uma aplicação prática dos conceitos dessas áreas da física.

Os diferentes tipos de estrelas diferem entre si em temperatura e cor, devido aos processos termodinâmicos que acontecem em seus núcleos, além disso, uma dada estrela pode variar sua temperatura e conseqüentemente sua cor através de processos que ocorrem durante sua evolução. O fenômeno de que a cor de uma estrela está diretamente relacionada à sua temperatura é uma consequência da radiação térmica, descrita pela Lei de Planck. Esta lei estabelece que um corpo negro ideal em equilíbrio térmico emite radiação com uma distribuição espectral que depende da sua temperatura. Quanto mais quente é uma estrela, mais energia ela emite e mais intensa é a radiação em comprimentos de onda curtos, como azul e o ultravioleta. Em contraste, estrelas mais frias emitem mais radiação em comprimentos de onda longos, como o vermelho e o infravermelho.

A astronomia é uma disciplina fundamental para o entendimento do universo e poderia ocupar um papel significativo para o currículo do ensino médio. De acordo com Silva (2015, p. 58), “a inclusão da astronomia no ensino médio não apenas estimula o interesse dos alunos pela ciência, mas também desenvolve habilidades críticas e analíticas essenciais”. Conforme Scalvi *et al.* (2020, p. 45)

A Astronomia é uma das áreas que mais atrai a atenção e desperta a curiosidade dos alunos, desde os primeiros anos escolares até sua formação nos cursos de graduação, abrangendo todas as áreas, principalmente de física. No entanto, apesar de seu impacto cultural, científico e social, a astronomia é negligenciada nos currículos educacionais, especialmente no ensino médio.

Diversos autores, como os já citados, destacam a importância da astronomia no currículo escolar, ressaltando como o estudo de corpos celestes e dos fenômenos do universo pode enriquecer a formação dos alunos. No entanto, a astronomia frequentemente não é registrada como uma matéria obrigatória nos currículos de ensino médio, o que limita a exposição dos alunos a essa área do conhecimento. A ausência da astronomia como uma disciplina formal no ensino médio é atribuída a vários fatores, incluindo a falta de recursos e a carga horária reduzida para ciências naturais.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) destaca a importância de incluir a astronomia na educação básica para desenvolver competências científicas e tecnológicas aos estudantes. As escolas públicas muitas vezes enfrentam desafios que impedem a plena implementação das diretrizes propostas pela BNCC:

A falta de uma formação adequada dos professores em conteúdo de astronomia é um dos principais obstáculos para a implementação efetiva desse tema nas escolas públicas. Muitos professores não se sentem preparados para ensinar astronomia de maneira aprofundada e eficaz (Cavalcante, 2012, p. 67).

Porém, esse não é o único problema encontrado. Segundo Silva (2015), às escolas públicas muitas vezes não dispõem de recursos didáticos e tecnológicos adequados, como telescópios e softwares de simulação, esses recursos enriquecem o processo de ensino prático da astronomia. Mesmo com esses problemas, conseguimos encontrar um obstáculo que talvez seja maior é a formação docente que carece de elementos e conteúdos envolvendo esses tópicos.

A carga horária destinada às ciências, em geral, é limitada, o que reduz o tempo disponível para a abordagem de temas específicos como astronomia. Além disso, o currículo já sobrecarregado dificulta a inclusão de atividades práticas e observacionais (Moura, 2018, p. 102).

A interdisciplinaridade, ou a integração de diferentes áreas do conhecimento para resolver problemas comuns, é um conceito cada vez mais valorizado na educação e nas ciências: “a interdisciplinaridade é uma atitude de busca, de diálogo, de interações e de integração de conhecimentos na superação da fragmentação do saber” (Fazenda, 1991, p. 41).

Dessa forma, integrar o ensino de Física e Astronomia, por exemplo, permitiria que conceitos de termodinâmica e física moderna sejam abordados através do estudo das estrelas. Esse enfoque pode otimizar o tempo disponível e ampliar o conhecimento dos alunos, proporcionando uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos e sua aplicação prática. Ao explorar como a temperatura e a cor das estrelas estão relacionadas a princípios termodinâmicos e quânticos, como radiação de corpo negro, é possível enriquecer o aprendizado e conectar diferentes áreas do conhecimento de forma mais integrada.

Diante desse contexto, a pergunta que norteia este trabalho é: *Como a relação entre a cor e a temperatura das estrelas pode ser utilizada para ensinar conceitos de termodinâmica e física moderna aos estudantes do ensino médio?* Para responder tal questionamento, temos como objetivo geral desenvolver uma proposta didática que utiliza a relação entre cor e temperatura das estrelas para explicar conceitos de termodinâmica e física moderna aos estudantes do ensino médio. Para alcançar este objetivo, são definidos os seguintes objetivos específicos: i) identificar os conceitos de termodinâmica e física moderna que podem ser abordados utilizando a astronomia; ii) elaborar atividades e materiais didáticos que relacionem a cor e temperatura das estrelas com a termodinâmica e física moderna, e iii) propor uma sequência didática sobre a temática.

Este trabalho busca contribuir para o conhecimento científico e para melhorias das práticas educacionais no ensino médio. A abordagem interdisciplinar proposta neste estudo representa uma metodologia para o ensino de ciências, voltada para professores, que pode ser adaptada e aplicada em outras áreas do currículo escolar. A proposta de aula desenvolvida visa não apenas transmitir conceitos teóricos, mas também estimular a curiosidade, o raciocínio crítico e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A Física das Estrelas: Relação Entre Cor e Temperatura

2.1.1 Estrelas

As estrelas se originam em regiões densas de gás e poeira interestelar, conhecidas como nuvens moleculares, um dos tipos de nebulosas existentes. Essas regiões são extremamente frias, com temperaturas na faixa de 10 a 20 K, próximas do zero absoluto. Nessas baixas temperaturas, os átomos se agrupam para formar moléculas, sendo monóxido de carbono (CO) e hidrogênio molecular (H₂) as mais comuns nas nuvens de gás interestelar. A baixa temperatura também facilita a aglomeração do gás, aumentando sua densidade. Quando a densidade atinge um limite crítico, ocorre a formação das estrelas.

É importante observar que as primeiras nebulosas responsáveis pela formação das primeiras estrelas não eram moleculares, mas eram compostas predominantemente por hidrogênio e hélio primordial, originados logo após o Big Bang. Essas condições resultaram em processos distintos de formação estelar em comparação com as nuvens moleculares observadas atualmente.

Devido à alta densidade dessas regiões, a passagem de luz visível é impedida, tornando-as opacas a essa faixa do espectro eletromagnético. Essas regiões são denominadas nebulosas escuras. Para estudar essas áreas, utilizam-se observações em infravermelho a ondas de rádio, que permitem penetrar essas nuvens escuras.

O processo de formação estelar começa quando as regiões mais densas das nuvens moleculares colapsam sob a influência de sua própria gravidade. O colapso ocorre primeiro nas áreas centrais devido à maior densidade. Durante o colapso, essas regiões se fragmentam em pedaços de aproximadamente 0,1 parsec¹ de extensão, contendo de 10 a 50 massas solares². Esses fragmentos criam os chamados fragmentos gravitacionais, que posteriormente evoluem para protoestrelas. Esse processo de formação é regulado por fatores como a

¹ Parsec é uma unidade de medida de distância amplamente utilizada em astronomia, equivalente a aproximadamente $3,086 \times 10^{16}$ metros ou 3,26 anos-luz. Ele é definido como a distância de um objeto cuja paralaxe estelar, quando observada a partir de dois pontos separados por 1 unidade astronômica (UA) no espaço, é de 1 segundo de arco(1"). Essa definição conecta diretamente o parsec com a geometria da órbita terrestre e com a trigonometria angular usada para medir distâncias astronômicas.

² A massa solar (M_{\odot}) é a unidade padrão para medir massas em astronomia e corresponde à massa do sol, que é de aproximadamente $1,989 \times 10^{30}$ kg. Essa grandeza é usada como referência para descrever a massa de estrelas, planetas, buracos negros e outros corpos celestes, permitindo comparações diretas em diferentes escalas no universo.

densidade do gás, a pressão e o campo magnético da nuvem original, além da dinâmica do colapso gravitacional (Krumholz *et al.*, 2009).

Quando um fragmento se distingue das outras partes da região de formação estelar, ele é classificado como uma protoestrela. À medida que se forma, o gás cai em direção ao centro da protoestrela, e a energia cinética do gás em contração é convertida em energia térmica, elevando sua temperatura e pressão em seu interior. Quando a temperatura atinge alguns milhares de graus, a protoestrela torna-se uma fonte de radiação infravermelha.

Durante esse processo, a protoestrela possui apenas 15% de sua massa final. O material continua a se acumular em suas regiões externas até que, após alguns milhões de anos, as reações de fusão termonuclear iniciem no centro. Um forte vento estelar é então gerado, interrompendo a queda de gás em direção ao centro. Nesse ponto, a protoestrela é classificada como uma estrela jovem, com sua massa estabilizada e evolução futura definida (Hartmann, 2009).

Estrelas jovens geralmente evoluem a partir de aglomerados de protoestrelas situadas nas regiões centrais de uma nuvem molecular. Um exemplo bem conhecido é o aglomerado de estrelas T-Tauri, frequentemente associado a regiões de formação estelar ativa. As estrelas T-Tauri são classificadas como estrelas jovens de baixa massa, caracterizadas por sua superfície quente e emissão de fortes ventos estelares, que aquecem o gás ao redor e geram regiões HII, compostas por hidrogênio ionizado. Esse aglomerado é catalogado como NGC 2264 (New General Catalogue); também podemos usar como exemplo o Aglomerado do Cone, localizado na constelação de Monoceros, que contém estrelas em diferentes estágios de evolução (Khandan e Esfahani, 2020).

2.1.2 Origem e Natureza da Luz

A luz tem sido objeto de estudo ao longo da história, desde os primeiros registros filosóficos até as formulações matemáticas da óptica clássica. Seu comportamento e natureza foram discutidos por grandes pensadores e cientistas, culminando em teorias que explicam sua propagação, interação com a matéria e sua classificação dentro do espectro eletromagnético. Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre a luz a partir de uma perspectiva clássica, sem aprofundamento na dualidade onda-partícula, ficando nos conceitos de emissão, absorção e reflexão.

A luz tem origem na excitação de cargas elétricas, resultando na emissão de radiação eletromagnética. Esse fenômeno ocorre em diversas escalas, desde processos naturais, como fusão nuclear no interior das estrelas, até mecanismos artificiais, como descargas elétricas em gases ionizados. No caso do Sol e das estrelas, a energia gerada no núcleo é transportada para a superfície, onde é convertida em radiação luminosa e emitida para o espaço. Além disso, a luz pode surgir por processos químicos, como na bioluminescência de alguns organismos, e por processos térmicos, como na incandescência de corpos aquecidos (Hecht, 2017).

Na óptica clássica, a luz é tratada como uma onda eletromagnética que se propaga no vácuo a aproximadamente 299.792.458 m/s. James Clerk Maxwell, no século XIX, formulou equações descrevendo essa propagação, evidenciando sua natureza ondulatória (Halliday, Resnick e Walker, 2016).

A luz visível é apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético, que inclui ondas de rádio, microondas, infravermelho, ultravioleta, raios X e raios gama. Cada região do espectro possui diferentes comprimentos de onda e energias associadas, o que influencia a forma como interagem com a matéria.

A emissão ocorre quando um corpo libera energia na forma de radiação eletromagnética. Em fontes térmicas, como o Sol, essa emissão acontece devido à excitação térmica dos átomos, que libera fótons à medida que os elétrons retornam a estados de menor energia. Outros mecanismos de emissão incluem a luminescência, onde a radiação ocorre sem necessidade de altas temperaturas como nos LEDs e em alguns materiais fluorescentes (Tipler e Mosca, 2020).

A absorção acontece quando a energia luminosa é capturada por um material e convertida em outras formas, como calor ou energia química. Diferentes materiais absorvem comprimentos de onda específicos, o que influencia sua cor aparente. Por exemplo, um objeto azul absorve a maior parte da luz visível, exceto as frequências correspondentes ao azul, que são refletidas e percebidas pelo observador. Esse princípio é essencial para diversas aplicações tecnológicas, como células fotovoltaicas e filtros ópticos (Hecht, 2017).

A reflexão ocorre quando a luz incide sobre uma superfície e retorna ao meio de origem. Ela pode ser especular, quando ocorre em superfícies lisas e polidas, resultando em imagens nítidas, ou difusa, em superfícies irregulares, onde a luz é espalhada em várias direções. A Lei da Reflexão estabelece que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, um princípio fundamental para a formação de imagens em espelhos planos e esféricos (Halliday, Resnick e Walker, 2016).

A luz é uma forma de radiação eletromagnética essencial para o estudo da astrofísica, pois fornece informações sobre a composição, temperatura e movimento das estrelas. Historicamente, a compreensão da luz passou por diversas interpretações, desde a teoria corpuscular de Newton até a teoria ondulatória de Huygens e Young. Hoje, sabe-se que a luz possui uma dupla natureza, comportando-se tanto como um onda eletromagnética quanto como um fluxo de partículas chamadas Fótons (Hecht, 2016).

A luz das estrelas é gerada principalmente por reações de fusão nuclear, que ocorrem em seus núcleos. Nessas reações, átomos de hidrogênio se combinam para formar hélio, liberando grandes quantidades de energia na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação se propaga até a superfície da estrela e, posteriormente, pelo espaço, chegando à Terra (Ziman, 1976).

Além da emissão direta, a luz das estrelas pode sofrer absorção e dispersão ao atravessar a atmosfera da própria estrela ou meio interestelar. Elementos químicos presentes na estrela absorvem determinados comprimentos de onda, formando as linhas espectrais no espectro estelar, fundamentais para a espectroscopia astronômica.

Outro fenômeno importante é a reflexão da luz por poeira cósmica e atmosferas planetárias, criando efeitos como nebulosas e o brilho de planetas iluminados, dessa forma a luz das estrelas fornece informações essenciais sobre a estrutura e evolução do universo.

