



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA**

JOSÉ BRUNO DOS SANTOS BARBOSA

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES
TÉRMICAS: Evidências em Modelos Mentais e Subsunções**

Manaus – AM
2021



SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES TÉRMICAS: Evidências em Modelos Mentais e Subsunçores

José Bruno dos Santos Barbosa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas / Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas no curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) Polo 4, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Dr. Marcel Bruno Pereira Braga

Manaus – AM
2021

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES
TÉRMICAS: Evidências em Modelos Mentais e Subsunçores**

José Bruno dos Santos Barbosa

Orientador:
Dr. Marcel Bruno Pereira Braga

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas / Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas no curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) Polo 4, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Marcel Bruno Pereira Braga (Presidente) -
UFAM

Dr. Igor Tavares Padilha (Membro interno) -
UFAM

Dr. Frederico Alan de Oliveira Cruz (Membro
externo) - UFRRJ

Manaus – AM
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B238s Barbosa, José Bruno dos Santos.
Sequência de ensino investigativo sobre as propriedades térmicas:
evidências em modelos mentais e subsunçores / José Bruno dos Santos
Barbosa. – Manaus, 2021.
303 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas,
Campus Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Marcel Bruno Pereira Braga.

1. Ensino de física. 2. Termodinâmica. 3. Propriedade térmica. 4.
Sequência de ensino. I. Braga, Marcel Bruno Pereira. (Orient.) II. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Universidade
Federal do Amazonas. V. Título.

CDD 536.7

Dedico a
Maria Clara Pedreira Barbosa
Minha amada filha.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, mulher, companheira e tudo mais, Alynne de Souza Pedreira por esses anos de convivência e companheirismo.

A todos os meus amigos e familiares que mesmo à distância, sempre torceram por mim. Minha mãe Maria do Socorro, meu pai Francisco Babosa (in memoriam) e meus irmãos, Brennda e Junior.

Aos colegas da turma de 2019, Estanislau Sant'anna, Paulo Tavares, Paulo Roberto, Priscila Tibúrcio, Sílvia Andrade e Tamiles Moreira. Pela parceira durante o curso inteiro e provavelmente depois do curso.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física polo 4 por estarem a frente desse árduo trabalho em formar novos mestres no estado do Amazonas, em especial ao meu orientador Dr. Marcel Bruno Pereira Braga.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES TÉRMICAS: Evidências em Modelos Mentais e Subsunções

José Bruno dos Santos Barbosa

Orientador:

Dr. Marcel Bruno Pereira Braga

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas / Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas no curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) Polo 4, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A presente dissertação trata de uma proposta de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para a compreensão das propriedades térmicas, baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e no Modelo Mental de Johnson-Laird buscando atender as necessidades para uma compreensão fenomenológica e de aquisição de conceitos entre as causalidades no mundo microscópico e as percepções macroscópicas. A aplicação da SEI foi realizada em sala de aula (modalidade presencial) durante o período de pandemia da COVID-19, de modo que ocorreu a alternância da presença dos alunos em sala, ou seja, metade dos alunos estava presente em um dia e a outra metade dos alunos frequentava no dia seguinte. Para avaliar a SEI foram elaborados vários testes conceituais, como o teste pictórico e um instrumento denominado de Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT) a partir da seleção de itens pertinentes de outros testes conhecidos na literatura que avaliam o conhecimento térmico. A partir da SEI foi elaborado um material de apoio para o professor, um produto educacional, com todas as orientações metodológicas para a implementação em qualquer escola. Os resultados mostraram que a SEI tem potencial, são promissores para contribuir com a aprendizagem. Houve uma melhora significativa na representação dos modelos mentais dos alunos, assim como uma evolução no número de acertos no TCPT, aprimorando o perfil do aluno.

Palavras-chave: Ensino de Física. Termodinâmica. Propriedade térmica. Sequência de ensino.

ABSTRACT

INVESTIGATIVE TEACHING SEQUENCE ON THERMAL PROPERTIES: Evidence in Mental Models and Subsumers

José Bruno dos Santos Barbosa

Supervisor:
Dr. Marcel Bruno Pereira Braga

Master's dissertation presented to the Graduate Program of the Federal University of Amazonas / Federal Institute of Education, Science and Technology of Amazonas in the Professional Master's Degree in Physics Education (MNPEF) Polo 4, as part of the requirements for obtaining the title of Master in Physics Teaching.

This dissertation deals with a proposal for an Investigative Teaching Sequence (ITS) for the understanding of thermal properties, based on David Ausubel's Theory of Meaningful Learning and Johnson-Laird's Mental Model, seeking to meet the needs for a phenomenological and phenomenological understanding. acquisition of concepts between causalities in the microscopic world and macroscopic perceptions. The application of the ITS was carried out in the classroom (in-person mode) during the COVID-19 pandemic period, so that the presence of students in the classroom alternated, that is, half of the students were present in one day and the another half of the students attended the next day. To assess the ITS, several conceptual tests were developed, such as the pictorial test and an instrument called Test on Understanding Thermal Properties (TUTP) from the selection of relevant items from other tests known in the literature that assess thermal knowledge. Based on the ITS, support material for the teacher was created, an educational product, with all the methodological guidelines for implementation in any school. The results showed that ITS has the potential, they are promising to contribute to learning. There was a significant improvement in the representation of students' mental models, as well as an evolution in the number of correct answers in TUTP, improving the student's profile.

Keywords: Teaching Physics. Thermodynamics. Thermal property. Teaching sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de sistemas termodinâmicos. Em (a) Sistema Aberto. Em (b) Sistema Fechado e (c) Sistema Isolado	9
Figura 2 – Processo reversível e irreversível. Em (a) um bloco de gelo derrete irreversivelmente. Em (b) um bloco de gelo pode ser derretido de modo reversível.....	11
Figura 3 – Em (a) distância entre moléculas. Em (b) quando $r < r_0$ e $F_r > 0$ a força é repulsiva, quando $r > r_0$ e $F_r < 0$ a força entre as moléculas é atrativa, numa distância $r = r_0$ a energia potencial é mínima e a força entre elas são nulas.....	13
Figura 4 – Volume de uma grama de água no intervalo de 0 °C a 100 °C	14
Figura 5 – O cloreto de sódio está arrumado com os íons de Na ⁺ e Cl ⁻ – nos pontos da rede cúbica simples. Cada íon possui como vizinhos mais próximos seis outros íons com cargas opostas.	15
Figura 6 – Colisões de moléculas de gás. Em (a) colisão de uma molécula com a parede de recipiente, mostrando as componentes da velocidade. Em (b) Superfície na parede do recipiente onde ocorrerá o choque das moléculas de gás	17
Figura 7 – Livre caminho médio de uma molécula de gás.....	19
Figura 8 – Esquema mostrando o calor Q sendo adicionado ao sistema, modificando a energia interna e o sistema realizando um trabalho W	21
Figura 9 – Esquema de um pistão contendo gás. Em (a) o gás é comprimido por uma pressão externa. Em (b) o gás move o embolo na direção dz.....	22
Figura 10 – Diversas formas movimento molecular e do elétron que contribuem para a energia sensível.....	24
Figura 11 – Diagrama esquemático de uma máquina térmica e de um refrigerador.....	26
Figura 12 – Mistura de tinta e água	28
Figura 13 – Dependência das variações nas funções de Gibbs e na entalpia	29
Figura 14 – Modelo de uma molécula diatômica em forma de haltere	32
Figura 15 – Disposição dos átomos em diferentes fases: a) em um sólido os átomos estão em posições relativamente fixas, b) na fase líquida os átomos formam grupos e estão mais separados e c) na fase gasosa os átomos são dispersos formando uma nuvem.	35
Figura 16 – Características de uma mudança de fase. Em (a) função de Gibbs, em (b) a entropia, em (c) o volume e em (d) a capacidade térmica (ou capacidade calorífica) a pressão constante. Todas em função de T.	37
Figura 17 – Digrama típico P-T, mostrando regiões de pressão e temperatura com vários pontos e as linhas que caracterizam as transições entre os estados	38
Figura 18 – Diagrama P-V para uma substância pura. Em (a) substância que se contrai ao se solidificar. Em (b) substância que aumenta de volume ao se solidificar.	40
Figura 19 – Diagrama de fases sólido, líquido e gasoso. Superfície P-V-T para um gás que obedece às condições ideais.....	41
Figura 20 – Faixa de condutividade térmica de diversos materiais em temperatura ambiente	42
Figura 21 – Condução de calor $Q = d'Q/dt$ numa área A de uma seção de um material	43
Figura 22 – Curvas típicas que mostram a variação da condutividade térmica com a temperatura	44
Figura 23 – O aprendizado pode alternar entre mecânico e significativo. A criatividade resulta de níveis muito altos de aprendizado significativo	48
Figura 24 – Mapa de conceitos para a água mostrando conceitos relacionados a ela. Incluindo conceitos específicos	52

Figura 25 – Mapa conceitual com uma configuração diferente do anterior, mas utiliza os mesmos conceitos	53
Figura 26 – Design geral da pesquisa.....	67
Figura 27 – Design da pesquisa. Organização da aplicação dos testes nas turmas	68
Figura 28 – Expectativa de resposta do item A na primeira parte.....	71
Figura 29 – Expectativa de resposta do item B na primeira parte.....	72
Figura 30 – Expectativa de resposta do item A na segunda parte	72
Figura 31 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Sólido, fusão e líquido	73
Figura 32 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Líquido, vaporização e gás.....	73
Figura 33 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Sólido, sublimação e gás.....	74
Figura 34 – Programa Estados da Matéria. Tela principal do software, a esquerda a aba dos estados físicos a direita aba da mudança de fase	79
Figura 35 – Interface do software Formas de Energia e Transformações. Tela da introdução	80
Figura 36 – Tela principal do Molecular Workbench. Onde pode ser escolhido a simulação desejada	81
Figura 37 – Tela de simulação do software Energy2D	81
Figura 38 – Tela de apresentação da Aula 1 (slide)	85
Figura 39 – Tela de edição do vídeo.	85
Figura 40 – Momento da aplicação do Teste Pictórico em sala	86
Figura 41 – Interface Sistemas do software. Nessa parte é possível simular diversas modalidades de energia	87
Figura 42 – Apresentação da Aula 2, estados da matéria.....	88
Figura 43 – Aula 2, apresentação de Slide na sala de aula.....	88
Figura 44 – Programa Formas de Energia e Transformações. Tela de introdução com interações com materiais sólidos e líquidos. A simbologia de energia representada por blocos com a letra E.....	89
Figura 45 – Interface do programa Formas de Energia e Transformações. Aquecimento dos líquidos água e azeite com uso do termômetro	90
Figura 46 – Programa Estados da Matéria. Em (a) molécula de água no estado sólido, (b) molécula de água no estado líquido e (c) molécula de água no estado gasoso.....	91
Figura 47 – Programa Formas de Energia e Transformações. Formação de vapor de água.....	92
Figura 48 – Interface do programa Molecular Workbench. Interatividade Mudança de Fase modificada.....	93
Figura 49 – Interface do programa Molecular Workbench. A esquerda a simulação da movimentação atômica dos gases e a direita a movimentação atômica dos líquidos.....	93
Figura 50 – Interface do programa Molecular Workbench. Movimentação atômica dos sólidos.....	94
Figura 51 – Programa Molecular Workbench. Interação intermolecular com ênfase na força de atração.....	95
Figura 52 – Interface do programa Molecular Workbench. A esquerda a representação de um líquido quente e um sólido frio separados por uma barreira. A direita a simulação da mistura dos materiais e a mudança de fase do sólido	95
Figura 53 – Programa Molecular Workbench. Aquecimento de um cristal. A esquerda cristal no estado sólido. A direita cristal após o aquecimento, o gráfico mostra a energia recebida e a variação de temperatura.....	96

Figura 54 – Programa Molecular Workbench. Simulação da evaporação em dois modelos.....	97
Figura 55 – Programa Molecular Workbench. Simulação dos estados da matéria em 3D	98
Figura 56 – Programa Energy2D. Simulação da propagação de calor em materiais com calor específico diferentes	98
Figura 57 – Programa Energy2D. Simulação da condução de calor num único material com geometria diferente	99
Figura 58 – Programa <i>Energy2D</i> . Simulação da condução de calor em diversos materiais com condutividades térmicas diferentes	99
Figura 59 – Programa Molecular Workbench. Visão molecular da propagação de calor. O distanciamento das moléculas interfere na condução do calor	100
Figura 60 – Simulação em detalhe mostrando o distanciamento molecular. As moléculas afastadas quase não mudam de cor.....	100
Figura 61 – Slide com as concepções de Mapa e Conceito.....	101
Figura 62 – Slide com o primeiro mapa conceitual para a água	101
Figura 63 – Slide com o segundo mapa conceitual para a água.....	102
Figura 64 – Distribuição de acertos (escore) dos respondentes de todas as séries do ensino médio.....	105
Figura 65 – Quantidade percentual de acertos por item. Considerando todos os alunos do ensino médio.....	106
Figura 66 – Distribuição percentual do número de acertos (escore) dos alunos do 1º ano do ensino médio (Pré-teste)	107
Figura 67 – Distribuição percentual do número de acertos (escore) dos alunos do 2º ano e 3º ano do ensino médio (Pós-teste)	108
Figura 68 – Diferença entre os percentuais do pós-teste e do pré-teste. A reta mostra o crescimento no número de acertos	108
Figura 69 – Quantidade percentual de acertos por item dos respondentes do pré-teste. Alunos do 1º ano do ensino médio.....	109
Figura 70 – Quantidade percentual de acertos por item dos respondentes do pós-teste. Alunos do 2º ano e do 3º ano do ensino médio.....	110
Figura 71 – Ganho percentual entre o pós-teste e o pré-teste.....	110
Figura 72 – Percentual da quantidade total de erros por item	111
Figura 73 – Distribuição dos escores da primeira aplicação do TCPT no segundo ano do ensino médio.....	112
Figura 74 – Distribuição dos escores da segunda aplicação do TCPT no segundo ano do ensino médio.....	112
Figura 75 – Percentual de acertos de cada item do TCPT nas duas aplicações. Alunos do segundo ano do ensino médio.....	113
Figura 76 – A esquerda, percentual da disposição em realizar o teste. A direita, percentual do nível de compreensão.....	114
Figura 77 – A parte superior corresponde a aplicação na aula 1 e na parte inferior a aplicação na aula 4.....	127
Figura 78 – Representação de um aluno do calor entre dois corpos	128
Figura 79 – Representação de um aluno da mistura entre água e cloreto de sódio.....	129
Figura 80 – Representação pictórica de um aluno para as fases da matéria e suas mudanças. Lado esquerdo realizado na aula 1 e lado direito na aula 4.....	130
Figura 81 – Mapa Conceitual de referência, usado em sala de aula.....	132
Figura 82 – Mapa Conceitual de maior pontuação.....	134
Figura 83 – Mapa Conceitual de menor pontuação.....	135

Figura 84 – Distribuição dos escores.....	136
Figura 85 – Percentual de acertos de cada item do TCPT.....	137
Figura 86 – Percentual da disposição em realizar o teste.....	138
Figura 87 – Percentual do nível de compreensão sobre as propriedades térmicas.....	138
Figura 88 – Percentual de acertos nas três aplicações do TCPT	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Sistemas cristalinos básicos, com a geometria básica de cada célula. Cada vértice indica um átomo ou um íon.	14
Quadro 2 – Processo de Assimilação	48
Quadro 3 – Processo de Assimilação Obliteradora.....	49
Quadro 4 – Competências específicas e habilidades contempladas na BNCC.....	77
Quadro 5 – Organização das aulas da SEI	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução do Percentual de alunos por Padrão de Desempenho no terceiro ano do Ensino Médio.....	2
Tabela 2 – Alguns valores de calor específico em sólidos, líquidos e gases.....	33
Tabela 3 – Calor Latente de fusão e vaporização de algumas substâncias.....	39
Tabela 4 – Composição do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT).....	69
Tabela 5 – Concepções dos itens do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT).....	70
Tabela 6 – Concepções dos itens com maior percentual de acertos.....	106
Tabela 7 – Concepções dos itens com maior percentual de acertos nos dois grupos..	109
Tabela 8 – Concepções dos itens com maior percentual de acertos nas duas aplicações.....	113
Tabela 9 – Escore médio da disposição em realizar o teste.....	115
Tabela 10 – Escore médio do nível de compreensão das propriedades térmicas.....	115
Tabela 11 – Distribuição dos itens em relação ao Índice de Dificuldade (ID), primeira aplicação.....	116
Tabela 12 – Distribuição dos itens em relação ao Índice de Dificuldade (ID), na segunda aplicação.....	116
Tabela 13 – Distribuição dos itens em relação a Discriminação (IPD), primeira aplicação.....	117
Tabela 14 – Distribuição dos itens em relação a Discriminação (IPD), segunda aplicação.....	117
Tabela 15 – Distribuição do coeficiente bisserial dos itens.....	118
Tabela 16 – Distribuição dos erros dos itens por conceito físico.....	118
Tabela 17 – Respostas objetivas parte 1 da ficha de atividades da aula 2, percentual de respostas.....	120
Tabela 18 – Respostas objetivas parte 2 da ficha de atividades da aula 2, percentual de respostas.....	121
Tabela 19 – Respostas subjetivas parte 3 da ficha de atividades da aula 2, percentual de respostas.....	121
Tabela 20 – Respostas subjetivas parte 1 da ficha de respostas, aula 3.....	122
Tabela 21 – Respostas subjetivas parte 2 da ficha de respostas, aula 3.....	123
Tabela 22 – Respostas subjetivas parte 3 da ficha de respostas, aula 3.....	124
Tabela 23 – Respostas subjetivas parte 4 da ficha de respostas, aula 3.....	125
Tabela 24 – Respostas do item A da primeira parte do teste pictórico, sobre os estados físicos da água.....	126
Tabela 25 – Respostas do item B da primeira parte do teste pictórico, sobre o calor de um corpo para outro.....	127
Tabela 26 – Respostas do item A da segunda parte do teste pictórico, sobre a mistura de água e cloreto de sódio.....	128
Tabela 27 – Respostas do item B da segunda parte do teste pictórico, processos de mudança de fase.....	129
Tabela 28 – Grade de pontuação para correção do mapa conceitual.....	131
Tabela 29 – Pontuação dos alunos na construção do Mapa Conceitual.....	133
Tabela 30 – Concepções dos itens com percentual de acertos maior que a média.....	137
Tabela 31 – Escores da disposição em realizar o teste.....	138
Tabela 32 – Escore do nível de compreensão sobre as propriedades térmicas.....	139
Tabela 33 – Distribuição dos itens em relação ao ID.....	139

Tabela 34 – Distribuição dos itens em relação à Discriminação (IPD).....	140
Tabela 35 – Distribuição do coeficiente bisserial (r_{biss}).....	140
Tabela 36 – Tabela comparativa entre os IDs nas três aplicações e o percentual ideal	141
Tabela 37 – Comparativo do ID nas três aplicações.....	142

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
JUSTIFICATIVA	2
PROBLEMATIZAÇÃO	4
OBJETIVOS	5
Geral	5
Específicos.....	5
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
CAPÍTULO 1 – APROFUNDAMENTO DO CONHECIMENTO FÍSICO.....	8
1.1 – TERMODINÂMICA.....	8
1.1.1 – Introdução	8
1.1.1.1 – Sistema Termodinâmico	9
1.1.1.2 – Equilíbrio e Processos	10
1.1.1.3 – Equação de Estado.....	11
1.1.2 – Modelo Cinético-Molecular: Propriedades Moleculares da Matéria	12
1.1.2.1 – Sólido e Líquido	14
1.1.2.2 – Gases.....	15
1.1.2.3 – Condensado de Bose-Einstein, Condensado Fermiônico e o Plasma..	19
1.1.3 – Leis da Termodinâmica	20
1.1.3.1 – Lei Zero	20
1.1.3.2 – Primeira Lei	20
1.1.3.3 – Segunda Lei da Termodinâmica	25
1.1.3.4 – Terceira Lei.....	28
1.1.4 – Mudanças de Fase da Matéria e as Propriedades Térmicas.....	30
1.1.4.1 – Capacidade Térmica e Calor específico	30
1.1.4.2 – Transição de Fase da Matéria	35
1.1.4.3 – Condutividade Térmica	41
CAPÍTULO 2 – PSICOLOGIA EDUCACIONAL E A DIDÁTICA DA FÍSICA	45
2.1 – PSICOLOGIA EDUCACIONAL	45
2.1.1 – David Ausubel e a Teoria da aquisição e retenção significativa de conceitos	45
2.1.1.1 – O Conhecimento Prévio e a Assimilação	46
2.1.1.2 – A Facilitação da Aprendizagem Significativa.....	49
2.1.1.3 – Organizador prévio	50
2.1.1.4 – Mapa Conceitual.....	51
2.1.2 – Johnson-Laird e a Teoria dos Modelos Mentais.....	54
2.1.2.1 – Modelos Mentais	54
2.1.3 – Aproximações entre a perspectiva de David Ausubel e Johnson-Laird	59
2.2 – DIDÁTICA DA FÍSICA	61
2.2.1 – Ensino Por Investigação	61
2.2.1.1 – Sequência de Ensino Investigativo	63
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA	66
3.1 – TESTE SOBRE A COMPREENSÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS..	69
3.2 – TESTE PICTÓRICO SOBRE AS FASES DA MATÉRIA E SUAS MUDANÇAS	70
3.2.1 – Primeira Parte	71

3.2.2 – Segunda Parte	72
CAPÍTULO 4 – A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	75
4.1 – OS MODELOS DIDÁTICOS VIRTUAIS – SIMULADORES	79
4.2 – RECURSO AUDIOVISUAL – VÍDEO	82
4.3 – IMPLEMENTAÇÃO, ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA SEI	82
4.3.1 – Aula 1: Início das atividades e Organização Prévia	84
4.3.2 – Aula 2: Calor e os estados da matéria	87
4.3.3 – Aula 3: Mudança de Fase da matéria: Perspectiva molecular	92
4.3.4 – Aula 4: Calor Específico e Condutividade Térmica	98
4.3.5 – Aula 5: Mapa Conceitual	101
4.3.6 – Aula 6: Aplicação do TCPT	103
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS	104
5.1 – RESULTADOS PRELIMINARES DO TCPT – TESTE PILOTO	104
5.1.1 – Análise comparativa pré-teste e pós-teste na primeira aplicação	106
5.1.2 – Análise das duas aplicações – Turmas do segundo ano do ensino médio	111
5.2 – RESULTADOS FINAIS – APLICAÇÃO DA SEI	119
5.2.1 – Perguntas Conceituais	119
5.2.3 – Teste Pictórico	125
5.2.4 – Mapa Conceitual	131
5.2.5 – TCPT	136
5.2.4.1 – Análise comparativa do TCPT – antes e após da SEI	140
CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
REFERÊNCIAS	145
APÊNDICES	150
APÊNDICE 1 – Cartão Resposta do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)	150
A1.1 – Cartão resposta – Aplicado em 2019	150
A1.2 – Cartão resposta – Aplicado em 2021	151
APÊNDICE 2 – TESTE PICTÓRICO	152
A2.1 – Primeira Parte	152
A2.2 – Segunda Parte	153
APÊNDICE 3 – TEORIA CLÁSSICA DOS TESTES	154
A3.1 – Índice de Dificuldade	154
A3.2 – Índice Percentual de Discriminação	155
APÊNDICE 4 – TABELAS DOS PARÂMETROS PSICOMÉTRICOS DO TCPT. APLICAÇÕES NO SEGUNDO ANO DO ENSINO MÉDIO	158
A4.1 – Proporção de acertos, erros, índice de dificuldade, índice de discriminação e coeficiente bisserial – aplicação em novembro de 2019 (166 alunos, 6 turmas) – preliminar	158
A4.2 – Proporção de acertos, erros, índice de dificuldade, índice de discriminação e coeficiente bisserial – aplicação em setembro de 2020 (57 alunos, 9 turmas) – preliminar	159
A4.3 – Proporção de acertos, erros, índice de dificuldade, índice de discriminação e coeficiente bisserial – aplicação em agosto de 2021 (30 alunos, 1 turma)	160
APÊNDICE 5 – PLANOS DE AULA	161
A5.1 – Aula 1	161
A5.2 – Aula 2	165
A5.3 – Aula 3	171

A5.4 – Aula 4	177
A5.5 – Aula 5	181
A5.6 – Aula 6	185
APÊNDICE 6 – Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)..	187
APÊNDICE 7 – Ficha de Atividades	192
APÊNDICE 8 – Ficha de Respostas.....	193
APÊNDICE 9 – PRODUTO EDUCACIONAL.....	194
ANEXO	195
ANEXO 1 – Autorização Institucional.....	195

INTRODUÇÃO

Fases ou estados da matéria são conjuntos de configurações em que as partículas constituintes da matéria podem se organizar e estabelecer uma forma de apresentação dos objetos. O estado físico tem relação, basicamente, com a velocidade do movimento das partículas e as suas interações, bem como as forças de coesão e repulsão envolvidas.

A compreensão das propriedades térmicas, em Física, para um estudante do ensino médio é, quase sempre, de modo empírico. O aluno, mesmo com dificuldade, consegue perceber a relação das *propriedades térmicas* com o mundo cotidiano, no entanto, a sua percepção das propriedades térmicas a nível microscópico é muito limitada.

Muitas dificuldades são evidenciadas durante o processo de ensino de Física, em que o aluno é submetido. Entre muitas das dificuldades, algumas delas estão relacionadas: (1) ao professor que na maioria das vezes não faz uso de outros materiais além do livro didático em sala de aula; (2) a falta de estrutura e de ambiente escolar adequado; (3) ou pela falta de interesse do próprio aluno. O fato é que as mudanças na forma de interagir e obter informações sobre determinados conteúdos específicos remete a necessidade de uma prática em sala de aula cada vez mais capaz de adicionar ou combinar técnicas de ensino apropriadas.

A proposta apresentada neste trabalho vem como uma tentativa em melhorar o processo de ensino e aprendizagem no ensino médio dentro de um campo específico da Física: as propriedades térmicas. Uma tentativa, pois nem todos os alunos irão entender os conceitos abordados, nem todos aprendem da mesma forma, além do que, não se domina e nem se consegue explorar toda a sua episteme. O trabalho é pautado na execução de uma *Sequência de Ensino e Aprendizagem Investigativa* (SEI), com a base teórica na aprendizagem significativa de David Ausubel e na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. A prática didática utilizada é o *ensino por investigação* em que o professor não será o ator principal, ele partilha essa função com o aluno. A sequência de ensino orientará com o uso de vários recursos, como *software* de simulação e mediação de testes conceituais, visando um processo de ensino e aprendizagem mais dinâmico, otimizado, lógico e psicologicamente significativo.

JUSTIFICATIVA

O ensino de Física, no Brasil, ainda é um grande desafio, existem inúmeros entraves que vão desde a falta de estrutura nas escolas, como salas lotadas, falta de iluminação, falta de material didático, entre outros até fatores externos à escola que podem influenciar na aprendizagem do aluno. No ensino público, onde é possível visualizar uma enorme diversidade de pessoas, é mais fácil observar os problemas no ensino. Atualmente a forma utilizada para mensurar o aprendizado dos alunos do ensino médio a nível nacional é o Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB)¹, que consiste numa avaliação aplicada nos anos iniciais e finais do ensino médio. No estado do Amazonas também existe um sistema de avaliação educacional que é aplicado nas séries iniciais e finais do ensino médio, o Sistema de Avaliação de Desempenho Educacional do Amazonas (SADEAM), que diferente do SAEB que avalia o desempenho nas disciplinas de Língua Portuguesa e Matemática, o SADEAM avalia também as Ciências Naturais, o que inclui a disciplina de Física

Os resultados do SADEAM - que classifica o desempenho dos alunos em *Abaixo do Básico*, *Básico*, *Proficiente* e *Avançado* (UFJF, 2015) - entre os anos de 2013 a 2015, mostram uma predominância no Padrão de Desempenho dos alunos na disciplina de Física *Abaixo do Básico*, e a classificação sugere que os alunos possuem um desenvolvimento ainda incipiente das principais habilidades associadas à sua etapa de escolaridade e indica uma carência de aprendizagem.

Tabela 1 – Evolução do Percentual de alunos por Padrão de Desempenho no terceiro ano do Ensino Médio

Evolução do Percentual de Alunos por Padrão de Desempenho no estado do Amazonas - SADEAM				
% por Padrão de Desempenho				
Edição	Abaixo do Básico	Básico	Proficiente	Avançado
2013	76,4%	17,1%	4,8%	1,7%
2014	72,0%	19,6%	6,1%	2,3%
2015	76,7%	17,5%	4,1%	1,6%

Fonte: Revista do Sistema de Avaliação – SADEAM (2015)

¹ O Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB) é um conjunto de avaliações externas em larga escala que permite ao Inep realizar um diagnóstico da educação básica brasileira e de fatores que podem interferir no desempenho do estudante. <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/saeb>.

Outra informação importante a respeito do desempenho dos alunos em Física e também em outras disciplinas pode ser obtida ao analisar os resultados do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Segundo Barroso (2018), em sua análise sobre o ENEM, ainda há uma enorme dificuldade no processo de ensino e aprendizagem em Física no Brasil.

O resultado obtido revela que, apesar de todo o esforço desenvolvido na área de pesquisa em ensino de física desde os anos 1980, houve pouco impacto dos resultados no processo de aprendizagem. Mesmo com o conhecimento de que há dificuldades em modificar concepções presentes na estrutura cognitiva do aluno, os resultados são ainda muito impactantes e desanimadores (BARROSO; RUBINI; SILVA, 2018, p. 22).

Ao tratar de Física, mais especificamente a Termodinâmica, os estudantes não compreendem de forma satisfatória a simbologia utilizada, implicando na não compreensão dos conceitos (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2008). Quando o professor aborda o fenômeno da mudança de fase da matéria em sala de aula, os alunos demoram a perceber, ou não conseguem, a relação do comportamento molecular com a estrutura física, principalmente no ensino básico. A compreensão da Física do mundo microscópico ainda é um enorme desafio para maioria dos alunos, principalmente do nível básico. Fazer uma relação entre o mundo microscópico e o macroscópico não é tão trivial. De acordo com Braga e Kalhil:

As dificuldades do conhecimento prévio sobre os conceitos básicos da termologia estão relacionados com uma suposta desconexão entre os fenômenos observáveis e as causas em escala microscópica, obstáculo esse que deve ser superado com uma sustentação teórica plausível e com construções de modelos físicos que representem uma aproximação do comportamento das partículas, e assim fazer com que facilite a compreensão do fenômeno que se observa. Há uma limitação humana de caráter fisiológico com relação à observação da realidade, nossa visão e nossos sentidos são incapazes perceber as interações infinitesimais das moléculas, apenas nos traz uma informação subjetiva do que provavelmente esteja acontecendo (BRAGA; KALHIL, 2010, p. 185).

O conhecimento sobre as *propriedades térmicas* é essencial nos materiais, principalmente para identificá-los e saber como elas são modificadas é de extrema importância. Para o estudante da educação básica compreender as propriedades térmicas como calor específico, calor latente e condutividade térmica é essencial para entender como os materiais se comportam no mundo em que ele vive. Um bom exemplo está na alta condutividade térmica dos dissipadores de calor utilizados nos componentes eletrônicos, como os *chips* processadores utilizados em computadores e telefones móveis, que podem evitar uma perda de eficiência (SILVA; SILVA; CARDOSO, 2021). Outro

exemplo importante são os líquidos de arrefecimento utilizados nos radiadores de motores a combustão, que misturados a água aumentam o seu ponto de ebulição evitando o superaquecimento do motor (JANUÁRIO; BATISTA; GONÇALVES, 2019).

PROBLEMATIZAÇÃO

É comum em sala de aula ver um aluno com dificuldades em aprender novos conceitos, principalmente em Física, por vários motivos, entre eles o formalismo matemático e o não entendimento do conceito físico. Existe um ciclo de não aprendizagem e desinteresse que se realimentam, muito em função de como a disciplina é apresentada nas escolas. De acordo com a pesquisa de Brock e Filho (2015):

As respostas dos alunos do último ano do ensino médio sugerem que eles veem a física como centrada unicamente no cálculo numérico e creem que, para ter sucesso nesta disciplina, é preciso decorar fórmulas e a elas aplicar números, obtendo outros números, de modo que para estes estudantes a física se resume a exercícios envolvendo cálculos (BROCK; FILHO, 2015, p. 16).

Com a Termodinâmica não é diferente, o aluno na maioria das vezes compreende empiricamente sobre a temperatura, mas de forma equivocada sobre o calor. Dado que ele possui na sua mente a ideia de temperatura como quente e frio que provavelmente advém da sua experiência cotidiana, sua vivência. No entanto, será que ele é capaz de relacionar temperatura com o movimento de moléculas? Na sua vida cotidiana o maior exemplo de substância que pode sofrer mudanças de temperatura é a água, ele aprende, ainda no ensino fundamental, que essa substância pode mudar de estado físico, mas será que o aluno entende como isso acontece a nível microscópico? Será que ele sabe como é a configuração molecular em cada estado físico?

É de fácil observação para todos, inclusive o aluno do segundo ano do ensino médio, que substâncias diferentes aquecem diferentemente. Como, por exemplo, numa panela de alumínio (material sólido) cheia de água (no estado líquido) aquecida por uma fonte térmica (um forno). É perceptível que a água, mesmo estando em contato com a panela, demora muito mais para aquecer do que o metal, mas por quê? Será que o aluno consegue perceber essa diferença nas propriedades térmicas dos materiais?

Quando se fala do mundo microscópico, onde as interações moleculares ocorrem, para o aluno é muito difícil tentar explicar e compreender a estrutura dos materiais. Será que é compreensível, para os estudantes, como as estruturas atômicas estão organizadas

nos três estados da matéria? Será que o aluno consegue representar, mesmo que mentalmente, essas estruturas?

Todos esses questionamentos a respeito da Termodinâmica, principalmente sobre as propriedades térmicas, direcionados ao aluno, ressalta a necessidade do professor em criar uma estratégia que ajudará na formulação das respostas. Dentre várias estratégias possíveis, a Sequência de Ensino Investigativa mostra ser capaz de ajudar o professor nessa tarefa, o que leva a um questionamento:

Qual o *design* mais apropriado de uma SEI que potencialize a compreensão sobre as propriedades térmicas, nomeadamente, o calor sensível, latente e condutividade térmica em nível microscópico, considerando o conhecimento prévio do aluno e os seus respectivos modelos mentais?

OBJETIVOS

Geral

Elaborar um material de orientações metodológicas para uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) embasada na *Teoria do Aprendizado Significativo* e nos *Modelos Mentais*, para auxiliar o professor de Física no ensino médio, preferencialmente no 2º ano do Ensino Médio, que contemple o conteúdo da Termodinâmica, mais especificamente a calorimetria, condução de calor e mudança de fase da matéria, com o propósito de facilitar e potencializar o entendimento do estudante em perceber as mudanças das propriedades térmicas dos materiais, como calor específico, calor latente e condutividade. Assim, levando o aluno a percepção do comportamento molecular em cada estado da matéria e como isso interfere nas propriedades térmicas.

Específicos

- Identificar previamente as dificuldades conceituais diante das propriedades térmicas: calor específico, calor latente e condutividade térmica;
- Construir a sequência de ensino abordando o conteúdo consoante a perspectiva ausubeliana;

- Explorar o Modelo Cinético-Molecular para relacionar os conceitos de temperatura e calor, observados principalmente de forma empírica, com o comportamento da estrutura microscópica de maneira mais clara;
- Avaliar a eficiência do *design* da SEI.

A identificação prévia das dificuldades conceituais dos alunos ajuda a direcionar a elaboração da unidade de aprendizagem apropriada na sequência de ensino investigativo, de acordo com a perspectiva de Ausubel e Johnson-Laird. De acordo com essa perspectiva ausubeliana, o conteúdo deve partir das leis e princípios mais gerais da Termodinâmica para os mais específicos, nos quais as propriedades térmicas estão situadas.