2.1.3 Radiação Térmica

Conforme apontado por Eisberg e Resnick (1923), a radiação emitida por um corpo devido a temperatura é chamada radiação térmica. Todo corpo emite esse tipo de radiação para o meio que o cerca, e dele a absorve. Se um corpo está inicialmente mais quente do que o meio, ele irá se resfriar, porque a sua taxa de emissão de energia excede a taxa de absorção. Quando o equilíbrio térmico é atingido, as taxas de emissão e absorção são iguais. Os detalhes do espectro são praticamente independentes do material particular do qual o corpo é composto, mas depende da temperatura.

Eisberg e Resnick (1923) destacam que a matéria em um estado condensado (sólido ou líquido) emite um espectro contínuo de radiação. A temperaturas usuais, a maioria dos corpos é visível para nós não pela luz que emitem, mas sim pela luz que refletem. Caso nenhuma luz incida sobre eles, não os podemos ver. A temperaturas muito altas, no entanto, os corpos têm luminosidade própria. Podemos vê-los brilhar, mas mesmo a temperatura da

ordem de muitos milhares de graus Kelvin, bem mais de 90% da radiação térmica emitida é invisível para nós, estando na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Portanto, corpos com luminosidade própria são muito quentes.

A partir do trabalho de Helou, Gualter e Newton (2012), conseguimos compreender que, a superfície de qualquer corpo, incluindo as estrelas, emite energia na forma de radiação eletromagnética, desde que esteja em uma temperatura acima do zero absoluto. Como essa energia está diretamente relacionada à temperatura do corpo emissor, é chamada de radiação térmica.

Estrelas com temperaturas mais baixas, como todas as estrelas vermelhas, emitem radiação térmica predominantemente no espectro vermelho. Embora essa radiação não seja visível a olho nu, telescópios especiais conseguem capturar a luz infravermelha dessas estrelas, permitindo que elas sejam observadas mesmo à distância.

À medida que a temperatura da superfície de uma estrela aumenta, como nas estrelas com cerca de 3000 K, a radiação térmica também se intensifica. Nesses casos, além da radiação infravermelha, há a emissão de luz visível, começando pelo vermelho, que é a cor característica dessas estrelas frias.

Estrelas com temperaturas ainda mais baixas, podem não alcançar as condições necessárias para iniciar as reações de fusão nuclear em seus núcleos. Essas estrelas são classificadas como anãs marrons, objetos subestelares que ocupam uma posição intermediária entre planetas gigantes e estrelas de baixa massa. Anãs marrons emitem radiação predominantemente no infravermelho devido à sua baixa temperatura superficial, e sua energia resulta da contração gravitacional e do decaimento de elementos como lítio, em vez da fusão de hidrogênio.

Conforme a temperatura da estrela aumenta ainda mais, como em estrelas amarelas ou alaranjadas, com temperaturas de aproximadamente 5000 K, a radiação infravermelha continua a ser emitida, mas a luz visível também se intensifica, mudando de tonalidade para alaranjado e, posteriormente, para o amarelo.

Em estrelas com temperaturas mais elevadas, com cerca de 6000 K, a luz emitida assume uma tonalidade branca. Esse efeito ocorre porque a mistura de luz de diferentes comprimentos de onda cria a sensação de luz branca.

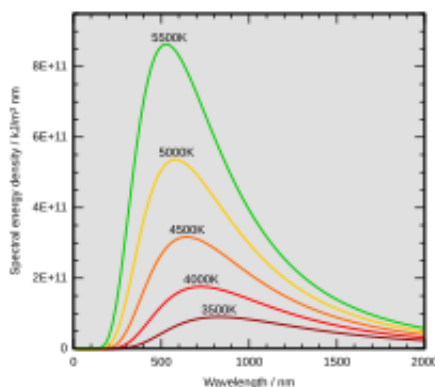
Nas estrelas mais quentes, como as gigantes azuis, que podem ultrapassar 10000 K, a radiação térmica é tão intensa que a cor predominante passa a ser azul. Esse fenômeno explica por que as estrelas mais quentes no céu, como Rigel, apresentam uma coloração azulada, enquanto as estrelas mais frias, como Betelgeuse, são avermelhadas.

2.1.4 Corpo Negro

Segundo Eisberg e Resnick (1923), os estudos mostram que há um tipo de corpo quente que emite espectros térmicos de caráter universal. Esses corpos são chamados de corpos negros, isto é, corpos cuja superfície absorve toda a radiação térmica incidente sobre eles. O nome é apropriado porque esses corpos não refletem luz e são negros.

Conforma apresentado por Helou, Gualter e Newton (2012), um corpo negro é um conceito teórico na física que descreve um objeto ideal que absorve toda a radiação eletromagnética que incide sobre ela, independentemente da frequência ou comprimento de onda. Além de ser um absorvedor perfeito, um corpo negro também é um emissor perfeito, irradiando a máxima quantidade de energia possível em todas as frequências de radiação para uma determinada temperatura. O corpo negro não reflete ou transmite nenhuma radiação, toda a energia que ele emite é devido à sua própria temperatura. A figura 1 representa o espectro de um corpo negro.

Figura 1 - Demonstração de espectro de Corpo Negro



Fonte: Adaptado de OpenStax College (2025).

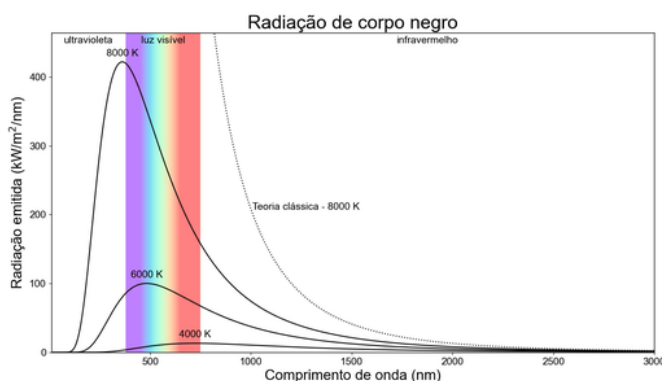
Embora as estrelas não sejam corpos negros perfeitos, porque suas atmosferas podem refletir ou absorver parte da radiação e existem outros processos físicos envolvidos, elas são consideradas uma aproximação razoável de um corpo negro, devido à sua eficiência em emitir radiação térmica em todas as direções e ao fato de que a distribuição de sua radiação depende quase exclusivamente de sua temperatura. Isso faz das estrelas bons exemplos para aplicar os conceitos da física dos corpos negros.

2.1.5 Radiação de Corpo Negro

A radiação de corpo negro é um fenômeno fundamental que, conforme detalhado por Helou, Gualter e Newton (2012), descreve a emissão de radiação eletromagnética por um objeto ideal chamado corpo negro, que absorve toda a radiação incidente, sem refletir ou transmitir nada. Além disso, ele também emite radiação em um espectro contínuo que depende apenas de sua temperatura. Assim, a propriedade principal do corpo negro é sua capacidade de absorver toda a radiação incidente e, simultaneamente, emitir radiação de acordo com sua temperatura. A partir do estudo desse fenômeno, a física encontrou respostas importantes sobre a natureza da luz e da energia.

No final do século XIX, os físicos tentavam entender o comportamento da radiação emitida por corpos em diferentes temperaturas. Quando um objeto aquece, ele começa a emitir radiação térmica, mas a distribuição dessa radiação usando as leis da física clássica falhou. As previsões sugeriam que a intensidade da radiação deveria aumentar indefinidamente para comprimentos de onda curtos, o que ficou conhecido como catástrofe do ultravioleta (Figura 2). Isso não correspondia ao que era observado experimentalmente.

Figura 2 - Catástrofe do Ultravioleta



Fonte: IAU OAE/Niall Deacon (2020).

Em 1900, o físico Max Planck propôs uma solução inovadora para esse problema ao sugerir que a energia não é emitida de forma contínua, como pensavam os físicos clássicos, mas em pacotes discretos, chamados *quanta*. Essa descoberta foi fundamental para o surgimento da teoria quântica, baseando-se na ideia de que a quantização da energia era necessária para explicar o comportamento das radiações de corpos negros.

Albert Einstein, posteriormente, popularizou a teoria dos quanta ao explicar o efeito fotoelétrico, no qual a emissão de elétrons pela superfície de um material ocorre apenas

quando a luz incide com intensidade e frequência específicas. Einstein foi quem introduziu o termo “*quanta*” para explicar a absorção e emissão de fótons no contexto desse fenômeno, o que fortaleceu a base da teoria quântica.

Planck introduziu a ideia de que a energia E associada a um quantum de radiação é proporcional à frequência ν da radiação, de acordo com a Equação 3:

$$E = h\nu \quad (3)$$

Onde E é a energia de quantum, h é a constante de Planck ($h = 6,626 \times 10^{-34}$ J.s), e ν é a frequência da radiação. Essa proposta revolucionária permitiu que Planck descrevesse corretamente a distribuição da radiação emitida por um corpo negro em diferentes temperaturas.

Planck desenvolveu uma equação que descreve a distribuição da radiação de corpo negro, levando em conta a quantidade de energia. A Lei de Planck para a radiação de corpo negro é expressa pela Equação 4:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (4)$$

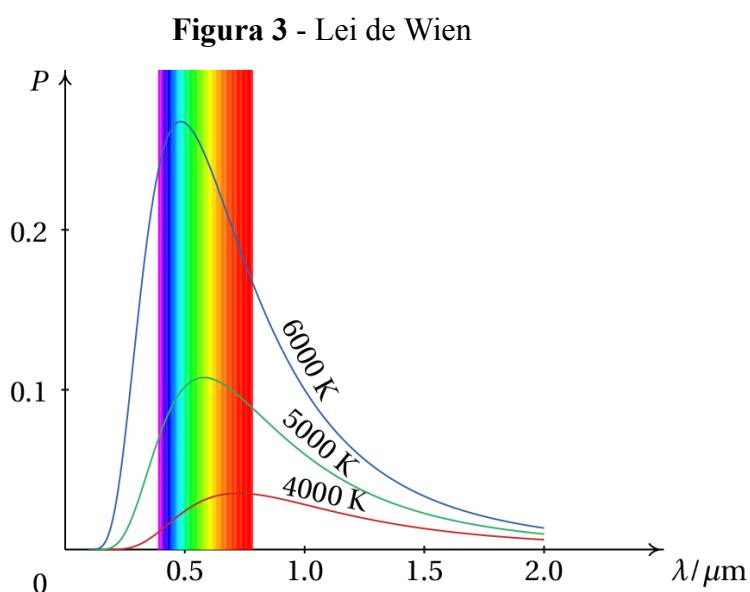
Onde $I(\lambda, T)$ é a intensidade da radiação emitida em um comprimento de onda específico λ a uma temperatura T , h é a constante de Planck, c é a velocidade da luz e k é a constante de Boltzmann. Essa é amplamente utilizada para estudar a radiação emitida por estrelas. Conforme destacado por Carrol e Ostlie (2007, p. 74), “a radiação de corpo negro é um conceito central para entender o espectro contínuo das estrelas”.

2.1.6 Lei de Wien

A Lei de Wien, formulada pelo físico alemão Wilhelm Wien em 1893, conforme discutido por Helou, Gualter e Newton (2012), descreve como o comprimento de onda da radiação emitida por um corpo negro varia com a temperatura. Ela estabelece que o comprimento de onda, no qual a intensidade da radiação emitida por um corpo negro é máxima, é inversamente proporcional à temperatura, dada pela Equação 5:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} \quad (5)$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o comprimento de onda em que a radiação é emitida com a intensidade máxima, T é a temperatura do corpo negro em Kelvin e b é a constante de deslocamento de Wien (aproximadamente 2.898×10^{-3} m.K). Essa equação é utilizada para determinar a temperatura das estrelas. Estrelas mais quentes emitem radiação em comprimento de onda menores (mais azuis), enquanto estrelas mais frias emitem radiação em comprimento de onda maiores (mais vermelhas). A partir do espectro de radiação de uma estrela, é possível calcular sua temperatura usando a Lei de Wien, conforme exposto na Figura 3.



As curvas no gráfico representam a distribuição da radiação emitida por um corpo negro em diferentes temperaturas: 3000 K, 4000 K, 5000 K e 6000 K. o ponto mais alto de cada curva indica o comprimento de onda ($\lambda_{m\acute{a}x}$) no qual a intensidade da radiação é máxima para aquela temperatura.

2.1.7 Linhas Espectrais

As linhas espectrais, conforme Univesp (2014), são assinaturas únicas de elementos químicos presentes nas atmosferas estelares. Quando a luz de uma estrela passa por sua atmosfera, certos comprimentos de onda específicos são absorvidos, criando linhas de absorção no espectro. Essas linhas podem ser usadas para identificar a composição química da

estrela e são fundamentais para a astrofísica observacional. De acordo com Kaler (2011, p. 59), “a análise das linhas espectrais permite determinar não apenas a composição, mas também a temperatura e a pressão na superfície estelar. Existem dois tipos principais de linhas espectrais”.

Um fóton é uma partícula de luz que transporta uma quantidade específica de energia. Quando um átomo ou molécula absorve um fóton, ele pode saltar para um estado de energia mais elevado. Quando esse átomo ou molécula retorna ao seu estado inicial, a energia é liberada na forma de um fóton, criando linhas de emissão, que aparecem como linhas brilhantes sobre um fundo escuro no espectro. Essas linhas são típicas de gases quentes, como aqueles encontrados em nebulosas ou nas camadas externas de estrelas quentes.

Por outro lado, as linhas de absorção surgem quando a luz de uma estrela passa por sua atmosfera, que está composta por gases mais frios. Nessas atmosferas, os fótons são absorvidos por átomos ou moléculas, que então saltam para estados de energia mais altos. Como resultado, aparecem linhas escuras no espectro contínuo da estrela, correspondentes aos comprimentos de onda que foram absorvidos. Essas linhas de absorção fornecem informações valiosas sobre a composição, temperatura e pressão na superfície estelar. Na Figura 4, apresenta-se uma tabela periódica do espectro de emissão:

Figura 4 - Tabela periódica do espectro de emissão

Tabela periódica
Espectros de emissão atômica
www.tabelaperiodica.org

1 H hidrogênio																	2 He hélio
3 Li lítio	4 Be berílio											5 B boro	6 C carbono	7 N nitrogênio	8 O oxigênio	9 F flúor	10 Ne néon
11 Na sódio	12 Mg magnésio											13 Al alumínio	14 Si silício	15 P fósforo	16 S enxofre	17 Cl cloro	18 Ar argônio
19 K potássio	20 Ca cálcio	21 Sc escândio	22 Ti titânio	23 V vanádio	24 Cr cromo	25 Mn manganês	26 Fe ferro	27 Co cobalto	28 Ni níquel	29 Cu cobre	30 Zn zinco	31 Ga gálio	32 Ge germânio	33 As arsênio	34 Se selênio	35 Br bromo	36 Kr criptônio
37 Rb rubídio	38 Sr estrôncio	39 Y itríio	40 Zr zircônio	41 Nb nióbio	42 Mo molibdênio	43 Tc tecnécio	44 Ru ródio	45 Rh ródio	46 Pd paládio	47 Ag prata	48 Cd cádmio	49 In índio	50 Sn estanho	51 Sb antimônio	52 Te telúrio	53 I iodo	54 Xe xenônio
55 Cs césio	56 Ba bário	57 a 71 Lantanídeos	72 Hf hafnício	73 Ta tântalo	74 W tungstênio	75 Re rênio	76 Os ósio	77 Ir írio	78 Pt platina	79 Au ouro	80 Hg mercúrio	81 Tl talho	82 Pb chumbo	83 Bi bismuto	84 Po polônio	85 At ástato	86 Rn rádio
87 Fr frâncio	88 Ra rádio	89 a 103 Atinídeos	104 Rf rutherfordio	105 Db dubnio	106 Sg seabúrgio	107 Bh bohrio	108 Hs hásio	109 Mt moscúvio	110 Ds darmstádio	111 Rg roentgênio	112 Cn copernício	113 Nh nihônio	114 Fl flérovio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tenessino	118 Og ogânesônio
57 La lantanio	58 Ce cério	59 Pr praseodímio	60 Nd néodímio	61 Pm promécio	62 Sm samário	63 Eu europio	64 Gd gadolínio	65 Tb terbóio	66 Dy dissódio	67 Ho hólmio	68 Er érbio	69 Tm túlio	70 Yb itérbio	71 Lu lutécio			
89 Ac actínio	90 Th tório	91 Pa protactínio	92 U urânio	93 Np néptúlio	94 Pu plutônio	95 Am amérvio	96 Cm cúrio	97 Bk berquélio	98 Cf califórnio	99 Es einsteinio	100 Fm fermíio	101 Md mendelevíio	102 No nobélio	103 Lr lawrêncio			

Fonte: Tabela periódica, 2024.

2.1.8 Cor das estrelas

Estrelas emitem luz devido à conversão de energia térmica em radiação eletromagnética. Seu espectro de radiação é semelhante ao do corpo negro, onde o comprimento de onda λ com máxima intensidade de emissão depende da temperatura. Estrelas quentes são azuladas e estrelas frias são avermelhadas.

O índice da cor B – V é um indicador crucial na astrofísica, usado para determinar a temperatura das estrelas. Ele é definido pela diferença entre as magnitudes em dois filtros: B (azul) e V (verde – amarelo). Estrelas quentes apresentam valores de B – V próximos a zero, refletindo maior intensidade em comprimentos de onda azuis. Em contraste, estrelas mais frias possuem valores de B – V próximos de 2,0, indicando predominância da emissão em comprimentos de onda vermelhos e infravermelhos (Helou, Gualter e Newton, 2012).

O B – V permite estimar a temperatura superficial das estrelas, quanto menor o valor do índice, mais quente é a estrela, quanto maior o valor, mais fria ela é. Por exemplo, estrelas como a Spica, com um B – V negativo, são consideradas quentes, enquanto estrelas como Antares, com B – V positivo, são mais frias (Helou, Gualter e Newton, 2012).

A Lei de Wien relaciona a temperatura da estrela ao comprimento de onda de máxima emissão, estrelas frias têm picos de emissão em comprimentos de onda mais longos (vermelho), enquanto estrelas quentes têm picos em comprimentos de onda mais curtos (azul). A temperatura pode ser determinada com maior precisão analisando as linhas de absorção no espectro.

No contexto estelar, “frio” refere-se a temperaturas da ordem de 2000 a 3000 K, estrelas azuis possuem temperaturas superficiais ao redor de 10000 K ou mais. O Sol, uma estrela branca com temperatura intermediária, possui uma temperatura de aproximadamente 6000 K. A cor de uma estrela pode ser quantificada pelo índice de cor.

É importante observar que a temperatura e a luminosidade de uma estrela não estão diretamente relacionadas. A Lei de Stefan-Boltzmann estabelece que a luminosidade depende da temperatura elevada à quarta potência e do raio da estrela ao quadrado, ou seja, é proporcional à sua área. Por exemplo, um objeto é mais frio quando sua área de emissão é maior, aumentando a área pela qual irradia e perde energia.

Portanto, é possível que uma estrela seja extremamente luminosa (emitindo muita luz por unidade de tempo) e, ao mesmo tempo, seja fria e vermelha, se for muito grande, como uma gigante vermelha ou supergigante vermelha.

2.1.9 Espectroscopia Estelar

A espectroscopia estelar é uma das principais ferramentas da astrofísica para analisar a composição química, temperatura, densidade e movimento das estrelas. Ao passar a luz estelar por um prisma ou um retículo de difração, obtém-se um espectro, que pode ser classificado em três tipos principais: Contínuo, de emissão e de absorção (Carroll e Ostlie, 2017).

O espectro contínuo é gerado pela radiação térmica emitida pelas estrelas, aproximando-se do comportamento de um corpo negro ideal. Já o espectro de emissão ocorre quando um gás quente e rarefeito emite luz em comprimentos de onda específicos, característico dos elementos químicos presentes. Por outro lado, o espectro de absorção é formado quando a luz de um corpo quente atravessa uma camada de gás frio, resultando na absorção de determinados comprimentos de onda e gerando linhas escuras no espectro observado.

A análise dessas linhas espectrais permite determinar a composição química das estrelas. Além disso, a espectroscopia revela informações sobre a temperatura superficial e a pressão atmosférica estelar, uma vez que diferentes elementos ionizam em temperaturas específicas (Gray e Corbally, 2009).

O efeito Doppler também pode ser estudado especificamente para determinar a velocidade radial das estrelas. Quando uma estrela se afasta do observador, seu espectro sofre um deslocamento para o vermelho, enquanto, se estiver se aproximando, ocorre um deslocamento para o azul (Ferrari e Teixeira, 2010). Esse efeito é essencial para o estudo do movimento das estrelas dentro da galáxia e para determinação da expansão do universo.

2.1.10 Classificação Espectral e Temperatura das Estrelas

O espectro de uma estrela é a decomposição de sua luz em diferentes comprimentos de onda (λ) ou frequências (ν). As estrelas são classificadas em diferentes tipos espectrais com base nas linhas de absorção encontradas em seus espectros. A classificação espectral moderna das estrelas reflete uma rica evolução histórica.

No século XIX, o astrônomo italiano Angelo Secchi foi pioneiro ao observar espectros estelares. entre 1863 e 1867, ele classificou estrelas em cinco tipos principais, com base na cor e no padrão de linhas espectrais. esse trabalho foi uma das primeiras tentativas de catalogar sistematicamente as estrelas. Secchi dividiu as estrelas, por exemplo, em tipos como estrelas brancas (com linhas de hidrogênio dominantes) e estrelas vermelhas (com espectro mais complexo), mas não compreendia ainda as relações físicas subjacentes e essas características.

No final do século XIX e início do século XX, o Harvard College Observatory, sob a liderança de Edward Charles Pickering, iniciou uma evolução na classificação espectral. Sua equipe, conhecida como os “computadores de Harvard” e composta majoritariamente por mulheres, como Annie Jump Cannon, catalogou os espectros de milhares de estrelas. Inicialmente, o sistema de Harvard classificava as estrelas de acordo com o número de linhas de hidrogênio, com estrelas de classe A apresentando fortes linhas de hidrogênio e as classes subsequentes exibindo padrões mais complexos.

Cannon foi essencial para aprimorar esses sistemas, percebendo que a variação nas linhas espectrais estava diretamente ligada à temperatura superficial das estrelas, e não apenas ao número de linhas visíveis. assim, reorganizou o sistema de Harvard em uma sequência

mais coerente com as propriedades físicas das estrelas, consolidando a classificação a classificação moderna em sete classes básicas: O, B, A, F, G, K e M. As classes espectrais correlacionam-se fortemente com a temperatura: estrelas do tipo O são quentes, enquanto as do tipo M são frias.

A correlação entre temperatura e espectro consolidou-se, revelando que a cor das estrelas está intrinsecamente ligada às suas temperaturas superficiais. estrelas azuis (tipo O e B) são mais quentes, enquanto as estrelas vermelhas (tipo K e M) são mais frias. a presença de linhas espectrais fortes, como as de hidrogênio ou cálcio, reflete as condições de temperatura e ionização da superfície estelar, e não necessariamente a composição química, como se acreditava inicialmente.

Cannon também subdividiu as classes principais em subclasses numeradas de 0 a 9, sendo 0 as mais quentes e 9 as mais frias dentro de uma classe específica. Por exemplo, o Sol é uma estrela do tipo G2, enquanto Sirius, uma estrela mais quente e branco-azulada, é do tipo B3. O Quadro 1 apresenta alguns exemplos, a Figura 5 demonstra a diferença entre as estrelas, suas cores e temperaturas.

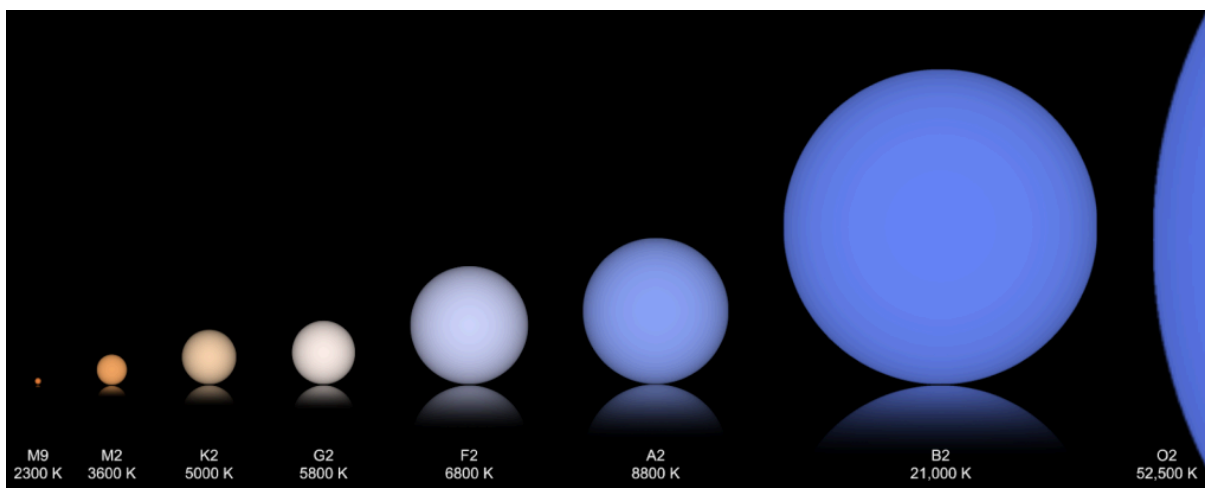
Quadro 1 - Classes Espectrais de Estrelas

Classe Espectral	Temperatura (K)	Cor	Características Espectrais	Exemplos de Estrela	Subclasses
O	> 30.000	Azul	Linhas fracas de hidrogênio, fortes linhas de hélio ionizado e oxigênio.	Zeta Puppis	O0 – O9
B	10.000 – 30.000	Azul-branco	Linhas de hidrogênio menos intensas, linhas de hélio neutro.	Rigel	B0 – B9
A	7.500 – 10.000	Branco	Linhas fortes de hidrogênio (mais intensas), linhas de metais neutros.	Sirius	A0 – A9
F	6.000 – 7.500	Branco-amarelado	Linhas de cálcio e metais ionizados, linhas de hidrogênio diminuindo em intensidade.	Procyon	F0 – F9
G	5.200 – 6.000	Amarelo	Linhas de cálcio forte, linhas de hidrogênio ainda presentes, metais como ferro.	Sol	G0 – G9
K	3.700 – 5.200	Laranja	Linhas de metais, forte presença de cálcio,	Aldebaran	K0 – K9

			poucas linhas de hidrogênio.		
M	< 3.700	Vermelho	Linhas de óxidos moleculares, fracas de hidrogênio.	Betelgeuse	M0 – M9

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

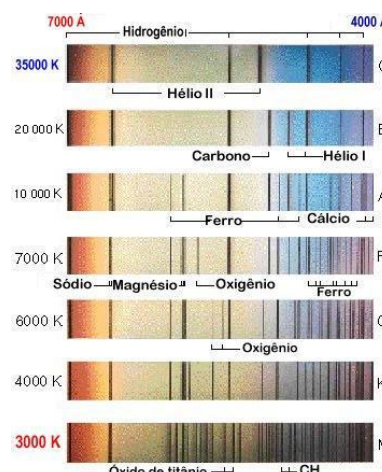
Figura 5 - Ilustração das classes espectrais



Fonte: Astro Pontos, 2021.