A exploração do modelo cinético molecular pretende proporcionar ao aluno uma melhor visão em relação de causa e efeito dos fenômenos térmicos. Para isso, é considerado o uso dos simuladores virtuais, *softwares* destinados a simular as interações físicas entre moléculas.

A eficiência da SEI é estimada pelas respostas das atividades realizadas durante as aulas. Dentre elas estão as atividades conceituais, o teste pictórico e o TCPT.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro Capítulo apresenta os fundamentos teóricos da Termodinâmica, na perspectiva da Teoria do Aprendizado Significativo, em que os conceitos mais gerais e inclusivos são abordados por primeiro, caminhando para os conceitos mais específicos que no caso são as propriedades térmicas.

O Capítulo 2 apresenta a psicologia educacional e a didática. Na psicologia estão inclusas a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Na didática, o trabalho é pautado no Ensino por Investigação.

O Capítulo 3 aborda a metodologia do trabalho com ênfase nos recursos didáticos criados, o primeiro é Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT) que possui o caráter quantitativo, o segundo é o teste pictórico sobre as fases da matéria e as suas mudanças que é qualitativo. O Capítulo 4 apresenta a implementação da Sequência de Ensino Investigativa (SEI) em sala de aula, descrito passo a passo cada aula.

Os resultados da dissertação são apresentados no Capítulo 5, estão dispostos em subtópicos. Primeiramente os resultados preliminares do TCPT realizados nos anos 2019 e 2020, trazendo os acertos, os erros e os parâmetros psicométricos da Teoria Clássica dos Testes (TCT). Posteriormente os resultados após a aplicação da SEI, esses resultados são mais completos, possuem as análises das perguntas conceituais feitas em sala de aula, do teste pictórico, do mapa conceitual e do TCPT. E por fim as considerações finais da dissertação.

CAPÍTULO 1 – APROFUNDAMENTO DO CONHECIMENTO FÍSICO

Os termos temperatura e calor costumam erroneamente ser usados como sinônimos na linguagem cotidiana, mas na Física elas possuem significados diferentes. O estudo da Termodinâmica é vasto podendo ser iniciado e contextualizado de diversos pontos e o modo como a Termodinâmica é abordada depende da finalidade de quem a estuda, aqui o estudo é iniciado pelo conceito mais básico e abrangente e indo para o mais particular. O estudo é iniciado pelo sistema termodinâmico que é basicamente qualquer corpo (matéria) que possui todas as propriedades térmicas.

1.1 – TERMODINÂMICA

1.1.1 – Introdução

A *Termodinâmica* é um ramo peculiar da Física, distingue dos demais como a Mecânica e o Eletromagnetismo que possuem um paradigma newtoniano baseado nas leis de movimento que evoluem no espaço e no tempo (SILVÉRIO, 2001). Dos princípios da termodinâmica podem-se derivar relações gerais entre grandezas como coeficiente de expansão, de compressão, calor específico e calor de transformação.

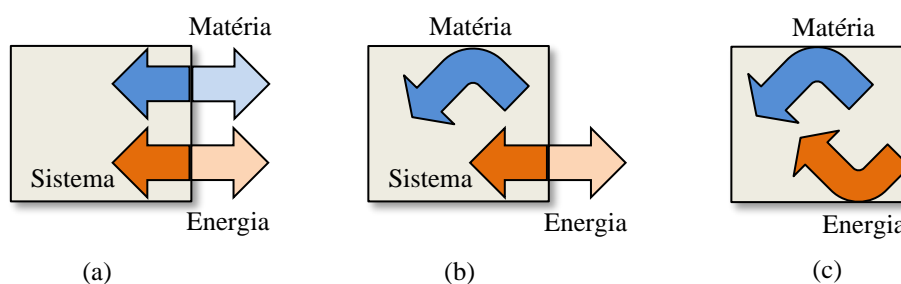
A grandeza fundamental da Termodinâmica é a *temperatura* que de forma empírica pode ser definida usando o sentido do tato, fazendo a distinção entre o quente e o frio. No entanto, essa definição de modo empírico possui equívocos, uma vez que os sentidos humanos podem ser falhos e imprecisos. Então, é mais assertivo relacionar a temperatura com a energia interna de um sistema termodinâmico. A temperatura é uma medida do nível de agitação entre moléculas, relacionada com a energia cinética molecular média (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

Outra manifestação observável é a *pressão*. Um mergulhador, por exemplo, pode perceber o aumento de pressão em águas profundas. A pressão é uma percepção que pode ser associada a outras grandezas físicas: ela mede a força por unidade de área que um sistema exerce sobre um corpo. Associar a temperatura e a pressão, matematicamente, é um trabalho complexo, que fica a cargo da Termodinâmica.

1.1.1.1 – Sistema Termodinâmico

O *sistema termodinâmico* se refere a uma região do espaço que se deseja estudar e é delimitado por uma *fronteira* que o separa de sua vizinhança. O limite da fronteira pode ser real, como uma barreira física ou imaginária, delimitando uma região do espaço. A *vizinhança* é definida como qualquer meio externo ao sistema, permitindo definir três tipos de sistemas: **aberto**, onde há troca de energia e matéria com a vizinhança. **Fechado**, onde a matéria não pode passar, mas há troca de energia e o sistema **isolado** onde não há troca de energia e nem matéria com a vizinhança. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** Figura 1 exemplifica de forma esquemática os três sistemas.

Figura 1 – Tipos de sistemas termodinâmicos. Em (a) Sistema Aberto. Em (b) Sistema Fechado e (c) Sistema Isolado



Fonte: Próprio Autor

O comportamento de um sistema termodinâmico pode ser analisado sob o ponto de vista microscópico e macroscópico. Para descrever um sistema microscópico, por exemplo, de um mol gás monoatômico seria necessário analisar uma enorme quantidade de partículas em torno de 10^{23} , para tal feito é necessário o uso da estatística. Outra forma de modelar um sistema é tratá-lo do ponto de vista macroscópico que sugere uma preocupação com os efeitos totais ou médios de um conjunto enorme de moléculas.

Uma grandeza importante na Termodinâmica é o *trabalho*. Que por definição, na Mecânica, é a grandeza que permite estimar a quantidade de energia transferida para um corpo quando este é deslocado, entre duas posições, num sistema de referência. Assim a *energia* de um sistema é a sua capacidade de efetuar trabalho. Quando se realiza trabalho sobre um sistema a energia do sistema se modifica.

O *estado* de um sistema termodinâmico é especificado pelos seus valores de grandezas mensuráveis chamadas *variáveis de estado*. Quando a energia de um sistema se modifica como resultado da diferença de temperatura entre um sistema e a vizinhança, essa energia transmitida chama-se de *calor*. É importante ressaltar que o calor não ocorre

somente quando há diferença de temperatura, por exemplo a quantidade de calor latente em uma transição de fase de uma substância pura ocorre sem mudança de temperatura. O estado do sistema é indicado por grandezas mensuráveis que são chamadas de variáveis de estado, ou propriedades, como a temperatura, a pressão, o volume e a massa. As propriedades do sistema podem ser *extensivas* ou *intensivas*. São chamadas extensivas as propriedades proporcionais à massa do sistema e intensivas as propriedades independentes da massa do sistema (SEARS; SALINGER, 1979).

1.1.1.2 – Equilíbrio e Processos

O estudo da termodinâmica é baseado em estados de *equilíbrio* do sistema. Um sistema em equilíbrio não passa por mudanças nas suas variáveis de estado quando isolado da sua vizinhança, existindo vários tipos de equilíbrios relevantes ao sistema. Dessa forma o equilíbrio térmico condiciona o sistema a ter uma única temperatura em toda a sua extensão. O equilíbrio mecânico está relacionado com a pressão do sistema e ele estará em equilíbrio quando não houver variação de pressão em nenhum ponto do sistema. Se um sistema tiver duas fases distintas ele estará em equilíbrio de fase, em que a massa de cada fase atinge um nível de equilíbrio que eles coexistem. Já o equilíbrio químico considera se a composição do sistema não se modifica com o tempo, ou seja, se não ocorre uma reação química. É interessante perceber que para obter o equilíbrio termodinâmico todos esses tipos de equilíbrios necessitam ser atendidas em simultâneo (ÇENGEL; BOLES, 2013). Quando qualquer propriedade de um sistema se modifica, o estado do sistema sofrerá uma mudança chamada de *processo*. Então processo será uma modificação que o sistema sofre nas suas variáveis de estado, indo de uma configuração inicial até uma configuração final. Se um processo for realizado em que as diferenças entre os sucessivos estados de equilíbrio forem infinitesimais, esse processo é chamado *quase estático*. Para processos em que há diferenças finitas de equilíbrio, isto é, diferenças significativas, o processo é denominado *não-quase estático*.

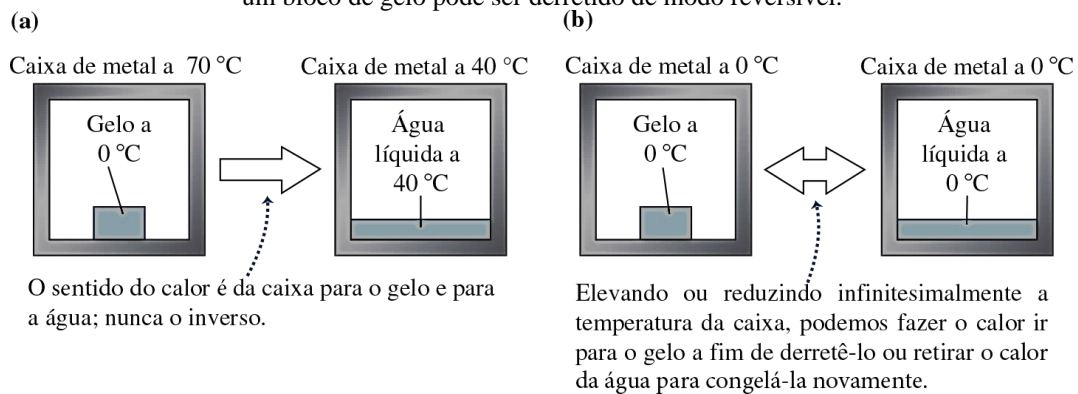
Os processos reais não são quase estáticos, pois efetuam diferenças finitas das variáveis de estado como pressão, volume e temperatura entre partes do sistema, ou seja, num sistema real as mudanças das variáveis não são instantâneas em todas as partes do sistema possuindo valores diferentes nas suas partes delimitadas pela fronteira, a própria condição de equilíbrio termodinâmico, em casos reais, é difícil de ser obtida.

Processos que mantêm alguma propriedade constante recebem nomes específicos para ajudar a caracterizá-lo. Um processo a volume constante denomina-se *isocórico* ou

isovolumétrico. Se a pressão for constante é denominado *isobárico* e um processo a temperatura constante é denominado *isotérmico*. Outro processo que recebe um nome específico é aquele em que o sistema é delimitado por uma fronteira adiabática, uma fronteira em que não há troca de calor e nem massa, denominado *adiabático* (SEARS; SALINGER, 1979).

Um *processo reversível* pode ser definido como um processo que pode ser revertido, pode ter o sentido invertido por uma variação infinitesimal em alguma propriedade do sistema, conduzindo o sistema ao seu estado original e sem alterar sua vizinhança. Todos os processos reversíveis são quase estáticos, mas um processo quase estático não é necessariamente reversível. Um *processo irreversível* é aquele que não pode ser revertido, de tal forma que todas as variáveis de estado de um sistema retornem aos seus valores iniciais antes do processo sem a modificação de sua vizinhança. Os processos termodinâmicos que ocorrem no mundo real são processos irreversíveis, o processo reversível é uma idealização; no mundo real, busca-se realizar processos de tal forma que se aproximem desse idealizado.

Figura 2 – Processo reversível e irreversível. Em (a) um bloco de gelo derrete irreversivelmente. Em (b) um bloco de gelo pode ser derretido de modo reversível.



Fonte: Young e Freedman (2016), Adaptado

1.1.1.3 – Equação de Estado

As variáveis de estado como pressão, volume, temperatura e a massa descrevem o estado do sistema onde existe um material específico, são representados respectivamente por P, V, T e m . A *equação de estado* relaciona as propriedades que estão em estado de equilíbrio.

$$f(P, V, T, m) = 0 \quad (1)$$

A equação de estado pode ser escrita de forma que dependa somente da natureza da substância e não da quantidade, assim as variáveis de estado extensivas podem ser escritas usando seus *valores específicos*², por unidade de massa ou mol, correspondentes. As variáveis V e m podem ser combinadas, $v = V/m$, sendo mais conveniente escrever a equação de estado em função de P , v e T :

$$f(P, v, T) = 0 \quad (2)$$

É importante ressaltar que cada substância, em casos reais, possui uma equação de estado própria. Para realizar uma análise mais próxima do real e com o intuito de facilitar o cálculo matemático é comum adotar uma equação de estado que seja próxima da realidade em determinadas condições. É o caso, por exemplo, da equação de estado para um *gás ideal*³, que funciona muito bem em gases que possuam um comportamento idealizado, onde é introduzido a constante dos gases perfeitos (SEARS; SALINGER, 1979).

$$PV = nRT \quad (3)$$

Sendo n é o número de mols de um gás perfeito e R é a *constante universal dos gases*⁴ perfeitos com valor aproximado de $8,314 \frac{J}{mol} \cdot K$.

1.1.2 – Modelo Cinético-Molecular: Propriedades Moleculares da Matéria

Qualquer substância, pura ou não, é constituída de moléculas que possuem o diâmetro da ordem de grandeza de 10^{-10} m. Nos gases, as moléculas movem-se quase de modo independente, já nos sólidos e líquidos elas são mantidas ligadas por forças intermoleculares. As forças entre as moléculas são predominantemente de origem elétrica, visto que as moléculas são constituídas de partículas que possuem carga elétrica e a interação gravitacional entre as moléculas é desprezível. A interação entre cargas elétricas puntiformes é descrita pela lei de Coulomb⁵, podendo ser utilizada para o estudo

² O valor específico de uma propriedade extensiva é definido como a razão do valor da propriedade para a massa do sistema, ou o seu valor por unidade de massa (SEARS; SALINGER, 1979).

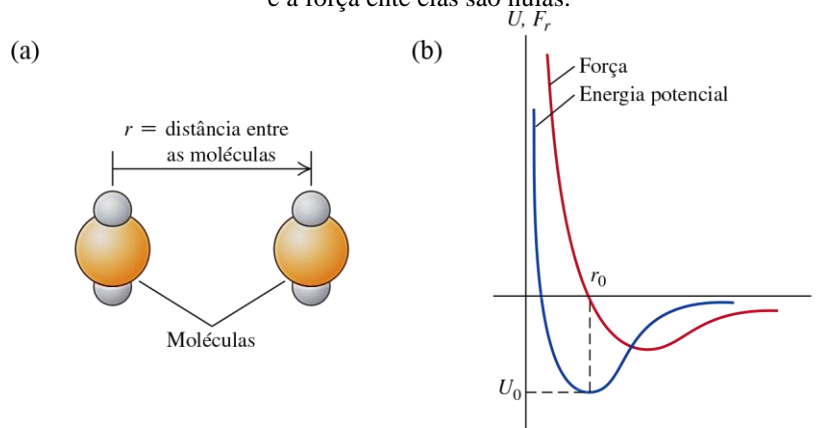
³ Um gás ideal é aquele no qual os efeitos perturbativos das forças intermoleculares e o tamanho finito das moléculas individuais podem ser desprezados (HEWITT, 2015).

⁴ Constante dos gases $R = 8,314472(15) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$. <https://goldbook.iupac.org/terms/view/G02579>

⁵ Charles-Augustin de Coulomb (1736 – 1806), Físico francês conhecido pela formulação da lei de Coulomb, que afirma que a força entre duas cargas elétricas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas $F = kq_1q_2/r^2$. A força elétrica é uma das principais forças envolvidas nas reações atômicas. <https://www.britannica.com/biography/Charles-Augustin-de-Coulomb>

de estruturas mais complexas, como as moléculas, realizando considerações pertinentes. Levando em consideração a ideia trazida por essa lei, quando um gás é comprimido suas moléculas se aproximam e as forças de atração aumentam. A força intermolecular tende a zero em uma distância r_0 (ver Figura 3), que corresponde ao espaço existente entre as moléculas no estado sólido ou no estado líquido (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Figura 3 – Em (a) distância entre moléculas. Em (b) quando $r < r_0$ e $F_r > 0$ a força é repulsiva, quando $r > r_0$ e $F_r < 0$ a força entre as moléculas é atrativa, numa distância $r = r_0$ a energia potencial é mínima e a força entre elas são nulas.

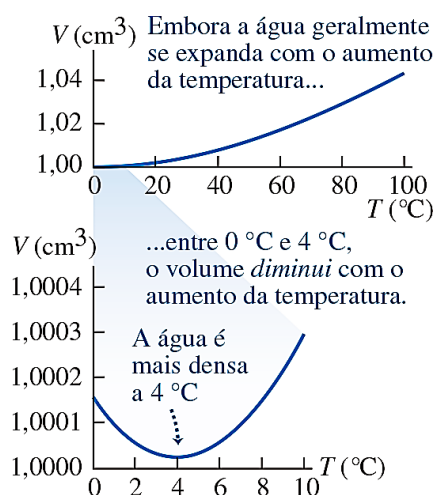


Fonte: Young e Freedman (2016). Adaptado.

Na Figura 3 também está visível a energia potencial em função da distância r , apresentando um valor mínimo em r_0 , em que a força é zero. As curvas são relacionadas a $F_r = -dU/dr$, o gráfico apresenta o que é chamado poço de potencial. Em uma distância r_0 entre duas moléculas seria necessária uma energia U_0 para que a molécula escape até uma distância r . Como as moléculas estão sempre em movimento elas possuem energia cinética e se essa energia for bem menor que a profundidade do poço de potencial, as moléculas irão manter uma distância próxima de r_0 , deixando-as no estado líquido ou sólido. Com o aumento de temperatura haverá um aumento da energia cinética das moléculas, a distância tende a aumentar deixando as moléculas mais livres o que caracteriza o estado gasoso da matéria.

Um caso interessante que difere desse comportamento é o caso da água que possui uma anomalia na faixa de temperatura entre 0 °C e 4 °C, em que o volume diminui. A Figura 4 exemplifica esse fenômeno.

Figura 4 – Volume de uma grama de água no intervalo de 0 °C a 100 °C

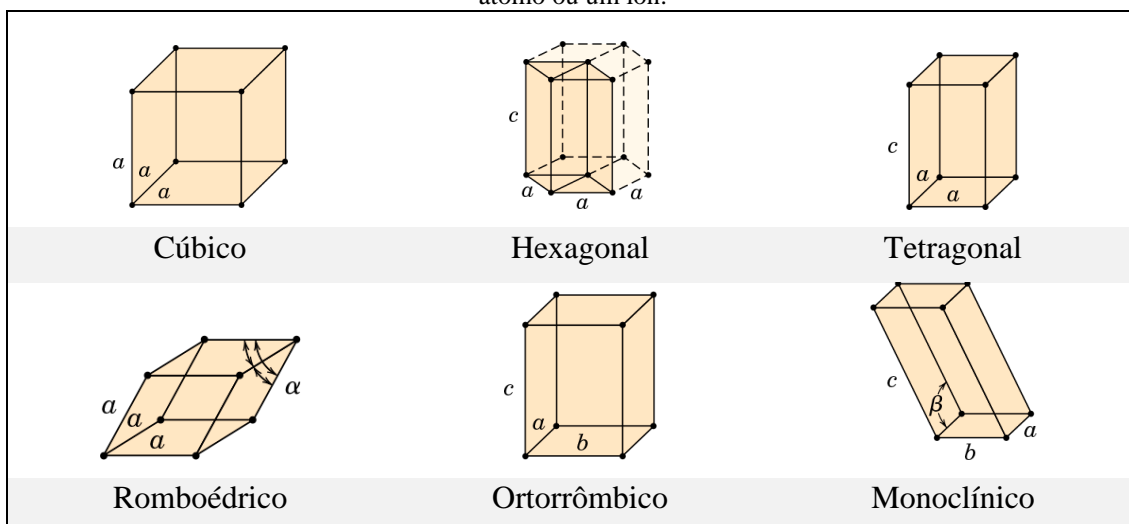


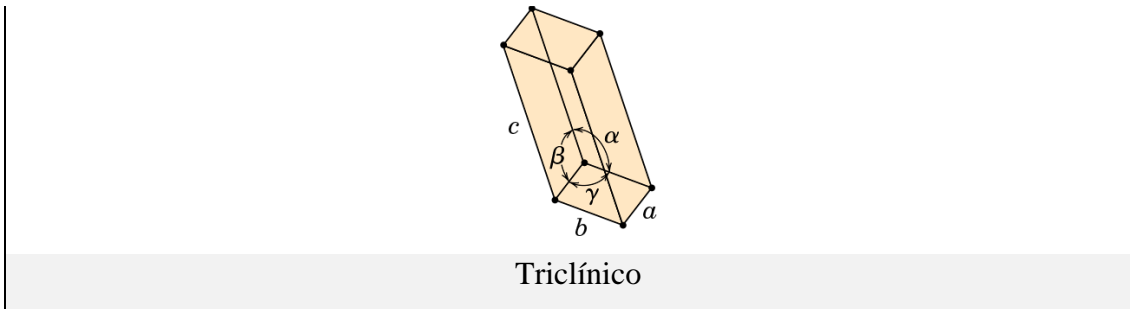
Fonte: Young e Freedman (2016)

1.1.2.1 – Sólido e Líquido

Para os sólidos as moléculas vibram em torno de um ponto de equilíbrio quase fixo, mantendo a distâncias média entre as moléculas constante. A estrutura molecular dos sólidos pode ser desordenada e complexa ou bem ordenada chamada *rede cristalina*. Sólidos que possuem essa rede, dispõem de uma estrutura regular e repetitiva, sendo classificados conforme a estrutura básica da rede, a *célula unitária* (ver Quadro 1).

Quadro 1 – Sistemas cristalinos básicos, com a geometria básica de cada célula. Cada vértice indica um átomo ou um íon.

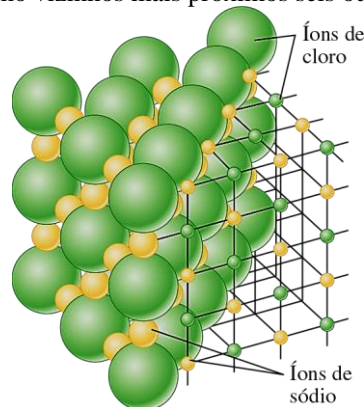




Fonte: Callister e Rethwisch (2012). Adaptado.

Como exemplo de estrutura sólida tem-se o cloreto de sódio, ($NaCl$), que possui uma rede cúbica de face centrada. A Figura 5 é um modelo para o $NaCl$, os íons de sódio são os menores do que os íons de cloro.

Figura 5 – O cloreto de sódio está arrumado com os íons de Na^+ e Cl^- nos pontos da rede cúbica simples. Cada íon possui como vizinhos mais próximos seis outros íons com cargas opostas.



Fonte: Young e Freedman (2016)

Nos líquidos as distâncias entre as moléculas são ligeiramente maiores em relação aos sólidos proporcionando uma maior mobilidade. As moléculas dos líquidos possuem uma pequena regularidade nas estruturas de suas vizinhanças próximas, formando pequeno grupos. Essa regularidade local permite que o líquido mantenha seu volume fixo, mesmo não conseguindo manter a sua forma. As moléculas dos materiais líquidos se comportam de forma intermediária, entre o estado sólido e o gasoso (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

1.1.2.2 – Gases

Para os gases o distanciamento molecular é bem maior do que nos líquidos, a tal ponto em que as forças intermoleculares são muito pequenas. As moléculas de um gás possuem graus de liberdade que possibilita a movimentação em várias direções podendo ocorrer colisões entre elas ou entre a sua vizinhança (podendo ser a parede de um

recipiente), possuindo velocidade de translação. Para o gás ideal, em que todas as colisões são elásticas e que o mesmo está confinado num recipiente de paredes rígidas, é possível determinar a velocidade das moléculas e o caminho livre que uma molécula pode ter antes de colidir com outra molécula. Como o gás é idealizado o movimento de rotação molecular e vibração não serão considerados, assim como as colisões entre suas moléculas, felizmente o *modelo cinético molecular* do gás ideal consegue descrever com boa fidelidade os gases reais rarefeitos.

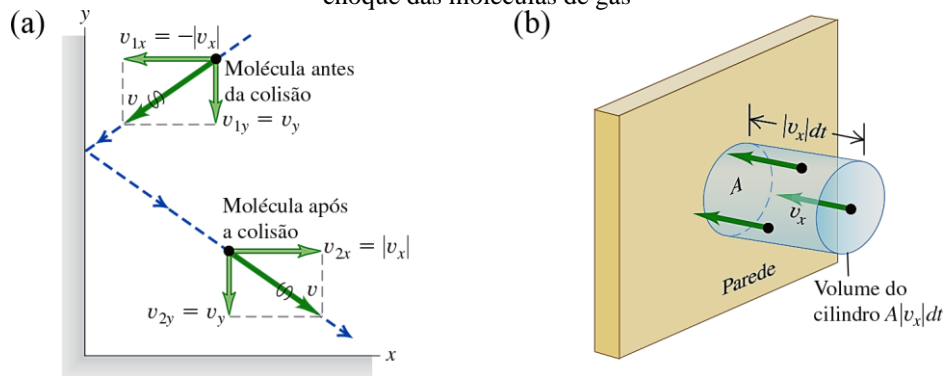
A Figura 6 mostra colisões elásticas das moléculas de gás contra a parede de um recipiente onde ele se encontra confinado para cada colisão o componente x da velocidade varia de $-|v_x|$ até $+|v_x|$, logo a variação do momento linear p_x será $2m|v_x|$. Se a molécula está prestes a colidir na área A da parede então ela percorre a distância $|v_x|dt$ e deve voltar após o choque. Logo o número de moléculas que atingem a parede será igual ao número de moléculas contidas no cilindro com base igual a A , comprimento $|v_x|dt$ e volume $A|v_x|dt$. Assim o número de moléculas no cilindro é $N_t = (N/V)(A|v_x|dt)$, mas em média metade das moléculas estão indo em direção a parede e metade estão voltando. Então o número de colisões que estão ocorrendo durante um tempo dt é $N_t = (\frac{1}{2})(N/V)(A|v_x|dt)$, logo o momento linear total será $dp_x = N_t(2m|v_x|)$ chegando a

$$\frac{dp_x}{dt} = \frac{NAmv_x^2}{V} \quad (4)$$

Lembrando que a pressão sobre a superfície A se relaciona com a força, em que $F = dp_x/dt$ e $P = F/A$, levando a:

$$PV = Nmv_x^2 \quad (5)$$

Figura 6 – Colisões de moléculas de gás. Em (a) colisão de uma molécula com a parede de recipiente, mostrando as componentes da velocidade. Em (b) Superfície na parede do recipiente onde ocorrerá o choque das moléculas de gás



Fonte: Young e Freedman (2016). Adaptado

No entanto, v_x^2 representa a velocidade somente numa componente, logo não representa a velocidade para todas as moléculas. Sendo assim mais apropriado usar o valor médio da velocidade em todas as componentes (x, y e z), assim o módulo da velocidade em cada molécula é $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$, escrevendo em termos da média das velocidades $\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$. O modelo de gás ideal não faz distinção entre as direções (x, y e z) e possui uma elevada velocidade de suas moléculas, dessa forma as médias das velocidades podem ser consideradas iguais $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$, levando a $\bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2$ que permite escrever:

$$PV = \frac{1}{3}Nm\bar{v}^2 \quad (6)$$

Comparando com a equação de estado do gás perfeito $PV = nRT$ em que n é o número de mols, que também pode ser escrito em termos do número de Avogadro⁶ $n = N/N_A$. Levando ao aparecimento de uma razão muito frequente na Termodinâmica, $k_B = R/N_A$, chamada constante de Boltzmann⁷. Assim:

$$\bar{v}^2 = \frac{3k_B T}{m} \quad (7)$$

Uma informação importante que pode ser obtida a partir dessa formulação da velocidade média quadrática é escrevendo $m\bar{v}^2 = 3k_B T$ e dividindo os dois lados por 2.

⁶ Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776 – 1856), físico matemático italiano que ficou conhecido pela lei de Avogadro que afirma que sob condições controladas de temperatura e pressão, volumes iguais de diferentes gases contêm um número igual de moléculas <https://www.britannica.com/biography/Amedeo-Avogadro>. Constante de Avogadro $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. <https://doi.org/10.1351/goldbook.A00543>

⁷ Ludwig Eduard Boltzmann (1844 – 1906), físico cuja maior conquista foi no desenvolvimento da mecânica estatística, que explica e prevê como as propriedades dos átomos (como massa, carga e estrutura) determinam as propriedades visíveis da matéria. <https://www.britannica.com/biography/Ludwig-Boltzmann>. Constante $k = 1,3806504(24) \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, <https://doi.org/10.1351/goldbook.B00695>.

$$\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} k_B T \quad (8)$$

Esse resultado mostra que a energia cinética média por molécula depende somente da temperatura, e não da pressão e nem do volume.

Outra forma de expressar a velocidade das moléculas de um gás é em termos da velocidade média quadrática, $v_{mq} = \sqrt{\bar{v}^2}$, sendo a raiz quadrada do valor médio dos quadrados das velocidades.

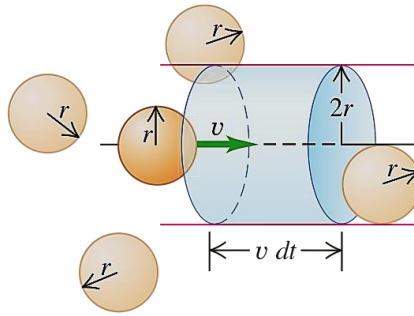
$$v_{mq} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} \quad (9)$$

Essa equação determina a velocidade das moléculas dos gases a uma certa temperatura. Por exemplo, o gás hidrogênio H_2 com massa molar $M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/mol}$ a velocidade média quadrática é em torno de 1900 m/s a temperatura ambiente (25°C), tornando o gás com as moléculas mais rápidas na atmosfera terrestre.

Outra informação importante em relação aos gases é o livre caminho médio que as moléculas percorrem antes que aconteça um choque com outra. Considerando que cada molécula possui um raio r e que todas que compõem um gás são idênticas, o caminho percorrido vdt até colidir com outra molécula está delimitado pelo cilindro de raio $2r$ (ver Figura 7). O volume do cilindro é $4\pi r^2 vdt$ e existem N/V moléculas por unidade de volume, assim o número de moléculas com centros dentro do cilindro é $dN = 4\pi r^2 v_{rel} dt N/V$, em que v_{rel} é a velocidade relativa da molécula, $v_{rel} = \sqrt{2}v$. O livre caminho médio será a razão entre o comprimento da trajetória (vdt) e o número de colisões:

$$\lambda = \frac{1}{4\pi\sqrt{2}r^2 N/V} \quad (10)$$

Figura 7 – Livre caminho médio de uma molécula de gás



Fonte: Young e Freedman (2016)

Para os gases ideais em que a equação de estado também pode ser escrita como $PV = Nk_B T$ o livre caminho médio pode ser escrito como:

$$\lambda = \frac{k_B T}{4\pi\sqrt{2}r^2 P} \quad (11)$$

Aumentando a temperatura mantendo a pressão constante, o gás irá se expandir, a distância entre as moléculas tende a aumentar e o livre caminho média irá crescer. Se a temperatura for constante e o gás for comprimido, aumentando a pressão, λ irá diminuir (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

1.1.2.3 – Condensado de Bose-Einstein, Condensado Fermiônico e o Plasma

Se um gás com partículas do tipo bósons for resfriado a baixíssimas temperaturas em que $T \rightarrow 0$ é possível atingir um novo estado da matéria, as moléculas do gás deixarão de ter um comportamento desordenado (clássico) tendo um comportamento mais ordenado, as partículas ocuparão o nível de mais baixa energia e as distâncias entre as partículas serão extremamente pequenas. O gás passará a ter propriedades inerentes a essa nova fase, podendo ser descrita com o uso da mecânica quântica, pois os níveis de energia são discretos e as partículas ocupam níveis específicos de energia. Essa fase da matéria é chamada de *Condensado de Bose-Einstein* (CBE) (BAGNATO, 1997). Segundo Paiva (2020), o condensado possui propriedades bem peculiares, entre elas a superfluidez ou escoamento sem atrito. O condensado possui uma “proteção” dos processos de interação partícula-partícula responsável pela viscosidade ou resistência ao fluxo. Para obter o CBE é necessário que o gás seja extremamente rarefeito, com uma baixíssima densidade, em torno de 10^{12} átomos/ cm^3 bem menor que a densidade dos sólidos ou líquidos, dessa forma o gás não irá condensar em um líquido ou num sólido.

O *Condensado Fermiônico* é um conjunto de férmios resfriado a baixíssimas temperaturas, assim como o condensado de Bose-Einstein, e é considerado um estado da matéria. O condensado obedece ao princípio da exclusão de Pauli, que afirma que dois férmios não podem ocupar o mesmo estado quântico, impedindo a formação de grandes agrupamentos (BRAGANÇA, 2017).

Em um gás cada átomo contém o mesmo número de cargas positivas e negativas, estando eletricamente neutro. Quando os elétrons são retirados dos átomos os gases ficam ionizados. Se uma grande parte de um gás ficar ionizado, ele deixa de ser um gás, onde as partículas se movem livremente possuindo basicamente interações por meio das colisões e tornando-se um meio em que as partículas podem agir a distância umas sobre as outras, via forças eletromagnéticas, além da interação por colisão. Este meio possui um comportamento diferente dos gases e sendo denominado de *plasma* (ZIEBELL, 2004).

1.1.3 – Leis da Termodinâmica

1.1.3.1 – Lei Zero

Para três sistemas termodinâmicos A, B e C, supondo que A esteja em equilíbrio térmico com B e C, se A for colocado em contato com B ou C, não haverá calor de um para o outro. Então B e C também estão em equilíbrio (SILVÉRIO, 2001). Assim a Lei Zero pode ser escrita como:

Dois sistemas que estejam em equilíbrio térmico com um terceiro estarão também em equilíbrio térmico um com o outro.

1.1.3.2 – Primeira Lei

Também conhecido como princípio da conservação de energia, estabelece de modo simples que a energia não pode ser criada nem destruída durante um processo termodinâmico, mas apenas pode mudar de forma (ÇENGEL; GHAJER, 2012). A primeira lei também pode ser enunciada assim:

A variação líquida na energia total de um sistema durante um processo é igual a diferença entre a energia total recebida e a energia total rejeitada pelo sistema termodinâmico durante um processo.

Esquemáticamente,

$$\left(\begin{array}{c} \text{Energia total} \\ \text{na entrada} \\ \text{do sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Energia total} \\ \text{na saída} \\ \text{do sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Mudança de} \\ \text{energia total} \\ \text{do sistema} \end{array} \right)$$

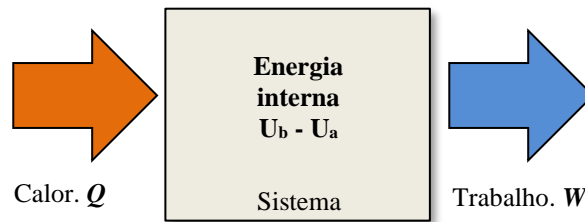
A energia pode ser transferida para ou do sistema por meio de calor, trabalho ou fluxo de massa. A energia é uma propriedade, e o valor não varia, a menos que o estado do sistema mude.

Outra forma de enunciar a primeira lei conforme (SEARS; SALINGER, 1979):

A diferença $U_b - U_a$ é o acréscimo na energia interna, e a equação acima afirma que o acréscimo de energia interna de um sistema, em qualquer processo em que não há variação nas energias cinética e potencial do sistema, é igual ao fluxo líquido de calor Q para o sistema menos o trabalho total W realizado pelo sistema.

$$U_b - U_a = Q - W \quad (12)$$

Figura 8 – Esquema mostrando o calor Q sendo adicionado ao sistema, modificando a energia interna e o sistema realizando um trabalho W



Fonte: Próprio Autor

Generalizando, a Primeira Lei, pode ser expressa como variações infinitesimais de forma diferencial, em alguns casos nomeada de forma analítica:

$$dU = d'Q - d'W \quad (13)$$

O verdadeiro significado da primeira lei está na afirmação de que o trabalho é o mesmo em todos os processos adiabáticos⁸ entre dos estados de equilíbrio possuindo a mesma energia cinética e a mesma energia potencial (SEARS; SALINGER, 1979).