À medida que a temperatura aumenta, os elétrons dos átomos adquirem mais energia e se tornam menos ligados aos núcleos atômicos. A energia adquirida dos elétrons advém da interação com a luz ou de colisões entre átomos. Uma colisão suficientemente forte pode ionizar um átomo, um processo que é mais eficiente no interior das estrelas, resultando na perda de elétrons e, conseqüentemente, na diminuição das linhas de absorção do espectro.

Estrelas com temperaturas interiores mais altas possuem mais íons e, portanto, menos linhas de absorção. Isso gera um perfil espectral específico, que está relacionado à temperatura da estrela e à sua composição química. A Figura 6 ilustra a classificação espectral, destacando os elementos químicos presentes em cada classe estelar e suas respectivas linhas espectrais.

Figura 6 - Classificação espectral

Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Magnitude e luminosidade. 2023.

Embora a classe espectral esteja primariamente relacionada à temperatura das estrelas, ela também está associada a outras propriedades físicas, como, estrelas mais quentes tendem a ter massas maiores, estrelas mais massivas geralmente possuem raios maiores. A luminosidade está diretamente relacionada à combinação entre massa e raio, conforme a Lei de Stefan-Boltzmann. De acordo com a teoria das estrelas, a classe espectral não apenas reflete a temperatura superficial da estrela, mas também fornece informações sobre as suas propriedades estruturais e evolutivas (Helou, Gualter e Newton, 2012).

2.2 Referenciais Educacionais

Para fundamentar essa pesquisa, utilizaremos teóricos como David Ausubel e Edgar Morin, a fim de justificar nossas escolhas didáticas e promover o melhor desempenho em uma sequência didática que envolva os conceitos de cor e temperatura das estrelas para explicar conceitos de termodinâmica e física moderna.

2.2.1 David Ausubel

David Ausubel destaca que a aprendizagem significativa é alcançada quando novos conceitos são integrados de forma profunda e organizada ao conhecimento prévio do aluno. Essa integração ocorre de maneira substantiva, ou seja, com relevância e significado, e não-arbitrária, isto é, seguindo uma lógica que respeita as conexões cognitivas existentes.

Diferente da aprendizagem baseada apenas na memorização, a aprendizagem significativa proporciona uma retenção mais duradoura e eficaz. Conforme Ausubel (2000, p. 41) afirma que “a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação é relacionada de maneira não-arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva do indivíduo”, reiterando a importância dessas conexões para o desenvolvimento do conhecimento.

A aplicação das teorias de Ausubel ocorre em cinco etapas: (i) conexão com conhecimentos prévios, (ii) organizadores prévios, (iii) estrutura cognitiva, (iv) diferenciação progressiva e reconciliação integrativa e (v) motivação e interesse.

Quanto à etapa (i), “conexão com conhecimentos prévios”, o professor deve introduzir novos conceitos ao relacioná-los com o conhecimento prévio dos alunos. Por exemplo, ao introduzir conceitos complexos, como os princípios de física, é importante fazer conexões com experiências e conhecimentos já existentes dos alunos.

Em relação à etapa (ii), Ausubel propõe o uso de organizadores prévios, que são materiais introdutórios apresentados antes da nova aprendizagem para proporcionar uma estrutura cognitiva que ajude os alunos a assimilar novos conceitos. Esses organizadores podem ser descrições gerais, diagramas, mapas conceituais ou resumos que estabelecem uma ponte entre o que os alunos já sabem e o que irão aprender. Conforme argumenta Moreira (2011, p. 33), “os organizadores prévios atuam como pontes cognitivas entre o conhecimento existente e o novo conhecimento”.

Já a etapa (iii) diz respeito à estrutura cognitiva de um indivíduo, que se refere ao conjunto de conceitos e relações que ele já possui. A aprendizagem significativa é facilitada quando novos conteúdos se encaixam na estrutura cognitiva existente. A organização da estrutura cognitiva pode ser visualizada como uma hierarquia de conceitos, na qual novos conhecimentos são integrados de forma progressiva e lógica. A aplicação pode ser através de integração de conteúdos, desenvolvendo atividades e exercícios que permitam aos alunos aplicar os conceitos adquiridos. Segundo Ausubel (2003, p. 75), “a aprendizagem significativa implica na modificação e ampliação da estrutura cognitiva, facilitando a integração de novos conhecimentos”.

No que diz respeito à etapa (iv), de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, Ausubel sugere que o ensino deve seguir uma sequência lógica, em que são ensinados primeiramente os conceitos mais gerais e gradualmente diferenciados em conceitos mais específicos. A reconciliação integrativa envolve a integração de novos conceitos com conceitos existentes de forma que inconsistências sejam resolvidas. Uma maneira de aplicar tais princípios seria iniciar a sequência didática com uma visão geral do conteúdo a ser

estudado e, aos poucos, introduzindo-se conceitos mais específicos. Ao longo do processo, deve-se promover atividades que integram e reconciliem novos conhecimentos com o que já foi aprendido.

A última etapa (v) consiste na motivação e interesse. Ausubel reconhece que a motivação é um fator chave na aprendizagem significativa. Estudantes são mais propensos a aprender de maneira significativa quando estão interessados e motivados pelo conteúdo: “a motivação dos estudantes é crucial para a aprendizagem significativa, pois aumenta o engajamento e a retenção de novos conhecimentos” (Ausubel, 2000, p. 56). Podemos utilizar métodos didáticos que despertem o interesse dos alunos, como demonstrações práticas, observações, uso de simuladores e *softwares*. Relacionar fenômenos visíveis no dia a dia dos alunos pode aumentar o interesse e a motivação pela aprendizagem.

Ausubel desenvolveu também os três momentos de aprendizagem que consistem na Pré-instrução, Instrução e Pós-instrução. A pré-instrução é o estágio em que se apresentam os organizadores prévios e se estabelece a relevância dos novos conceitos em relação aos conhecimentos prévios dos alunos. Já no momento de instrução, novos conteúdos são introduzidos de forma progressiva e diferenciada, sempre conectando-os aos conceitos previamente assimilados. E por último, na fase de pós-instrução, se promove a integração dos novos conhecimentos por meio de atividades de aplicação, discussão e reflexão, permitindo a reconciliação integrativa. A implementação de uma sequência didática que inicia com a apresentação de organizadores prévios, seguida pela introdução gradual e lógica dos novos conceitos, deve culminar em atividades que incentivem a integração e aplicação dos conhecimentos adquiridos. Ausubel (2003, p. 88) enfatiza que “a sequência lógica da instrução e a integração contínua dos novos conhecimentos são essenciais para a aprendizagem significativa”.

Acreditamos que a fundamentação teórica baseada na aprendizagem significativa de David Ausubel proporciona uma estrutura sólida para o ensino interdisciplinar de astronomia e termodinâmica. Ao conectar novos conhecimentos aos conceitos pré-existentes, utilizando organizadores prévios e promovendo uma sequência didática lógica, o ensino pode se tornar mais eficaz e envolvente. Além disso, ao estimular a motivação e o interesse dos alunos, a aprendizagem se torna mais profunda e duradoura, contribuindo para uma compreensão holística e integrada das ciências naturais.

2.2.2 Edgar Morin

Para uma fundamentação mais ampla, utilizaremos as teorias de Edgar Morin. Ele é um dos principais teóricos da complexidade, cujas ideias sobre educação e conhecimento interdisciplinar são extremamente relevantes para a construção de propostas didáticas inovadoras e integradoras no ensino médio. Morin critica a fragmentação do conhecimento e propõe uma abordagem transdisciplinar que valoriza as interconexões entre diferentes áreas do saber, promovendo uma compreensão mais próxima da realidade.

As teorias de Morin são separadas em conceitos, a saber: o pensamento complexo, os sete saberes necessários à educação do futuro, a reformulação do conhecimento, o método da complexidade e educação para a era planetária.

Quanto ao “pensamento complexo”, Morin defende que o conhecimento deve ser compreendido como um tecido de elementos diversos que interagem entre si. Ele argumenta que a fragmentação do conhecimento em disciplinas isoladas impede a compreensão plena dos fenômenos complexos. Para Morin (2000, p. 13), “é necessário aprender a contextualizar e a globalizar para enfrentar a complexidade do mundo contemporâneo”. O pensamento complexo visa superar as barreiras disciplinares, permitindo que os alunos desenvolvam uma visão integrada e contextualizada dos saberes. No contexto do ensino de física, aplicar o pensamento complexo significa conectar os conceitos dessas disciplinas de forma a mostrar suas interrelações com outras áreas do conhecimento, tendo em vista que isso pode ajudar os alunos a entenderem a ciência como o todo interconectado, em vez de partes isoladas.

Em sua obra “Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro”, Morin (2003) destaca sete saberes essenciais para preparar os indivíduos para enfrentar a complexidade e a incerteza do mundo atual. Entre esses saberes, destacam-se a necessidade de uma educação que promova a compreensão humana e a capacidade de enfrentar incertezas. Segundo Morin (2003, p. 72), “a educação do futuro deve ser reformulada para integrar os conhecimentos e desenvolver a capacidade de compreensão mútua entre os seres humanos”.

Para Morin, a “reformulação do conhecimento” implica reconhecer a complexidade e a interdependência dos fenômenos, promovendo uma visão menos fragmentada e mais integrada da realidade. Ele sugere que a educação deve preparar os indivíduos para pensar de forma complexa, integrando diferentes áreas do saber. No desenvolvimento de atividades didáticas, é essencial mostrar aos alunos como diferentes áreas da física estão interconectadas.

Morin (2005, p. 89) argumenta que “a educação deve promover uma inteligência geral apta a referir-se ao complexo, ao contexto e ao global”.

O método da complexidade, proposto por Morin, visa conectar e contextualizar conhecimentos diversos, reconhecendo tanto as certezas quanto às incertezas inerentes ao processo de aprendizagem. Tal método incentiva uma abordagem transdisciplinar e a contextualização dos saberes. Ao se implementar atividades que conectem conceitos de astronomia, termodinâmica e física moderna, promovendo a contextualização e integração dos conhecimentos, pode-se incluir projetos interdisciplinares e discussões que incentivem os alunos a verem a ciência como um todo interconectado, pois, de acordo com Morin (2002, p. 45), “o método da complexidade visa a tecer juntos os conhecimentos dispersos e fragmentados para enfrentar a diversidade e a interdependência dos fenômenos”.

Morin destaca a necessidade de uma educação que prepare os indivíduos para a era planetária, em que os problemas e desafios são globais e interconectados. Ele enfatiza a importância de uma educação que desenvolva a consciência planetária e a responsabilidade global. Ao ensinar astronomia, termodinâmica e física moderna de forma integrada, podemos ajudar os alunos a desenvolverem uma compreensão mais ampla do universo e do papel da ciência na resolução de problemas globais. Morin (2003, p. 100) afirma que “é essencial educar para a era planetária, desenvolvendo a consciência de nossa condição comum e de nossa responsabilidade compartilhada pelo destino do planeta”.

A fundamentação teórica baseada no pensamento complexo de Edgar Morin proporciona uma estrutura sólida para o ensino interdisciplinar de astronomia, termodinâmica e física moderna. Ao acrescentar os conceitos de aprendizagem significativa de Ausubel, construímos uma base educacional favorável à aprendizagem dos estudantes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Creswell (2014, p. 29), a revisão bibliográfica “[...] fornece um quadro teórico para o estudo e contribui para a fundamentação do problema de pesquisa”. Este levantamento bibliográfico tem como objetivo mapear e analisar as publicações relacionadas ao ensino de astronomia voltadas para o estudo de cor e temperatura das estrelas, publicados em revistas de educação científica entre os anos 2011 até 2024.

A revisão bibliográfica foi realizada nas seguintes revistas brasileiras de educação científica: Ciência e Educação (C&E) (A1), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) (A1), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) (A1), Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (RBECT) (A2), A Física na Escola (FnE) (A3). Por falta de artigos relacionados diretamente às estrelas, foi realizada uma pesquisa mais específica nas revistas Cadernos de Astronomia e Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – (RELEA), ambas não possuem classificação no Qualis. Para realizar a pesquisa, utilizou-se palavras-chaves como “divulgação científica”, “ensino de física” e “cor e temperatura das estrelas” para identificar artigos relevantes.

Foram encontrados 15 artigos, dos quais 10 foram selecionados com base em sua relevância para o tema de ensino de astronomia em contextos formais. Segundo Gil (2008, p. 45), uma revisão bibliográfica bem conduzida “[...] possibilita ao pesquisador identificar o que já foi estudado, quais foram as abordagens teóricas utilizadas, os métodos empregados e as conclusões alcançadas”. Esta abordagem foi aplicada para garantir que os artigos selecionados oferecessem uma visão abrangente e atualizada sobre o ensino de astronomia. O Quadro 2 apresenta os dez artigos selecionados:

Quadro 2 - Apresentação dos artigos selecionados

Autor(es)	Título	Periódico
Iachel (2011)	O conhecimento prévio de alunos do ensino médio sobre as estrelas	Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (RELEA)
Machado e Tort (2016)	Michell, Laplace e as estrelas negras: uma abordagem para professores do ensino médio	Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) (A1)
Bandecchi, Horvath e	O equilíbrio estelar e a	Revista Brasileira de Ensino

Bretones (2019)	existência de uma massa máxima para as estrelas	de Física (RBEF) (A1)
Leão (2013)	Astronomia no ensino médio: compreendendo detalhes do movimento aparente das estrelas com um miniplanetário	Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (RELEA)
Marranghello e Pavani (2011)	Astronomia e física moderna: duas necessidades, uma solução	Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (RELEA)
Mello (2014)	Aprendendo física com as Estrelas Binárias	Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) (A1)
Horvath (2013)	Uma proposta para o ensino de astronomia e astrofísica estelares no Ensino Médio	Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) (A1)
Machado (2019)	Estrelas variáveis no contexto educacional: uma proposta envolvendo a observação de cefeidas clássicas	Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (RELEA)
Souza e Valio (2019)	Estudo da atividade estelar de Kepler-289 a partir da modelagem de trânsitos planetários	Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) (A1)
Silva, Binoti e Dilem (2023)	Estrelas: propriedades e ciclos de vida	Cadernos de Astronomia

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

No artigo de Iachel (2011), aborda-se a investigação dos conhecimentos prévios de alunos do ensino médio sobre as características físicas das estrelas. O artigo destaca a relação cor e temperatura das estrelas, salientando o desconhecimento dos alunos sobre esses aspectos. Poucos estudantes reconhecem que a cor das estrelas está relacionada à sua temperatura, revelando uma área importante para intervenção educacional.

Já no artigo de Machado e Tort (2016), discute-se o desenvolvimento histórico e teórico dos conceitos de estrelas negras, precursoras do que hoje conhecemos como buracos negros. A pesquisa destaca as contribuições de John Michell e Pierre-Simon Laplace no século XVIII, que especularam sobre a existência de estrelas com campos gravitacionais tão intensos que nem a luz poderia escapar delas, o artigo explora como a cor e temperatura das

estrelas são fundamentais para compreender a natureza dos corpos celestes e, eventualmente, para identificar fenômenos como as estrelas negras.

No artigo de Bandecchi, Horvath e Bretones (2019), discutem-se os conceitos de equilíbrio virial e equilíbrio hidrostático e como esses conceitos determinam a existência de uma massa máxima para as estrelas. O artigo cita conceitos como energia térmica, pressão interna e gravidade, mas não aborda diretamente a cor e a temperatura das estrelas, focando-se nos mecanismos físicos internos das estrelas.

Leão (2013) apresenta os resultados de um projeto de intervenção educacional que utiliza o miniplanetário como principal recurso para ensinar astronomia. O artigo não inclui conceitos que relacionam cor ou temperatura, concentrando-se apenas nas localizações de estrelas e na orientação espacial.

Marranghello e Pavani (2011) abordam a integração de tópicos de astronomia e física moderna no currículo de ensino médio. O artigo traz o conceito de Lei de Radiação de Planck, que é utilizada para determinar a temperatura das estrelas, tratando-o de forma superficial. Destaca-se a utilização de uma máquina fotográfica digital para registrar estrelas de diferentes cores, mas sem um aprofundamento teórico significativo.

Mello (2014) explora a utilização de temas astronômicos, especialmente estrelas binárias, para o ensino de conceitos fundamentais de física no nível médio. O artigo menciona a cor e a temperatura como aspectos importantes do estudo do espectro estelar, observando que a cor está diretamente relacionada com a temperatura. No entanto, não aprofunda esse conceito. O artigo oferece uma visão detalhada sobre os diferentes tipos de estrelas binárias e suas classificações, incluindo binárias eclipsantes, visuais, astrométricas e espectroscópicas, descrevendo suas características específicas e métodos de observação.

Horvath (2013) apresenta uma abordagem empírica para o ensino de astrofísica estelar no ensino médio. O autor argumenta que o distanciamento entre os avanços tecnológicos e a percepção natural dos fenômenos científicos dificulta o ensino de astronomia. O artigo menciona a importância de introduzir conceitos como cor e temperatura das estrelas, que são essenciais para compreensão da astrofísica estelar. Embora o foco principal seja a magnitude e a distância, o autor sugere que a cor das estrelas pode ser utilizada como indicador de temperatura, ajudando os alunos a entenderem a relação entre esses dois atributos.

Machado (2019) apresenta uma proposta didática para o ensino de astronomia através da observação de estrelas variáveis, com foco específico nas cefeidas clássicas. Embora o foco principal do artigo não seja diretamente sobre a cor e a temperatura das

estrelas, a observação das cefeidas clássicas permite inferir a relação entre o brilho e a distância das estrelas. A variação do brilho dessas estrelas ocorre devido às suas pulsações estelares, já que as mudanças no raio das estrelas afetam a intensidade da luz emitida.

Souza e Valio (2019) focam na análise de manchas estelares e trânsito planetário, usando dados do telescópio espacial Kepler. Utiliza-se o método de trânsitos planetários para detectar exoplanetas e manchas na superfície estelar. As manchas são identificadas por meio da variação no brilho estelar durante o trânsito de um planeta. Porém, o artigo não apresenta uma discussão sobre cor e temperatura das estrelas.

Silva, Binoti e Dilem (2023) trazem as características das estrelas, como massa, temperatura, luminosidade, brilho e dimensões. O artigo baseia-se em uma revisão de literatura para descrever as propriedades das estrelas e seus processos de evolução. Ele utiliza diagramas e exemplos específicos, como o do Sol e da estrela R136a1, para ilustrar conceitos importantes. No entanto, o artigo não se aprofunda na relação entre cor e temperatura.

Assim, podemos inferir que todos os dez artigos investigados têm como objetivo melhorar o ensino de astronomia e física moderna, adaptando conteúdos complexos para diferentes níveis educacionais, utilizando metodologias variadas, incluindo recursos audiovisuais, práticas experimentais e contextualizações históricas. No entanto, em nenhum dos trabalhos conseguimos observar um aprofundamento em termos de cor e temperatura das estrelas. De maneira geral, eles apresentam apenas que a cor está relacionada à temperatura, exemplificando que estrelas mais quentes apresentam cores azuladas e estrelas mais frias cores avermelhadas, sem entrar de fato nos conceitos. Apenas no artigo dos autores Marranghello e Pavani (2011) é acrescentado conceitos da Lei de Radiação de Planck. Já no trabalho de Silva, Binoti e Dilem (2023), eles caracterizam a temperatura das estrelas, mas não há um aprofundamento significativo no assunto.

A análise dos artigos revela uma lacuna significativa voltada ao ensino de astronomia: a falta de estudos aprofundados sobre a cor e a temperatura das estrelas. Embora vários artigos mencionem de forma superficial a relação entre cor e temperatura, poucos se dedicam a explorar esses conceitos. Essa ausência de material mais detalhado impede que educadores tenham acesso a recursos completos e robustos para ensinar esses temas fundamentais de maneira eficaz. Portanto, há uma necessidade de desenvolver estudos e recursos educacionais que abordam detalhadamente a relação entre cor e temperatura das estrelas, proporcionando uma base sólida para o ensino de astronomia no contexto educacional formal. Justificar essa necessidade é crucial, pois a compreensão correta desses conceitos pode facilitar a aprendizagem de outros tópicos avançados em física e astronomia,

além de despertar maior interesse dos alunos por essas áreas, promovendo um ensino integrado e contextualizado.

4 METODOLOGIA

4.1 Referencial Metodológico: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

Marco Antônio Moreira e Elvira Lima Masini desenvolveram a sistematização e prática educacional das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), tendo como base, principalmente, a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Essa metodologia envolve a organização de conteúdos de forma que novos conhecimentos sejam aprendidos de maneira significativa, respeitando os princípios de Ausubel. A progressão das atividades deve seguir uma sequência lógica, com oportunidades para que os alunos integrem novos conceitos de forma significativa. Segundo Moreira e Masini (2001, p. 112), “a UEPS organiza o conteúdo de forma coerente e significativa, facilitando a aprendizagem e a retenção de novos conhecimentos”.

Os aspectos sequenciais para a criação de uma UEPS são componentes fundamentais que garantem a eficácia da metodologia. Esses aspectos ajudam a estruturar a unidade de ensino de maneira que os alunos possam construir e integrar novos conhecimentos de forma significativa. A seguir, o Quadro 3 apresenta os aspectos sequenciais envolvidos na criação de uma UEPS.

Quadro 3 - Aspectos sequenciais da UEPS

Aspectos Sequenciais	Descrição
Diagnóstico Inicial	Identificação dos conhecimentos prévios dos alunos e das suas necessidades educacionais. Esse diagnóstico permite que o ensino seja adaptado para conectar os novos conteúdos com os que os alunos já sabem, promovendo uma aprendizagem mais significativa.
Objetivos de Aprendizagem	Definição clara e precisa dos objetivos educacionais que se pretende alcançar com a unidade de ensino. Esses objetivos devem ser alinhados com o conhecimento prévio dos alunos e com os conteúdos a serem abordados.
Organização do Conteúdo	Estruturação dos conteúdos de forma lógica e sequencial. O conteúdo deve ser dividido em tópicos que construam progressivamente o conhecimento, permitindo que os alunos compreendam e integrem as informações de maneira gradual.
Sequência das atividades	Planejamento das atividades de forma que elas sigam uma ordem que facilite a construção do conhecimento. Cada atividade deve levar à seguinte, com base na progressão lógica do conteúdo.
Atividade de Aprendizagem	Desenvolvimento de atividades que incentivem a exploração, a reflexão e a aplicação prática dos conceitos. Essas atividades

	devem ser projetadas para engajar os alunos e permitir que eles experimentem e consolidem o novo conhecimento.
Estratégias de Mediação	Utilização de estratégias pedagógicas para medir o processo de ensino-aprendizagem, como questionamentos, discussões, e feedbacks, que ajudam a orientar os alunos e a promover a compreensão dos conceitos.
Avaliação Contínua	Implementação de processos de avaliação que acompanhem o progresso dos alunos ao longo da unidade. A avaliação deve ser formativa, proporcionando informações sobre o desenvolvimento dos alunos e permitindo ajustes na abordagem pedagógica conforme necessário.
Integração e Aplicação	Promoção de atividades que incentivem os alunos a integrar e aplicar os novos conhecimentos em contextos variados. Isso ajuda a consolidar a aprendizagem e a tornar o conhecimento mais significativo e relevante para os alunos.
Reflexão e Revisão	Inclusão de momentos de reflexão e revisão, onde os alunos podem avaliar seu próprio aprendizado e a eficácia da unidade. Isso também permite que o professor ajuste e refine a unidade para futuras aplicações.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2 Etapas do Planejamento da UEPS

A metodologia deste estudo visa atender o objetivo geral deste trabalho, a saber, desenvolver uma proposta didática que utiliza a relação entre cor e temperatura das estrelas para explicar conceitos de termodinâmica e física moderna aos estudantes do ensino médio. A escolha desse tema se justifica pela sua relevância no currículo de física e pelo seu potencial para despertar o interesse dos estudantes, facilitando a compreensão de conceitos complexos através de exemplos concretos e visualmente estimulantes, como imagens e uso de simuladores. Além disso, a relação entre cor e temperatura conecta conceitos científicos complexos a situações do cotidiano, como as cores percebidas em lâmpadas, chamas e outros fenômenos térmicos. Essa abordagem interdisciplinar oferece aos estudantes uma oportunidade de compreender de forma mais integrada a ciência, promovendo uma visão crítica e contextualizada do conhecimento.

A montagem da UEPS foi baseada em três etapas principais:

Para alcançar o primeiro objetivo específico, a saber, *identificar os conceitos de termodinâmica e física moderna que podem ser abordados utilizando a astronomia*, a primeira etapa envolveu a seleção de conceitos. Nesta fase, foram escolhidos conceitos pertinentes de termodinâmica e física moderna que podem ser abordados ao se explorar a cor e temperatura das estrelas.

O segundo objetivo específico, *elaborar atividades e materiais didáticos que relacionem a cor e temperatura das estrelas com a termodinâmica e física moderna*, foi atendido na segunda etapa. Esta etapa consistiu no desenvolvimento de atividades e recursos didáticos que façam essas conexões de maneira eficaz.

Para atingir o terceiro objetivo específico, *propor uma sequência didática sobre a temática, temos a terceira e última etapa, proposição de uma sequência didática*. Nesta fase, os planos de aula serão organizados de forma progressiva para facilitar a construção gradual do conhecimento pelos alunos.

A proposta dessa didática é voltada ao ensino médio de escolas públicas ou privadas que ofereçam a disciplina de física. O público-alvo incluirá alunos do ensino médio, que já tenham tido contato prévio com conceitos básicos de termodinâmica e astronomia.

A metodologia adotada também contempla a inclusão de sugestões para a adaptação dos planos de aula a diferentes contextos e realidades escolares. Dessa forma, os professores poderão personalizar o material conforme as necessidades e características de seus alunos, garantindo uma maior flexibilidade e eficácia no processo de ensino-aprendizagem. A sequência didática que será desenvolvida visará proporcionar aos professores de física um material didático bem fundamentado, que contribua significativamente para a melhoria da prática pedagógica e para o enriquecimento das aulas de física no ensino médio.

5 CONSTRUÇÃO DA UEPS

A construção desta UEPS baseia-se, principalmente, na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que enfatiza que o conhecimento novo deve se ancorar nos conhecimentos prévios do aluno para que o aprendizado seja efetivamente compreendido e retido.

Seguindo a teoria de Ausubel, o conceito de diferenciação progressiva é considerado na construção desta UEPS. Esse princípio sugere que a aprendizagem ocorre de maneira mais eficaz quando novos conteúdos são introduzidos de forma hierárquica, partindo de ideias mais gerais para, gradativamente, detalhes mais específicos. Com base nisso, também se adota o conceito de reconciliação integrativa como princípio orientador. Esse conceito propõe que o aprendizado se torne mais significativo quando o aluno consegue estabelecer conexões entre novos conhecimentos e ideias previamente adquiridas, criando uma rede de significados coerentes e integrados. Dessa forma, as atividades propostas buscam não apenas apresentar informações, mas também estimular os alunos a refletirem sobre elas, articulando-as com sua visão de mundo e suas experiências pessoais.

Essa abordagem torna-se ainda mais relevante no contexto do ensino de física, especialmente ao abordar temas como a relação entre cor e a temperatura das estrelas. A interdisciplinaridade e a contextualização científica, nesse caso, tornam-se ferramentas poderosas para facilitar a compreensão de conceitos abstratos, como os envolvidos na termodinâmica e na física moderna, promovendo um aprendizado potencialmente significativo.

5.1 Objetivo da UEPS

A UEPS elaborada intenciona facilitar a aprendizagem significativa sobre a relação entre a cor e temperatura das estrelas, abordando conceitos da termodinâmica e da física moderna. Acreditamos que tal unidade de ensino pode permitir que estudantes do ensino médio conectem fenômenos observáveis (cor das estrelas) com a explicação científica, ampliando sua compreensão de conceitos físicos complexos e suas aplicações.