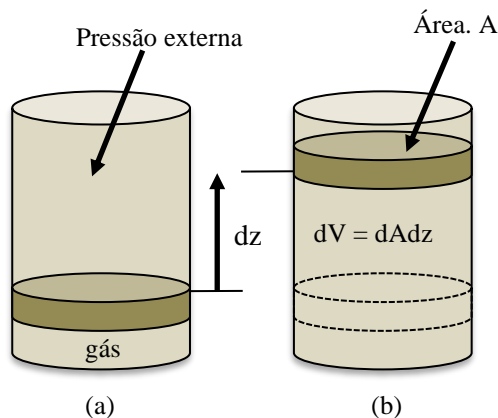
⁸ O termo adiabático refere-se a um processo que isola completamente o sistema de sua vizinhança, no que tange a troca de matéria ou de calor.

1.1.3.2.1 – Trabalho

Quando um sistema termodinâmico realiza um processo, o trabalho, em última análise é atribuído a uma força. No entanto é mais conveniente expressar o trabalho em termos das propriedades termodinâmicas, como pressão, volume e temperatura, pois essas propriedades podem ser mensuradas de forma relativamente simples.

Com o uso da Figura 9 é possível determinar o trabalho em termos do volume, utilizando como exemplo um gás confinado dentro de um pistão livre de atrito. Se o trabalho é $d'W = Fdz$, em que F é uma força externa que pressiona o embolo no sentido de dz que é o deslocamento infinitesimal. Lembrando que a força infinitesimal pode ser escrita como $dF = PdA$, para pequenos elementos de área.

Figura 9 – Esquema de um pistão contendo gás. Em (a) o gás é comprimido por uma pressão externa. Em (b) o gás move o embolo na direção dz



Fonte: Próprio Autor

Quando o embolo se move numa distância dz , a força e o deslocamento estão em sentidos opostos, e o trabalho é $d'W = PdAdz$. Em que dA é o elemento de área infinitesimal do embolo. Quando todos os elementos de área são inclusos no cálculo o trabalho pode ser determinado por uma integração.

$$d'W = P \int dAdz \quad (14)$$

A integral é igual ao volume entre duas posições, inicial e final da configuração da figura. Portanto,

$$d'W = PdV \quad (15)$$

Então quando um sistema termodinâmico se expande dV é positivo, diz-se que o trabalho foi realizado pelo sistema, caso contrário o trabalho é realizado sobre o sistema.

O termo $d'W$ é um diferencial inexato⁹ e o trabalho não é uma propriedade do sistema, sendo uma função de trajetória e não de um ponto. Assim $d'W$ com a “linha” é para enfatizar que o trabalho num processo infinitesimal é uma diferencial inexata. Isso irá implicar no trabalho em ciclo fechado, que não será nulo.

É possível que a configuração de um sistema termodinâmico possa ser modificada sem a realização de trabalho e nesse caso a pressão externa será nula (ver Figura 9) e o volume poderá aumentar livremente, empurrando o embolo. Assim o trabalho será nulo e a expansão será livre.

Para processos que podem ser vistos como uma sucessão de instantes de equilíbrios termodinâmicos, quase-estático, o trabalho total depende somente da configuração do sistema e nesse caso o sistema será reversível. No entanto, considerando um sistema em que ocorre uma dissipação de energia, o trabalho pode ser classificado como irreversível.

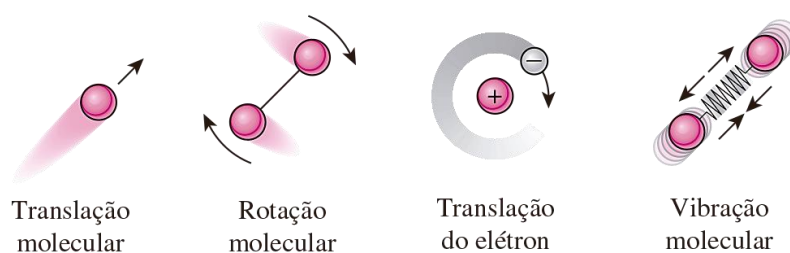
1.1.3.2.2 – Energia interna

Uma tentativa de definir a *energia interna* é simplesmente dizer que ela é a soma das energias cinéticas de todas as suas partículas ou moléculas constituintes, acrescida da soma de todas as energias potenciais decorrentes de todas as interações entre as partículas do sistema.

A energia interna está relacionada com a estrutura molecular e ao grau de atividade molecular do material analisado, no caso de um gás, por exemplo, elas podem se mover no espaço possuindo uma energia cinética de translação e rotação. Em materiais sólidos é perceptível que suas moléculas vibrem em torno de um ponto de equilíbrio, possuindo uma energia cinética de vibração. A parte da energia interna que está associada ao movimento cinético das moléculas é chamada *energia sensível* (ÇENGEL; BOLES, 2013).

⁹ Um diferencial é inexato quando o valor da segunda derivada parcial mista de uma função $F_{(x,y)}$ depende da ordem de derivação. E também quando a integral em uma trajetória fechada é não nula.

Figura 10 – Diversas formas movimento molecular e do elétron que contribuem para a energia sensível



Fonte: Çengel e Boles (2013), Adaptado

A energia interna também está associada as forças de ligação entre as moléculas de uma substância, entre os átomos das moléculas e entre partículas dos átomos. As forças moleculares são mais fortes em materiais sólidos e mais fracas nos gases, e intermediária nos líquidos. Se for adicionada energia as moléculas de um sistema, permitindo superar as forças intermoleculares, ocorrerá uma mudança de fase da matéria. Devido a essa energia adicional um sistema na fase gasosa possui um nível de energia interna mais elevado do que na fase líquida ou na fase sólida, essa energia associada a fase de um sistema é chamada de *energia latente* (ÇENGEL; BOLES, 2013).

Outra forma de analisar a energia interna é em termo do trabalho. Se um sistema que evolui adiabaticamente, ou seja, sem trocar calor com a sua vizinhança. Pela primeira lei $dU = d'Q - d'W$, se não há troca de calor $d'Q = 0$. Então $dU = -d'W_{ad}$, embora $d'W$ não seja uma diferencial exata, mas $d'W_{ad}$ é exata no sentido de que ao longo de trajetórias adiabáticas o trabalho é o mesmo (SEARS; SALINGER, 1979). Portanto, é possível determinar uma propriedade de um sistema de tal modo que a diferença entre os seus valores em dois estados, a e b , seja igual ao trabalho ao longo de qualquer trajetória adiabática entre os estados a e b . Essa propriedade é a energia interna. Então a energia interna é uma diferencial exata dU mesmo que ela seja, na primeira lei, a subtração de duas diferencias inexatas.

1.1.3.2.3 – Calor

Considerando processos, em um sistema, entre um dado par de estados de equilíbrio que não são adiabáticos, ou seja, um sistema que não está isolado da sua vizinhança e pode fazer contato com outros sistemas, cuja as temperaturas são diferentes. Nessas condições se diz haver calor, ou seja, uma quantidade de energia térmica fluindo entre o sistema e a vizinhança.

O calor pode ser definido em termos do trabalho, assim como a energia interna. O trabalho não-adiabático entre dois estados de equilíbrio difere de um processo para outro, e também difere do trabalho adiabático entre os mesmos dois estados. Assim o calor Q para um sistema pode ser definido como a diferença entre o trabalho não-adiabático (realizado com troca de calor com a vizinhança) e o trabalho adiabático (SEARS; SALINGER, 1979).

$$Q = W - W_{ad} \quad (16)$$

O calor, assim como a energia interna, é definido indiretamente em termos do trabalho. Dependendo do processo é possível ter um fluxo positivo ou negativo, Q será positivo se o calor for para o sistema e negativo se o fluxo for saindo do sistema.

Um processo termodinâmico poderá ser reversível, em termos da temperatura, se essa temperatura variar infinitesimalmente. Permitindo que o calor possa ser invertido de forma infinitesimal e será reversível. Portanto,

$$d'Q = d'W - d'W_{ad} \quad (17)$$

Como a energia interna pode ser escrita em termos do trabalho adiabático $dU = -d'W_{ad}$, a primeira Lei da Termodinâmica pode ser reescrita como:

$$d'Q = d'W + dU \quad (18)$$

De forma análoga ao trabalho a diferencial do calor $d'Q$ não é exata. Logo Q não é uma propriedade do sistema e é uma função de trajetória e não de ponto, sua integral não é nula num caminho fechado.

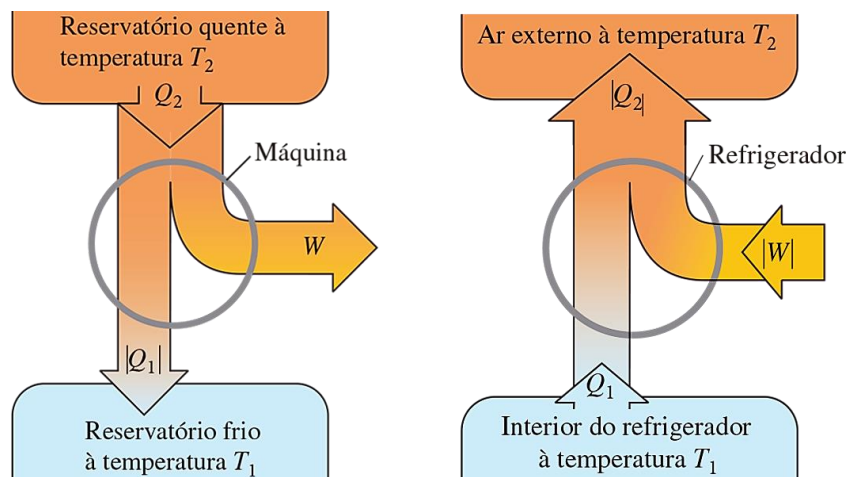
1.1.3.3 – Segunda Lei da Termodinâmica

Os processos termodinâmicos ocorrem naturalmente em um certo sentido, mas não em sentido oposto. Por exemplo, o calor, que flui sempre de um corpo de maior temperatura para um de menor temperatura. A primeira Lei da Termodinâmica não proibiria o calor no sentido de um corpo frio para um quente, já que a energia seria conservada, mas, naturalmente, o calor sempre é no sentido do corpo mais quente para o mais frio (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

A Termodinâmica teve a sua origem na tentativa de converter calor em trabalho ao desenvolver dispositivos para essa finalidade, dentre esses dispositivos destacam-se a *máquina térmica* e o *refrigerador*. A máquina térmica com a finalidade de converter o calor em trabalho e o refrigerador utilizando o trabalho para retirar calor de uma fonte. A

Figura 11 representa esquematicamente a máquina térmica e o refrigerador, em ambos os casos se busca minimizar a dissipação de energia e o rendimento máximo.

Figura 11 – Diagrama esquemático de uma máquina térmica e de um refrigerador



Fonte: Young e Freedman (2016), Adaptado

É visível que tanto a máquina térmica quanto o refrigerador possuem um sentido no fluxo de energia. Na máquina o calor é no sentido da fonte ou reservatório quente para a fria realizando trabalho, e não o contrário. No refrigerador o sentido do calor da fonte fria para a fonte quente só é possível realizando trabalho, ou seja, sem realização de trabalho não ocorrerá. Então existe um sentido no processo termodinâmico em ambos os casos e a Segunda Lei da Termodinâmica foi enunciada em termos da máquina térmica e do refrigerador por Kelvin¹⁰ e Clausius¹¹.

Segunda Lei para máquina térmica:

É impossível para qualquer sistema passar por um processo no qual absorve calor de um reservatório a uma dada temperatura e o converte completamente em trabalho mecânico de modo que o sistema termine em um estado idêntico ao inicial (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Segunda Lei para o refrigerador:

É impossível a realização de qualquer processo que tenha como única etapa a transferência de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

¹⁰ William Thomson, Lord Kelvin (1824 – 1907), <https://www.britannica.com/biography/William-Thomson-Baron-Kelvin>.

¹¹ Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822 – 1888), <https://www.britannica.com/biography/Rudolf-Clausius>.

Qualquer dispositivo que transforma calor parcialmente em trabalho ou em energia mecânica pode ser considerado como uma máquina térmica. Assim vários dispositivos podem ser considerados máquinas térmicas, como motores a combustão interna e externa, a vapor, entre outros.

Outra forma de escrever a Segunda Lei da Termodinâmica onde o sentido do processo termodinâmico é melhor esclarecido, será em termos de uma propriedade do sistema chamada *entropia*¹² que de certa forma mede a aleatoriedade do sistema. Assim a Segunda Lei pode ser formulada:

Nos processos termodinâmicos a entropia de um sistema isolado sempre aumenta ou, no caso limite de um processo reversível, permanece constante (ÇENGEL; BOLES, 2013).

Matematicamente o enunciado afirma que a variação da entropia é nula para processos reversíveis ou maior que zero para processos irreversíveis:

$$\Delta S \geq 0 \quad (19)$$

Dessa forma a Segunda Lei é escrita em termos de uma grandeza que define o sentido do processo termodinâmico. Para um processo reversível a entropia é definida como:

$$dS \equiv \frac{d'Q_r}{T} \quad (20)$$

O índice *r* na equação é para designar o processo reversível em uma variação infinitesimal, outra forma de representar a entropia é em uma variação finita de um estado 1 para um estado 2:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{d'Q_r}{T} \quad (21)$$

Dessa forma S_2 , a entropia de um estado final, será a entropia inicial mais um termo $\int_1^2 d'Q_r/T$, ou seja, a entropia irá aumentar. Para processos cíclicos reversíveis em que a entropia inicial e a final são iguais, a equação se torna:

$$\oint \frac{d'Q_r}{T} = 0 \quad (22)$$

O aumento de entropia em todo o processo irreversível natural mede o aumento da desordem do sistema, como exemplo a Figura 12 mostra a mistura de tinta em água.

¹² O conceito de entropia foi primeiramente introduzido na Física teórica por Clausius no século XIX. Até esta época havia muita confusão entre calor e trabalho e suas influências no funcionamento das máquinas térmicas (ZEMANSKY, 1978).

Nesse caso a mistura de tinta em água começa com baixa entropia, em que os dois fluidos podem ser distinguidos, no estágio final as moléculas de água e tinta estão espalhadas pelo volume do líquido de modo que a entropia é maior. A separação espontânea da água e da tinta acarretaria diminuição da entropia, o que contraria a Segunda Lei, e na prática tal fenômeno nunca será observado.

Figura 12 – Mistura de tinta e água



Fonte: Young e Freedman (2016)

Agora a Primeira Lei e a Segunda podem ser escritas de forma combinada e a partir dessa combinação diversas relações podem ser obtidas. Da Primeira Lei $d'Q = dU + d'W$ e da Segunda Lei $d'Q_r = TdS$, combinando:

$$TdS = dU + PdV \quad (23)$$

Essa equação é a combinação das duas leis da Termodinâmica em um sistema P - V - T , para outros tipos de sistemas em que o trabalho não dependa de P e V o termo PdV deve ser trocado.

Outra forma de escrever essa equação é em termos da *entalpia*¹³ definida por $H = U + PV$ chegando a:

$$TdS = dH - VdP \quad (24)$$

1.1.3.4 – Terceira Lei

A Terceira Lei relaciona a entropia e a temperatura em corpos que estão em equilíbrio a uma temperatura próxima ao zero absoluto (SILVÉRIO, 2001).

¹³ O amplo uso da propriedade entalpia deve-se ao professor Richard Mollier (https://pantheon.world/profile/person/Richard_Mollier/), que reconheceu a importância do grupo $u + Pv$ na análise de turbinas a vapor e na representação das propriedades do vapor na forma tabular e gráfica. Mollier inicialmente chamou o grupo $u + Pv$ de *conteúdo de calor* e *calor total*. Esses termos não são muito consistentes com a terminologia moderna da termodinâmica e foram substituídos na década de 1930 pelo termo *entalpia* (da palavra grega *enthalpien*, que significa *aquecer*) (ÇENGEL; BOLES, 2013)

A entropia de qualquer sistema tende a zero quando a temperatura tende ao zero absoluto.

Assim,

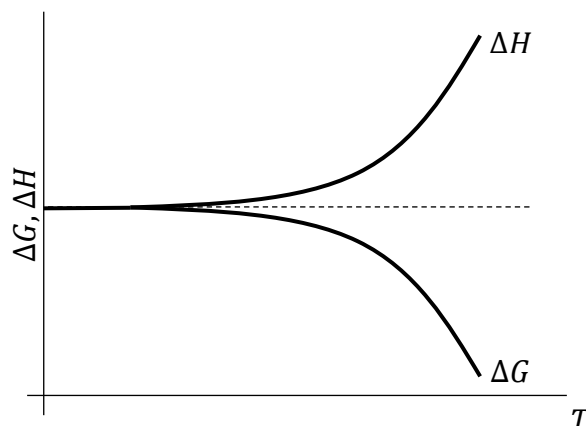
$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0 \quad (25)$$

Outra forma de apresentar a terceira lei é pelo teorema de Nernst¹⁴ sobre o calor. Em 1906 ele propôs, a partir de experimentos, como princípio geral que, quando a temperatura se aproxima de zero as variações da função de Gibbs¹⁵ e da entalpia se aproximam da igualdade, $\Delta G = \Delta H$. Como $G = H - TS$ e $S = -(\partial G/\partial T)_P$, então:

$$G_2 - G_1 = H_2 - H_1 + T \left(\frac{\partial [G_2 - G_1]}{\partial T} \right)_P \quad (26)$$

Dessa forma a variação de entalpia só será igual a variação da função de Gibbs quando $T(\partial \Delta G/\partial T)_P$ se aproximar de zero (SEARS; SALINGER, 1979).

Figura 13 – Dependência das variações nas funções de Gibbs e na entalpia



Fonte: Próprio Autor

Não somente ΔG e ΔH se aproximam da igualdade, mas suas razões de variação com a temperatura também se aproximam de zero.

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T} \right)_P = 0, \quad \lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \Delta H}{\partial T} \right)_P = 0 \quad (27)$$

Isso significa que os gráficos de ΔG e ΔH , em função de T , possuem a mesma tangente horizontal em $T = 0$, Figura 13. Dessa forma o limite de ΔG quando a temperatura tende a zero:

¹⁴ Walther Hermann Nernst (1864 – 1941). <https://www.britannica.com/biography/Walther-Nernst>

¹⁵ Josiah Willard Gibbs (1839 – 1903). <https://www.britannica.com/biography/J-Willard-Gibbs>. A função de Gibbs é definida como $G = H - TS$ ou $g = h - Ts$.

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left[\left(\frac{\partial G_2}{\partial T} \right)_P - \left(\frac{\partial G_1}{\partial T} \right)_P \right] = 0 \quad (28)$$

Lembrando que $S = -(\partial G / \partial T)_P$,

$$\lim_{T \rightarrow 0} (S_1 - S_2) = 0 \quad (29)$$

Este é o teorema de Nernst, que afirma:

Na vizinhança do zero absoluto, todas as reações em um líquido ou sólido em equilíbrio interno ocorrem sem mudança de entropia (SEARS; SALINGER, 1979).

1.1.4 – Mudanças de Fase da Matéria e as Propriedades Térmicas

1.1.4.1 – Capacidade Térmica e Calor específico

Sob certas condições é possível conhecer a quantidade de calor cedida ou recebida por um sistema, desde que não haja uma mudança de fase. A capacidade térmica é a razão entre o calor e a temperatura. É uma propriedade que indica a habilidade de um sistema em absorver calor da vizinhança (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

$$C = \frac{d'Q}{dT} \quad (30)$$

Para analisar essa propriedade em cada unidade de massa de um material que compõe um sistema é definido o calor específico como:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{1}{m} \frac{d'Q}{dT} \quad (31)$$

Então o calor específico é uma propriedade que indica a capacidade de absorver ou ceder calor por unidade de massa de uma substância, fazendo a temperatura variar. Se dois corpos com calores específicos diferentes recebem a mesma quantidade de calor aquela que possui um alto calor específico necessita de mais energia para elevar a sua temperatura, logo uma substância de menor calor específico necessita de menos energia por unidade de massa para elevar a sua temperatura, na prática um material que possui um menor valor de calor específico aquece mais rapidamente do que outro que possui um valor mais alto. O calor específico de um sistema depende da natureza do sistema, ou seja, depende do tipo de material.

O calor específico num processo, em que o sistema esteja submetido a uma pressão externa constante é chamado calor específico a pressão constante c_p e o seu valor dependerá da pressão externa e também da temperatura do sistema. Se um sistema for

mantido a volume constante durante o calor, o calor específico será a volume constante c_v (SEARS; SALINGER, 1979).

A partir da Primeira Lei e da entalpia pode ser encontrada relações para o calor específico, o c_v e c_p . Para determinar c_v deve-se escrever a energia interna u como função de T e v , de tal forma que $du = (\partial u/\partial T)_v dT + (\partial u/\partial v)_T dv$ dado que du é uma diferencial exata. E levando du em $d'q = du + Pd v$ e considerando um processo a volume constante, $dv = 0$ e $d'q = c_v dT$, chegando a $c_v dT = (\partial u/\partial T)_v dT$. Portanto,

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (32)$$

Para c_p de forma análoga ao c_v a entalpia h deve ser escrita como função de T e P , assim $dh = (\partial h/\partial T)_P dT + (\partial h/\partial P)_T dP$. Partindo de $h = u + Pv$ e combinado com $d'q = du + Pd v$, chegando a $d'q = dh - v dP$. E inserindo dh e considerando um processo a pressão constante, $dP = 0$ e $d'q = c_p dT$, chegando a $c_p dT = (\partial h/\partial T)_P dT$. Portanto,

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (33)$$

Sendo a energia interna e a entalpia escritas por mol $u = U/n$ e $h = H/n$. Para os gases perfeitos, no caso monoatômico, a energia interna é escrita como $u = (3/2)RT$, dessa forma:

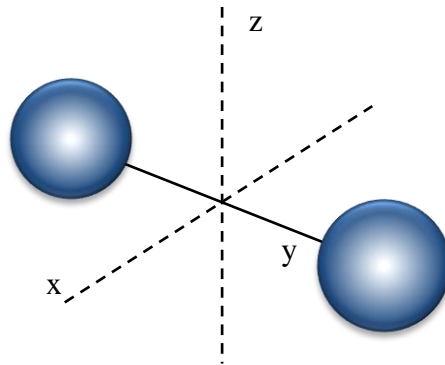
$$c_v = \frac{3}{2}R \quad (34)$$

Para gases com mais átomos deve-se considerar o grau de liberdade, então a energia interna terá a forma $u = (f/2)RT$, em que f é número de graus de liberdade da molécula. Então c_v será:

$$c_v = \frac{f}{2}R \quad (35)$$

Quando o gás for monoatômico o grau de liberdade é $f = 3$ levando ao resultado anterior. Para uma molécula diatômica como na Figura 14 são 7 graus de liberdades, 3 de translação nos eixos (x, y e z), 2 de rotação (em torno dos eixos x e z) e 2 de vibração (ao longo do eixo y). Assim c_v assumirá o valor, $c_v = (7/2)R$.

Figura 14 – Modelo de uma molécula diatômica em forma de haltere



Fonte: Próprio Autor

A relação entre c_v e c_p pode ser escrita de diversas maneiras, dependendo das variáveis que se pretende escrever, sendo uma delas:

$$c_p - c_v = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \quad (36)$$

Assim, nessa forma de expressar a diferença $c_p - c_v$ pode ser calculada para qualquer substância a partir da equação de estado. Para os gases perfeitos com a equação de estado $Pv = RT$ a relação $c_p - c_v$ se torna simplesmente:

$$c_p - c_v = R \quad (37)$$

Outra forma de escrever essa relação é em termos da *expansibilidade*¹⁶ (β) e da *compressibilidade*¹⁷ (κ), $c_p - c_v = vT\beta^2/\kappa$. A compressibilidade é uma quantidade sempre positiva, já a expansibilidade ou expansividade pode ser negativa em algumas substâncias, como na água no intervalo de 0 °C a 4 °C, mas o seu quadrado será sempre positivo. Assim é possível concluir que: (1) c_p é sempre maior ou igual a c_v , $c_p \geq c_v$, (2) a diferença entre c_p e c_v se aproxima de zero à medida que a temperatura se aproxima de zero e (3) os calores específicos são idênticos para substâncias incompressíveis $c_p = c_v$, pois o volume é constante (ÇENGEL; BOLES, 2013).

A diferença entre os calores específicos é muito pequena e geralmente desprezível em substâncias quase incompressíveis como líquidos e sólidos. Para os sólidos, diferentemente dos gases, as moléculas são vinculadas a vibrar em torno de pontos fixos

¹⁶ Coeficiente de expansão térmica está relacionado com a razão do incremento de volume e o incremento de temperatura em um processo a pressão constante. $\beta = (1/V)(\partial V/\partial T)$.

¹⁷ Coeficiente de compressibilidade está relacionada com a razão entre o decréscimo de volume e o incremento de pressão em um processo a temperatura constante. $\kappa = -(1/V)(\partial V/\partial P)$.

possuindo $3f$ graus de liberdade, considerando um sólido harmônico, ou seja, se comportando como um oscilador harmônico (OLIVEIRA, 2005). Assim a energia interna associada a essa configuração terá a forma $u = u_0 + 3RT$, fazendo $c_v = (\partial u / \partial T)$ chegando a:

$$c_v = 3R \quad (38)$$

Essa equação é conhecida como lei de Dulong-Petit¹⁸ que funciona razoavelmente a temperatura ambiente, mas para pequenas temperaturas ($T \rightarrow 0$) a lei de Dulong-Petit diverge dos valores observados, para resolver esse problema Debye¹⁹ obteve a seguinte relação:

$$c_v = \frac{12\pi^4 R}{5} \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \quad (39)$$

Em que θ_D é um parâmetro chamado temperatura de Debye e é um parâmetro que depende da velocidade do som no material, da constante de Planck²⁰, da constante de Boltzmann e do número de Avogadro, $\theta_D = (\hbar v_{som} / k_B) (6\pi^2 N_A / v)^{1/3}$. Para valores de $T \gg \theta_D$, c_v se comportará como na lei de Dulong-Petit.

É possível verificar que o calor específico difere em cada um dos estados da matéria e essa diferença se dá, basicamente, em relação aos graus de liberdade das moléculas ou átomos que compõe uma substância. A Tabela 2 mostra alguns valores de calor específicos de algumas substâncias, esses valores experimentais concordam com a teoria.

Tabela 2 – Alguns valores de calor específico em sólidos, líquidos e gases.

Calor Específico em algumas substâncias					
Sólidos			Líquidos		
Substância	Temperatura, K	Calor específico c_p , kJ/kg.K	Substância	Temperatura, K	Calor específico c_p , kJ/kg.K
<i>Alumínio</i>			<i>Amônia</i>		
	300	0,902		239,85	4,43
	400	0,949		253,15	4,52
	500	0,997		273,15	4,60
<i>Cobre</i>				298,15	4,80
	223,15	0,367	<i>Nitrogênio</i>		

¹⁸ Pierre-Louis Dulong (1785 – 1838). <https://www.britannica.com/biography/Pierre-Louis-Dulong>

¹⁹ Peter Joseph William Debye (1884 – 1966). <https://www.britannica.com/biography/Peter-Debye>

²⁰ Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947). <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Planck/>

273,15	0,381	77,35	2,06
473,15	0,403	113,15	2,97
<i>Gelo</i>		<i>Água</i>	
200	1,56	273,15	4,22
240	1,86	298,15	4,18
260	2,02	323,15	4,18
273	2,11	348,15	4,19

Gases

Substância	Temperatura, K	Calor específico c_v , kJ/kg.K	Calor específico c_p , kJ/kg.K
<i>Ar</i>			
	300	0,718	1,005
	500	0,742	1,029
	700	0,788	1,075
<i>Oxigênio</i>			
	300	0,658	0,918
	400	0,681	0,941
	600	0,743	1,003
<i>Vapor de água</i>			
	300	1,4108	1,8723

Fonte: Çengel e Boles (2013). Adaptado

Ainda na Tabela 2 é possível verificar a variação do calor específico conforme a temperatura varia para algumas substâncias. Nos sólidos de maneira geral o aumento de temperatura é acompanhado com o aumento do calor específico. Nos líquidos o comportamento é parecido com os dos sólidos, com exceção de substâncias com alguma irregularidade como é o caso da água.

Uma substância de importante relevância na Tabela 2 é a água que se encontra nos três estados físicos, no estado sólido na forma de gelo a uma temperatura de 273 K possui um calor específico de 2,11 kJ/kg.K e com a mesma temperatura, mas no estado líquido possui um valor de 4,22 kJ/kg.K. A diferença dos estados físicos produz valores diferentes de calor específico, isso se dá basicamente devido aos graus de liberdade das moléculas da substância.

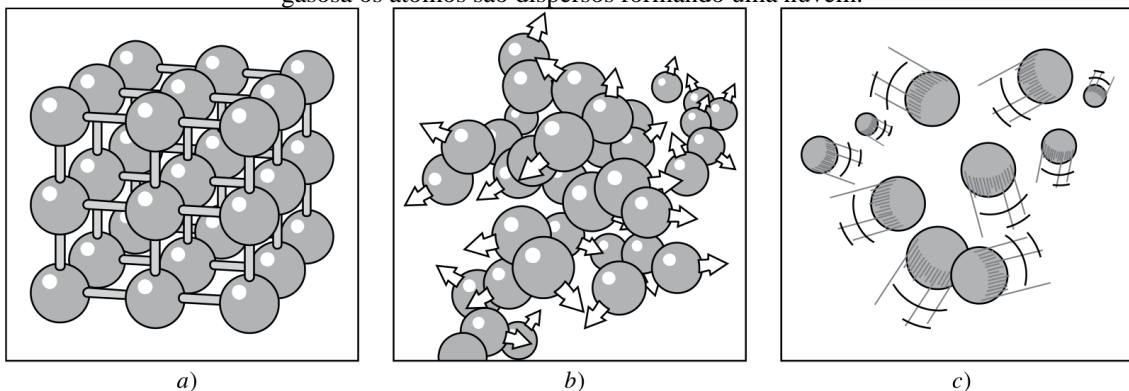
1.1.4.2 – Transição de Fase da Matéria

As substâncias podem existir, dependendo das variáveis de estado, em três fases da matéria bem distintas e fáceis de serem observadas, sólido, líquido e gasoso. Outras fases da matéria como o plasma, condensado de Bose-Einstein e o condensado fermiônico não são simples de serem observadas.

A transição de fase da matéria ocorre quando uma substância vai de um estado físico para outro mudando as suas variáveis de estado que geralmente estão em equilíbrio entre duas fases, e para uma dada pressão isso ocorre a uma temperatura específica. As transições de fase entre os três estados físicos sólido, líquido e gasoso: fusão, vaporização, sublimação e seus inversos (solidificação, condensação e sublimação inversa).

Mudanças de fase são associadas a mudança de volume e entropia, e sendo assim um trabalho será realizado por um sistema ou realizado sobre ele. A Figura 15 exemplifica como os átomos estão distribuídos e sua estrutura nos materiais. Normalmente o volume ocupado pelos átomos aumenta no sentido do estado gasoso.

Figura 15 – Disposição dos átomos em diferentes fases: a) em um sólido os átomos estão em posições relativamente fixas, b) na fase líquida os átomos formam grupos e estão mais separados e c) na fase gasosa os átomos são dispersos formando uma nuvem.



Fonte: Çengel e Boles (2013)

Se a mudança de fase for a pressão constante e a temperatura constante um sistema deverá absorver ou perder calor, e o calor de transformação l é definido como a razão do calor absorvido ou cedido para que a massa m sofrer uma mudança de fase.

$$l = \frac{Q}{m} \quad (40)$$

Recorrendo à primeira Lei da Termodinâmica em que o trabalho, o volume e a energia interna são escritos em termos da massa, $w = W/m$, $v = V/m$ e $u = U/m$. Em que o sistema evolui de um estado inicial (i) para um final (f), $u_f - u_i = l - P(v_f - v_i)$, assim:

$$l = (u_f + Pv_f) - (u_i + Pv_i) \quad (41)$$

Em que o calor de transformação l pode ser relacionado com a soma $u + Pv$, sendo que u , P e v são propriedades do sistema e essa soma também. Assim a soma $u + Pv$ também é uma propriedade do sistema, a entalpia. E o calor de transformação pode ser escrito em termos da entalpia.

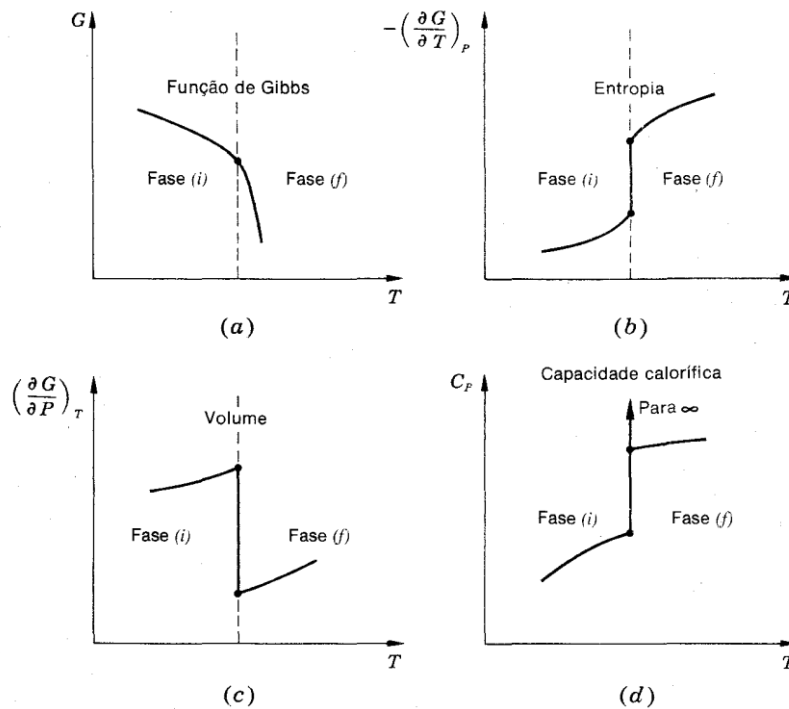
$$l = h_f - h_i \quad (42)$$

O calor necessário para a mudança de fase é igual à diferença entre as entalpias do sistema nas duas fases. Tendo assim um calor de transformação para a fusão, vaporização e sublimação (SEARS; SALINGER, 1979). Como a entalpia se relaciona com a entropia em $(\partial h/\partial s)_P = T$, a variação de entalpia entre o estado inicial (i) para o estado final (f) pode ser escrita como $h_f - h_i = T(s_f - s_i)$, tornando o calor de transformação ou latente:

$$l = T(s_f - s_i) \quad (43)$$

Assim a existência de um calor latente implica na variação de entropia de uma substância e também uma variação de volume. Uma vez que $s = -(\partial g/\partial T)_P$ e $v = (\partial g/\partial P)_T$, onde g é a função de Gibbs. Qualquer mudança de fase em que (1) a entropia e o volume mudam e (2) as derivadas de primeira ordem da função de Gibbs variam descontinuamente a mudança de *primeira ordem*. A Figura 16 mostra as como G, S, V e C_p variam quando uma substância muda de fase, e quando ocorre uma mudança de fase há uma descontinuidade (um salto) nos gráficos. No gráfico em que mostra C_p possui um comportamento interessante, pois no ponto em que ocorre a mudança C_p tende ao infinito uma vez que $C_p = T(\partial S/\partial T)_P$ e $dT = 0$, uma vez que a mudança de fase ocorre a pressão e temperatura constante (ZEMANSKY, 1978).