O tema é desenvolvido com foco em estudantes do ensino médio, considerando suas características cognitivas e interesses, de forma a promover a compreensão de conceitos científicos complexos por meio de uma abordagem interdisciplinar e contextualizada.

A sequência didática elaborada está estruturada para ser realizada ao longo de 12 a 15 aulas, cada uma com duração de 50 minutos. Essa organização permite que os alunos sejam gradativamente introduzidos aos aspectos teóricos e práticos do tema, contemplando uma contextualização histórica e conceitual sobre a relação entre cor e temperatura das estrelas.

Durante as aulas, busca-se integrar experimentos práticos, discussões em grupo e recursos visuais, como gráficos e imagens astronômicas, para facilitar a aprendizagem e despertar a curiosidade dos alunos. Essa abordagem visa não apenas ao desenvolvimento de competências científicas, mas também à promoção de uma visão crítica e reflexiva sobre a ciência, conectando-a ao cotidiano e às questões de interesse dos estudantes.

Por fim, a proposta pretende contribuir para enriquecimento do ensino de física no ensino médio, ampliando as possibilidades de aplicação dos conteúdos e demonstrando a relevância da ciência no entendimento do universo.

5.2 Aspectos Sequenciais

5.2.1 Diagnóstico Inicial

O diagnóstico inicial será realizado por meio de um questionário exploratório e discussões orientadas para identificar os conhecimentos prévios dos alunos. Exemplos do cotidiano, como carvão em brasa, metais aquecidos e chamas de fogão, serão apresentados para introduzir o tema. Perguntas reflexivas, como “Por que o carvão passa a brilhar quando atinge uma determinada temperatura? Por que a cor da luz emitida muda conforme a temperatura?” e “Será que existe alguma relação desse comportamento com as estrelas?”, podem ser elencadas de forma a estimular os alunos a refletirem e conectarem conceitos iniciais, possibilitando ao professor planejar estratégias de ensino alinhadas às necessidades dos estudantes.

5.2.2 Objetivos de Aprendizagem

Os objetivos desta unidade de ensino incluem a compreensão da relação entre cor e temperatura das estrelas, a aplicação prática das Leis de Wien, a classificação espectral, além da conexão desses conceitos com fundamentos de termodinâmica e física moderna. Esses objetivos buscam promover uma aprendizagem significativa, conectando fenômenos astrofísicos a contextos do cotidiano e ampliando a compreensão dos estudantes sobre conceitos científicos.

5.2.3 Organização do Conteúdo

O conteúdo será organizado em três blocos principais, cada um com complexidade progressiva. O primeiro bloco abrange os conceitos fundamentais de radiação térmica, espectro eletromagnético e corpo negro. O segundo bloco foca na aplicação da Lei de Wien em situações práticas. O terceiro bloco explora a classificação espectral e a análise de espectros estelares. Essa organização garante que os alunos construam conhecimento de forma gradual, com uma base sólida antes de avançar para conceitos mais complexos.

5.2.4 Sequência das Atividades

A sequência das atividades foi planejada para facilitar a construção do conhecimento de forma progressiva. No primeiro bloco, será um bloco introdutório, onde serão introduzidos os conceitos de radiação térmica e espectro eletromagnético. Já no segundo bloco, será explorado os conceitos de corpo negro, com o suporte do simulador PhET “Radiação do Corpo Negro” para experimentação interativa, em que os alunos aplicarão a Lei de Wien em problemas práticos, utilizando exemplos reais, afim de descrever a relação cor-temperatura. No terceiro bloco, apresenta-se o estudo de espectroscopia e classes espectrais, que representará um nível mais complexo dessa relação aplicado às estrelas. E por fim, será realizada uma avaliação, com análise de todas as atividades, especialmente da própria UEPS.

5.2.5 Atividades de Aprendizagem

As atividades de aprendizagem incluirão o uso de simuladores interativos, como o PhET “Radiação do Corpo Negro”, para explorar graficamente a relação entre temperatura e espectro de emissão. Os alunos resolverão problemas práticos, como estimar a temperatura de uma estrela com base em sua cor, e participarão de discussões guiadas para conectar conceitos teóricos a situações cotidianas e astrofísicas. Além disso, serão realizadas atividades experimentais, como a construção de espectroscópios caseiros com materiais simples, e os estudantes produzirão pôsteres e apresentações colaborativas para sintetizar o conhecimento adquirido.

5.2.6 Estratégias de Mediação

O professor atuará como mediador durante todo o processo de ensino-aprendizagem, utilizando questionamentos dirigidos, *feedback* contínuo e discussões em grupo para orientar os alunos. A mediação também incluirá a contextualização dos conceitos por meio de exemplos reais e do uso de recursos multimídia, para ampliar o engajamento e a compreensão

dos estudantes. Essas estratégias visam promover a participação ativa e a reflexão crítica dos alunos sobre os temas abordados.

5.2.7 Avaliação Contínua

A avaliação será formativa e distribuída ao longo da unidade, com momentos específicos para verificar a aprendizagem dos alunos. Serão utilizados instrumentos como participação nas discussões, desempenho em atividades práticas e resolução de problemas. Além disso, apresentações finais em grupo servirão como uma etapa estruturada de avaliação, permitindo que os alunos consolidem e demonstrem seu entendimento. Esses momentos avaliativos possibilitam ajustes no planejamento pedagógico e para que os objetivos de aprendizagem sejam atingidos de forma mais eficaz.

5.2.8 Integração e Aplicação

As atividades propostas incentivarão os alunos a integrar e aplicar os novos conhecimentos em contextos variados. Por exemplo, os estudantes poderão comparar fenômenos cotidianos, como a emissão de radiação por objetos aquecidos, com fenômenos astrofísicos, consolidando a relação entre cor, temperatura e energia emitida. Além disso, as apresentações finais permitirão que os alunos conectem os conceitos de cor e temperatura das estrelas à termodinâmica e à física moderna, promovendo uma compreensão interdisciplinar.

5.2.9 Reflexão e Revisão

Ao final de cada bloco, haverá momentos de reflexão para que os alunos avaliem seu próprio aprendizado e discutam dúvidas ou dificuldades. A revisão dos conteúdos será realizada por meio de atividades interativas e *feedbacks* individuais e em grupo, permitindo ajustes na abordagem pedagógica conforme necessário. O encerramento da unidade incluirá uma síntese dos conceitos abordados e apresentações dos alunos, enfatizando a importância da interdisciplinaridade e da aprendizagem significativa.

Essa UEPS busca engajar os alunos na compreensão profunda e significativa do tema, aproveitando as observações astronômicas para relacioná-las com conceitos termodinâmicos e físicos, promovendo a construção de significados que vão além da memorização.

5.3 Sequência da UEPS

1 - *Situação inicial*: para introduzir o tema da aula e suscitar os conhecimentos prévios dos alunos, o professor inicia com uma atividade interativa utilizando um quadro de perguntas e ilustrações, disponível no Apêndice 1. O professor organiza a turma em grupos, distribuindo recortes temáticos com imagens e descrições de fenômenos cotidianos relacionados à emissão de luz e temperatura. Esses recortes servirão como base para discussão e reflexão, incentivando os alunos a estabelecerem conexões entre suas experiências diárias e conceitos científicos.

Cada grupo analisará o seu recorte e responderá às perguntas orientadoras, registrando suas ideias em anotações coletivas. Em seguida, os grupos apresentarão suas reflexões para a turma, e o professor atuará como mediador, promovendo um diálogo entre as respostas dos alunos e os conceitos físicos envolvidos, como radiação térmica, espectro eletromagnético e a relação entre cor e temperatura.

Para consolidar essa reflexão, o professor solicita que cada aluno produza um pequeno texto explicando os recortes tanto do seu grupo quanto dos demais, relacionando os fenômenos observados às leis físicas que os regem. Esse texto deve ser entregue ao professor juntamente as questões respondidas em grupo sobre seu recorte ao final da atividade, garantindo uma avaliação diagnóstica do nível de compreensão inicial da turma e preparando os alunos para os conteúdos que serão abordados ao longo da sequência didática. Essa etapa da UEPS ocupará uma aula.

2 - *Situações-problema*: o professor inicia a aula exibindo um vídeo de curta duração³ disponível no Tik Tok com acesso via internet. O vídeo mostra uma barra de ferro sendo aquecida até atingir a incandescência. Importante ressaltar que o vídeo não traz o conteúdo que será trabalhado, porém, mostra como moldar uma barra de ferro; as imagens serão úteis para nossa situação-problema. Após a exibição, o professor irá propor seguintes questões norteadoras: 1) O que mudou na aparência do ferro ao longo do aquecimento? 2) Por que o ferro começou a brilhar? 3) Qual a origem desse brilho? 4) Caso continuemos aquecendo, o que pode acontecer com a cor da luz emitida?

Após a exibição do vídeo, a turma entrará em uma discussão sobre o que foi observado e quais os fenômenos presentes no vídeo apresentado e realizar um quadro com as respostas para as perguntas norteadoras e possíveis comparações com fenômenos do cotidiano, conforme atividade apresentada no Apêndice 2.

³ Vídeo disponível no link: <https://vm.tiktok.com/ZMksyp5jJ/>.

O professor deve preencher esse quadro com as respostas dos alunos durante a discussão e estimular novas conexões entre conteúdo e fenômenos conhecidos. Esse método incentiva o pensamento crítico, a colaboração e a reflexão sobre conceitos fundamentais da física, conectando teoria e prática de forma dinâmica e interativa. Todas essas situações, devem ser discutidas em grande grupo com mediação docente, sem a necessidade de chegar nas respostas. Essa etapa da UEPS ocupará uma a duas aulas.

3 - *Revisão*: o professor inicia a aula com uma discussão expositiva-dialogada para revisar os conceitos já abordados nas atividades anteriores: origem da luz, radiação térmica e espectro eletromagnético. Estes conteúdos podem ser apresentados por meio do material exposto no Apêndice 3, que apresenta dois experimentos... os experimentos exploram a natureza da luz e do espectro eletromagnético. O primeiro demonstra como diferentes fontes de luz funcionam, a lâmpada incandescente emite luz por radiação térmica, enquanto a lâmpada de LED utiliza eletroluminescência. Já o segundo experimento revela que há radiações além do espectro visível, como o infravermelho que pode ser detectado com uma câmera de celular, podendo completar como apresentações de *slides*, sendo estimuladas discussões com a turma. Ao final da introdução dos novos conteúdos, serão retomados os questionamentos das aulas anteriores e o quadro elaborado na segunda aula, para que, com base em novos dados, os alunos respondam novamente as perguntas, a fim de percebermos as mudanças em suas respostas. Esta etapa da UEPS ocupará de três a quatro aulas.

4 - *Nova situação-problema, em nível mais alto de complexidade*: o professor inicia a aula com uma breve discussão sobre a relação entre a temperatura e a cor das estrelas. Os alunos devem ser divididos em pequenos grupos e devem discutir e responder à seguinte questão: “Por que o metal incandescente de um forno brilha em tons avermelhados, enquanto o Sol emite uma luz esbranquiçada? Como podemos relacionar a cor das estrelas com a sua temperatura? Como isso nos ajuda a entender a radiação emitida por elas?”. Após essa discussão, o professor solicita que cada grupo compartilhe suas ideias realizando uma discussão reflexiva.

Para explorar essas questões, o professor deve propor uma situação-problema com a utilização do simulador PhET “Radiação do Corpo Negro”⁴. Cada grupo deve manipular a temperatura no simulador e registrar suas observações sobre como a cor predominante da

⁴ O simulador pode ser acessado no site oficial do PhET através do seguinte link: https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_all.html?locale=pt_BR.

radiação muda com o aumento da temperatura. A partir dessa investigação, os alunos responderão às seguintes perguntas-problemas: 1) O que acontece com o comprimento de onda predominante da radiação emitida conforme a temperatura aumenta?; 2) Por que corpos muito quentes emitem radiação visível?; 3) Se o Sol fosse mais frio, como sua cor mudaria? E se fosse mais quente?; 4) Por que as estrelas, apesar de não serem corpos negros perfeitos, são considerados boas aproximações desse conceito?. Para melhor contextualização, o professor pode utilizar o *Livrinho 30 - Decifrando a Luz das Estrelas*⁵, disponível no site *O Universo no Meu Bolso* (TUIMP).

Na sequência, o professor deve propor uma outra situação-problema prática com a Lei de Wien, distribuindo tabelas com as temperaturas de três estrelas, e pedir aos alunos que calculem, em pequenos grupos, o comprimento de onda predominante de cada estrela utilizando a Lei de Wien, e encontrem sua classificação espectral, conforme tabela disponível no Apêndice 4. A atividade será acompanhada pelo professor, que fornecerá orientações durante a resolução dos cálculos. As perguntas de reflexão para a atividade são as seguintes: “Como a temperatura de uma estrela afeta a cor que vemos? Como isso reflete no cálculo do comprimento de onda?”. Ao final, os alunos discutirão os resultados obtidos e como a temperatura das estrelas influencia a radiação observada.

Durante a atividade, o professor apresenta a decomposição da luz do Sol, destacando a presença de linhas escuras no espectro, que indicam comprimentos de onda “faltantes”. A partir dessa observação, conduz uma discussão sobre a relação dessas linhas com a composição química do Sol, introduzindo o conceito de espectro de absorção. Em seguida, amplia a análise para os espectros de outras estrelas, comprando suas linhas espectrais e correlacionando-as com suas cores e temperaturas. Dessa forma, os alunos são levados a perceber como a espectroscopia permite a classificação estelar. Para aprofundar essa compreensão, o professor pode utilizar a imagem do espectro solar disponível no Apêndice 5 e, ao longo da explicação, apresentar a questão reflexiva: “Como a classificação espectral das estrelas se relaciona com sua cor e temperatura?”, promovendo assim a conexão mais estruturada entre os conteúdos previamente trabalhados e os novos conhecimentos.