Figura 16 – Características de uma mudança de fase. Em (a) função de Gibbs, em (b) a entropia, em (c) o volume e em (d) a capacidade térmica (ou capacidade calorífica) a pressão constante. Todas em função de T.



Fonte: Zemansky (1978)

Partindo de $Tds = du + Pdv$ e das relações $du = (\partial u/\partial T)_v dT + (\partial u/\partial v)_T dv$, $ds = (\partial s/\partial T)_v dT + (\partial s/\partial v)_T dv$ e $c_v = (\partial u/\partial T)_v$ chegando a seguinte relação:

$$Tds = c_v dT + T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v dv \quad (44)$$

Em que um mol de uma substância é convertido de forma reversível da fase (i) até a fase (f). Fazendo uma integração com a condição que P é uma função somente de T, independente de v, de modo que $(\partial P/\partial T)_v = dP/dT$ levando a

$$\frac{dP}{dT} = \frac{l}{T(v_f - v_i)} \quad (45)$$

Esta equação é conhecida como *equação de Clapeyron*²¹ e pode ser aplicada a qualquer mudança de fase. Em que (i) e (f) podem ser substituídos por seus valores nos seus respectivos estados, v_S para o estado sólido, v_L para o estado líquido e v_G para o estado gasoso. Podendo assim determinar o calor latente de fusão $l_F = T(s_L - s_S)$ com os volumes v_L e v_S , o calor de vaporização $l_V = T(s_G - s_L)$ com v_G e v_L e também o calor latente de sublimação $l_S = T(s_G - s_S)$ com v_G e v_S . A equação também pode ser escrita em termos da entropia em cada fase:

²¹Benoit Paul Émile Clapeyron (1799 – 1864).

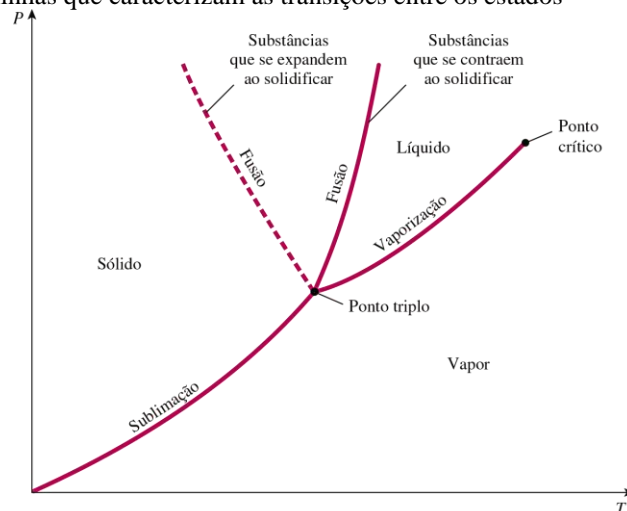
<https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Clapeyron/>

$$\frac{dP}{dT} = \frac{(s_f - s_i)}{T(v_f - v_i)} \quad (46)$$

1.1.4.2.1 – Diagrama de fases

Uma das formas mais simples e compacta de exibir as mudanças de fase que uma substância pode ter é através do diagrama de fase. A Figura 17 mostra um diagrama básico P - T em que as curvas delimitam as fronteiras entre as fases. Em cada ponto existe uma única fase da matéria, exceto sobre a linha onde as fases coexistem em equilíbrio. Cada ponto do diagrama corresponde a um valor de pressão e temperatura para qual aquele estado possui.

Figura 17 – Diagrama típico P - T , mostrando regiões de pressão e temperatura com vários pontos e as linhas que caracterizam as transições entre os estados



Fonte: Çengel e Boles (2013), Adaptado

A equação de Clapeyron relaciona a inclinação da curva no diagrama P - T . Para a transição sólido-vapor (sublimação), $s_G > s_S$, em que a fase gasosa ocorre a uma temperatura mais alta do que na fase sólida e o volume na fase gasosa é maior, $v_G > v_S$, levando a $dP/dT > 0$ mostrando que a curva de sublimação possui inclinação positiva.

Na transição sólido-líquido (fusão) geralmente o volume na fase líquida é maior, $v_L > v_S$, e a temperatura na fase líquida geralmente também é maior, $s_L > s_S$, tornando $dP/dT > 0$ que é uma curva com inclinação positiva. No entanto, se a substância aumentar de volume ao passar da fase líquida para a sólida, $v_L < v_S$, como é o caso da água, então $dP/dT < 0$ e a curva terá uma inclinação negativa (linha tracejada na Figura 17).

Para a transição líquido-vapor (vaporização) tem-se um aumento de temperatura e um aumento de volume, $s_G > s_L$ e $v_G > v_L$ que leva a $dP/dT > 0$, sendo caracterizada por uma inclinação positiva no diagrama.

As três curvas possuem um ponto em comum chamado *ponto tríplice*, onde a três fases podem coexistir numa pressão e temperatura específicas. No ponto tríplice os calores latentes se relacionam por:

$$l_S = l_F + l_V \quad (47)$$

Que é uma relação entre as variações de entropia, $s_G - s_S = (s_L - s_S) + (s_G - s_L)$ ou $\Delta s_S = \Delta s_F + \Delta s_V$.

O *ponto crítico*, com uma pressão e temperatura específica, localizado na linha de transição do estado líquido para o vapor/gasoso. Para uma substância que esteja a uma temperatura igual ou inferior à crítica, na fase gasosa, é chamada vapor e quando possuir uma temperatura superior a crítica será um gás. Um ponto importante é que uma substância que se comporta como vapor poderá mudar de fase por alteração na pressão e temperatura, mas o gás, que possui a temperatura acima da crítica, não poderá mudar para a fase líquida por aumento de pressão.

A Tabela 3 mostra alguns valores de calor latente para algumas substâncias, permitindo perceber que o calor latente de vaporização é maior que o calor latente de fusão, pois uma vez que $l_F = T(s_L - s_S)$ e $l_V = T(s_G - s_L)$, onde a diferença $s_G - s_L$ é numericamente maior que a diferença $s_L - s_S$.

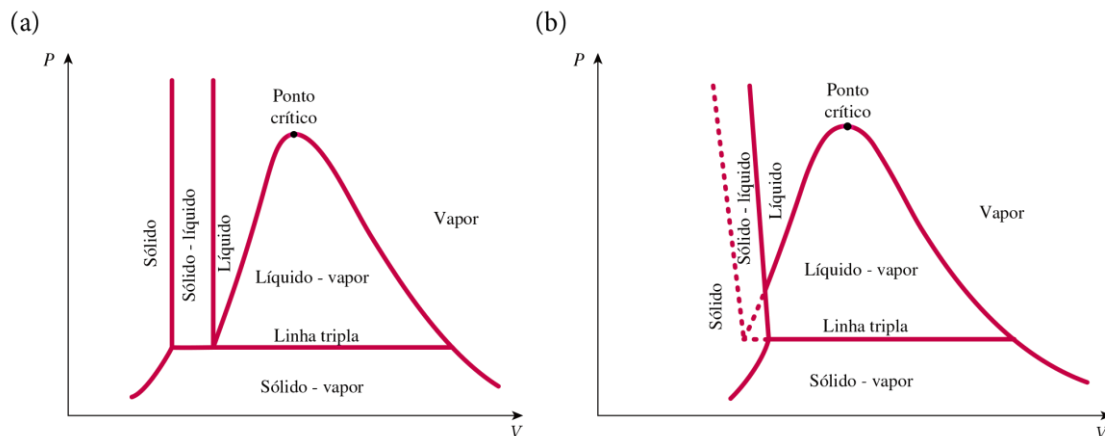
Tabela 3 – Calor Latente de fusão e vaporização de algumas substâncias

Substância	Ponto de fusão, K	Calor latente de fusão L_F , kJ/kg	Ponto de vaporização, K	Calor latente de vaporização L_V , kJ/kg
Hélio	*	*	4,216	20,9
Hidrogênio	13,84	58,6	20,26	452
Nitrogênio	63,18	25,5	77,34	201
Oxigênio	54,36	13,8	90,18	213
Etanol	159	104,2	351	854
Mercúrio	234	11,8	630	272
Água	273,15	334	373,15	2256
Chumbo	600,5	24,5	2023	871
Prata	1233,95	88,3	2466	2336
Ouro	1336,15	64,5	2933	1578
Cobre	1356	134	1460	5069

Fonte: Young e Freedman (2016). Adaptado. *É necessário aplicar uma pressão superior a 25 atm para o hélio solidificar.

Outro diagrama de grande interesse é o P - V , Figura 18, que ajuda e complementa a visualização das mudanças de fase. É possível visualizar o deslocamento da curva sólido-líquido para substâncias que aumentam de volume quando passam para o estado sólido. O diagrama também fornece a linha tripla, mostrando que a substância pode coexistir em equilíbrio nos três estados físicos com pressão e temperatura constante, mas pode ter variação no volume. Já no diagrama P - T a linha tríplice é vista como um ponto.

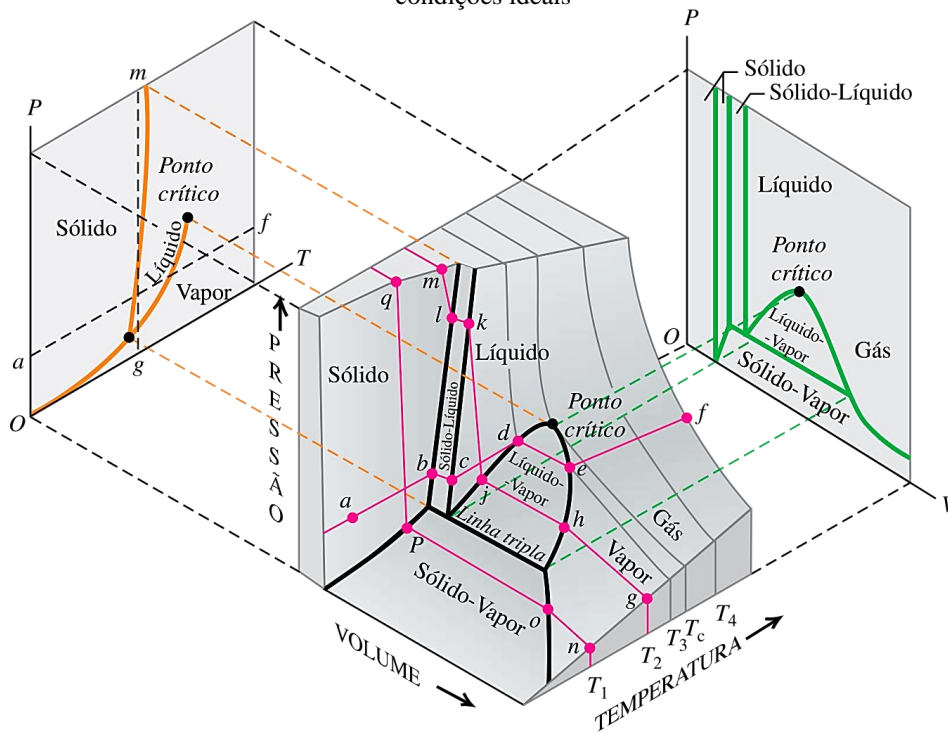
Figura 18 – Diagrama P - V para uma substância pura. Em (a) substância que se contrai ao se solidificar. Em (b) substância que aumenta de volume ao se solidificar.



Fonte: Çengel e Boles (2013), Adaptado

Para uma análise mais completa das transições de fase o diagrama pode ser colocado em termos da pressão, temperatura e volume. O diagrama ou superfícies P - V - T mostradas na Figura 19 é uma representação tridimensional das três variáveis e também as projeções P - T e P - V . No plano P - V são projetadas as isotermas que são representações das linhas de contorno da superfície P - V - T . As projeções das arestas da superfície sobre o plano P - T , é o diagrama da Figura 19.

Figura 19 – Diagrama de fases sólido, líquido e gasoso. Superfície P-V-T para um gás que obedece às condições ideais



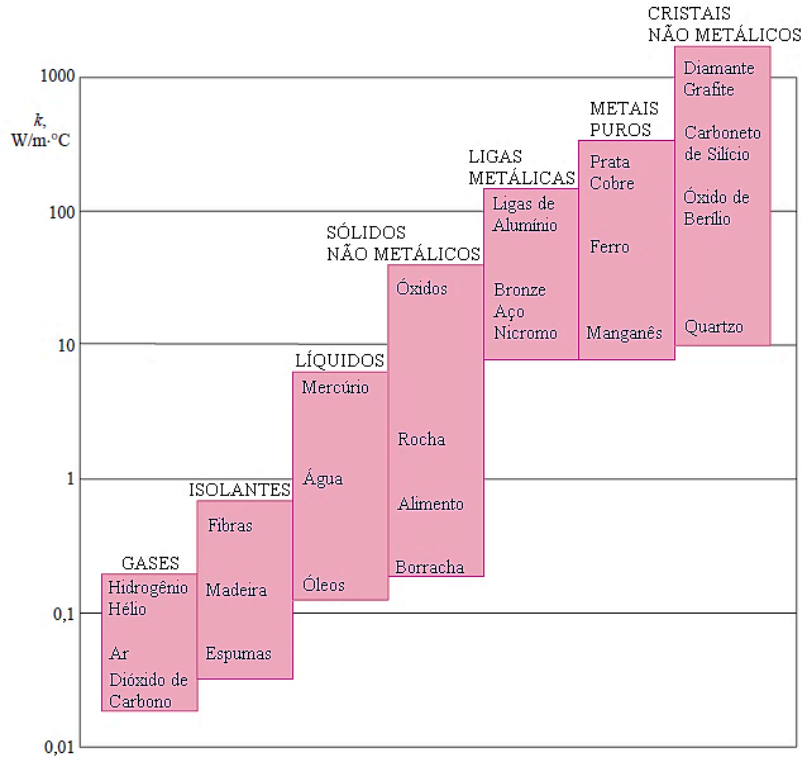
Fonte: Young e Freedman (2016)

Ao longo da linha *abcdef*, na Figura 19, representa um aquecimento a pressão constante, a fusão ocorre na linha *bc*, e na linha *de* ocorre a vaporização. É possível perceber que ao longo da linha *abcdef* ocorre uma variação do volume e da temperatura. Na linha *ghijklm* corresponde a uma compressão isotérmica, na linha *hj* ocorre uma condensação e uma solidificação na linha *kl*. A linha *nopq* representa a solidificação direta, uma sublimação.

1.1.4.3 – Condutividade Térmica

A condutividade térmica é uma propriedade de transporte que fornece a uma informação de como o calor transita nos materiais. É uma propriedade que depende da natureza do material e de que fase se encontra. Geralmente, a condutividade térmica possui altos valores nos sólidos e menores valores nos gases, e os líquidos ficando com valores intermediários. Para medir a condutividade num fluido, se faz necessário evitar o deslocamento de massa do material, tornando um processo complexo e por isso, determinar valores de condutividade para meios sólidos é mais simples. A Figura 20 mostra as faixas de valores da condutividade de materiais em várias fases da matéria.

Figura 20 – Faixa de condutividade térmica de diversos materiais em temperatura ambiente



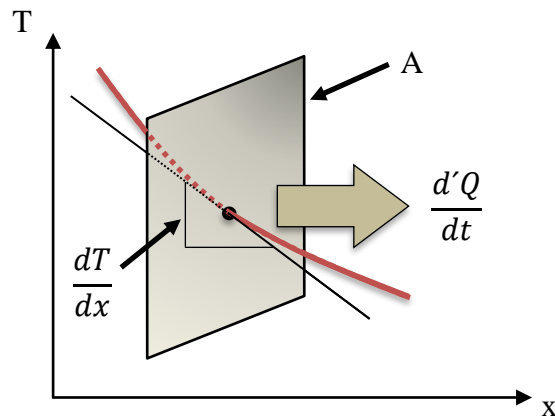
Fonte: Çengel e Ghajer (2012), Adaptado

Nos sólidos a condução de calor é devida a basicamente aos efeitos da vibração da rede, que pode ser cristalina, formada pelos átomos dos materiais. E também pela energia transportada pelos elétrons livres (ÇENGEL; GHAJER, 2012). Geralmente a condutividade térmica pode ser determinada pelo cálculo da condução de calor numa região do material.

$$\dot{Q} = \frac{d'Q}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (48)$$

Em que \dot{Q} é o calor transitando em uma superfície A em um certo tempo dt , dT/dx é o gradiente de temperatura ao longo de A, exemplificado pela Figura 21.

Figura 21 – Condução de calor $\dot{Q} = d'Q/dt$ numa área A de uma seção de um material



Fonte: Próprio Autor

Uma substância com um grande valor de condutividade é chamada de condutor térmico e com baixo valor chamada de isolante. Se a diferença de temperatura entre partes de uma substância for pequena, k pode ser considerado constante em toda substância (ZEMANSKY, 1978). Reescrevendo em termos da condutividade a equação se torna:

$$k = -\frac{\dot{Q}}{A(dT/dx)} \quad (49)$$

Para os gases a condução do calor e a determinação da condutividade térmica se dá pelo uso da teoria cinética dos gases. Em que deve ser considerado a análise estatística das moléculas dos gases a fim de determinar a energia cinética molecular através de uma superfície. Os movimentos aleatórios e as colisões das moléculas são consideradas nessa análise, então é importante saber o livre caminho médio e a velocidade média $\bar{v} = \sqrt{8k_B T / \pi m}$ das moléculas (SEARS; SALINGER, 1979). Assim a condutividade poderá ser escrita, para um gás, como uma grandeza dependente do calor específico a volume constante dividido pelo número de Avogadro $c_V^* = c_V / N_A$, da velocidade média das moléculas \bar{v} , do livre caminho médio λ e o número de moléculas por volume n .

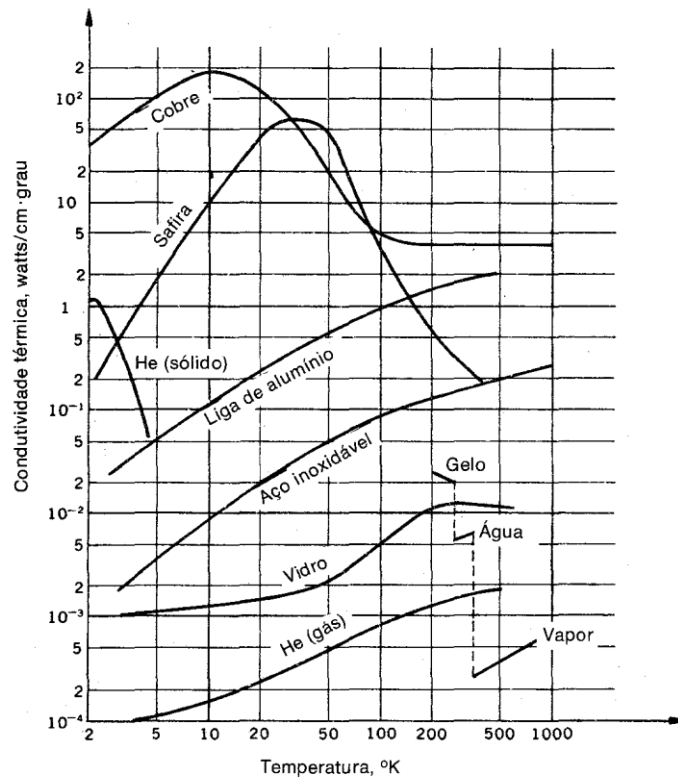
$$k = \frac{1}{3} n \bar{v} c_V^* \lambda \quad (50)$$

Em materiais líquidos as forças entre as moléculas são mais fracas do que nos sólidos e mais fortes do que nos gases, pois o espaço entre as moléculas se aproxima mais dos sólidos, o caminho médio livre diminui (SEARS; SALINGER, 1979).

A Figura 22 mostra as curvas de condutividade para diversos materiais. Como regra geral a condutividade nos sólidos metálicos aumenta ao diminuir a temperatura (no caso do cobre), mas qualquer impureza acarreta uma mudança no comportamento da

condutividade é o caso da liga de alumínio e do aço inoxidável. Os sólidos não metálicos se comportam de modo análogo aos líquidos, contudo a baixas temperaturas o comportamento é bem diferente como no caso da safira. Os gases são os piores condutores de calor, a condutividade aumenta ao se elevar a temperatura (ZEMANSKY, 1978).

Figura 22 – Curvas típicas que mostram a variação da condutividade térmica com a temperatura



Fonte: Zemansky (1978)

Na Figura 22 é possível visualizar duas substâncias em fases diferentes é o caso do hélio e da água. A curva para a substância água mostra os estados do gelo, da água e do vapor, os valores para a condutividade diferem em cada estado. Para a curva do hélio, no estado sólido, há uma diminuição no valor da condutividade conforme a temperatura aumenta e no estado gasoso ocorre o inverso, a condutividade aumenta conforme o aumento de temperatura.

CAPÍTULO 2 – PSICOLOGIA EDUCACIONAL E A DIDÁTICA DA FÍSICA

Segundo Santrock (2009), a psicologia é o estudo científico do comportamento e dos processos mentais e a psicologia educacional é uma parte dedicada à compreensão do ensino e da aprendizagem no âmbito educacional. Pensada no contexto escolar, de forma sucinta, a Teoria da aprendizagem Significativa de David Ausubel²² considera os conhecimentos prévios do aluno e destaca o papel do professor na proposição de situações que proporcionem a aprendizagem. De acordo com a teoria para que ocorra a aprendizagem significativa, o aluno ou aprendiz deve estar disposto a aprender e o professor deve apresentar um conteúdo que faça sentido para o aluno e que este consiga relacionar com um conhecimento anterior. O conteúdo abordado no trabalho pode ser considerado potencialmente significativo, uma vez que as propriedades térmicas estão presentes no cotidiano dos alunos, podendo ser relacionadas com mundo científico.

Um dos maiores desafios para o professor é tentar entender como os alunos imaginam ou pensam sobre os conceitos físicos vistos em sala, como eles relacionam com o seu cotidiano e se foi aprendido de forma satisfatória. Nesse aspecto a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird²³ traz uma abordagem sobre os modelos que os alunos criam em suas mentes ao tentar entender ou explicar um determinado conceito. Esse modelo, criado na mente, representa uma possibilidade, dentre muitas, de simular um determinado acontecimento, e um modelo é construído baseado em um conhecimento prévio do aluno.

2.1 – PSICOLOGIA EDUCACIONAL

2.1.1 – David Ausubel e a Teoria da aquisição e retenção significativa de conceitos

O ponto central da teoria do aprendizado significativo de David Ausubel está baseado no conhecimento prévio do aluno, aquilo que ele já sabe será a base para a aquisição de novos conceitos. Ausubel define o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do indivíduo como conceito subsunçor. Assim, a aprendizagem é significativa

²² David P. Ausubel. <http://www.davidausubel.org/>

²³ Philip N. Johnson-Laird. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117174108>

quando um novo conhecimento se ancora, ou está apoiado, em um subsunçor relevante na estrutura cognitiva de quem está aprendendo. Essa estrutura cognitiva consiste nos conceitos adquiridos na experiência de vida de um indivíduo.

A exemplo, se o conceito de temperatura e calor já existem na estrutura cognitiva de um educando, servindo de subsunçores para novos conceitos, será mais simples a compreensão do conceito de condução térmica. A ancoragem desse novo conceito é realizada sobre os subsunçores, no entanto, a aquisição desse novo conhecimento modifica e expande o conhecimento prévio (subsunçor). Portanto, os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser limitados ou abrangentes e bem desenvolvidos (MOREIRA; MASINI, 1982).

2.1.1.1 – O Conhecimento Prévio e a Assimilação

A origem dos primeiros conceitos é sempre um questionamento primordial. Os conceitos são elementos da cognição que ajudam a simplificar e resumir informações (SANTROCK, 2009). E eles são adquiridos pelas crianças quando elas reconhecem as regularidades do mundo ao seu redor começando a identificar os símbolos para essas regularidades. O aprendizado inicial é essencialmente por descoberta, no qual os indivíduos descobrem os conteúdos, os padrões e as regularidades de eventos que os cercam (NOVAK; CAÑAS, 2010). Posteriormente o aprendizado receptivo em que o que deve ser aprendido é apresentado finalmente ao indivíduo, no qual os novos significados são obtidos por meio de perguntas e esclarecimentos.

Para Ausubel existe a aprendizagem mecânica que é uma aquisição de informações desordenadamente com pouca ou nenhuma conexão entre elas. Os conceitos aprendidos de forma mecânica são armazenados de forma a isolá-los dos demais conhecimentos sem conectá-los, criando um dicionário de conceitos independentes. O conhecimento fica distribuído de forma arbitrária na estrutura cognitiva. No entanto, após a descoberta de um conceito, a aprendizagem só é significativa quando esse novo conceito se liga aos conceitos subsunçores já existentes. Em suma, a aprendizagem é significativa se a nova informação é incorporada de forma não aleatória a estrutura cognitiva, podendo ser por descoberta ou recepção.

Para ocorrer uma aprendizagem significativa são necessárias algumas condições:

1 – O material²⁴ a ser aprendido deve ser claro e apresentado em linguagem acessível para o aprendiz. Deve-se utilizar exemplos relacionáveis com a estrutura de conhecimento pré-existente.

2 – O aprendiz deve possuir conhecimento anterior relevante (subsunçores). Essa condição ocorre com a própria vivência do indivíduo.

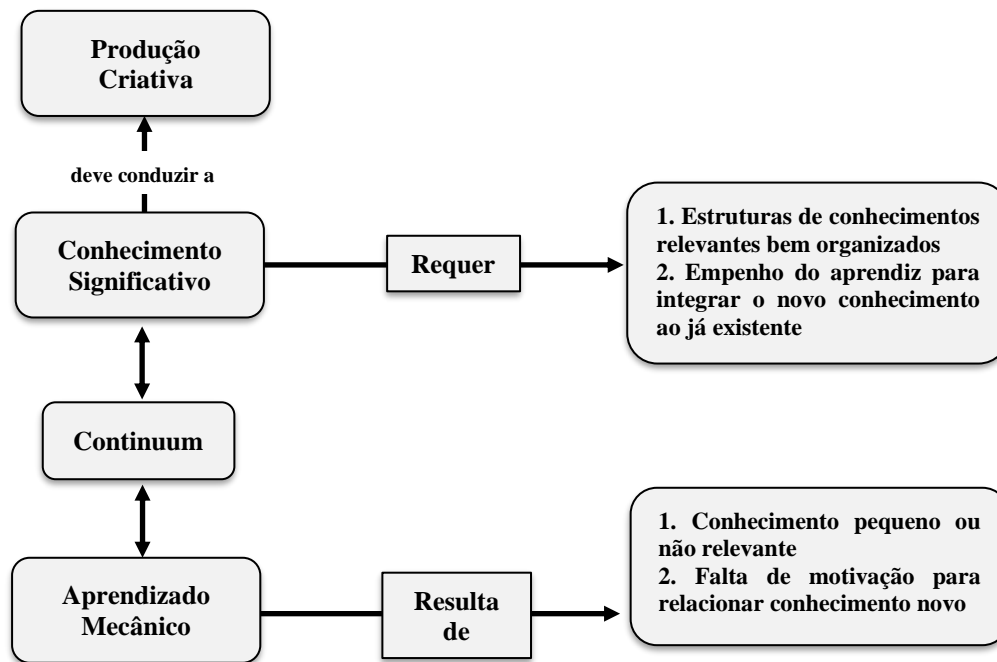
3 – O aprendiz deve ter vontade de aprender. Essa condição é a mais desafiadora, pois depende da motivação do indivíduo em adquirir novos conhecimentos e incorporar a sua estrutura cognitiva.

A aprendizagem mecânica irá persistir até que os conceitos armazenados sejam relevantes aos novos conceitos. Em que nesse momento o aprendiz faça a conexão do novo conceito aos subsunçores. À medida que a aprendizagem começa a ser significativa, esses subsunçores se tornarão mais elaborados e propícios a ancorar mais informações. É importante perceber que a diferença entre o aprendizado significativo e o mecânico não é uma simples dicotomia, mas sim um *continuum*. A aprendizagem significativa é um processo dinâmico, onde havendo atividades bem planejadas, o aprendiz aprofunda, modifica e amplia os seus subsunçores (VALADARES, 2011). A criatividade²⁵ pode ser considerada um alto nível de aprendizagem significativa, na Figura 23 é possível visualizar a conexão entre a aprendizagem significativa e a mecânica levando à criatividade.

²⁴ O termo *material* se refere a livros didáticos, softwares, atividades experimentais, simulações computacionais, entre outros.

²⁵ *Criatividade* é a habilidade de pensar sobre algo de forma nova e incomum e apresentar soluções únicas para os problemas (SANTROCK, 2009).

Figura 23 – O aprendizado pode alternar entre mecânico e significativo. A criatividade resulta de níveis muito altos de aprendizado significativo

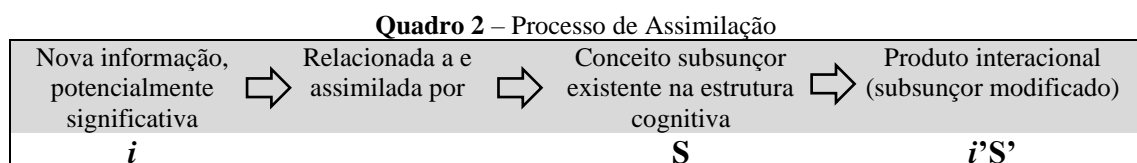


Fonte: Novak e Cañas(2010). Adaptado

A assimilação de conceitos ocorre quando o aprendiz incorpora uma nova informação as ideias já estabelecidas em sua estrutura cognitiva (SANTROCK, 2009).

A não-arbitrariedade indica que o material potencialmente significativo, ou seja, algo novo, se relaciona com um conhecimento específico relevante já existente na estrutura cognitiva do indivíduo (subsunçores). Já a substantividade indica que o novo conhecimento é a substância, ou seja, incorporada a estrutura cognitiva. O conceito pode ser exposto de diversas maneiras e formas, mas é equivalente em significado (MOREIRA, 2011).

Conforme Ausubel a assimilação do conhecimento pode ser representada de maneira simbólica conforme o Quadro 2:



Fonte: Moreira e Masini (1982). Adaptado

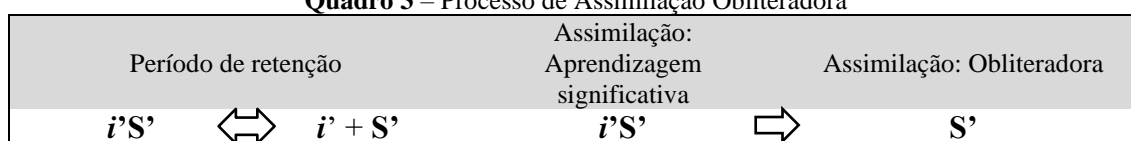
Chamado por Ausubel de princípio da assimilação, pode ser entendido a seguinte forma:

1 – A informação potencialmente significativa i é assimilada sob uma nova ideia ou conceito mais inclusivo, já existente na estrutura cognitiva S .

2 – i e S agora permanecem relacionados, conectados, a uma nova unidade $i'S'$ que é o subsunçor modificado.

Outro estágio da assimilação é denominado obliteradora, no qual o conhecimento adquirido é retido e fica inicialmente sujeito a uma influência erosiva de tendência reducionista, mas que progressivamente fazem as novas informações menos dissociáveis de seu subsunçor até tornarem-se um só (S'), indissociáveis.

Quadro 3 – Processo de Assimilação Obliteradora



Fonte: Braga (2010). Adaptado.

A exemplo tem-se o conceito de condutividade térmica (i) que será informado a um estudante, que a princípio possui o conhecimento de calor (S). Obtendo, portanto, a associação dos dois conceitos ($i'S'$), agora o conceito de condutividade térmica e calor estão associados. E ao passar do tempo serão indissociáveis, e quando o estudante lembrar do conceito de condutividade térmica saberá que se trata do calor (S').

2.1.1.2 – A Facilitação da Aprendizagem Significativa

Segundo Ausubel, a maior problemática da aprendizagem consiste na aquisição de um corpo organizado de conhecimentos e na estabilização das ideias que constituem a estrutura de uma disciplina (MOREIRA; MASINI, 1982).

A facilitação da aprendizagem, ou seja, o manejo deliberado dos atributos relevantes da estrutura cognitiva é realizada de duas formas:

1 – *Substantivamente*, com propósitos organizacionais e integrativos.

2 – *Programaticamente*, ordenando sequencialmente a matéria de ensino, respeitando a ordem lógica.

Em resumo, é de fundamental importância uma análise prévia daquilo que se ensinará, levando em consideração a análise crítica do conteúdo a ser ensinado deve ser feita pensando na realidade do aprendiz. Nem sempre a ordem dos conteúdos nos materiais didáticos é a mais adequada devendo ser ordenada pelo docente, sempre observando a condição do aluno.

No que se refere a facilitação programada da aprendizagem significativa, Ausubel propõe quatro princípios, conforme Moreira (2011):

1 – *Diferenciação progressiva*, o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais de uma disciplina sejam apresentadas antes, adicionado progressivamente os detalhes mais específicos.

2 – *Reconciliação integrativa*, a programação do material de ensino deve ser feita para explorar as relações entre as ideias apontando as semelhanças e diferenças, reconciliando as eventuais discrepâncias.

3 – *Organização sequencial*, consiste em sequenciar os tópicos de estudo de maneira coerente com as relações de dependências existentes na matéria de ensino.

4 – *Consolidação*, é pautada no domínio do que está sendo estudado, antes que novos conceitos sejam introduzidos, assegurando um contínuo manejo na matéria de ensino e alta probabilidade de sucesso na aprendizagem sequencialmente organizada.

É importante ressaltar que a teoria da aprendizagem significativa se apoia naquilo que o aprendiz já sabe, o subsunçor, como o fator mais importante na aprendizagem subsequente. Esses princípios programáticos são destinados a tornar os materiais instrucionais mais potencialmente significativos (MOREIRA, 2011).

2.1.1.3 – Organizador prévio

Segundo Ausubel (2003) um organizador prévio é um mecanismo pedagógico que ajuda a implementar novos conceitos, estabelecendo uma conexão entre aquilo que o aprendiz já conhece e aquilo que ele necessita saber. Assim um organizador fornece inicialmente um ancoradouro, em um nível mais geral, antes do aluno ser confrontado com um novo conceito. O organizador prévio possui um papel mediador, criando uma relação relevante entre o conceito mais específico e um mais geral.

Para funcionar eficazmente para uma variedade de aprendizes, em que cada um possui sua estrutura cognitiva estabelecida, um organizador deve fornecer ou alterar ideias ancoradas a um nível subordinante, os organizadores devem ser apresentados em um nível mais elevado de abstração e generalidade do que os novos conceitos a serem aprendidos (AUSUBEL, 2003).

[...] Material introdutório apresentado antes do material a ser aprendido, porém em nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração do que o material em si e, explicitamente, relacionado às ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva e à tarefa da aprendizagem. Destina-se a facilitar a aprendizagem significativa, servindo de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele

precisa saber para que possa aprender o novo material da maneira significativa. É uma espécie de “ponte cognitiva” (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 104).

A fundamentação lógica para a utilização dos organizadores prévios são baseados, segundo Ausubel (2003), em três pontos:

1 – O aprendiz deve possuir ideias relevantes, estabelecidas, já disponíveis na sua estrutura cognitiva para proporcionar uma ancoragem estável, fazendo com que um novo conhecimento se torne potencialmente significativo.

2 – Utilizar conceitos mais gerais, abrangentes e inclusivos de um conteúdo na estrutura cognitiva como subsunçor, modificados adequadamente para uma maior particularidade de relevância.

3 – O fato de os organizadores prévios tentarem identificar um conteúdo relevante já existente na estrutura cognitiva e indicar a relevância do subsunçor.

Assim, um organizador prévio apresentado ao aprendiz não só deve ser o mais geral, inclusivo e abstrato do que as ideias já existentes, mas também deve considerar as ideias potencialmente relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

2.1.1.4 – Mapa Conceitual

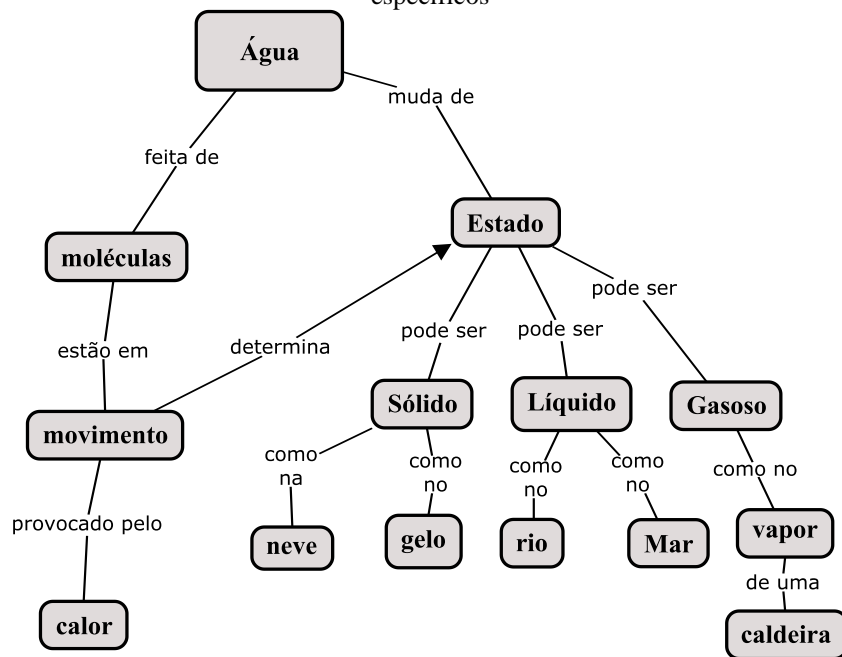
Os mapas conceituais possuem o objetivo de representar as relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição consiste em dois ou mais termos conectados por palavras e formam uma unidade semântica (NOVAK; GOWIN, 1996). Mais especificamente podem ser vistos como diagramas hierárquicos que procuram a organização conceitual de um conteúdo. Como os mapas conceituais são fundamentados na TAS²⁶, é considerada a necessidade de conhecer ideias prévias (subsunçor). Enquanto um novo conhecimento é criado, os subsunçores experimentam uma diferenciação progressiva e, quando vários conceitos se relacionam significativamente, acontece uma reconciliação integrativa (RUIZ-MORENO et al., 2007).

Os mapas conceituais servem para tornar claro, tanto aos professores como aos alunos, o pequeno número de ideias chave em que eles se devem focar para uma tarefa de aprendizagem específica. Um mapa conceitual também pode funcionar como um mapa rodoviário visual, mostrando alguns dos trajetos que se podem seguir para ligar os significados de conceitos de forma a que resultem proposições. Depois de terminada uma tarefa de aprendizagem, os mapas conceituais mostram um resumo esquemático do que foi aprendido (NOVAK; GOWIN, 1996, p. 31).

²⁶ Abreviação: TAS – Teoria do Aprendizado Significativo.

Mapas conceituais podem ser feitos para uma disciplina completa ou para parte dela, para um tópico específico e assim por diante, até o mínimo de dois termos. Existem inúmeras maneiras de traçar um mapa conceitual, são diferentes modos de representar uma hierarquia conceitual, ou seja, um mapa conceitual deve ser visto como uma possibilidade entre várias possibilidades de representações de uma certa estrutura conceitual. Assim um mapa conceitual é dinâmico podendo ser modificado, dependendo da perspectiva de quem o produz. Os conceitos mais gerais e mais inclusivos devem estar no topo do mapa, com os conceitos mais específicos e menos inclusivos logo debaixo deles. A Figura 24 representa um mapa conceitual sobre a água e outros conceitos relacionados.

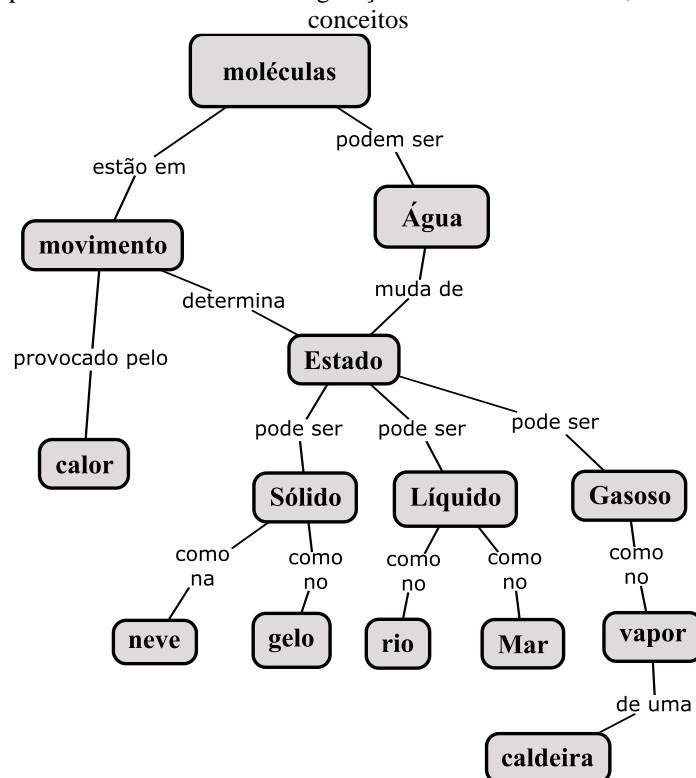
Figura 24 – Mapa de conceitos para a água mostrando conceitos relacionados a ela. Incluindo conceitos específicos



Fonte: Novak e Gowin (1996), Adaptado

Na Figura 25 que é outro mapa conceitual são usados os mesmos conceitos, mas organizados diferentemente.

Figura 25 – Mapa conceitual com uma configuração diferente do anterior, mas utiliza os mesmos conceitos



Fonte: Novak e Gowin (1996), Adaptado

É interessante notar que os mesmos conjuntos de conceitos puderam ser representados de forma válida e lógica de duas formas possíveis. O que diferenciou os dois mapas foi o enfoque no conceito principal.

[...] É indubitável que, no processo de elaboração dos mapas, podemos desenvolver novas relações conceituais, especialmente se procurarmos ativamente construir relações preposicionais entre conceitos que até então não considerávamos relacionados: Os estudantes e os professores fazem notar frequentemente, durante a elaboração de mapas conceituais, que reconhecem novas relações e portanto novos significados (ou pelo menos significados que eles não possuíam conscientemente antes de elaborarem o mapa). Neste sentido, a elaboração de mapas de conceitos pode ser uma atividade criativa e pode ajudar a fomentar a criatividade (NOVAK; GOWIN, 1996, p. 33).

Os mapas conceituais são uma excelente ferramenta no processo de ensino e aprendizagem. Nesse sentido pode ser utilizado pelo docente para realizar uma avaliação, introduzir novos conceitos ou sintetizar conteúdo. Os mapas também podem ser elaborados pelos alunos para acompanhar o processo de ensino aprendizagem.

2.1.2 – Johnson-Laird e a Teoria dos Modelos Mentais

2.1.2.1 – Modelos Mentais

Representações internas ou *mentais* são maneiras de representar internamente o mundo externo. Os indivíduos não captam o mundo exterior diretamente e rapidamente, eles constroem representações mentais para tentar explicar a priori o mundo externo (MOREIRA, 1996).

[...] Uma caracterização simples de um modelo mental é que ele é um modelo que existe na mente de alguém. Isso significa que não há meios de se conhecerem, objetivamente, os modelos mentais de outros. Nós só podemos falar a respeito de nossa própria concepção dos modelos mentais usados por outras pessoas. Frequentemente, os próprios usuários não têm consciência dos modelos que utilizam. Isso não é exclusivo do estudo de modelos mentais, mas de todos os fenômenos da cognição. Intuitivamente, a ideia é simples: pensar envolve a construção e o uso de modelos simplificados da realidade. (BORGES, 1999, p. 67)

Ao tentar explicar o mundo ou fazer previsões, cada indivíduo, cria, simula mentalmente uma estrutura simbólica de componentes (ideias) interligadas. Esses componentes ligados, essas ideias, contribuem para a obtenção de um resultado que explica, pelo menos inicialmente, o funcionamento de um sistema²⁷ que naquele momento ainda é complexo ao indivíduo. Dessa forma, a simulação mental permite que uma pessoa possa fazer previsões com um conjunto de condições inicialmente hipotéticas para inferir estados futuros de um sistema.

O processo de criação e manipulação mental para um modelo de um sistema envolve, segundo Borges (1999), envolve quatro fases:

- 1 – Representar o sistema;
- 2 – Propor um modelo *a priori* que poderia fazer um sistema funcionar;
- 3 – Imaginar o modelo funcionando, realizando uma simulação mental;
- 4 – Comparar com a realidade.

Pode-se diferenciar as representações mentais em *analógicas* e *proposicionais*. As representações analógicas são não-individuais (não-discretas) e representam entidades particulares do mundo exterior, as imagens visual, auditivas, olfativas e táteis são exemplos de representação analógica. As representações proposicionais, são tradicionalmente definidas como representações mentais sob a forma de cadeia de

²⁷ Reunião dos elementos, concretos ou abstratos, que se interligam para formar um todo organizado. Algo mais complexo.

símbolos em linguagem própria da mente. Para Johnson-Laird (1983) uma representação proposicional é uma representação mental de uma proposição verbalmente expressável. Johnson-Laird considera que existem três tipos de representações possíveis, segundo Johnson-Laird (1983 apud MOREIRA, 1996, p. 194):

1 – *Representação proposicionais*, são representações de significados totalmente abstraídos e verbalmente expressáveis. É considerada uma linguagem mental, é a linguagem que a mente utiliza, sem uma sintaxe e semântica conhecida. Uma proposição pode ser considerada como verdadeira ou falsa de acordo com um modelo mental;

2 – *Modelo mental*, são análogos estruturais de coisas e processos que existem ou ocorrem no mundo. É uma representação interna que corresponde analogamente aquilo que se deseja representar. Podendo ser vista de qualquer ângulo, visto que essa representação está na mente do indivíduo.

3 – *Imagens*, é uma representação específica que retém muitos aspectos perceptivos de objetos ou eventos. A imagem corresponde ao modelo mental projetado para o exterior da mente e tem um ponto de vista específico.

Os modelos mentais e as imagens são representações de alto nível e essenciais para entender a cognição humana (MOREIRA, 1996). O uso dessas representações provoca uma libertação da cognição do indivíduo da obrigação de operar de forma proposicional.

Para Johnson-Laird, os indivíduos usam modelos mentais para raciocinar em forma de blocos de construção cognitivo que podem ser combinados e recombinados conforme a necessidade (MOREIRA, 1996).

Portanto, o âmbito da teoria de Johnson-Laird é o nível macro inconsciente ou consciente do funcionamento da mente e, nele, as proposições, as imagens e os modelos mentais são logicamente distinguíveis: *representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são modelos vistos de determinada perspectiva* (op. Cit., p. 165). Sua teoria relaciona modelos mentais tanto a proposições (interpretadas à luz de modelos mentais) como a imagens (vistas de modelo). Os três tipos de representações mentais são distinguíveis e harmonicamente relacionados, mas, no contexto da teoria, modelo mental é, sem dúvida, o conceito central, o construto superordenado (MOREIRA, 1999).

Um exemplo de modelo mental em que um indivíduo pode construir a partir de algumas premissas é descrito a seguir (EYSENCK; KEANE, 2017, p. 603):

Premissas

O abajur está do lado direito da almofada.

O livro está do lado esquerdo da almofada.

O relógio está em frente ao livro.

O vaso está na frente do abajur.

Conclusão

O relógio está do lado esquerdo do vaso.

Usando um pouco da lógica e das informações contidas nas premissas, o modelo mental pode ser traduzido pelo arranjo espacial dos objetos da seguinte forma:

livro	almofada	abajur
relógio		vaso

A conclusão de que o relógio está à esquerda do vaso é proveniente do modelo mental consistente com as premissas e o indivíduo para contrapor este modelo necessitará encontrar outro.

Um modelo mental que descreve determinada situação é construído produzindo conclusões derivadas, e sua estrutura corresponde aquilo que ele representa. Podem ser feitas tentativas de construir modelos alternativos para tentar contradizer as conclusões, encontrando contraexemplos. Se o modelo alternativo baseado nos contraexemplos não for encontrado, a conclusão é assumida como válida. Problemas que demandam a construção de vários modelos mentais são mais difíceis de solucionar do que aqueles que exigem apenas um modelo mental (EYSENCK; KEANE, 2017).

Com a intenção de caracterizar os modelos mentais, diferenciando de outras representações mentais, como os esquemas de Piaget²⁸ e os constructos de Kelly²⁹, Johnson-Laird propõe um conjunto de princípios, segundo Johnson-Laird (1983 apud MOREIRA, 1999, p. 188):

1 – *Princípio da computabilidade*: modelos mentais são computáveis, podem ser descritos na forma de procedimentos efetivos que possam ser executados por uma máquina;

2 – *Princípio da finitude*: modelos mentais são finitos em tamanho e não podem representar um domínio infinito;

²⁸ Jean Piaget (1896 – 1980). Psicólogo suíço que foi o primeiro a fazer um estudo sistemático sobre a aquisição da compreensão em crianças. Muitos acreditam que ele foi a figura principal da psicologia do desenvolvimento do século XX. <https://www.britannica.com/biography/Jean-Piaget>

²⁹ George Alexander Kelly (1905 – 1967). <https://www.britannica.com/biography/George-Kelly-American-psychologist>

3 – *Princípio do construtivismo*: modelos mentais são construídos a partir de elementos básicos organizados de uma forma que represente um estado de coisas;

4 – *Princípio da economia*: uma descrição de um estado de coisas é representada por um só modelo mental. Um único modelo pode representar uma infinidade de possíveis estados de coisas, pois o modelo pode ser revisto recursivamente;

5 – *Princípio da não-indeterminação*: modelos mentais podem representar indeterminações, se somente se, seu uso não for computacionalmente tratável;

6 – *Princípio da predicabilidade*: um predicado pode ser aplicável a todos os termos aos quais outro predicado é aplicável, desde que suas abrangências de aplicação sejam compatíveis entre si;

7 – *Princípio do inatismo*: todos os primitivos conceituais são inatos. Primitivos conceituais subjazem as nossas experiências perceptivas, estratégias cognitivas, ou seja, a capacidade de representar o mundo;

8 – *Princípio do número finito de primitivos conceituais*: origina um conjunto correspondente de campos semânticos e outro conjunto finito de conceitos ou “operadores semânticos”, que ocorre em cada campo semântico servindo para construir conceitos mais elaborados;

9 – *Princípio da identidade estrutural*: as estruturas dos modelos mentais são idênticas às estruturas das coisas que os modelos representam.

Esses princípios buscam estruturar os modelos mentais, fazendo algumas limitações em alguns princípios e simplificação em outros. Com relação aos modelos mentais, existem dois a serem considerados, os *físicos* e os *conceituais*. Os modelos físicos representam o mundo físico através da percepção de seus elementos. Já os conceituais são modelos que os indivíduos possuem na mente que representam as abstrações. Os modelos físicos estão classificados em seis tipos, que segundo Johnson-Laird (1983 apud MOREIRA, 1999, p. 191) são:

1 – *Modelo relacional*: é um quadro estático consistindo de um conjunto finito de elementos, que representam um conjunto de entidades físicas, de um conjunto finito de propriedades físicas de tais entidades e de um conjunto de relações entre os elementos representando relações físicas entre as entidades;

2 – *Modelo espacial*: é um modelo relacional, em que as relações entre as entidades são somente espaciais e estão representadas pela localização dos elementos no espaço;

3 – *Modelo temporal*: consiste em uma sequência de quadros espaciais (de dimensão constante), que ocorre em uma ordem temporal conforme os eventos;

4 – *Modelo cinemático*: consiste em um modelo temporal psicologicamente contínuo. Esse modelo representa mudanças e movimento nas entidades representadas, sem descontinuidade temporal e que pode funcionar em tempo real;

5 – *Modelo dinâmico*: é um modelo cinemático, no qual existem relações entre os quadros representando relações causais entre os eventos;

6 – *Imagem*: é uma representação, centrada no observador, das características visíveis de um modelo espacial ou cinemático subjacente, correspondendo a uma vista ou projeção do objeto, ou estado de coisas.

Conforme Moreira (1999) os modelos conceituais são divididos basicamente em quatro tipos:

1 – *Modelo monádico*: representa as afirmações sobre entidades individuais, como as propriedades e identidades entre eles. Este modelo possui um número finito de elementos, duas relações binárias de identidade e não-identidade e alguma notação indicando ser incerto a existência de determinada identidade. Por exemplo, na afirmação “Todos os atores são artistas” que pode ser representado: ator = artista (artista), o elemento ator é uma notação mental que representa um indivíduo que é ator, enquanto que a notação que inclui um elemento entre parênteses indica que é incerto se a individualidade correspondente existe ou não. O que pode indicar um artista que não é ator;

2 – *Modelo relacional*: inclui uma quantidade finita de relações, possivelmente abstratas, entre entidades representadas pelo modelo monádico. Por exemplo, na afirmação “Existem mais bês do que cês”, sugere o modelo:

$$\begin{aligned} & b - c \\ & b - c ; \\ & b - \end{aligned}$$

3 – *Modelo metalinguístico*: contém elementos correspondentes a expressões linguísticas e certas relações abstratas entre elas e elementos do modelo. Por exemplo, “Um dos meninos se chama José”, então o modelo será:

$$\begin{aligned} & \textit{menino} \\ \textit{José} & \rightarrow \textit{menino} ; \\ & \textit{menino} \end{aligned}$$

4 – *Modelo conjunto-teórico*: contém um número finito de elementos representando conjuntos diretamente. Esse modelo também pode conter um número finito de elementos, representando propriedades abstratas do conjunto e um número finito de relações entre os elementos. Por exemplo, na afirmação “Algumas referências citam a si mesmas, outras não”, o que sugere dois modelos:

$$r_1 \begin{cases} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{cases}, \quad r_6 \begin{cases} r_3 \\ r_4 \\ r_5 \end{cases}.$$

No primeiro modelo representa uma referência de três nomes, inclusive o próprio. No segundo a referência não cita a si mesma. Nesses modelos os elementos r_1, r_2, \dots, r_6 representam conjunto de referências e a chave representa a relação de inclusão.

Modelos mentais podem ser construídos a partir da percepção, do discurso ou da concepção. Onde a percepção é a fonte fundamental dos modelos cinemáticos e dinâmicos do mundo ao redor do indivíduo, esses modelos são equivalentes estruturais do mundo. Mas um modelo mental também pode ser construído a partir de um conjunto de afirmações sobre objetos ou eventos. Os modelos mentais não precisam ser completos ou finalizados, lógicos ou corretos, eles podem ser revisados recorrentemente.

A idéia de modelos mentais como representações de alto nível, indispensáveis para a compreensão, tem profundas implicações instrucionais, pois, nessa ótica, aprender é construir modelos mentais do que está sendo ensinado e ensinar é facilitar a construção e revisão de modelos mentais. Quer dizer, o professor ensina modelos conceituais – que são representações precisas, consistentes e completas de estados de coisas do mundo, projetadas para facilitar seu entendimento e ensino – e espera que o aluno construa modelos mentais consistentes com esses modelos conceituais (MOREIRA, 1999, p. 195).

Os modelos mentais que os indivíduos (alunos, aprendizes ou estudantes) trazem para o ensino instrucional, ambiente escolar, influenciam o ensino e a aprendizagem, portanto devem ser considerados pelo professor. É importante, para o professor, lidar com conhecimentos representados internamente e tentar fazer com que o aprendiz externalize esses modelos mentais.

2.1.3 – Aproximações entre a perspectiva de David Ausubel e Johnson-Laird

Segundo Moreira (2011) é possível interpretar a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel em relação à teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. Considerando as características dos modelos mentais, para um indivíduo elaborar um

modelo mental de um determinado conceito ele deverá possuir o que Ausubel chama de subsunçor que permita fomentar a construção do modelo mental.

Os modelos mentais externalizados por um aprendiz podem ser falhos em vários aspectos, podendo ser confuso e incompleto, mas são funcionais. No sentido em que pode ajudar a compreender e chegar a uma solução de um problema. Nesse sentido o que pode limitar o modelo mental de uma pessoa está em seu conhecimento prévio, o subsunçor.

A teoria de Johnson-Laird mostra que modelos mentais podem ser elaborados ou reelaborados conforme a necessidade do aprendiz em resolver um problema. De acordo com Moreira (2011):

Talvez se possa dizer que a aprendizagem é significativa quando o sujeito constrói um modelo mental da nova informação (conceito, proposição, ideia, evento, objeto). Por exemplo, quando uma pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre um sistema físico é porque, na linguagem de Johnson-Laird, ela tem um modelo mental desse sistema, i.e., uma representação mental análoga a ele em termos estruturais. Mas se a pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre tal sistema isso é, sem dúvida, evidência de aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011, p. 34).

Assim a elaboração e a reelaboração de modelos mentais, tornando-os mais eficientes podem ser uma evidência de que tenha acontecido uma aprendizagem significativa com o aprendiz assimilando um novo conceito. Então, logicamente, um aprendiz que possui a capacidade de construir modelos mentais e aperfeiçoa-los possui maior condição de aprender significativamente.

Por outro lado, a aprendizagem mecânica, descrita por Ausubel, pode ser relacionada com a não elaboração de um modelo mental, pois usa proposições soltas, não articuladas em um modelo e não usando imagens, mas fazendo o uso de métodos repetitivos, mecanizados.

Segundo Moreira (2011) ao realizar estudos com estudantes de Física Geral na área de Eletromagnetismo ele observou dois grupos distintos, um que trabalhava com modelos mentais e outro não, enquanto realizavam as atividades instrucionais. Ele observou que o grupo que não usava o modelo mental tendia a aprendizagem mecânica, com o uso de proposições soltas, não articuladas e pareciam não utilizar imagens. Já o grupo que usava o modelo mental apresentou evidências tendendo a aprendizagem significativa. Ao que parece é possível dizer que há uma aprendizagem significativa com o uso dos modelos mentais, quanto maior a capacidade do aprendiz em construir modelos mentais mais a aprendizagem se torna significativa.

Em outro estudo de Baptista e Moreira (1999) foi possível perceber a dificuldade dos estudantes em elaborar modelos mentais sobre conceitos físicos que lhes são

apresentados, isso se deve ao fato de que eles são ensinados proposicionalmente, ou seja, aprendem regras isoladas, sem relacionar com os conceitos ou aspectos da matéria (assunto). Para que os alunos consigam elaborar melhores modelos mentais o conteúdo instrucional não deve ser ensinado de forma puramente mecânica, em que o aluno memorize um procedimento e repita várias outras vezes.

É importante perceber que os relatos na literatura apontam para uma potencialização da aprendizagem significativa quando associada aos modelos mentais. A quantidade e a qualidade dos modelos produzidos pelos estudantes são fundamentais para uma melhor compreensão do modelo conceitual que é ensinado.

2.2 – DIDÁTICA DA FÍSICA

2.2.1 – Ensino Por Investigação

Geralmente, o ensino é visto como um processo em que o professor mostra aos alunos novas informações e conceitos, os estudantes recebem e memorizam podendo utilizar ou não esses conceitos em situações escolares, ou em sua vida cotidiana. Essa prática tradicional é centrada em atividades em que o professor é o principal ator, e os alunos expectadores que registram e acompanham o raciocínio desenvolvido pelo professor. O ensino de Física que pode estabelecer uma mudança nas interações entre o professor e os alunos não deve ser pautado puramente na relação de autoridade em que o professor é absoluto em suas ações. O professor deverá permitir o trabalho intelectual dos alunos de tal forma que ele seja um agente mediador do conhecimento (CARVALHO, 2011).

[...] A investigação é um processo aberto, desencadeado e dependente de características do próprio problema em análise, tendo forte relação com conhecimentos já existentes e já reconhecidos pelos participantes do processo. Sob esta perspectiva, processos investigativos podem surgir como decorrência, desdobramento e continuidade de investigações em curso ou já realizadas (SOLINO; FERRAZ; SASSERON, 2015, p. 2).

Para que os alunos aprendam e possam compreender as aulas de Física, visto que não é uma tarefa fácil. As aulas deveriam propor um ambiente investigativo, de tal forma que o professor possa ensinar os alunos no processo do trabalho científico para poderem gradativamente ampliar os seus conhecimentos científicos, de preferência recorrendo aos conhecimentos prévios deles. Para isso as aulas serão baseadas numa sequência de ensino investigativa (SEI), ou seja, as aulas serão pautadas em tópicos do conteúdo escolar, onde

cada atividade será planejada objetivando proporcionar aos alunos condições de revisitar seus subsunçores para assimilarem novos conceitos.

[...] uma sequência de ensino investigativa deve ter algumas atividades-chave: na maioria das vezes a SEI inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado e ofereça condições para que pensem e trabalhem com as variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático (CARVALHO, 2013, p. 9).

Para Carvalho (2011), existem oito pontos que orientam o professor no planejamento de uma SEI, com o propósito de organizar as atividades para que as interações sociais ocorram:

1 – *A participação do aluno*. É a fundamentação da SEI. O aluno é construtor do seu próprio conhecimento;

2 – *Interação aluno-aluno*. A interação entre os alunos poderá levar a uma reflexão sobre as hipóteses de solução de problemas;

3 – *O papel do professor*. Será, o professor, aquele que levará o conhecimento científico, fazendo com que os alunos participem da construção do conhecimento. É aquele que dará sentido as diversas explicações dos alunos sobre o tema em estudo.

4 – *Criação de um ambiente motivador*. Para que o aluno seja ativo em sala de aula e possa interagir de forma satisfatória o ambiente não deve inibir o aluno.

5 – *O ensino a partir do conhecimento prévio (subsunçor)*. É de grande relevância o conhecimento que o aluno já possui, pois poderá facilitar a aprendizagem de novos conceitos através de uma ancoragem entre uma ideia já existente e uma nova.

6 – *Conteúdo significativo*. Como o aluno irá construir novos conceitos, o conteúdo deve fazer sentido para o aluno, de preferência que busque explicar conceitos que são próximos aos alunos.

7 – *Relação da ciência, tecnologia e sociedade*. Para introduzir o aluno no universo da Física é importante fazer uma relação com a tecnologia que permeia a sociedade.

8 – *A mudança da linguagem*. Introduzir a linguagem científica no vocabulário do aluno. Para falar sobre os termos científicos, o professor, deverá apresentar os processos e argumentos científicos.

Deve ficar claro que não basta apenas o planejamento para que uma sala de aula seja investigativa, o professor é aquele que irá implementar, conduzir, de fato o ensino investigativo.

2.2.1.1 – Sequência de Ensino Investigativo

O planejamento de uma sequência de ensino investigativa que tem o objetivo fazer com que o estudante construa um conceito deve começar por atividades manipulativas na forma de questões ou problemas que, de preferência, envolvam conhecimentos do cotidiano. Nesse caso a questão, ou o problema, pode incluir uma experiência, um jogo, um texto, um vídeo ou uma simulação. A passagem da ação manipulativa para a construção intelectual do conteúdo instrucional deve ser feita com a ajuda do professor, quando este leva o aluno por meio de uma série de pequenas ações a tomar consciência dos problemas ou questionamentos propostos. Essa passagem não é fácil para o aluno e nem para o professor, é relevante ter consciência da importância do erro na construção de novos conhecimentos. Quando o erro é trabalhado, ou seja, quando o aluno reflete sobre o seu erro e o supera, pode ser mais proveitoso do que ficar seguindo à risca uma aula expositiva (CARVALHO, 2013). É claro que a superação do erro se dá a partir de várias tentativas em resolver um problema ou questão proposta em sala pelo professor.

[...] Uma dessas etapas são a elaboração e o teste de hipóteses. O problema e os conhecimentos prévios – espontâneos ou já adquiridos – devem dar condições para que os alunos construam suas hipóteses e possam testá-las procurando resolver o problema. A solução do problema deve levar à explicação do contexto mostrando aos alunos que Ciência não é natureza, mas leva a uma explicação da natureza (CARVALHO, 2013, p. 7).

A linguagem abordada na SEI tem uma grande importância sendo preciso direcionar o aluno que na maioria das vezes possui uma linguagem cotidiana para uma linguagem científica. A linguagem científica não é somente a linguagem verbal, é também a linguagem matemática, as imagens, gráficos e tabelas. O professor deve levar para a sala de aula questões ou problemas que conduza o aluno a justificar a sua resposta e fazê-lo sistematizar o seu raciocínio em torno dos conceitos, e gradualmente deixando a sua linguagem mais distante do cotidiano e aproximando da linguagem científica.

[...] O que se propõe é muito simples – queremos criar um ambiente investigativo em salas de aula de Ciências de tal forma que possamos ensinar (conduzir/mediar) os alunos no processo (simplificado) do trabalho científico para que possam gradativamente ir ampliando sua cultura científica, adquirindo, aula a aula, a linguagem científica [...], se alfabetizando cientificamente (CARVALHO, 2013, p. 9).

Segundo Carvalho (2011) podem ser citados quatro pontos importantes para fundamentar o planejamento de uma Sequência de Ensino Investigativo que tem o objetivo criar condições para a construção do conhecimento pelo aluno:

1 – *A importância de um problema para um início da construção do conhecimento.* É um ponto fundamental, iniciar a sequência com um problema ou questão que seja compreendida pelo aluno e que o leve a formular hipóteses;

2 – *Passar a ação manipulativa para a ação intelectual;*

3 – *A importância da tomada de consciência dos seus atos para a construção do conhecimento;*

4 – *As diferentes etapas das explicações científicas.* As discussões com os alunos devem chegar até a etapa das explicações do que está sendo estudado.

O professor tem um papel importante em verificar se os alunos entenderam os problemas ou questionamentos propostos. Ao verificar que os alunos terminaram uma tarefa atribuída deve recolher o material e organizar um pequeno debate na turma entre os alunos e o professor. Esta é uma etapa importante e o professor deve disponibilizar um tempo na aula para uma sistematização coletiva do conhecimento, podendo fazer perguntas com a intenção de descobrir como os alunos pensaram na solução do problema. As atividades devem ser organizadas de modo que os alunos discutam sobre o assunto, coletivamente, expondo aos colegas suas ideias e entendimento. Assim os alunos podem começar a tomar consciência das suas ações, é nesse momento que eles podem apresentar suas hipóteses usadas na resolução do problema. Outra etapa importante é sistematização individual do conhecimento que ocorre após a sistematização coletiva, o professor deve pedir que escrevam ou desenhem sobre o que aprenderam em sala de aula (CARVALHO, 2013).

Os problemas propostos pelo professor em sala de aula podem ser de caráter demonstrativo ou não-demonstrativo. Para os demonstrativos é possível incluir os experimentos físicos e de certa maneira as simulações computacionais, uma vez que na sala de aula tanto o experimento físico quanto a simulação tendem a ser executados pelo professor, configurando uma etapa manipulativa. A passagem para a ação intelectual deve ser realizada pelo próprio aluno, perguntas do tipo “O que fizemos para resolver o problema” ajuda os alunos a tomar consciência das ações praticadas pelo professor (CARVALHO, 2013). Na demonstração investigativa deve ser dada a oportunidade de o aluno expor individualmente o que aprenderam por meio de atividade escrita ou desenhada. Os problemas não-demonstrativos são bastantes utilizados em sala de aula, são mais comuns do que os demonstrativos por não requererem um grande aparato, podem ser usados no início de uma SEI visando a introdução de novos conceitos.

Além de ensinar o conteúdo instrucional, o professor possui outras funções como avaliar os seus alunos. A atividade deve ser aplicada ao final da SEI ou no final de cada aula, fase ou ciclo, devendo ser uma avaliação formativa para verificar se os alunos estão aprendendo e deve ser focada no aprendizado dos conceitos, termos e noções científicas. Essa avaliação pode ser na forma de testes sobre os pontos fundamentais abordados e sendo formativa pode proporcionar ao aluno uma oportunidade de realizar uma autoavaliação, cabendo ao professor orientá-lo no reconhecimento dos seus progressos e nas conquistas que podem ser alcançadas.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

A construção da dissertação começou em meados de 2019 com as primeiras ideias sobre o seu design. Os instrumentos pedagógicos construídos e aplicados ao longo do trabalho são pautados nas pesquisas quantitativas e qualitativas. De acordo com Creswell (2007) as estratégias de investigação podem ser sintetizadas assim:

1 – Uma técnica *quantitativa* é aquela em que o investigador: usa primariamente alegações pós-positivistas para desenvolvimento de conhecimento, ou seja, raciocínio de causa e efeito, redução de variáveis específicas e hipóteses; usa mensuração e observação; emprega estratégias de investigação, como experimentos, levantamentos e coleta de dados; e instrumentos predeterminados que geram dados estatísticos.

2 – Uma técnica *qualitativa* é aquela em que o investigador sempre faz alegações de conhecimento com base principalmente ou em perspectivas construtivistas, ou seja, significados múltiplos das experiências individuais, significados, visando desenvolver uma teoria ou um padrão. O pesquisador coleta dados emergentes abertos com o objetivo principal de desenvolver temas a partir dos dados.

3 – Finalmente, uma técnica de métodos *mistos* é aquela em que o pesquisador tende a basear as alegações de conhecimento em elementos pragmáticos. Essa técnica emprega estratégias de investigação que envolvem coleta de dados simultânea ou sequencial para melhor entender os problemas de pesquisa. A coleta de dados também envolve a obtenção de informações que permitam realizar análises qualitativas e/ou quantitativas.

O design da pesquisa apresentada nesta dissertação é mostrado na Figura 26, em que são indicadas as fases realizadas durante o seu desenvolvimento: a exploratória, a empírica e a analítica.

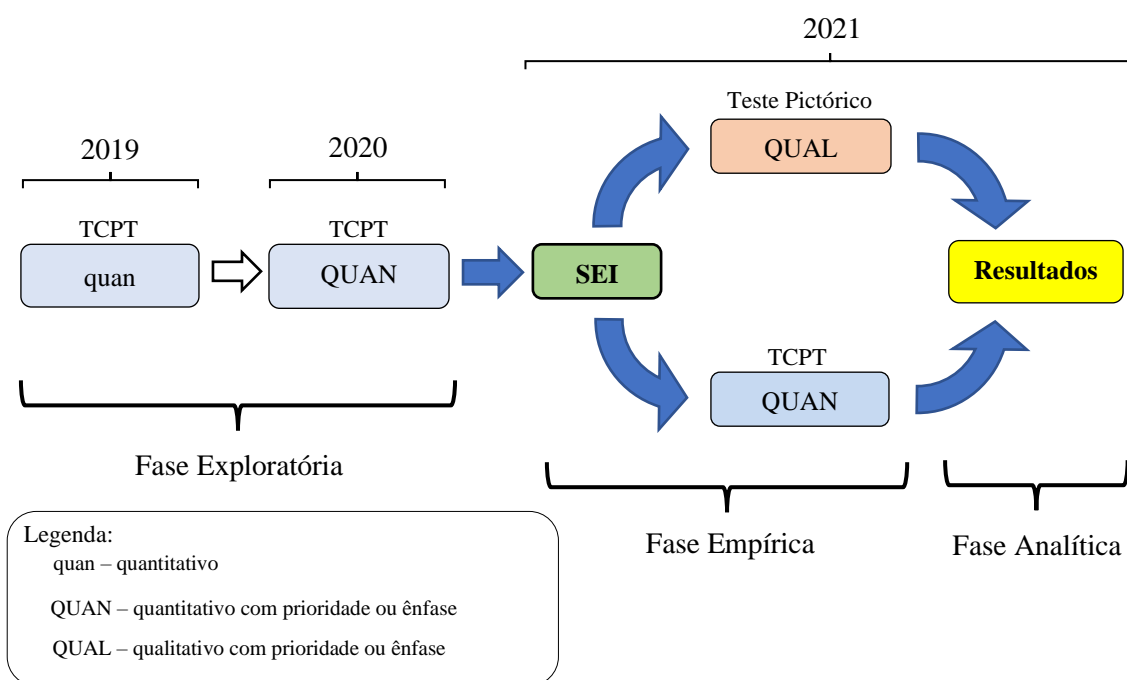
A fase exploratória compreende ao período de aplicação do TCPT de forma preliminar (ou teste piloto), é uma fase em que o procedimento é sequencial. O Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas é quantitativo, uma vez que os dados coletados geram dados estatísticos. A manipulação desses dados estatísticos ajudou a guiar a construção da SEI.