Por fim, outra situação-problema que pode ser proposta é uma prática com o aplicativo Stellarium Web⁶. O professor deve propor que os alunos utilizem a ferramenta para observar três estrelas visíveis no céu e registrarem informações sobre suas cores, classes

⁵ O livrinho 30 - Decifrando a luz das estrelas está disponível no site através do seguinte link: <https://www.tuimp.org/pt/booklet/30>.

⁶ O Stellarium Web pode ser acessado pelo link: <https://stellarium-web.org/>.

espectrais e temperaturas. Ao realizar a atividade, os alunos deverão responder à seguinte pergunta: “Como a temperatura de uma estrela está relacionada à sua classe espectral e cor observada?”. O professor orientará os alunos durante a coleta e análise dos dados. Ao final, os alunos compartilharão suas observações e discutirão as implicações sobre a relação temperatura e radiação emitida pelas estrelas. Essa etapa da UEPS ocupará de três a quatro aulas.

5 - *Avaliação em grupo*: Esta atividade, que ocupará duas aulas, previamente informada para os alunos, consiste na construção de um espectroscópio em grupos, conforme o Anexo 6. Cada grupo deverá montar seu espectroscópio e utilizá-lo para analisar diferentes fontes de luz, como luz natural, lâmpada de LED e lâmpadas incandescentes, comparando as diferenças observadas.

Na aula seguinte, os alunos devem realizar uma apresentação em grupos que contemplem a explicação do espectroscópio, seu funcionamento e sua relação com a análise da luz das estrelas. O professor conduzirá a avaliação de forma individual, buscando identificar evidências de aprendizagem significativa. Em vez de utilizar instrumentos baseados apenas em respostas “certas ou erradas”, a avaliação será baseada na compreensão e na aplicação dos conceitos pelos alunos.

6 - *Aula expositiva dialogada integradora final*: para encerrar a sequência didática, será realizada uma aula expositiva-dialogada com o objetivo de integrar os conteúdos abordados e aprofundar a compreensão dos alunos sobre a relação entre cor e temperatura das estrelas. A aula terá início com uma retomada dos conceitos trabalhados ao longo das atividades anteriores, incentivando os alunos a refletirem sobre as descobertas feitas e os desafios superados durante as investigações. Serão revisados os mapas mentais e as anotações produzidas nas situações-problema, permitindo que os alunos compartilhem suas percepções e conexões estabelecidas ao longo do processo. Essa etapa da UEPS ocupará uma aula.

7 - *Avaliação da aprendizagem na UEPS*: a avaliação deverá estar baseada nos trabalhos produzidos pelos alunos ao longo das atividades, nas observações feitas em sala de aula e na avaliação em grupo, sendo que esta última não deverá ultrapassar 50% do peso total da avaliação, garantindo que o processo avaliativo contemple diferentes formas de evidência da aprendizagem. O foco estará na compreensão dos conceitos, na capacidade dos alunos de

estabelecer relações entre teoria e prática e na participação ativa nas discussões e atividades propostas.

8 - *Avaliação da própria UEPS*: a avaliação da própria UEPS será realizada com base nos resultados de aprendizagem obtidos pelos alunos. Caso necessário, algumas atividades poderão ser reformuladas para melhorar a compreensão dos conceitos e otimizar o processo de ensino e aprendizagem.

Total de horas-aula: 12 a 15.

6 ANÁLISE DA UEPS SOB A PERSPECTIVA DE AUSUBEL E MORIN

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proposta fundamenta-se na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel e no pensamento complexo de Edgar Morin. Acreditamos que a articulação desses referenciais teóricos permite um ensino que valoriza tanto a construção ativa do conhecimento pelos alunos quanto a interconexão dos saberes, favorecendo uma compreensão aprofundada e contextualizada dos fenômenos científicos.

6.1 Contribuições de Ausubel

A UEPS elaborada enfatiza a interação entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios dos alunos. A partir dessa abordagem, evita-se a aprendizagem mecânica, na qual os conteúdos são memorizados sem compreensão real, promovendo, em contrapartida, a aprendizagem significativa e a aprendizagem significativa crítica, que envolve reflexão ativa sobre os conceitos.

A UEPS inicia-se com uma atividade interativa que visa a captação de significados e a ativação de conhecimentos prévios. Os alunos trabalham em grupos com recortes temáticos que apresentam situações cotidianas ligadas à emissão de luz e temperatura. Essa abordagem baseia-se nos conceitos de organizador prévio e material potencialmente significativo, elementos essenciais na aprendizagem significativa ao possibilitar uma estrutura cognitiva que facilita a integração do novo conhecimento.

A interação entre os alunos nesse momento inicial também se alinha à teorias sócio-construtivas, que enfatizam a construção do conhecimento por meio da interação social e da mediação do professor. A discussão entre pares permite que os alunos negociem significados e elaborem hipóteses, favorecendo a internalização de conceitos.

As abordagens que envolvem situações-problema são essenciais para estimular a diferenciação progressiva, permitindo que os alunos ampliem e reorganizem seus esquemas cognitivos ao lidar com desafios crescentes. No segundo momento da UEPS, um vídeo sobre a incandescência do ferro é apresentado como ponto de partida para uma discussão coletiva. Durante esse processo, o professor atua como mediador, incentivando a negociação de significados entre os alunos e promovendo a interação entre diferentes tipos de conhecimento. O conhecimento declarativo refere-se à aplicação de fatos, conceitos e informações, enquanto

o conhecimento procedimental está relacionado à aplicação prática desses saberes, envolvendo habilidades e estratégias para resolver problemas e realizar tarefas.

Na fase de revisão, utiliza-se uma aula expositiva-dialogada para explorar os conceitos já abordados. Esse momento é essencial para a reconciliação integrativa, permitindo que os alunos reorganizem seus esquemas cognitivos de forma mais estruturada. O quadro elaborado anteriormente é retomado, proporcionando aos alunos uma reflexão sobre sua própria evolução cognitiva.

Para reforçar a compreensão e evitar aprendizagem mecânica, a UEPS utiliza recursos como mapas mentais, promovendo a recursividade, ou seja, o aprendizado a partir do erro, no processo de aprendizagem. Essa atividade facilita a fixação dos conteúdos ao longo das aulas e contribui para que novos conhecimentos se tornem parte de uma estrutura cognitiva mais complexa.

A segunda situação-problema introduz um nível mais elevado de complexidade, aprofundando a compreensão sobre a relação entre temperatura e cor das estrelas. A utilização do simulador PhET permite uma aprendizagem por descoberta guiada, onde os alunos exploram ativamente as relações entre temperatura e comprimento de onda predominante da radiação emitida, promovendo o desenvolvimento de conhecimento procedimental, pois os alunos aplicam conceitos teóricos na análise experimental.

Nas discussões mais avançadas que envolvem espectroscopia, discute-se a situação das linhas espectrais da luz solar. Esse momento facilita a construção de significado sobre a relação entre espectro de absorção, composição química e classificação espectral. O uso do Stellarium Web complementa a experiência, incentivando a exploração autônoma e favorecendo a aprendizagem significativa crítica.

A UEPS adota uma abordagem combinada de avaliação formativa e avaliação somativa. A construção de um espectroscópio em grupo permite que os alunos apliquem seus conhecimentos de forma colaborativa, consolidando a compreensão através da experimentação prática. Esse tipo de avaliação também reforça a dimensão procedimental do conhecimento, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades de observação e análise.

A apresentação final funciona como um momento de avaliação autêntica, em que os alunos têm a oportunidade de demonstrar seu entendimento de forma estruturada. Esse tipo de atividade incentiva a negociação de significados e a integração dos conhecimentos adquiridos ao longo da UEPS.

A aula expositiva dialogada final atua como uma revisão, promovendo uma visão integrada dos conceitos abordados. A revisão dos mapas mentais e anotações produzidas ao

longo do processo permite a reflexão sobre a trajetória de aprendizagem, facilitando a percepção de conceitos assimilados de forma significativa.

6.2 Contribuições de Morin

Edgar Morin propõe uma abordagem educacional que rompe com a fragmentação do conhecimento, enfatizando a interconexão entre os saberes e a necessidade de compreender a realidade de forma contextualizada e sistemática. A UEPS apresentada reflete esses princípios ao integrar diferentes áreas de conhecimento, como astronomia, termodinâmica e física moderna, permitindo que os alunos construam um entendimento mais amplo e significativo da relação cor e temperatura das estrelas.

Um dos pilares do pensamento complexo de Morin é a interdisciplinaridade, que se manifesta na UEPS ao articular conceitos físicos com o uso de ferramentas tecnológicas. A utilização do Stellarium Web permite que os alunos explorem fenômenos celestes de maneira prática, conectando a teoria com a observação direta do céu por meio do aplicativo. Da mesma forma, a introdução de um espectroscópio na fase avaliativa possibilita que os alunos desenvolvam uma visão integrada da luz estelar e de sua relação com a composição química das estrelas.

Além disso, a UEPS incentiva a transversalidade do conhecimento, promovendo relações entre física e outras áreas, como química (análise espectral) e a matemática (cálculo do comprimento de onda pela Lei de Wien). Essas conexões favorecem uma compreensão não linear da ciência, respeitando a complexidade inerente ao estudo do universo.

Outro princípio fundamental na teoria de Morin é o reconhecimento da incerteza e da incompletude do conhecimento, o que exige uma postura investigativa e reflexiva no ensino. Na UEPS, essa perspectiva é contemplada por meio de situações-problemas, nas quais os alunos são incentivados a formular hipóteses, discutir possíveis respostas e revisar suas concepções à luz de novas informações.

A estratégia de discussões abertas nas aulas promove um ambiente dialógico, em que os alunos são estimulados a confrontar ideias, questionar explicações e negociar significados. Esse processo reflete a caminho de construção coletiva e revisões sucessivas.

Outro aspecto central no pensamento de Morin é a necessidade de formar indivíduos capazes de refletir criticamente sobre o conhecimento e suas implicações éticas. A UEPS promove essa dimensão ao estimular os alunos a questionarem as relações entre ciência,

tecnologia e sociedade, especialmente, ao discutir como a espectroscopia permitiu avanços na compreensão do universo.

A abordagem investigativa das atividades também favorece o desenvolvimento do pensamento crítico, pois os alunos precisam justificar suas respostas, confrontar diferentes fontes de informações e avaliar a confiabilidade dos dados obtidos. Além disso, a avaliação formativa da UEPS valoriza o processo de aprendizagem e não os resultados finais, permitindo que os alunos desenvolvam autonomia intelectual e capacidade argumentativa.

Esse modelo educacional favorece não apenas a aprendizagem dos conteúdos específicos de física e astronomia, mas também o desenvolvimento de uma postura reflexiva e investigativa diante do conhecimento, preparando o estudante para lidar com a complexidade do mundo contemporâneo.

6.3 Reflexões Finais

A integração das ideias de Ausubel e Morin na construção da UEPS resultou em uma proposta didática que favorece tanto a aprendizagem significativa quanto a compreensão contextualizada e interdisciplinar dos fenômenos científicos. A combinação dessas duas abordagens fortalece a UEPS, tornando-a uma sequência didática potencialmente eficaz. A UEPS não apenas favorece a compreensão de conceitos físicos, mas também contribui para o desenvolvimento de habilidades cognitivas essenciais para o pensamento crítico e científico. Dessa forma, a UEPS se mostra coerente com uma educação que valoriza tanto o aprendizado significativo quanto a complexidade do conhecimento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal propor uma sequência didática que explora a relação entre cor e a temperatura das estrelas como ponto de partida para a abordagem de conceitos fundamentais de termodinâmica e física moderna no ensino médio. Essa proposta se fundamenta em uma articulação interdisciplinar, buscando conectar os conteúdos de física com contextos astronômicos relevantes, promovendo uma aprendizagem significativa e contextualizada.

A fundamentação teórica foi embasada nas contribuições de David Ausubel, com sua teoria da aprendizagem significativa, e de Edgar Morin, que defende uma abordagem interdisciplinar e integradora na educação. Ausubel destacou a importância dos conhecimentos prévios dos alunos para a construção de novos saberes, enquanto Morin propôs a superação da fragmentação do conhecimento por meio de conexões entre diferentes áreas. Esses aportes teóricos foram essenciais para o desenvolvimento de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), planejada para não apenas apresentar conceitos, mas também promover reflexões críticas e práticas que envolvessem os estudantes de maneira ativa no processo de aprendizagem.

A sequência didática proposta foi estruturada para proporcionar uma experiência educacional que considerasse as curiosidades naturais dos alunos sobre o universo, alinhando essas motivações intrínsecas com conteúdos formais do currículo escolar. A abordagem contextualizada buscou destacar a relevância científica e cultural do estudo das estrelas, fomentando a valorização da ciência como parte da compreensão do mundo e do enfrentamento de desafios contemporâneos.

O primeiro objetivo específico do trabalho foi identificar os conceitos de termodinâmica e física moderna que podem ser abordados utilizando a astronomia: este objetivo foi alcançado ao abordar a relação entre a cor das estrelas e sua temperatura, um fenômeno que conecta diretamente com os conceitos de termodinâmica, como a radiação do corpo negro e a transferência de energia, e com a física moderna, através da aplicação da espectroscopia. Para facilitar a compreensão, a sequência didática envolveu o uso de simulador PhET “Radiação do Corpo Negro”, que permite aos alunos observar de maneira prática como a temperatura afeta a cor da radiação emitida por um corpo. Além disso, a Lei de Wien foi introduzida, permitindo calcular o comprimento de onda predominante de diferentes estrelas, o que ilustra como as leis da física moderna são aplicadas à astronomia.





O segundo objetivo específico foi elaborar atividades e materiais didáticos que relacionem a cor e temperatura das estrelas com termodinâmica e física moderna: para esse objetivo, foram desenvolvidas atividades práticas e interativas, como a análise do vídeo sobre a barra de ferro aquecida, que serviu para ilustrar conceitos de radiação térmica e como ela se relaciona com a temperatura e a cor da radiação emitida. A atividade com simulador PhET, aplicativo Stellarium Web e o uso do espectroscópio como ferramenta de observação também serviam como recursos para conectar os conteúdos de física e astronomia de maneira dinâmica e acessível. A elaboração de materiais didáticos foi complementada por tabelas para os cálculos com a Lei de Wien, incentivando os alunos a aplicar os conceitos de forma prática e interativa.