A fase empírica corresponde ao período de implementação da SEI. Nessa fase houve a aplicação do TCPT e do teste pictórico que é qualitativo, caracterizando um procedimento misto. No início dessa fase há uma divergência entre o quantitativo e o

qualitativo devido a não simultaneidade dos testes, ou seja, são aplicados separadamente. A junção da fase exploratória e empírica, caracteriza uma estratégia da pesquisa exploratória sequencial, pois segundo Creswell (2007) é caracterizada pela coleta de dados quantitativos, seguida pela coleta de dados qualitativos.

Por fim, a fase analítica que compreende na convergência dos dados qualitativos e quantitativos, de modo a obter uma análise mais ampla do problema da pesquisa, gerando os resultados apresentados no Capítulo 5.

Figura 26 – Design geral da pesquisa



Fonte: Próprio Autor

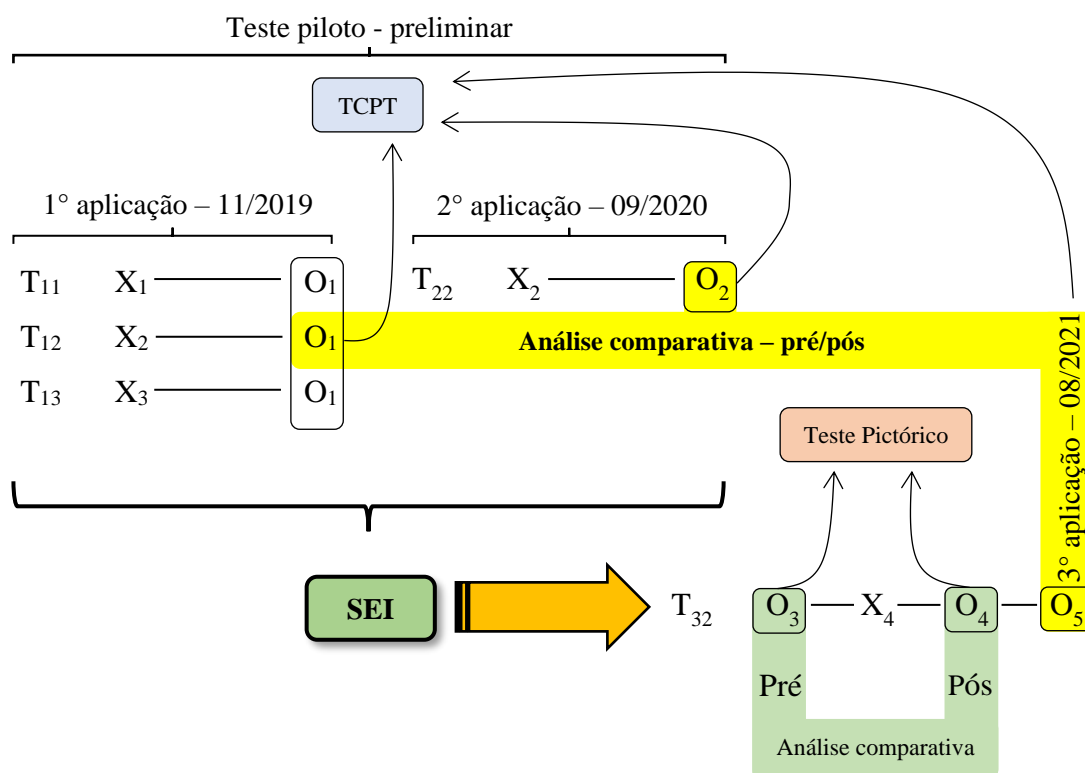
O detalhamento do design da pesquisa é apresentado na Figura 27. Primeiramente houve a aplicação do TCPT nos anos de 2019 e 2020 para realizar a sondagem dos alunos. O teste aplicado em 2019 foi para as turmas do 1º (T₁₁), 2º (T₁₂) e 3º (T₁₃) anos do ensino médio, para o contingente de 212 (10 turmas), 166 (6 turmas) e 164 (7 turmas) alunos, respectivamente. Os X₁, X₂ e X₃ representam os eventos que podem ser as aulas ministradas nas turmas antes da aplicação do teste, X₁ são as aulas ministradas no 1º ano, X₂ as aulas ministradas no 2º ano e X₃ no 3º ano. A aplicação do TCPT está situada em O₁, que simboliza a observação ou mensuração do instrumento. O₁ é para todas as séries, pois o teste foi o mesmo para todas as turmas, para o 1º ano funciona como um pré-teste e para os 2º e 3º anos como um pós-teste, dado que os alunos desses anos já estudaram o tema abordado.

A aplicação do teste em 2020 foi apenas para turmas do 2º ano (T₂₂) com 57 alunos participantes (9 turmas). Após as aulas sobre o assunto (X₂), ocorreu a aplicação do teste (O₂). Nesse momento houve a comparação dos resultados entre O₁ e O₂. Após as duas aplicações, em 2019 e 2020, o desenho da Sequência de Ensino Investigativa (SEI) pode ser estipulado.

Em 2021 os testes aplicados foram quantitativos e qualitativos, ou seja, de forma mista. Agora, na aplicação da SEI o público-alvo foi apenas uma turma de 2º ano (T₃₂) com 30 alunos. A esquematização O₃ ---- X₄ ---- O₄ ---- O₅ representa a sequência de aplicação dos testes na SEI. O₃ é a primeira aplicação do teste pictórico (qualitativo) no início da sequência de aulas X₄. Posteriormente houve mais uma aplicação do teste pictórico (O₄), havendo uma análise comparativa entre eles.

Finalizando, a SEI houve mais uma aplicação do TCPT (O₅), na forma de avaliação final, havendo uma análise comparativa entre todas as aplicações do teste.

Figura 27 – Design da pesquisa. Organização da aplicação dos testes nas turmas



Fonte: Próprio Autor

3.1 – TESTE SOBRE A COMPREENSÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS

Como parte integrante da análise do perfil do aluno do ensino médio um teste conceitual foi compilado. Com esse teste pretendeu-se mapear os conceitos sobre as propriedades térmicas, ou seja, buscar as evidências dos subsunçores e nortear quais habilidades e competências estão envolvidas e que merecem mais atenção.

O teste é uma composição de outros testes conceituais já aplicados em outros trabalhos, também possui uma questão de um livro didático. A opção de compor o Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT) de outros testem já existentes atribui maior credibilidade, visto que já possuem pesquisas relevantes.

O TCPT possui 24 questões ou itens numerados de 1 a 24. Quando é identificado pelo item foi atribuído a letra Q, indo de Q1 a Q24. A composição está disposta na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)

Nome do teste ou livro	Número do item
Thermodynamic Concept Survey - TCS	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 12
Thermal Concept Evaluation - TCE	1, 14, 15, 16, 17, 18 e 19
Heat and Temperature Conceptual Evaluation - HTCE	13, 21, 22, 23 e 24
Bonjorno, José R. Física: termologia, óptica e ondulatória	20
Barbosa, José Bruno S.	9, 10 e 11

Fonte: Próprio Autor

Os testes conceituais estão disponíveis em *PhysPort (Supporting Physics Teaching With Research-Based Resources)* desenvolvido pela Associação Americana de Professores de Física (AAPT³⁰), disponível para qualquer pesquisador da área em www.physport.org os demais itens foram retirados de um livro didático e de autoria própria.

O teste *Thermodynamic Concept Survey – TCS* foi primeiramente desenvolvido por Pornrat Wattanakasiwich, Preeda Taleab, Manjula Devi Sharma, e Ian D. Johnston com os resultados publicados no *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education* em 2013 (WATTANAKASIWICH et al., 2013). O *TCE - Thermal Concept Evaluation* é um teste desenvolvido por Shelley Yeo e Marjan Zadnik com os seus resultados publicado em *The Physics Teacher* em 2001 (YEO; ZADNIK, 2001), também com outros resultados publicado no *International Journal of Science Education* em 2012 (CHU et al., 2012) e explorado profundamente na tese de doutorado

³⁰American Association of Physics Teachers. Disponível em <https://www.aapt.org/>

de Braga (2018). Já o teste *Heat and Temperature Conceptual Evaluation – HTCE* foi desenvolvido por Ron Thornton e David Sokoloff tendo os seus resultados publicado em *Australian Institute of Physics 17th National Congress* em 2006 (TANAHOUNG et al., 2006). O livro do autor Bonjorno (2016) é habitualmente utilizado pela rede estadual de educação, fazendo parte do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2018. Os itens de própria autoria exploram, como os outros, os conceitos térmicos, sendo elaborados com ênfase na mudança de fase da matéria entre o estado sólido e o gasoso, uma lacuna que estava presente nos outros testes.

Para efetuar uma análise mais criteriosa do teste é necessário estabelecer as concepções conceituais de cada item. As concepções estão listadas na Tabela 5 e é possível observar que o teste engloba diversos conceitos, e um item pode estar contido em mais de um conceito.

Tabela 5 – Concepções dos itens do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)

Concepção	Número do item
Calor e Temperatura	1, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, e 19
Condutividade Térmica	1, 2, 3, 9, 13 e 16
Calor Específico	2, 3 e 9
Equilíbrio Térmico	1, 14 e 20
Pressão	4, 5, 7 e 12
Volume	8 e 20
Calor Latente	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24

Fonte: Próprio Autor

A aplicação do teste pode ser realizada em sala de aula ou remotamente (*online*). Quando aplicado em sala é aconselhado ser impresso e com cartão resposta (ver Apêndice 1) para facilitar a correção. O processo de correção do cartão resposta pode ser otimizado com o uso de um *software* de correção, o aconselhado é o *EvalBee* (LABS, 2021) que possui a facilidade na organização e geração do cartão resposta.

3.2 – TESTE PICTÓRICO SOBRE AS FASES DA MATÉRIA E SUAS MUDANÇAS

O teste pictórico foi construído com o propósito de perceber qualitativamente como o aluno externaliza as suas ideias, sua visão a respeito da estrutura molecular dos materiais. O tipo de modelo mental que possui uma maior expectativa como respostas é o dinâmico, em que deve existir uma relação entre as imagens apresentadas. O aluno

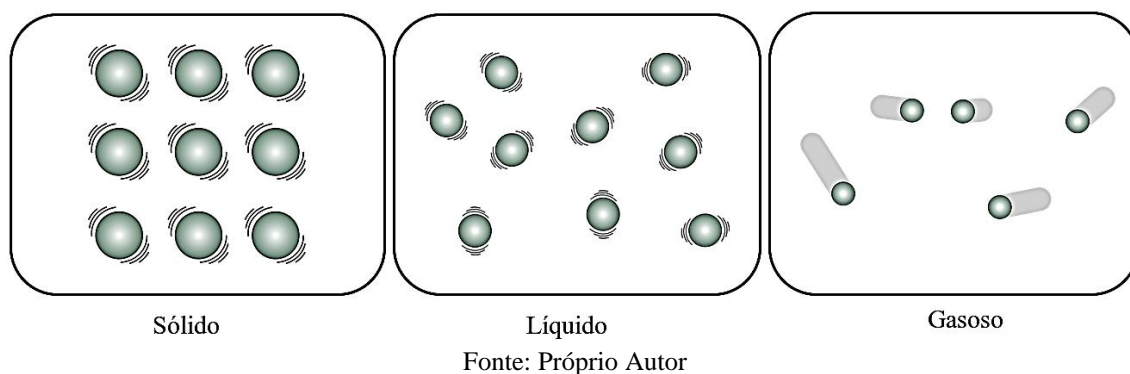
tenderá a adicionar movimento as moléculas, representando uma mudança, uma continuidade.

O teste está dividido em duas partes: a primeira com ênfase nos estados físicos da matéria e a segunda parte com ênfase na mudança de fase da matéria, e cada parte possui dois itens. O teste está disponível para aplicação no Apêndice 2, sendo descrito a seguir.

3.2.1 – Primeira Parte

O item A do teste foi solicitado que o aluno representasse as moléculas de água, na forma de um desenho, nos três estados físicos da matéria. O desenho deve representar as moléculas de água. A Figura 28 representa a expectativa de resposta.

Figura 28 – Expectativa de resposta do item A na primeira parte

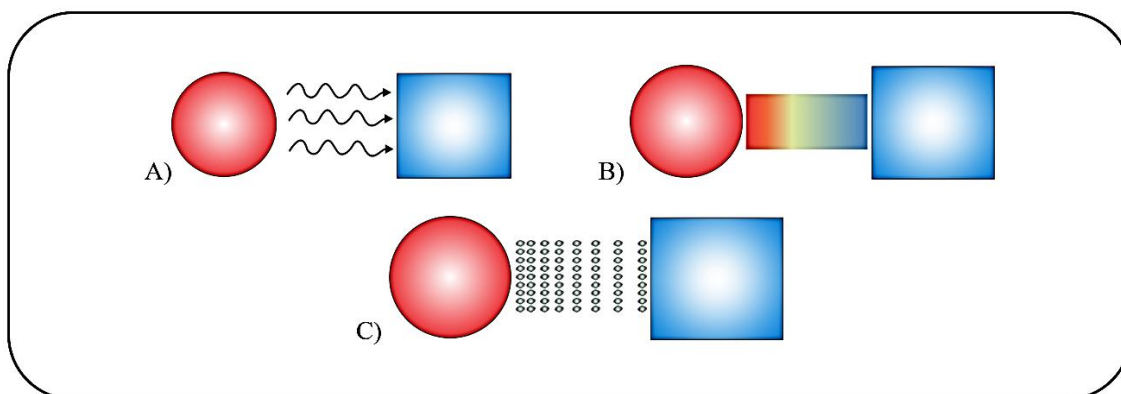


Para o estado sólido é esperado que o aluno represente as moléculas por esferas ou bolas e que as distâncias entre elas sejam pequenas. Também é esperado que o aluno represente a pequena vibração molecular de alguma forma.

Para o líquido o desenho esperado é com um maior distanciamento entre as moléculas e uma representação de movimentação. Também é esperado que o distanciamento não seja regular, o que deve mostrar uma mudança da posição das moléculas. No estado gasoso o desenho esperado deve conter as moléculas mais espaçadas do que nos líquidos e de forma irregular, também deve conter uma identificação do aumento de velocidade de translação das moléculas.

No item B do teste foi solicitado que o aluno representasse, na forma de um desenho, o calor entre dois corpos.

Figura 29 – Expectativa de resposta do item B na primeira parte



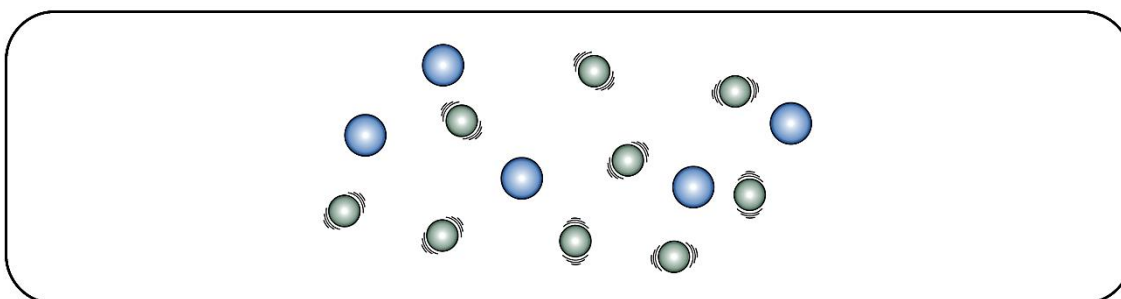
Fonte: Próprio Autor

Para a representação do calor é esperado que o aluno represente por setas retas ou onduladas, podendo fazer uma relação às ondas (A). Também pode representar por uma forma contínua (B), de tal forma que represente o quente por uma cor mais intensa e o frio por uma cor mais clara. Outra representação pode ser por meio de partículas, o aluno pode representar o aquecimento das moléculas de ar ao redor do objeto quente e essas moléculas levam a energia térmica para o objeto frio (C). Quanto à forma dos corpos e a identificação fica a critério do aluno, talvez ele os identifique com números, letras ou indique o quente e o frio.

3.2.2 – Segunda Parte

No primeiro item é pedido o desenho da mistura de água no estado líquido e cloreto de sódio, o sal de cozinha.

Figura 30 – Expectativa de resposta do item A na segunda parte



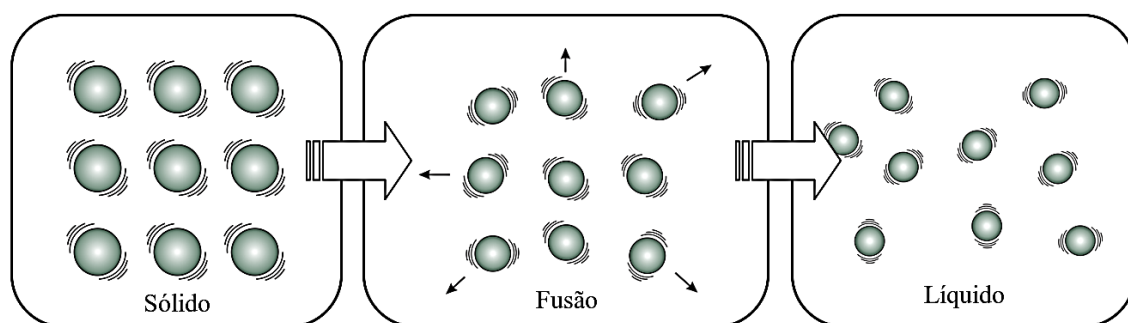
Fonte: Próprio Autor

Para esse desenho era esperado que o aluno represente a mistura de duas substâncias com esferas maiores e menores, sem esquecer do maior espaçamento entre

elas, com uma certa desordem. Ele também pode desenhar a água e o cloreto de sódio como um grupo de átomos diferentes, trazendo um modelo mais realista.

Para o segundo item a representação deveria ser um pouco mais elaborada. O aluno deve representar os estados físicos iniciais e finais, desenhando também o processo de mudança de fase. É esperado que o aluno indique a mudança de fase de alguma forma, usando algum desenho que indique o afastamento molecular, o desenho provável para esse fim é o uso de setas indicativas.

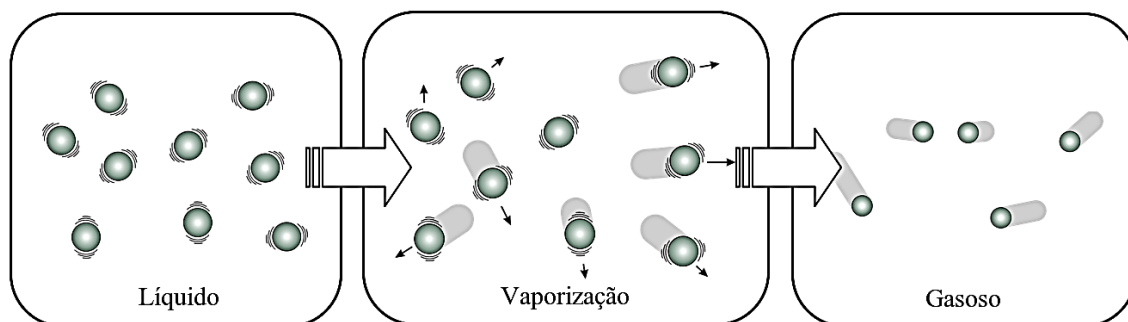
Figura 31 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Sólido, fusão e líquido



Fonte: Próprio Autor

É esperado que o aluno diferencie os estados físicos pelo distanciamento das moléculas, que ele perceba que a mudança de fase modifica o distanciamento molecular.

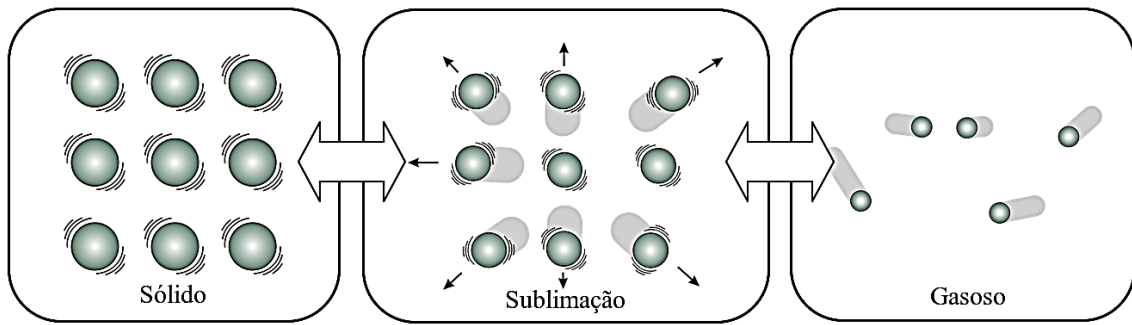
Figura 32 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Líquido, vaporização e gás



Fonte: Próprio Autor

Também é esperado que o aluno desene as moléculas com velocidade com o recurso de sombra.

Figura 33 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Sólido, sublimação e gás



Fonte: Próprio Autor

Todos os desenhos mostrados nas figuras são expectativas, é o que se espera que os alunos desenhem. É claro que surgirão diversos desenhos, com formas diferentes e representações diferentes, cabe ao professor avaliar as semelhanças e diferenças com as expectativas.

CAPÍTULO 4 – A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

É o ponto central do trabalho, a essência. Ela é voltada para ser aplicada no ensino médio, preferencialmente, no segundo ano. Podendo ser aplicada também no terceiro ano como uma forma de rever os conceitos, visto que, normalmente o conteúdo sobre Termodinâmica é apresentado no segundo ano do ensino médio.

O trabalho desenvolvido é baseado na construção de uma sequência de ensino e aprendizagem, mais especificamente em uma sequência de ensino investigativa que tem o propósito de fazer o aluno sair da ação manipulativa para a ação intelectual, estimulando o conhecimento dos alunos em Física, o foco do trabalho está na compreensão das mudanças das propriedades térmicas dos materiais. A Sequência de Ensino Investigativo está dividida em períodos de aula, que dependendo do sistema de ensino pode possuir valores diferentes de tempo, no nosso caso possui 50 minutos.

A SEI está fundamentada na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa e na Teoria dos Modelos Mentais, essas são teorias da psicologia educacional. A Aprendizagem Significativa, que tem como ponto central o conhecimento prévio do aluno, está presente na forma organizacional do conteúdo instrucional. O assunto deve ser abordado a partir dos conceitos mais gerais e inclusivos para os mais específicos, de forma que o aluno consiga apontar as semelhanças e diferenças entre os conceitos.

A Sequência de Ensino deve ser iniciada com um mecanismo pedagógico chamado Organizador Prévio, de nome bem sugestivo, ele organiza e ajuda a implementar novos conceitos. Esse é um momento importante para o aluno, em que ele tem contato com novos conceitos e pode relacionar com os conceitos já existentes, os subsunçores. Um bom organizador prévio deve ser aquele que realmente esclareça o novo conceito e faça uma ponte entre o novo e os conceitos já existente, uma ancoragem. Uma boa forma para inserir novos conceitos é com o uso de recurso áudio visual, vídeos curtos e explicativos, que chamem a atenção dos alunos, estimulando-os e fazendo perguntas, questionamentos e propondo problemas.

Outro recurso pedagógico usado na SEI é o Mapa Conceitual, este recurso serve para sistematizar os conceitos, ajudando a visualizar as suas conexões. No momento da construção do mapa conceitual, pelo professor com a participação dos alunos, ajuda-os a exporem as suas ideias sobre os conceitos e como eles se relacionam.

Para facilitar a assimilação dos novos conceitos foram utilizados os recursos didáticos dos simuladores virtuais, que podem substituir em parte um experimento real. São recursos que simulam um experimento físico de tal modo que podem fornecer informações e demonstrar as interações entre as moléculas, o calor, de modo geral as propriedades térmicas.

As atividades pictóricas estão fundamentadas na Teoria dos Modelos Mentais, o que se busca nessas atividades é a interpretação mental do aluno, e como eles externalizam através de um desenho o comportamento físico da matéria. Ele (Apêndice 2) possui duas partes:

1 – A Primeira possui dois itens que tratam sobre o desenho da molécula de água nos três estados físicos mais conhecidos e como o calor flui de um corpo para outro;

2 – A segunda também possui dois itens, no primeiro é solicitado um desenho da mistura das moléculas de água e do cloreto de sódio, no segundo item se pede o desenho de antes e depois das mudanças de estado mais conhecidas.

Os modelos didáticos virtuais ou simuladores (*softwares*) servem, nesse caso, para mostrar as interações entre as moléculas e como são configuráveis podem simular diversas situações. Os simuladores são: *Estados da Matéria*, *Formas de Energia e Transformações*, *Molecular Workbench* e o *Energy2D*. Todos de licença gratuita³¹ e podem ser adquiridos por qualquer pessoa.

Todas as atividades na SEI são formativas, o teste pictórico, as perguntas conceituais e o TCPT (ver Anexo 1). Para analisar a eficácia do teste conceitual, o TCPT, foi aplicado antes da SEI de forma investigativa em dois momentos e com a análise foi possível estimar qualitativamente a dificuldade dos alunos proporcionando um direcionamento na Sequência de Ensino Investigativa. A análise está baseada na Teoria Clássica dos Testes (TCT) (ver Apêndice 3) que é fundamental e fornece índices que direcionam para uma análise mais apurada.

Observando os resultados preliminares é possível perceber que geralmente os alunos possuem dificuldades em diversos conceitos do teste, em média os alunos erraram mais que a metade dos itens e os itens que contemplam o conceito de calor latente possuem erros que chegam a 90%. A aplicação do TCPT apontou alguns equívocos

³¹ Os softwares são regidos pela Licença Pública Geral (GNU) - <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>, Licença MIT - <https://opensource.org/licenses/MIT> e pela licença Creative Commons Attribution (CC-BY) - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

conceituais dos alunos, deixando evidente que há a necessidade de uma maneira mais eficiente de ensiná-los.

Como a SEI concorda com as teorias do *aprendizado significativo* e dos *modelos mentais*, inicialmente ela apresenta as fases da matéria e as bases das leis da Termodinâmica para organizar previamente os conceitos e seguindo com o uso dos modelos didáticos virtuais. As atividades realizadas, como os testes pictóricos e a aplicação do TCPT, servem como instrumentos verificativos do aprendizado.

A SEI foi estruturada em aulas para poder ser adequada a atual estrutura nos sistemas de ensino. Para poder ser realizada é imprescindível o uso de alguns recursos em sala como um projetor, um computador e uma caixa de som, além daqueles que já são corriqueiros na sala de aula. Também pode ser realizada através de videoconferência, nesse caso o ambiente deixa de ser a sala de aula real e passa a ser virtual, deixando de necessitar os recursos alguns recursos da sala presencial. Hoje em dia não é difícil criar ambientes de salas virtuais existem vários serviços online para esse fim.

O conteúdo de Física abordado na SEI, explorado mais profundamente no Capítulo 2, está de acordo com a Base Nacional Curricular Comum (BNCC)³² dentro da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (BRASIL, 2018) e as áreas estão organizadas em competências e habilidades. O tema abordado na SEI se enquadra nas competências específicas 1 e 3 dentro da área Ciências da Natureza, mostradas no Quadro 4.

Quadro 4 – Competências específicas e habilidades contempladas na BNCC

Competência específica	Habilidade
Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.	(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas. (EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis

³² É um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica.

<p>Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).</p>	<p>termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.</p> <p>(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.</p> <p>(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.</p>
---	---

Fonte: Brasil (2018)

É importante ressaltar que a BNCC trata a aquisição da linguagem científica, por parte dos alunos, como fundamental. Também prioriza o caráter investigativo do ensino de ciências.

Os processos e práticas de investigação merecem também destaque especial nessa área. Portanto, a dimensão investigativa das Ciências da Natureza deve ser enfatizada no Ensino Médio, aproximando os estudantes dos procedimentos e instrumentos de investigação, tais como: identificar problemas, formular questões, identificar informações ou variáveis relevantes, propor e testar hipóteses, elaborar argumentos e explicações, escolher e utilizar instrumentos de medida, planejar e realizar atividades experimentais e pesquisas de campo, relatar, avaliar e comunicar conclusões e desenvolver ações de intervenção, a partir da análise de dados e informações sobre as temáticas da área (BRASIL, 2018).

Os conteúdos abordados na SEI, calor específico, calor latente e condutividade térmica estão presentes nos livros didáticos de Física aprovados no Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2018.

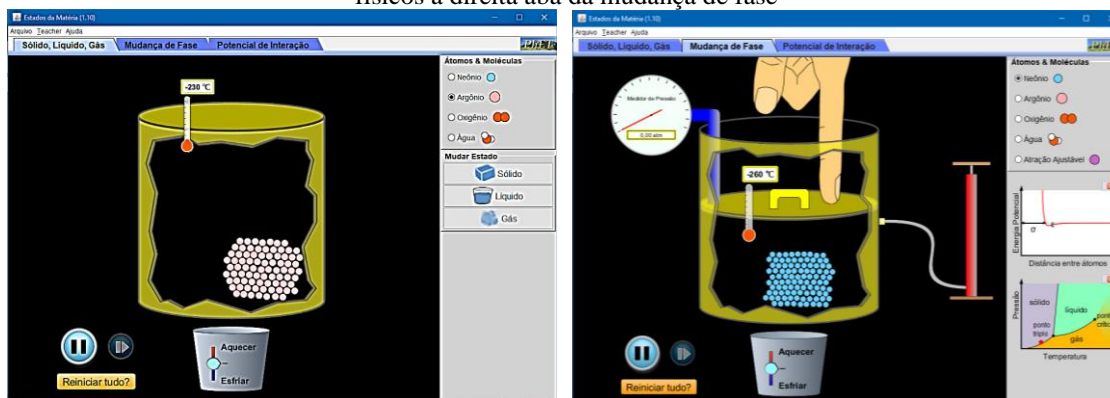
A Sequência de Ensino Investigativo (SEI) se enquadra no que a BNCC propõe para o ensino médio. É esperado que após a aplicação sequência de ensino, o aluno possa entender os conceitos básicos da Termodinâmica, adquirindo as competências e habilidades necessárias.

4.1 – OS MODELOS DIDÁTICOS VIRTUAIS – SIMULADORES

Para melhor compreensão da Termodinâmica, por parte dos alunos, a sequência de ensino possui os modelos virtuais, softwares que promovem a simulação e animação das propriedades térmicas dos materiais.

O modelo virtual (*software*), de autoria do PhET³³, utilizado é *Estados da Matéria* (BOULDER, 2012), um software que utiliza a linguagem em Java³⁴ que apresenta de modo simples e didático os estados da matéria. Podendo modificar o tipo de moléculas, os estados físicos e a temperatura com o propósito de visualizar as interações moleculares. O *software* também apresenta a mudança de fase podendo modificar as variáveis de estado. A Figura 34 apresenta a tela principal do simulador.

Figura 34 – Programa Estados da Matéria. Tela principal do software, a esquerda a aba dos estados físicos a direita aba da mudança de fase



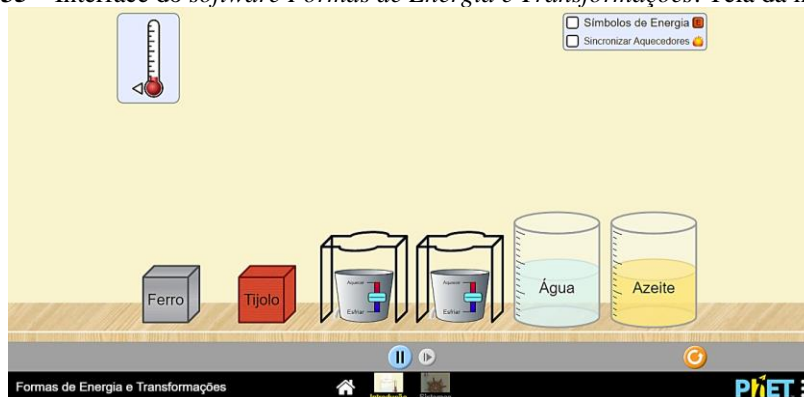
Fonte: Próprio Autor

Ainda de autoria do PhET outro simulador utilizado é *Formas de Energia e Transformações* (BOULDER, 2013). É um simulador também simples e didático, nele é possível visualizar algumas formas de energia, interagir com alguns materiais podendo adicionar ou retirar energia. Com medidores simples de temperatura é possível inferir a respeito da mudança de estado da água e visualizar a transferência de energia. A Figura 35 mostra a interface do *software*.

³³ Projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. https://phet.colorado.edu/pt_BR/

³⁴ Java é o termo geral usado para denotar o software e seus componentes, que incluem 'Java Runtime Environment' (JRE), 'Java Virtual Machine' (JVM). Pertencente a Oracle Corporation. https://www.java.com/pt_BR/

Figura 35 – Interface do *software Formas de Energia e Transformações*. Tela da introdução



Fonte: Próprio Autor

Outro *software* utilizado é o *Molecular Workbench* (XIE, 2014), nesse programa é possível ter inúmeras simulações catalogadas de acordo com área de estudo, sendo, também, desenvolvido em Java. O *software* é bastante vasto, incluindo modelos de Biologia, Química, Física e Nanotecnologia. As simulações selecionadas foram:

- 1 – *Heat Propagation*, mostra a propagação do calor em moléculas;
- 2 – *Phase Change*, atividade completa disponível no Centro de Atividades do simulador, mostra os conceitos de calor específico e calor latente;

O *Molecular Workbench* é um simulador bem completo onde as simulações podem ser agrupadas numa sequência lógica. Há também a possibilidade de personalizar cada uma delas, inserindo imagens e manipulando modelos. A interface do *software* se encontra em inglês e pode ser modificada, traduzida para adequar a realidade brasileira. A ênfase do programa está na interação molecular, ele mostra as interações e o comportamento molecular.

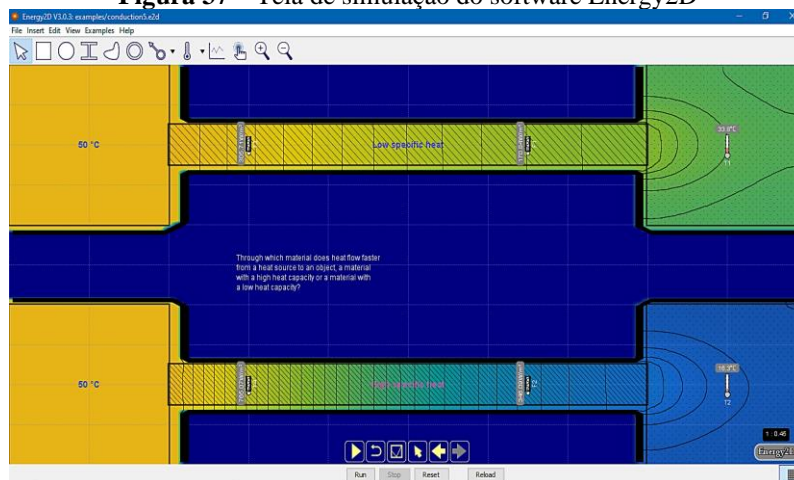
Figura 36 – Tela principal do *Molecular Workbench*. Onde pode ser escolhido a simulação desejada



Fonte: Próprio Autor

E por último o software *Energy2D* (XIE, 2020), esse programa é capaz de simular algumas propriedades físicas dos materiais. É possível “visualizar” o calor nos materiais sólidos e fluidos. Com esse *software* é possível comparar a condutividade dos materiais e o calor específico.

Figura 37 – Tela de simulação do software *Energy2D*



Fonte: Próprio Autor

A interface do *Energy2D* também está em inglês, mas é de fácil acesso. O programa possui diversos modelos prontos como exemplo. Há também a possibilidade de visualizar linhas isotérmicas, linhas de fluxos e outros recursos que deixam o modelo mais intuitivo.

4.2 – RECURSO AUDIOVISUAL – VÍDEO

É um bom recurso para ajudar a organizar previamente os conceitos, dependendo de como o vídeo é trabalhado. Atualmente é relativamente fácil adquirir um recurso visual, um vídeo, de determinado conteúdo, mas é importante observar como esse conteúdo é abordado, pois existem vídeos de baixa qualidade conceitual. Na Sequência de Ensino o vídeo usado não é do tipo videoaula, ou seja, não se trata de um vídeo onde um professor explica o assunto. O vídeo utilizado é conceitual e informativo, foi adquirido nas plataformas abertas de vídeos na internet, como *YouTube*³⁵ e *Dailymotion*³⁶. O vídeo escolhido foi do programa de TV *O Mundo de Beakman*, mais especificamente o episódio 16 – Termodinâmica, Beakmania e Espinhas (DUBIN, 1993). Não foi utilizado o episódio inteiro e sim apenas 5 minutos, suficientes para o propósito da SEI.

4.3 – IMPLEMENTAÇÃO, ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA SEI

A sequência está estruturada em períodos de aulas. Sendo necessárias o total de SEIS aulas para a implementação da SEI, possuindo em média 50 minutos de duração cada aula. Na atual carga horária do ensino médio regular a implementação da SEI demanda duas semanas de aula, ou seja, as seis aulas. Esse tempo é suficiente para abordar os assuntos propostos em sala, conforme a experiência em sala de aula do autor do trabalho.

A sequência didática foi aplicada em turmas do segundo ano de uma escola da rede estadual localizada na cidade de Manaus, E.E. Desembargador André Vidal de Araújo. Localizada na zona norte da cidade, considerada de médio porte com 20 salas de aula com turmas de ensino médio nos turnos matutino e vespertino, já no turno noturno funcionando com a modalidade Educação de Jovens e Adultos (EJA). A estrutura da escola é antiga, sendo uma das escolas mais antiga da zona norte da cidade, possuindo 4 pavilhões com salas de aula, biblioteca, secretaria, banheiros, diretoria, sala de professores, sala de recursos pedagógicos, cantina e quadra poliesportiva coberta.

O público alvo da SEI é o segundo ano do ensino médio, ela foi aplicada para 30 alunos de uma turma do turno matutino de faixa etária entre 15 e 17 anos no ano de 2021. A aplicação ocorreu em sala de aula de forma presencial, apesar da pandemia de COVID-19, de modo que houve a alternância da presença dos alunos em sala, ou seja, metade dos

³⁵ YouTube é uma plataforma de compartilhamento de vídeos, disponível em <https://www.youtube.com> .

³⁶ Dailymotion é uma plataforma de compartilhamento de vídeos de origem francesa, disponível em <https://www.dailymotion.com/br> .

alunos estava presente em um dia e a outra metade dos alunos frequentava no dia seguinte, mantendo o distanciamento necessário e o uso de máscara. Este fato dobrou o tempo necessário para a aplicação da SEI, justamente pela divisão da turma em dois conjuntos de alunos.

Para o aluno é muito comum confundir os conceitos de calor e temperatura e isso pode interferir no entendimento sobre os outros conceitos, como condutividade e calor específico e essa confusão vem do senso comum quando se refere a temperatura usando o termo calor.

O ensino por investigação possui a proposta de transpor as concepções espontâneas, cotidianas para uma concepção científica. Trazer o aluno para o mundo científico, esclarecendo e desmistificando os conceitos errôneos. As atividades na SEI são importantes e servem como base para o entendimento do conceito sobre as propriedades térmicas dos materiais à luz da Termodinâmica e da Teoria Cinética Molecular.

O conhecimento prévio do aluno, que apesar de errôneo em alguns casos, é de fundamental importância para estabelecer uma linha de raciocínio para os novos conceitos, ou seja, os seus subsunçores fornecem a ancoragem para os novos conceitos. Lembrando que a aprendizagem é um processo dinâmico que pode ampliar e modificar seus os subsunçores.

Os tópicos a seguir tratam das aulas ministradas na escola, o Apêndice 5 traz o plano de aula de cada uma e o Quadro 5 mostra a organização das aulas de forma sintética.

Quadro 5 – Organização das aulas da SEI

Quadro Organizacional das Aulas			
Tema	Objetivo	Materiais	Atividade
Aula 1 Introdução à Termodinâmica e os estados da matéria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar os tipos de energias, principalmente a energia térmica; ▪ Conhecer as leis da Termodinâmica; ▪ Compreender o movimento molecular; ▪ Identificar os estados da matéria e suas mudanças; ▪ Organizar os conceitos físicos para as próximas aulas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Quadro branco; ▪ Caixa de som; ▪ Projetor; ▪ Vídeo; ▪ Atividade impressa. 	Teste Pictórico
Aula 2 Calorimetria e mudança de fase da matéria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar algumas formas de energia e suas conversões, e como se relacionam com as leis de Termodinâmica; ▪ Identificar os estados da matéria, condensado de Bose-Einstein, Sólido, Líquido, Gasoso e Plasma; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Projetor; ▪ Quadro branco; ▪ Atividade impressa; 	Atividade conceitual realizada na Ficha de Atividades

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conhecer a propriedade Calor específico dos materiais; ▪ Conhecer as mudanças de fase da matéria; ▪ Conhecer a propriedade Calor Latente; ▪ Identificar a distribuição molecular nos três estados. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software <i>Formas de Energia e Transformações</i>; ▪ Software <i>Estados da Matéria</i>. 	
Aula 3	Mudança de fase da matéria: Perspectiva molecular.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar os estados da matéria e nível molecular, representativo; ▪ Conhecer as mudanças de fase da matéria na perspectiva molecular; ▪ Identificar o movimento molecular nos três estados; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Atividade impressa; ▪ Projetor; ▪ Software Molecular Workbench 	Atividade conceitual realizada na Ficha de Respostas
Aula 4	Calor específico e Condutividade Térmica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diferenciar materiais de baixo e alto calor específico; ▪ Identificar o sentido do calor nos materiais; ▪ Diferenciar materiais de baixa e alta condutividade térmica; ▪ Perceber que a mudança de fase da matéria interfere na condutividade térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Projetor; ▪ Quadro branco; ▪ Atividade impressa; ▪ Software <i>Energy2D</i>; ▪ Software <i>Molecular Workbench</i>. 	Reaplicação do Teste Pictórico
Aula 5	Mapa Conceitual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diferenciar conceitos físicos; ▪ Perceber as conexões e dependências dos conceitos da Termodinâmica; ▪ Criar um mapa de conceitos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Quadro branco; ▪ Projetor; ▪ Papel A4 em branco. 	Construção do Mapa Conceitual
Aula 6	Teste Conceitual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diferenciar conceitos físicos; ▪ Aplicar os conhecimentos sobre as propriedades térmicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teste Conceitual impresso; ▪ Cartão resposta impresso. 	Aplicação do TCTP

4.3.1 – Aula 1: Início das atividades e Organização Prévia

A aula iniciou com a apresentação da proposta para os alunos, mostrando a importância do assunto no seu cotidiano. Também ressaltando a importância na assiduidade, da participação e do comprometimento dos alunos em realizar as atividades, ver Figura 38.

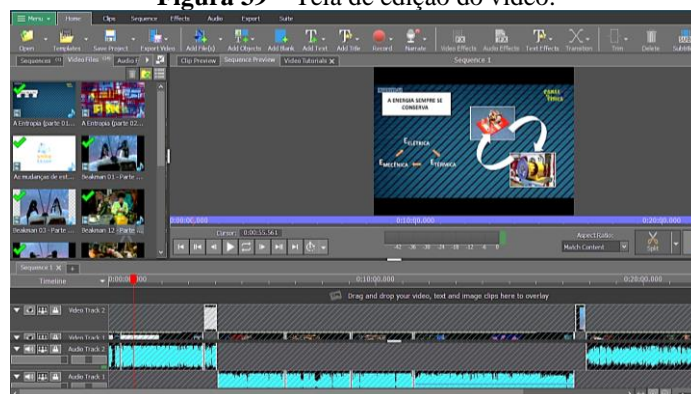
Figura 38 – Tela de apresentação da Aula 1 (slide)



Fonte: Próprio Autor

O principal objetivo dessa primeira aula (ver Apêndice 5 – A5.1) é a organização prévia dos conceitos de temperatura, calor e fases da matéria. Também trazendo a apresentação do conceito mais geral que é a Termodinâmica. Os recursos utilizados para esse fim foi uma apresentação em slide usando um projetor (Datashow), um computador e um vídeo. O recurso visual é bem explicativo, trazendo algumas perguntas, soluções e também é um pouco “animado”.

Figura 39 – Tela de edição do vídeo.



Fonte: Próprio Autor

O vídeo possui um pouco mais de 5 minutos trazendo uma breve explicação sobre a Termodinâmica, e posteriormente fala sobre o aquecimento dos corpos a nível molecular, finalizando com o equilíbrio térmico.

O vídeo foi editado de tal forma que somente as partes de interesse ficaram. O vídeo escolhido foi *O Mundo de Beakman: Episódio 16 – Termodinâmica*, Beakmania e Espinhas (DUBIN, 1993). O vídeo começa com o problema sobre o quente e o frio e surge uma pergunta “como pode o refrigerante gelado ficar frio e o leite quente ficar morno”. A partir daí Beakman ele começa a falar sobre a Termodinâmica, relacionando o calor com o movimento molecular. Mais uma vez representa as moléculas por carrinhos

afirmando que elas possuem uma energia interna, e em seguida ele mostra que moléculas quentes são carrinhos rápidos e as frias são carrinhos lentos. Em seguida ocorre a mistura de água quente e água fria para demonstrar o equilíbrio térmico, e ele define a Lei Zero da Termodinâmica. A apresentação do vídeo serve para organizar alguns conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno e também para inserir novos.

Finalizada a apresentação do vídeo houve o retorno a exibição do slide para apresentar as três fases da matéria, o sólido, líquido e gasoso, apresentando também as suas respectivas mudanças. Para finalizar a aula foi realizada uma atividade, voltada para a representação mental do comportamento molecular, essa atividade foi realizada nos minutos finais da aula, em torno de 25 minutos.

Nessa atividade os alunos foram convidados a exporem as suas representações pictóricas de como as moléculas se comportam nos três estados da matéria e também como elas se comportam ao mudar de estado físico.

A Figura 40 mostra o momento em que o teste pictórico foi aplicado em sala. É possível perceber que nesse momento só está disponível metade da turma. Nesse período as turmas estavam divididas ao meio com aulas alternadas devido à pandemia do COVID-19.

Figura 40 – Momento da aplicação do Teste Pictórico em sala



Fonte: Próprio Autor

As perguntas do teste pictórico estão no Apêndice 2. A realização do teste pictórico nesse momento é para comparar posteriormente com a sua reaplicação, que vai mostrar como a percepção do aluno mudou.

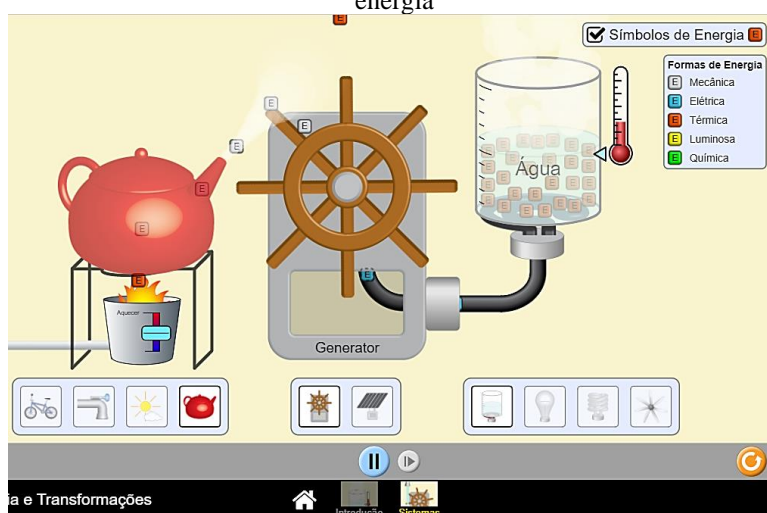
4.3.2 – Aula 2: Calor e os estados da matéria

A aula iniciou com um slide apresentando o tema abordado falando dos três estados da matéria, voltando às ideias iniciadas na Aula 1. Com o objetivo mostrar os estados da matéria e apresentar o calor sensível, o calor latente e identificar a distribuição molecular nos três estados físicos mais conhecidos.

A aula começou com a distribuição da ficha de atividades em papel e em seguida foram feitas as perguntas “Porque os corpos aquecem de maneira diferente? Porque mudam de fase?”

Em seguida foi apresentado o simulador *Formas de Energia e Transformações* para, inicialmente, mostrar os tipos de energia e as suas conversões fazendo um paralelo com as leis da Termodinâmica.

Figura 41 – Interface Sistemas do *software*. Nessa parte é possível simular diversas modalidades de energia



Fonte: Próprio Autor

Voltando para o slide e apresentando os três estados da matéria mais conhecidos foi perguntado aos alunos se “Existem outros estados da matéria além desses?”, nessa hora foi aguardada a resposta e eventuais indagações dos alunos.

Figura 42 – Apresentação da Aula 2, estados da matéria



Fonte: Próprio Autor

Depois da interação o foi mostrando, em imagens, os outros estados da matéria, além do sólido, líquido e gasoso. Muitos alunos desconheciam os outros estados da matéria, alguns deles citaram o plasma fazendo menção a TV de plasma.

Figura 43 – Aula 2, apresentação de Slide na sala de aula

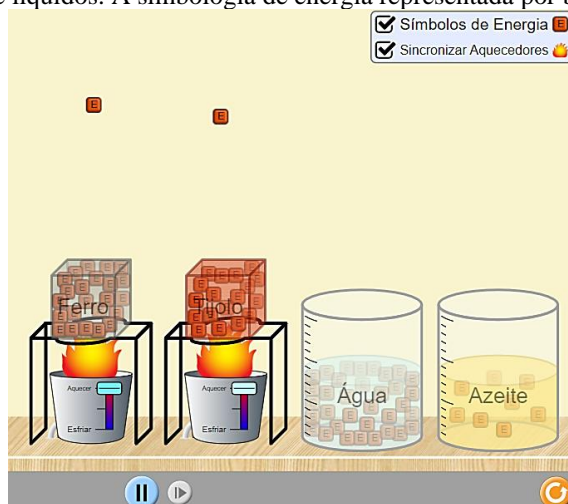


Fonte: Próprio Autor

Voltando ao foco para a energia térmica e para as três fases da matéria mais conhecidas no caso o sólido, líquido e gasoso e usando o simulador *Formas de Energia e Transformações* foi possível mostrar para o aluno a representação da energia térmica em alguns materiais.

Antes de iniciar o simulador foi perguntado aos alunos “O que é temperatura?” e “O que é calor?”, e a partir dessas indagações e respostas dos alunos na ficha de atividades, foi iniciada a simulação.

Figura 44 – Programa *Formas de Energia e Transformações*. Tela de introdução com interações com materiais sólidos e líquidos. A simbologia de energia representada por blocos com a letra *E*



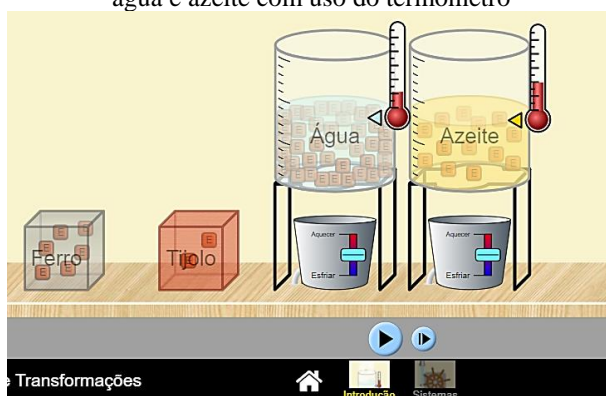
Fonte: Próprio Autor

Na Figura 44 é possível ver que a letra *E* dentro dos pequenos blocos em vermelho simboliza a energia térmica. Na simulação também é possível visualizar outras modalidades de energias que são simbolizadas por outras cores.

Aquecendo os blocos de tijolo e ferro é possível ver que a energia é transferida da fonte para o bloco sem ocorrer uma mudança de fase. Nesse momento foi possível visualizar a representação da energia térmica indo da fonte térmica para os blocos, ou seja, o calor. E foi observado que a quantidade de energia acumulada em cada bloco difere entre eles, sugerindo um comportamento térmico diferente. A partir desse momento começou a discussão sobre o calor, massa e variação de temperatura. Foi perguntado aos alunos “Qual dos dois blocos tem a temperatura mais baixa antes do aquecimento”, “Qual dos blocos acumulou mais energia?” e “Houve mudança de temperatura?” Sendo respondido na ficha de atividades.

Ainda no simulador, utilizando os recipientes contendo água (líquida) e azeite com os termômetros conectados, aquecendo-os simultaneamente fazendo a temperatura elevar até a marcação 4 para o azeite, ver Figura 45. Nesse momento foi inserido a formulação matemática $Q = mc\Delta T$.

Figura 45 – Interface do programa *Formas de Energia e Transformações*. Aquecimento dos líquidos água e azeite com uso do termômetro



Fonte: Próprio Autor

Com a apresentação da formulação matemática foi discutido o significado de cada variável e principalmente a propriedade calor específico. A partir da simulação foi possível fazer uma comparação entre o calor específico entre a água e o azeite. Estimando que o calor específico da água é maior que o do azeite, de forma simples utilizando a quantidades de blocos E vermelhos e a variação de temperatura, conforme os passos:

1 – Foi contabilizada a quantidade adicionada de E ao recipiente do azeite, totalizando $5E$. E supondo que as fontes forneçam a mesma quantidade de energia logo o recipiente de água também recebeu $5E$;

2 – Foi verificado que as medidas nos termômetros e os dois recipientes começam com a marcação em 1, o azeite varia 3 unidades de temperatura e a água varia 1;

3 – E adotando a massa igual a 1 para as duas substâncias e usando a formulação matemática $Q = mc\Delta T$.

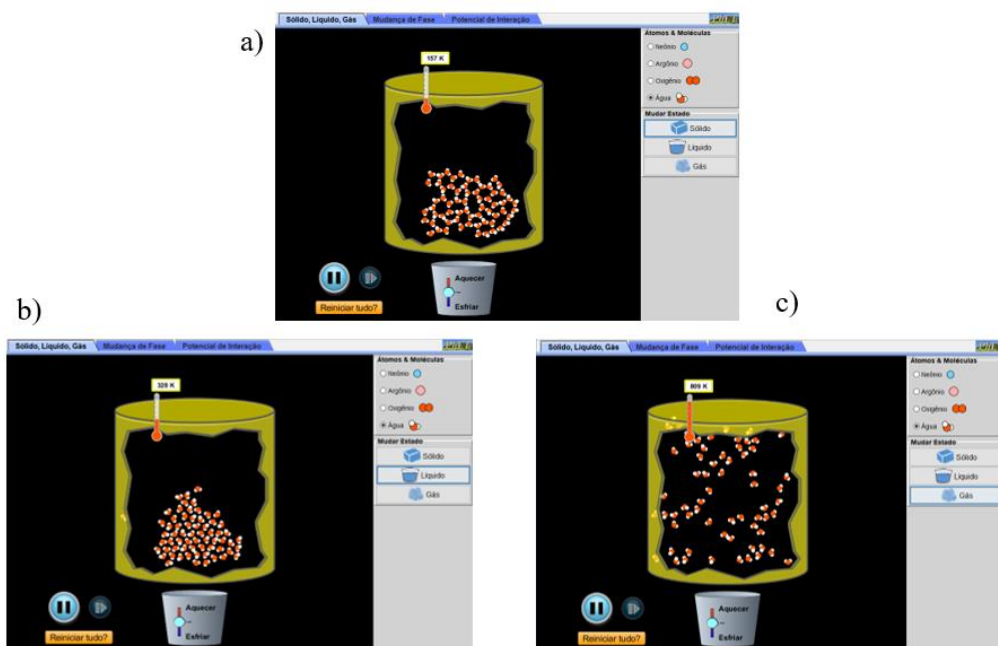
Assim chegando aos valores para a água $c = 5$ e para o azeite $c = 1,6$. Claro que é uma estimativa somente para mostrar que as substâncias diferem na propriedade térmica calor específico. Após esse pequeno cálculo foi apresentado uma tabela com valores reais de calor específico de alguns materiais e foi definido o calor específico como sendo a energia necessária para mudar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância e que a energia envolvida nesse processo é chamada calor sensível.

A continuidade da aula foi com a apresentação do segundo simulador *Estados da Matéria*, esse simulador já mostra os estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) e conforme se modifica a sua temperatura ocorre a mudança de estado da matéria. Os estados físicos são apresentados a partir de um modelo que representa a estrutura molecular e com suas movimentações. Antes de mostrar as interações moleculares para os alunos foram feitas as seguintes perguntas:

- Como vocês acreditam que é o comportamento da molécula de água no estado sólido?
- O aumento de temperatura modifica a configuração da molécula de água?

No início foi selecionado o elemento água e sendo visualizado nos três estados físicos selecionando nos botões ao lado, verificando que ao fazer isso a temperatura aumenta no termômetro.

Figura 46 – Programa *Estados da Matéria*. Em (a) molécula de água no estado sólido, (b) molécula de água no estado líquido e (c) molécula de água no estado gasoso



Fonte: Próprio Autor

A Figura 46 mostra as seleções dos estados da matéria para a água, modificando a temperatura o movimento molecular aumenta e assim o estado físico é modificado. Nessa ocasião foi introduzida a formulação matemática para o calor latente, $Q = ml$, e modificando a temperatura para valores conhecidos para a água, 0 °C e 100 °C, para observar a movimentação molecular em cada fase. Relacionando o calor latente como uma quantidade de energia, por unidade de massa, que modifica a sua movimentação molecular e como consequência ocorre a mudança de fase. Uma demonstração simples deste processo pode ser realizada utilizando a simulação *Formas de Energia e Transformações*, agora com o recipiente com água e as representações de energia (ver Figura 47).

Figura 47 – Programa *Formas de Energia e Transformações*. Formação de vapor de água



Fonte: Próprio Autor

Aquecendo a água até ela virar vapor para mostrar a energia E saindo com o vapor nessa ocasião pode ser observado que a temperatura parou de subir, surgindo a pergunta “Porque a temperatura parou de subir?”

4.3.3 – Aula 3: Mudança de Fase da matéria: Perspectiva molecular

A terceira aula foi uma retomada as fases da matéria, mas dessa vez com ênfase no movimento molecular, ou seja, o objetivo é explorar os estados da matéria e as mudanças de fase na perspectiva molecular. A aula iniciou com o questionamento “Como os materiais mudam de fase?” e com a distribuição da ficha de respostas.

Na aula foi utilizado o simulador *Molecular Workbench*, voltado para a interação molecular. Além de simulação em si, o *software*, permite a inserção de texto podendo ser organizado em tópicos explicativos, substituindo a necessidade do uso de slides.

A simulação possui nove tópicos com texto e simuladores. No final de cada tópico possui um conjunto de perguntas para interagir com os alunos com o propósito de promover o debate. O primeiro tópico explorado foi a introdução com o texto sobre a mudança de fase dos blocos de gelo no oceano ártico, finalizando com uma pergunta sobre outras três mudanças de fase encontradas na natureza (ver Figura 48).

Figura 48 – Interface do programa *Molecular Workbench*. Interatividade Mudança de Fase modificada



Fonte: Próprio Autor

N segundo tópico começou a ser explorado os estados da matéria, iniciando pelo estado gasoso. Na simulação foi possível ver o comportamento molecular dos gases com a sua movimentação com dois modelos diferentes. A função para marcar as moléculas do centro da simulação, mostrou o quanto elas se movimentam por todo o espaço disponível. Ao final do tópico foi realizada duas perguntas respondidas na ficha de respostas:

- 1 – Descreva o movimento dos átomos e moléculas dos gases;
- 2 – Como o comportamento e o arranjo das moléculas de gás são semelhantes e diferentes dos jogadores de futebol correndo em campo.

Figura 49 – Interface do programa *Molecular Workbench*. A esquerda a simulação da movimentação atômica dos gases e a direita a movimentação atômica dos líquidos



Fonte: Próprio Autor

O próximo estado da matéria foi o líquido, apresentando as moléculas mais próximas umas das outras, foi possível observar, após a marcação das moléculas centrais, que realmente há uma movimentação das moléculas por todo o líquido. Quando o

simulador permaneceu somente de uma cor é imperceptível verificar que as moléculas caminham por todo o líquido. Ao final do tópico foi feita duas perguntas:

1 – Observe o movimento do átomo ou molécula selecionados aleatoriamente. Descreva o movimento desse átomo/molécula em comparação com os átomos ao seu redor;

2 – Como o movimento das pessoas em um comício ao ar livre se parece com um líquido?

O último estado da matéria abordado na sua forma molecular foi o sólido, nesse tópico foi visualizado o estado sólido com algumas representações, na forma de rede, espaço preenchido e bastão.

Figura 50 – Interface do programa *Molecular Workbench*. Movimentação atômica dos sólidos



Fonte: Próprio Autor

Após a apresentação do modelo foi perguntado para a turma aprofundar o entendimento do assunto:

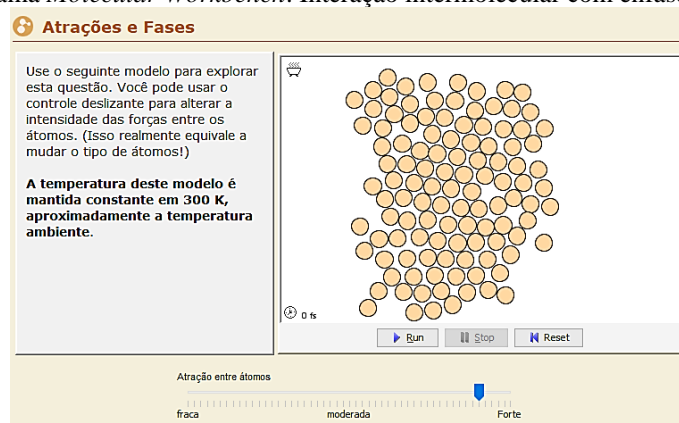
1 – Como você descreve o movimento e o arranjo dos átomos e moléculas em um sólido?

2 – As moléculas de gás estão tão distantes umas das outras que as atrações intermoleculares são bastante insignificantes no movimento térmico aleatório das partículas de gás. Descreva o papel das forças intermoleculares para sólidos e líquidos.

3 – Como o movimento dos átomos e moléculas em um sólido se assemelha às pessoas em uma sala de cinema?

O tópico quinto tópico da simulação trouxe o tema das forças intermoleculares na mudança de fase. Nesse simulador observa-se a mudança de fase fazendo a força intermolecular variar, pois a temperatura era constante.

Figura 51 – Programa *Molecular Workbench*. Interação intermolecular com ênfase na força de atração.

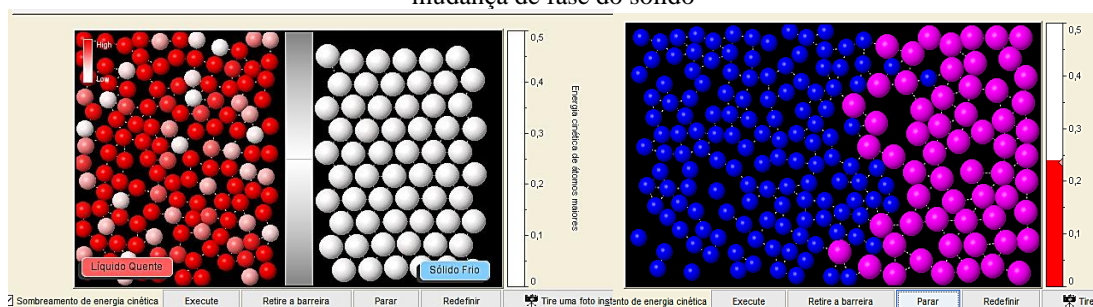


Fonte: Próprio Autor

Variando a força intermolecular entre os parâmetros fraca, moderada e forte. É possível observar as moléculas se aglomerando, caracterizando a fase sólida com a atração forte, um pouco dispersas com atração moderada característica da fase líquida e com grande dispersão que é característica da fase gasosa, quando foi colocado na atração fraca.

O próximo tópico, mudança de fase causada pela adição de energia, traz a mistura de duas substâncias em estados físicos diferentes. Essa simulação mostra a substância sólida mudando para a fase líquida, após a mistura com um líquido quente.

Figura 52 – Interface do programa *Molecular Workbench*. A esquerda a representação de um líquido quente e um sólido frio separados por uma barreira. A direita a simulação da mistura dos materiais e a mudança de fase do sólido



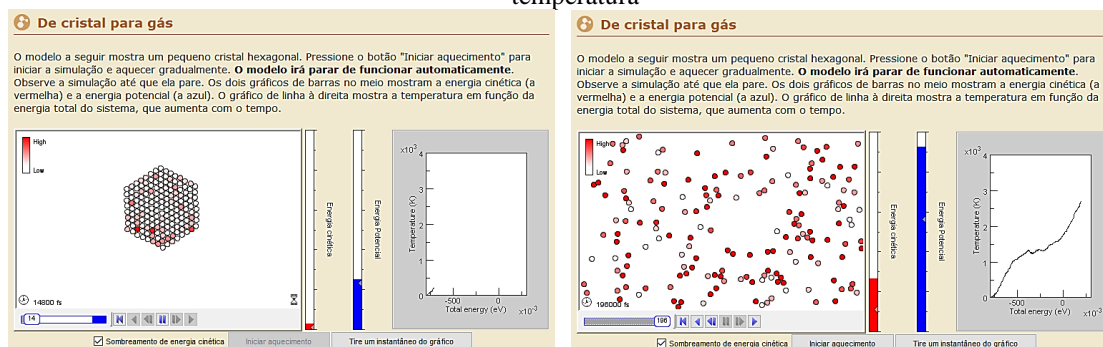
Fonte: Próprio Autor

Aqui foi retomado a formulação matemática $Q = ml$ em que a letra l simboliza o calor latente, uma quantidade de energia necessária, para uma quantidade de massa modificar o seu estado físico. O calor latente, aqui, pôde ser interpretado como a energia que fez as moléculas maiores se afastarem e posteriormente se misturarem às moléculas menores. Esse tópico possui somente uma pergunta “O que você acha que causou o

aumento da temperatura dos átomos maiores que estão originalmente na parte direita do modelo?” em que os alunos responderam rapidamente.

Na simulação do tópico 7 possui uma substância na forma de cristal, portanto sólida. Durante a simulação o cristal é aquecido até ir para o estado gasoso, ver Figura 53.

Figura 53 – Programa Molecular Workbench. Aquecimento de um cristal. A esquerda cristal no estado sólido. A direita cristal após o aquecimento, o gráfico mostra a energia recebida e a variação de temperatura



Fonte: Próprio Autor

Na simulação é possível ver (representação) a energia sendo adicionada ao sólido, iniciando a separação das moléculas. A energia cinética da substância é representada pela barra de cor vermelha e está relacionada com o movimento molecular. A energia potencial do sistema é representada pela cor azul, nesse caso a energia está relacionada com a separação molecular. O gráfico gerado foi comparado aqueles presentes nos livros didáticos de Física do ensino médio.

O questionamento que foi feito no final da simulação foi muito pertinente, pois é nesse ponto que ocorre a mudança de fase:

1 – Descreva o que estava acontecendo no modelo quando a temperatura parou de subir (no meio da simulação). Descreva o estado das moléculas ao longo desse tempo.

No estado sólido o calor específico tende a ter um valor pequeno, pois as moléculas são mais próximas, o que facilita o fluxo de energia, ou seja, uma menor quantidade de energia é necessária para aumentar a temperatura. Quando o material já está no estado líquido com maior separação molecular, o aumento de temperatura necessita de mais energia para acontecer, o que pôde ser observado no gráfico, logo o calor específico é maior.

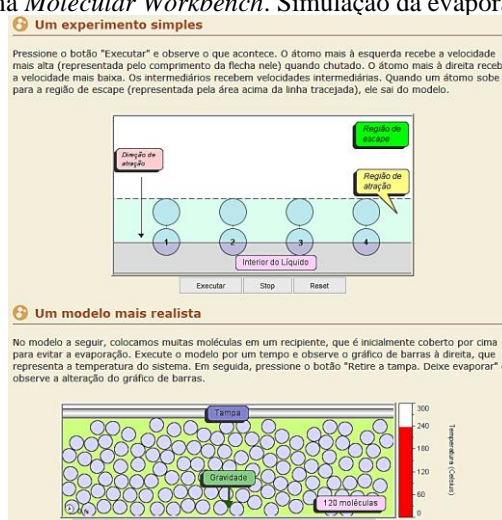
Analisando o gráfico foi relacionada a parte de crescimento da temperatura com o calor específico, pois a temperatura aumenta com o aumento de energia. E a parte do

gráfico que possui uma temperatura relativamente constante com o calor latente, nesse momento as moléculas se separam de maneira mais evidente, ficando mais distanciadas.

O penúltimo tópico foi sobre a evaporação, com duas simulações. A primeira sobre a atração molecular e da energia retirada do líquido quando a molécula sai da região de atração. Foi visto que existem moléculas que podem escapar do líquido e outras que não conseguem.

A segunda simulação possui um medidor de temperatura e após a retirada da tampa foi observado diminuição do número de moléculas, escapando do líquido e a temperatura reduzindo.

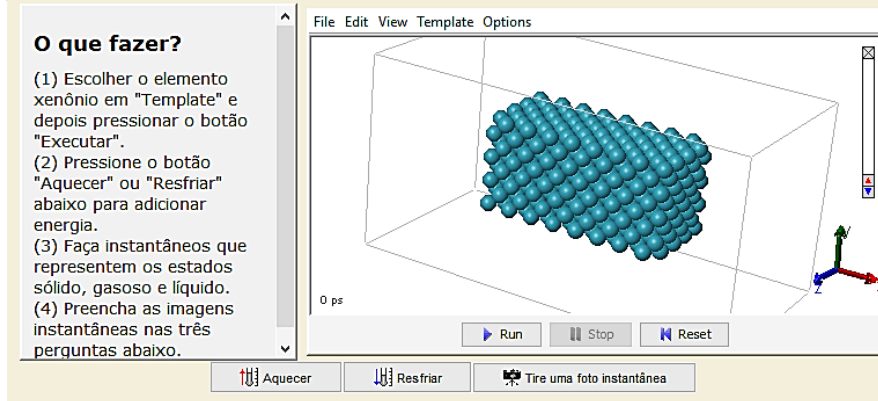
Figura 54 – Programa *Molecular Workbench*. Simulação da evaporação em dois modelos.



Fonte: Próprio Autor

No último tópico, um resumo, foi selecionado o elemento xenônio (Xe) para mostrar a mudança de fase aquecendo o elemento. Foi visto que o movimento molecular aumenta conforme o aquecimento até mudar de fase. Nessa simulação foi possível ampliar a visão das moléculas e também foi possível modificar o elemento para um metal.

Figura 55 – Programa *Molecular Workbench*. Simulação dos estados da matéria em 3D

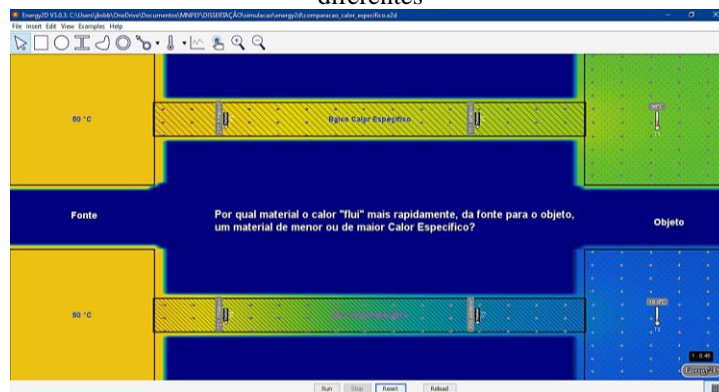


Fonte: Próprio Autor

4.3.4 – Aula 4: Calor Específico e Condutividade Térmica

A quarta aula recorre ao simulador *Energy2D* e mais uma vez do *Molecular Workbench*, objetivando os conceitos de calor específico e condutividade térmica. A aula começou com a apresentação do tema da aula no slide e com a seguinte pergunta “Porque peças metálicas parecem mais frias à temperatura ambiente do que um pedaço de madeira?”. Em seguida foi retornado ao conceito de calor específico comparando o calor entre os materiais de baixo calor específico e de alto calor específico, ver Figura 56.