O terceiro objetivo específico foi propor uma sequência didática sobre a temática, estruturada em várias etapas, começando com uma identificação de conhecimentos prévios e introdução ao tema, utilizando recortes de fenômenos do cotidiano relacionados à luz e temperatura, seguida por uma análise de situações-problema mais complexas, como a relação entre cor e temperatura das estrelas. A sequência inclui atividades investigativas, como a utilização de simuladores, a resolução de cálculos com a Lei de Wien e observações com o aplicativo Stellarium Web. Com o objetivo de promover uma aprendizagem ativa e reflexiva, o professor deve se atentar a uma constante mediação com os alunos, com a integração entre teoria e prática e estimulando a participação ativa dos alunos.

Ao final deste estudo, espera-se que a proposta apresentada contribua como um modelo inspirador para futuros projetos pedagógicos, incentivando a criação de práticas que integrem diferentes áreas do conhecimento e utilizem contextos significativos para promover aprendizagem mais profundas e duradouras. Além disso, a proposta reforça a importância de investir em abordagens educacionais inovadoras que dialoguem com os interesses e desafios da sociedade atual, tornando o ensino mais atrativo, inclusivo e transformador. Para potencializar suas contribuições e promover melhorias, é de suma importância a implementação dessa proposta no ambiente formal de ensino.

8 APÊNDICES

8.1 Apêndice 1

Recortes	Perguntas para reflexão	Imagens
<p>Um pedaço de carvão inicialmente preto começa a brilhar em vermelho à medida que é aquecido. Quando mais calor se aplica, ele fica mais brilhante e com uma tonalidade mais clara.</p>	<p>1 - Por que o carvão passa a brilhar quando atinge uma determinada temperatura? Por que a cor da luz emitida muda conforme a temperatura?</p> <p>2 - Será que existe alguma relação desse comportamento com as estrelas?</p>	
<p>Um ferreiro aquece um pedaço de metal, que inicialmente é cinza e opaco, até ele brilhar em tons alaranjados e depois brancos.</p>	<p>1 - Por que o metal passa a emitir luz visível quando aquecido?</p> <p>2 - O que a cor do metal pode nos dizer sobre o que está acontecendo com ele?</p>	
<p>A chama azul do fogão esquenta uma panela. Durante a combustão incompleta, podem aparecer áreas alaranjadas na chama.</p>	<p>1 - Por que o filamento só brilha quando ligado?</p> <p>2 - Como vocês acham que a cor do filamento se relaciona à energia que ela emite?</p>	
<p>Os fogos de artificios emitem diferentes cores quando queimam. Metais como sódio (amarelo), cobre (vermelho) e estrôncio (vermelho) estão presentes.</p>	<p>1 - O que provoca a emissão de luz com cores diferentes em cada tipo de fogo?</p> <p>2 - Como isso se relaciona à temperatura ou composição do material queimado?</p>	

<p>Algumas estrelas no céu têm cores diferentes, como o brilho avermelhado de Betelgeuse e o azul de Rigel.</p>	<p>1 - O que as diferentes cores das estrelas podem indicar sobre suas características? 2 - Como a cor das estrelas pode nos ajudar a entender suas temperaturas e distâncias?</p>	
---	--	---

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

8.2 Apêndice 2

Questões norteadoras	Resposta dos alunos	Exemplos semelhantes no cotidiano (abaixo são sugestões, é preferível que os alunos preencham)	Conceitos relacionados
1) O que mudou na aparência do ferro ao longo do aquecimento?		Resistência de forno elétrico ficando avermelhada quando ligada	Mudança de cor com a temperatura
2) Por que o ferro começou a brilhar?		Brasa de carvão em churrasqueira	Radiação térmica e emissão de luz
3) Qual a origem desse brilho?		Lâmpadas incandescentes funcionando pelo mesmo princípio	Radiação Térmica
4) Caso continuarmos aquecendo, o que pode acontecer com a cor da luz emitida?		Estrelas com cores diferentes conforme sua temperatura	Espectro eletromagnético e cor associado a temperatura

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

8.3 Apêndice 3

Experimento 1: A Luz e Suas Origens

Objetivo: Demonstrar como diferentes objetos podem emitir luz devido à sua temperatura e como a luz pode ser gerada por diferentes processos físicos.

Materiais necessários: Uma lâmpada incandescente e uma lâmpada LED.

Ligue a lâmpada incandescente e a lâmpada de LED e observe a diferença na luz emitida. Pergunte aos alunos “Por que a lâmpada incandescente esquenta e a LED não?”. Após a breve discussão sobre o questionamento, explique sobre, a lâmpada incandescente emitir luz porque o filamento esquenta (radiação térmica), enquanto a LED emite luz por um processo eletrônico chamado eletroluminescência.

Experimento 2: Detecção do infravermelho

Objetivo: Demonstrar que há no espectro eletromagnético, “luzes” que não são visíveis a olho nu.

Materiais necessários: Um controle remoto e uma câmera (podemos utilizar a câmera do celular).

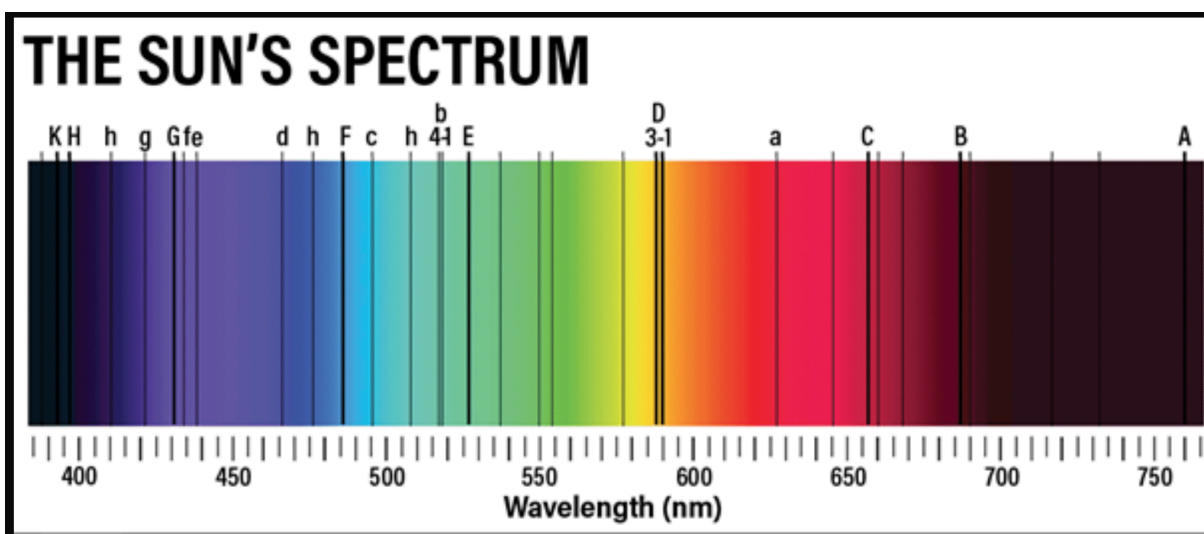
Ligue a câmera do celular em direção a parte do controle que transmite os comandos, observe pela a câmera a aparição da radiação infravermelha. Podemos utilizar este simples experimento para discutir a emissão de baixas energias, confirmando que nossa visão não é capaz de perceber toda a gama de espectro eletromagnético, revelando que existem radiações fora do nosso alcance visível.

8.4 Apêndice 4

Estrela	Temperatura (K)	Classificação espectral	Comprimento de Onda predominante (nm)
Sol	5.778		$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T}$
Rigel	11.000		$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T}$
Betelgeuse	3.500		$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T}$

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

8.5 Apêndice 5



Fonte: O espectro da luz do sol, Space Today, 2023.

8.5 Apêndice 6

Atividade detalhada: Construção de um espectroscópio com DVD

1. Materiais necessários:

Um pedaço de papelão ou uma caixa pequena (exemplo: caixa de sapato).

Um pedaço de DVD (lado reflexivo).

Tesoura ou estilete.

Fita adesiva ou cola quente.

Folha de papel preta ou fita isolante preta.

Lanterna (ou outra fonte de luz)

Régua

Caneta ou lápis para marcar.

2. Explicação da estrutura básica do espectroscópio:

A caixa servirá como câmara escura.

O DVD atuará com uma grade de difração para dispersar a luz.

A fenda na entrada controlará a passagem de luz.

3. Montagem da estrutura básica:

Com a régua, marcar o centro de um dos lados da caixa (escolha o menor lado para entrada de luz)

Cortar uma abertura de aproximadamente 2cm x 0,5cm (o tamanho da fenda influencia a nitidez do espectro).

Cubra as laterais da abertura com fita preta para evitar a entrada de luz não desejada.

4. Preparação do difrator:

Com o DVD, corte um pedaço quadrado de aproximadamente 5cm x 5cm (use o estilete com cuidado).

Remover a camada protetora do DVD, expondo o lado reflexivo. Isso pode ser feito com fita adesiva, puxando suavemente.

Insira o pedaço do DVD em um dos lados inclinados da caixa, formando um ângulo de aproximadamente 45 graus em relação a fenda. fixe com fita adesiva ou cola quente.

5. Finalização e ajustes:

No lado oposto à fenda, corte um pequeno quadrado de aproximadamente 2cm x 2cm para servir de janela de observação.

Importante cobrir qualquer fresta da caixa com fita preta ou papel preto para bloquear a luz externa.

Teste o modelo apontando a lanterna para a fenda e observe o espectro pela janela de observação.

9 REFERÊNCIAS

ASTROPONTOS. **De qual cor realmente são as estrelas?**. Astropontos, 2021. Disponível em: <https://astropontos.org/2021/01/28/de-que-cor-realmente-sao-as-estrelas>. Acesso em: 5 set. 2024.

AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000.

AUSUBEL, David Paul. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 2003.

CAVALCANTE, Ricardo Garcia. **Dificuldades na implementação do ensino de astronomia nas escolas públicas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.34, n. 2, p.65-75, 2012.

CANNON, Annie Jump; PICKERING, Edward Charles. **The Henry Draper Catalogue**. Annals of Harvard College Observatory, v. 91 - 100, 1918 - 1924.

CARROLL, B. W.; OSTLIE, D. A. **An Introduction to Modern Astrophysics**. 2. ed. Cambridge University Press. 2017.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vítor. **Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CRESWELL, John W. **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 4th ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2014.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes. **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Papirus, 1991.

FERRARI, A.; TEIXEIRA, A. **Astronomia e Astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

FRENCH, A. P. **An introduction to Quantum Physics**. London: W. W. Norton, 1971.

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

GRAY, R. O.; CORBALLY, C. J. **Stellar Spectral Classification**. Princeton: Princeton University Press, 2009.

HALLIDAY, David; RESNECK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentals of Physics**. 10th ed. Hoboken: Wiley, 2016.

HARTMANN, L. **Accretion processes in Star Formation**. Cambridge University Press, 2009. p. 22-25.

HECHT, E. **Optics**. 5. ed. Boston: Pearson, 2016.

HELOU; GUALTER; NEWTON. **Tópicos de Física**. vol. 03, 16 Ed. São Paulo. Editora Saraiva. 2012

HELLOU, G.; GUALTER, M.; NEWTON, J. **Cosmological and Astrophysical Concepts**. Educational Materials, 2012.

KRUMHOLZ, M. R. et al. **Star cluster formation in massive gas clouds**. Science, v. 323. n. 5915, p. 754-757, 2009.

MOORE, P. **The History of Astronomy**. New York: Crescent Books, 1984.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teoria da aprendizagem significativa: Implicações para o ensino de ciências**. São Paulo: Centauro, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elvira C. de M. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2001.

MORIN, Edgar. **A Cabeça Bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento.** 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro.** 2. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

MORIN, Edgar. **A religião dos saberes: o desafio do século XXI.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

MORIN, Edgar. **A via para o futuro da humanidade.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

MOURA, Rafael. **Desafios e possibilidades do ensino de astronomia na educação básica.** Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática, v. 39, n. 1, p. 100-110, 2018.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e astrofísica.** São Paulo: Livraria da Física, 2009.

RUSSELL, H. N. **Relations Between the Spectra and Other Characteristics of the Stars.** Popular Astronomy, v. 22, p. 275 - 294, 1914.

SCALVI, Rosa et. al. **Importância da astronomia na formação científica e cultural dos alunos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, n. 1, p. 40-50, 2020.

SECCHI, A. **Le Stelle: Saggio di astronomia Siderale.** Roma: Tipografia delle Belle Arti, 1877.

SILVA, João Carlos. **Recursos didáticos e tecnológicos no ensino de astronomia nas escolas públicas.** São Paulo: Atlas, 2015.

TABELA PERIÓDICA. **Tabela periódica com espectros de emissão atômica dos elementos.** [s.d.]. Disponível em: <https://www.tabelaperiodica.org/tabela-periodica-com-espectros-de-emissao-atmica-dos-elementos/>. Acesso em: 05 set. 2024.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Physics for Scientist and Engineers**. 7th ed. New Yorkk: W. H. Freeman, 2020.

UNIVESP. **As linhas espectrais**. YouTube, 2014b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9BfTB1DxaJc&t=174s>. Acesso em: 05 set. 2024.

UNIVESP. **Classificação espectral:a temperatura das estrelas**. YouTube, 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=H6C0x4P1tIs&t=1083s>. Acesso em: 05 set. 2024.

VILLA TE. **Corpo Negro**. Disponível em https://villate.org/eletricidade/luz/img/corpo_negro.png. acesso em 16 dez. 2024.

ZIMAN, J. **Principles of the Theory of Solids**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.