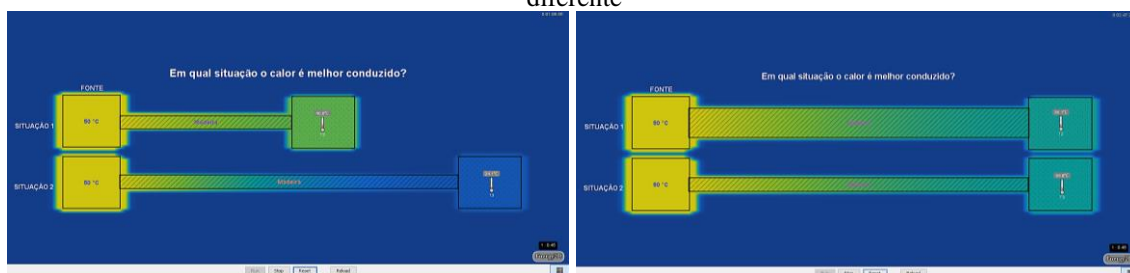
Figura 56 – Programa *Energy2D*. Simulação da propagação de calor em materiais com calor específico diferentes



Fonte: Próprio Autor

Em seguida com o uso do *Energy2D* foi comparado a condução de calor em um mesmo material, o caso a madeira, apenas mudando a geometria. No primeiro caso comparando o comprimento do material e depois a espessura. Observando, conforme a teoria, que os materiais com menor comprimento e mais espesso conduzem o calor mais rapidamente, foi mostrado e debatido em sala que a geometria interfere na quantidade de calor conduzido num sólido.

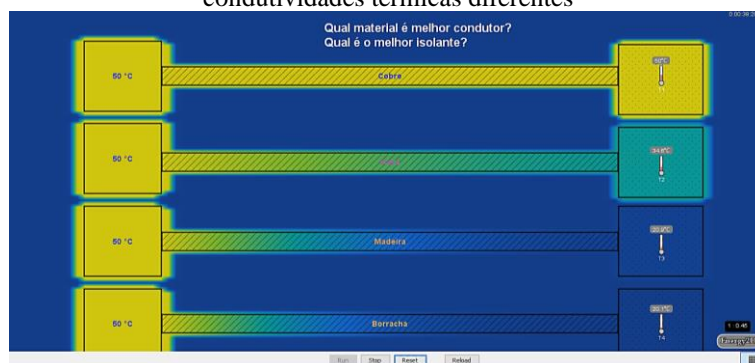
Figura 57 – Programa *Energy2D*. Simulação da condução de calor num único material com geometria diferente



Fonte: Próprio Autor

Na simulação seguinte foi comparado o calor em diferentes materiais sólidos e nesse momento inserimos na discussão o conceito de condutividade térmica, em que ele se relaciona com a taxa de transferência de energia térmica, calor. $\phi = kA\Delta T/l$.

Figura 58 – Programa *Energy2D*. Simulação da condução de calor em diversos materiais com condutividades térmicas diferentes



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 58 observa-se diferentes materiais e também a configuração das propriedades térmicas de cada um deles. Nesse momento foi possível visualizar o calor específico e a condutividade de cada material. Iniciando a simulação com cada material foi possível ver que os materiais com baixo calor específico e alta condutividade são excelentes condutores térmicos e os materiais com alto calor específico e baixa condutividade são maus condutores térmicos.

A propriedade de condutividade está relacionada com o calor transmitido de um ponto a outro do material, o quanto de calor “flui” no material. Entretanto, isso difere de acordo com o estado físico da matéria. Em sólidos a condutividade costuma ser maior que em líquidos, e em líquidos costuma ser maior que em sólidos.

Para ajudar a entender esse problema foi iniciado o simulador *Molecular Workbench*, com a simulação propagação de calor. Nessa simulação há um sólido na

forma de cristal que recebe energia térmica, foi visto que a movimentação molecular aumenta, propagando energia térmica (calor).

No modelo a energia cinética de cada molécula é mostrada pela coloração branca para baixa energia e vermelha para alta energia. Assim foi possível ver o contraste de cor representado o calor nas moléculas do sólido. À medida que foi adicionada energia ao sistema a vibração molecular aumentava, e a condução se dava quando uma molécula com mais energia com a cor vermelha encostava em uma outra molécula com uma cor mais próxima do branco, tendo assim a condução em um sólido.

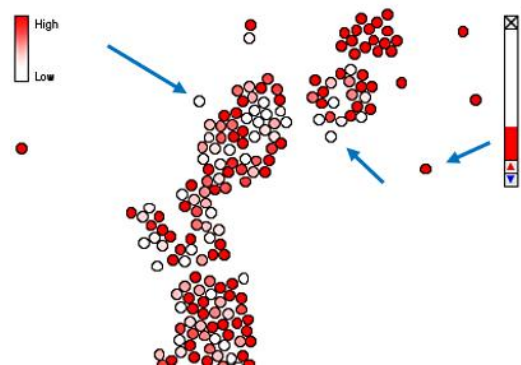
Figura 59 – Programa *Molecular Workbench*. Visão molecular da propagação de calor. O distanciamento das moléculas interfere na condução do calor



Fonte: Próprio Autor

Foi possível verificar pelo contraste de cores que a condutividade no sólido é maior que nos líquidos, quanto maior a separação molecular mais difícil o calor. Na Figura 60 é possível ver que as moléculas afastadas quase não mudam de cor.

Figura 60 – Simulação em detalhe mostrando o distanciamento molecular. As moléculas afastadas quase não mudam de cor



Fonte: Próprio Autor

Para finalizar a aula foi aplicado mais uma vez, agora após a abordagem molecular da matéria, o teste pictórico disponível no Apêndice 2.

4.3.5 – Aula 5: Mapa Conceitual

A quinta aula traz o recurso chamado Mapa Conceitual em que possui o objetivo de representar as relações significativas entre conceitos da Termodinâmica e diferencia-los, com o uso de um diagrama hierárquico.

A aula iniciou com a pergunta “Você consegue lembrar de todos os conceitos que já estudou?” a partir desse momento foi iniciado o debate, relacionando concepção de mapa e conceito.

Figura 61 – Slide com as concepções de Mapa e Conceito



Fonte: Próprio Autor

A partir disso foram construídos dois mapas conceituais mostrando passo a passo com os seguintes conceitos chaves: água, molécula, movimento, estado, sólido, líquido, gasoso, calor, neve, gelo, rio, mar, vapor e caldeira.

Figura 62 – Slide com o primeiro mapa conceitual para a água



Fonte: Próprio Autor

A Figura 62 mostra a construção do primeiro mapa. Nesse mapa o conceito central é a água e a partir dele são relacionados os outros conceitos mais específicos. Lembrado que eles se relacionam de forma hierárquica, ou seja, cada conjunto de conceitos possuem um grau de importância nas relações. O mapa começa a ser lido de cima para baixo, sendo o conceito no topo o mais relevante. Os demais conceitos vêm logo abaixo e quando possuem o mesmo grau de importância se encontram lado a lado.

Figura 63 – Slide com o segundo mapa conceitual para a água



Fonte: Próprio Autor

No segundo mapa o conceito inicial, agora, é moléculas (ver Figura 63). Foi percebido que são os mesmos conceitos nos dois mapas, mas organizados de formas diferentes. Concluindo que um mapa conceitual é dinâmico podendo ser modificado, dependendo da perspectiva de quem o produz.

A atividade sobre o tema foi construir um mapa conceitual que relacionasse os conceitos discutidos nas aulas anteriores.

Atividade:

Construa um Mapa Conceitual usando os seguintes conceitos: energia térmica, calor, calor específico, calor latente, condutividade, temperatura e moléculas. Você pode adicionar mais conceitos se achar necessário. Vale lembrar que os conceitos possuem uma hierarquia.

Essa atividade foi realizada individualmente, cada aluno fez e entregou o seu mapa conceitual.

4.3.6 – Aula 6: Aplicação do TCPT

Nessa última aula para finalizar a SEI foi realizada a atividade final, o Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas. É a última etapa da SEI a avaliação final, nesse momento o teste foi entregue aos alunos e foi dada a orientação de como realiza-lo.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS

No trabalho foi possível distinguir dois tipos de resultados, um preliminar aplicado antes da SEI e outro após a aplicação da SEI. O resultado preliminar é fruto da aplicação do TCPT (Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas) de forma preliminar, na mesma escola onde a SEI foi aplicada. A aplicação preliminar foi realizada ao final de dois anos consecutivos 2019 e 2020. No ano de 2019 aplicado nas turmas do primeiro, segundo e terceiro ano do ensino médio, em 2020 foi aplicado somente em turmas de segundo ano. Essa aplicação preliminar traz um panorama sobre o perfil do aluno na escola, mostrando em quais conceitos físicos eles possuem dificuldades, sendo possível nortear a construção e aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativo.

No ano de 2021, após aplicação da SEI, foram obtidos vários resultados, uma vez que a SEI possui várias atividades. Como visto no Capítulo 4 em cada aula teve a aplicação de atividades, na primeira aula houve a primeira aplicação do teste pictórico que tem a finalidade de obter os primeiros modelos mentais dos alunos para depois confrontá-los com os modelos desenhados na quarta aula. Esse comparativo mostrou como os modelos evoluíram com a aplicação da SEI.

Na segunda e terceira aula houve a aplicação de um conjunto de perguntas referentes aos simuladores expostos em sala com o intuito de obter um *feedback*, algo inerente da SEI. Na quinta aula foi aplicada a atividade de construção do mapa conceitual, em que o aluno mostrou como ele organiza e percebe as dependências entre os conceitos físicos.

Por fim, a aula seis da SEI traz o TCPT como uma avaliação final, com o intuito de avaliar a sequência e avaliar o conteúdo assimilado. A análise desse instrumento, usando a TCT (Teoria Clássica dos Testes), conseguiu mostrar a evolução do perfil do aluno, um ganho em relação às aplicações anteriores.

5.1 – RESULTADOS PRELIMINARES DO TCPT – TESTE PILOTO

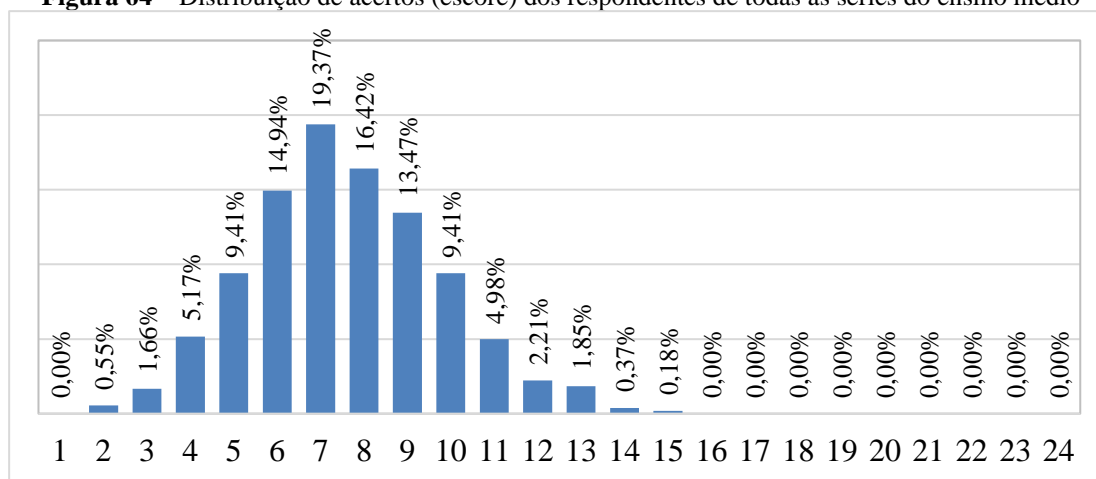
A primeira aplicação do teste foi em 2019 para alunos do ensino médio dos três anos. Com 212 alunos do primeiro ano, 166 alunos do segundo ano e 164 alunos do terceiro ano. No total foram 542 alunos do ensino médio, todos os alunos da Escola Estadual Desembargador André Vidal de Araújo localizada na zona norte da cidade de Manaus – AM. Para os alunos do primeiro ano o TCPT foi considerado como um pré-

teste e para as outras duas séries como um pós-teste. Os alunos foram submetidos ao teste de forma espontânea, o teste não interferiu nas atividades escolares. Dessa forma os conhecimentos prévios foram melhor explorados.

As análises foram realizadas segundo a Teoria Clássica dos Testes (TCT), ver Apêndice 3, buscando descrever estatisticamente os resultados, como médias, desvio-padrão, variância e outros como o índice de dificuldade e o índice de discriminação. Esses parâmetros são de fundamental importância para uma sondagem dos conhecimentos prévios.

Nessa primeira aplicação os dados de correção foram coletados com o uso do cartão resposta, ver Apêndice 1. Para a correção do foi usado um software para celular chamado *EvalBee* (LABS, 2021) onde o software organiza todos os item com suas respectivas respostas em uma planilha no formato *.xlsx* compatível com *MS Excel*³⁷. Uma análise simples pode ser realizada pela Figura 64, após o tratamento dos dados, que mostra o percentual de acertos de todos os 542 alunos da primeira aplicação. Esse gráfico contém uma distribuição percentual da quantidade total de acertos (score). Observa-se que 19,37% de todos os alunos acertaram 7 itens do questionário sendo o maior percentual, a maior quantidade de itens acertados foi de 15 e que não chega a 1% do total. A concentração dos acertos está localizada na metade inferior do total de itens, entre 4 e 11 itens.

Figura 64 – Distribuição de acertos (score) dos respondentes de todas as séries do ensino médio



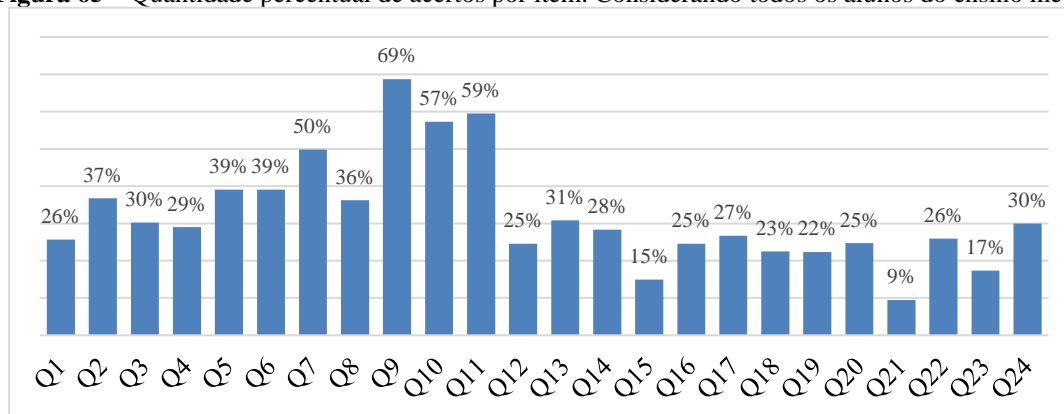
Fonte: Próprio Autor

Outra análise pode ser feita na quantidade de acertos de cada item. A Figura 65 mostra o percentual de acertos por item. É possível observar que o maior percentual foi

³⁷ MS Excel – Microsoft Corporation. 2016. *Excel* editor de planilhas.

de 69% e o menor 9%, a média dos percentuais de acerto é de 32%. Assim os itens Q2, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10 e Q11 possuem os maiores percentuais acima da média. E os demais itens ficaram com os menores percentuais.

Figura 65 – Quantidade percentual de acertos por item. Considerando todos os alunos do ensino médio



Fonte: Próprio Autor

Geralmente, com as quantidades totais de acertos é possível inferir a concepção dos itens mais acertados que estão listados na Tabela 5. A próxima tabela mostra os itens que tiveram os maiores percentuais e as suas concepções.

Tabela 6 – Concepções dos itens com maior percentual de acertos

Item	Concepções
Q2	Condutividade Térmica e Calor Específico
Q5	Calor, Temperatura e Pressão
Q6	Calor e Temperatura
Q7	Pressão
Q8	Volume
Q9	Condutividade Térmica, Calor Específico e Calor Latente
Q10	Calor Latente
Q11	Calor e Temperatura e Calor Latente

Fonte: Próprio Autor

Na Tabela 6 a concepção Equilíbrio Térmico não está entre os itens com maiores acertos. Foi percebido que, em geral, os conhecimentos prévios estão presentes na estrutura cognitiva dos alunos, mas aparentemente não estão tão estabelecidos, pois a Figura 65 mostra um baixo número de acertos.

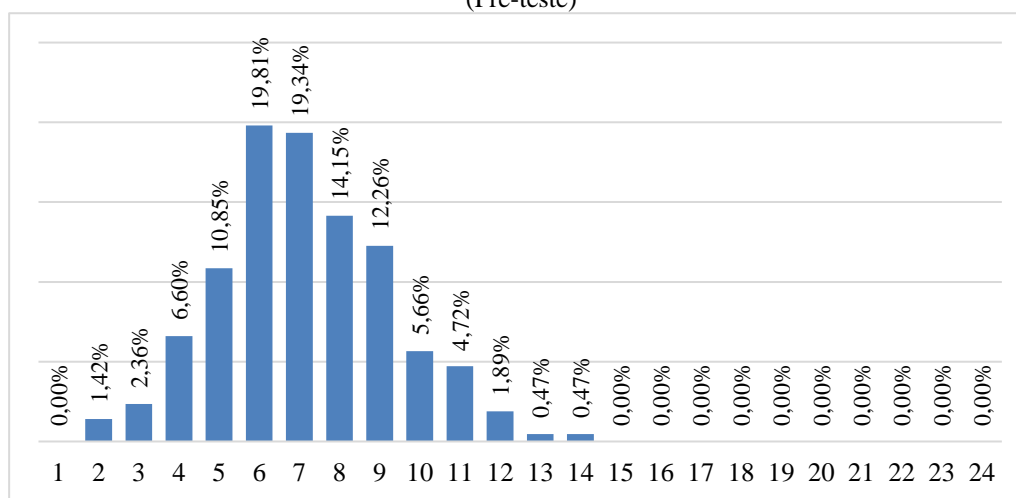
5.1.1 – Análise comparativa pré-teste e pós-teste na primeira aplicação

Para efeito comparativo e para saber se há diferenças no aprendizado das turmas de diferentes níveis o TCPT foi aplicado para os alunos do primeiro ano do ensino médio,

em que o teste é considerado um pré-teste, e um pós-teste para alunos do segundo e do terceiro ano do ensino médio. Para os alunos do primeiro ano o TCPT forneceu uma noção dos seus conhecimentos prévios sobre os conceitos térmicos, provavelmente adquiridos pela experiência de vida. Para os alunos do segundo e terceiro anos o teste tentará verificar o quanto do que foi visto de Física térmica ficou na estrutura cognitiva dos alunos.

A Figura 66 mostra a distribuição dos acertos no pré-testes a concentração de maior acerto está em 6 itens do teste com 19,81%.

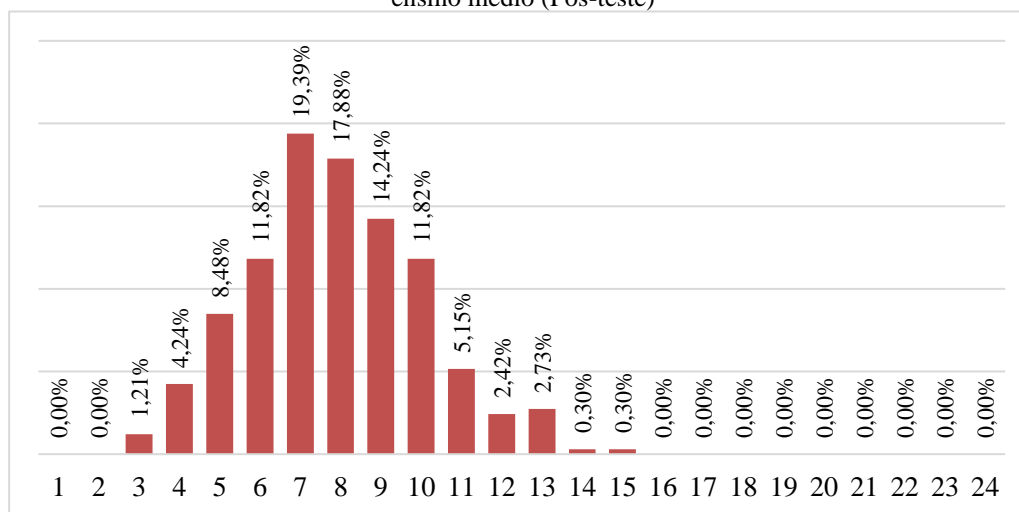
Figura 66 – Distribuição percentual do número de acertos (escore) dos alunos do 1º ano do ensino médio (Pré-teste)



Fonte: Próprio Autor

Para os alunos dos anos finais do ensino médio (pós-teste) a concentração maior está em 7 itens do TCPT. Há um maior número de acertos a partir de 10 itens até o máximo de 15. Como mostra a Figura 67 há um aumento percentual no número de acertos.

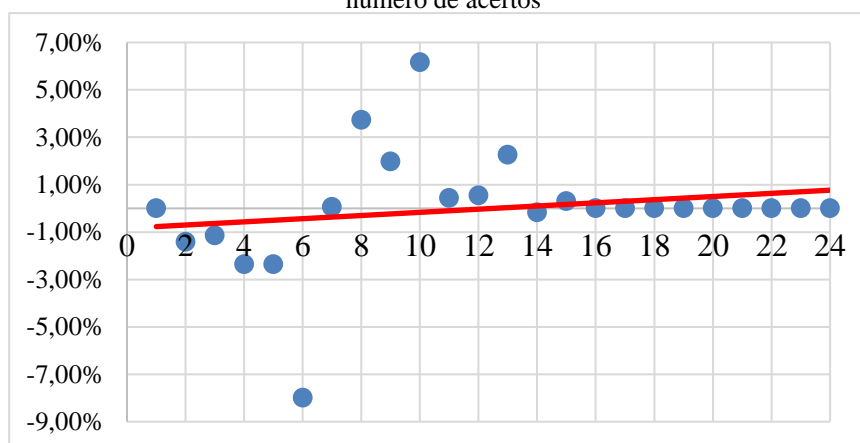
Figura 67 – Distribuição percentual do número de acertos (escore) dos alunos do 2º ano e 3º ano do ensino médio (Pós-teste)



Fonte: Próprio Autor

Como, em tese, é previsto que os alunos do pós-teste tenham um resultado melhor no número de acertos em relação aos alunos do pré-teste, comparando os gráficos é possível verificar o aumento percentual no número de itens corretos na Figura 68, principalmente na maior quantidade de itens corretos. Alinha de referência crescente indica o aumento do número de acertos dos alunos do pós-teste em relação aos do pré-teste. Os alunos do pós-teste acertaram um maior número de itens, o gráfico da figura é a diferença entre o percentual de acertos do pós-teste e do pré-teste.

Figura 68 – Diferença entre os percentuais do pós-teste e do pré-teste. A reta mostra o crescimento no número de acertos



Fonte: Próprio Autor

Para analisar os conceitos mais acertados no TCPT nos dois grupos, pré-teste e pós-teste, foi utilizado somente os itens com acertos mais relevantes acima da média. Para o pré-teste a média percentual dos acertos foi de 30,52%, somente os itens com

percentuais de acertos maiores serão listados na Tabela 7. Os itens no pós-teste selecionados possuem mais acertos que a média de 33,52%.

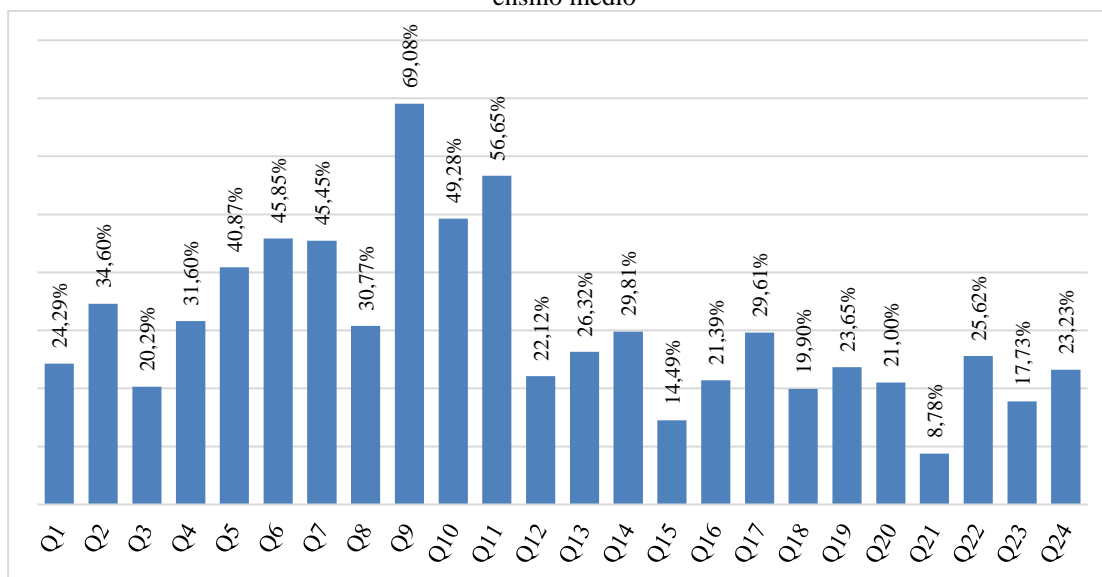
Tabela 7 – Concepções dos itens com maior percentual de acertos nos dois grupos.

Concepção	Item no pré-teste	Item no pós-teste
Calor e Temperatura	Q5, Q6 e Q11	Q5, Q6, Q11 e Q13
Condutividade Térmica	Q2 e Q9	Q2, Q3, Q9 e Q13
Calor Específico	Q2 e Q9	Q2, Q3 e Q9
Equilíbrio Térmico	-	-
Pressão	Q5 e Q7	Q5 e Q7
Volume	Q8	Q8
Calor Latente	Q9, Q10 e Q11	Q9, Q10, Q11, Q13 e Q24

Fonte: Próprio Autor

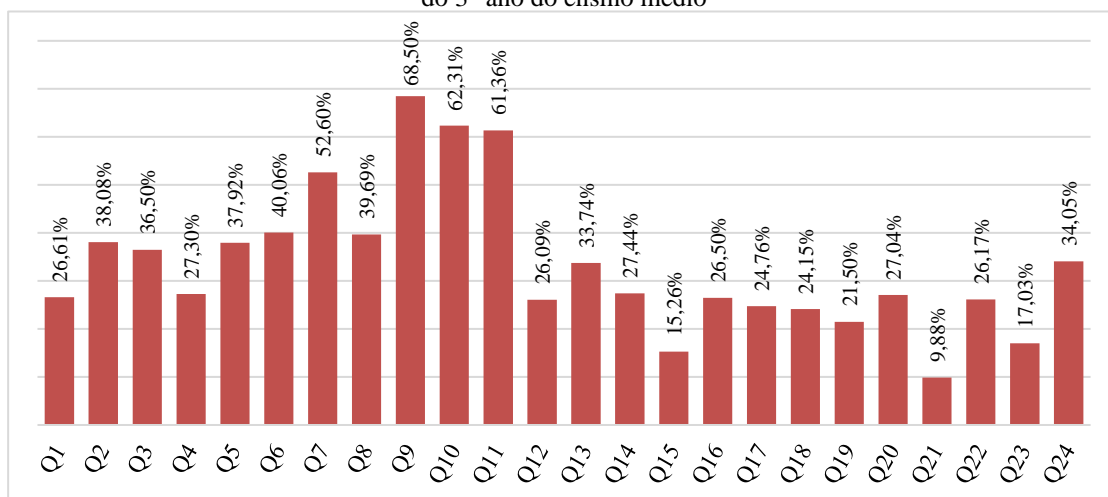
A tabela não contempla a concepção Equilíbrio Térmico em nenhum dos dois grupos. As demais concepções são contempladas, mas em pequena quantidade. É possível visualizar que os alunos do pós-teste possuem mais concepções que os alunos do pré-teste. A Figura 69 mostra o percentual de acertos no pré-teste, alunos do 1º ano e a Figura 70 exibe o percentual de acertos nos itens do pós-teste com alunos do 2º e 3º anos.

Figura 69 – Quantidade percentual de acertos por item dos respondentes do pré-teste. Alunos do 1º ano do ensino médio



Fonte: Próprio Autor

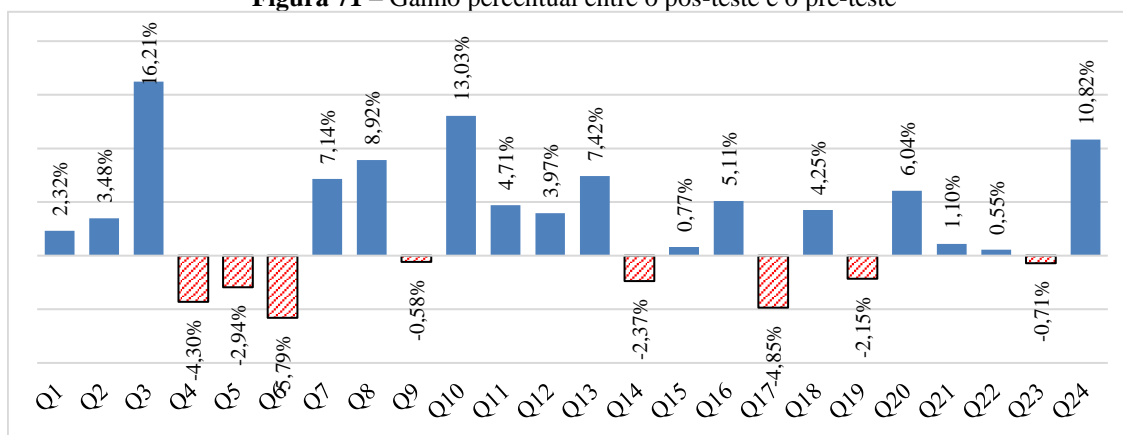
Figura 70 – Quantidade percentual de acertos por item dos respondentes do pós-teste. Alunos do 2º ano e do 3º ano do ensino médio



Fonte: Próprio Autor

Comparando as figuras anteriores percebe-se um ganho percentual entre o pós-teste e o pré-teste. A Figura 71 é a diferença entre os percentuais de acertos, apenas 8 itens que não tiveram ganho percentual, os demais tiveram ganhos. Era previsível que os alunos do pós-teste, 2º ano e 3º ano, tivessem ganhos sobre os do pré-teste.

Figura 71 – Ganho percentual entre o pós-teste e o pré-teste

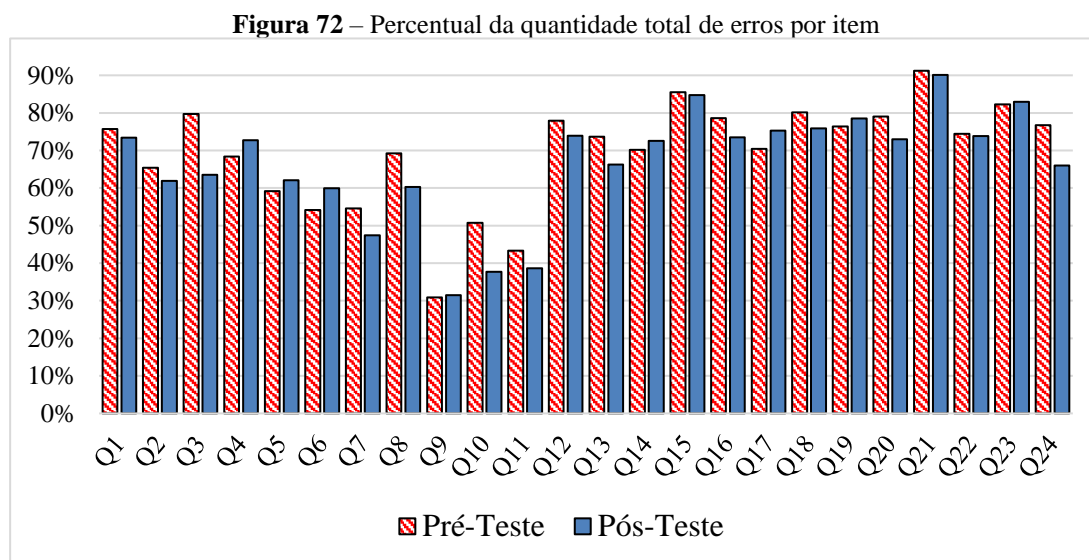


Fonte: Próprio Autor

Para efetuar uma análise mais profunda e com melhor aproveitamento não devem ser vistos somente os itens corretos pertencentes ao gabarito e sim os itens incorretos, os distratores³⁸, é com base neles que se deve montar uma estratégia para uma sequência de ensino e aprendizagem que ajude a melhorar o aprendizado. A Figura 72 apresenta de modo simples a quantidade percentual dos erros em cada item, no qual é observado uma constância no elevado índice de erro a partir do item 12. Na Tabela 5 podem ser

³⁸ Os distratores, não são apenas alternativas erradas, eles contêm respostas com os erros que mais costumam ser cometidos pelos alunos ou apresentam sentido, mas não dentro da proposta da questão.

visualizadas as concepções desses itens, basicamente o calor latente e o conceito de calor e temperatura.



Fonte: Próprio Autor

Apesar do visível ganho percentual entre o pós-teste e o pré-teste ele é pequeno e não é tão significativo, o que evidencia que as concepções conceituais dos alunos dos 2° e 3° anos não são tão diferentes dos alunos do 1° ano. Em tese, era esperado um ganho significativo, uma vez que os conceitos abordados no TCPT geralmente são estudados no 2° ano.

5.1.2 – Análise das duas aplicações – Turmas do segundo ano do ensino médio

A série do ensino médio que é o principal alvo do estudo do trabalho é o segundo ano, e para ele a análise é mais elaborada, mais detalhada em alguns parâmetros psicométricos da TCT. Houveram duas aplicações do TCPT para o segundo ano, uma realizada em 2019 com as outras séries do ensino médio, já comentado anteriormente, e outra aplicação em 2020.

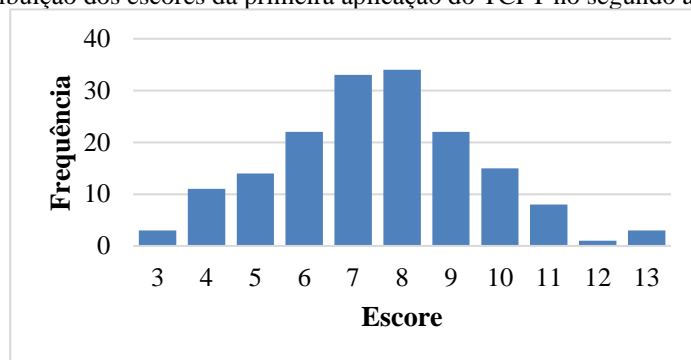
A primeira aplicação foi para 166 alunos do segundo ano e a segunda aplicação foi para 57 alunos. A segunda aplicação foi realizada de forma remota (*online*) com o uso da ferramenta *Google Forms*³⁹ devido à situação pandêmica do ano de 2020. Nessa aplicação foi acrescentada uma segunda camada ao TCPT, duas perguntas sobre a questão

³⁹ Google Forms é uma plataforma online que coleta informações no formato de questionário. Disponível em <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>.

peçoal do aluno: “Qual a sua disposição em realizar esse questionário?” e “Qual é o seu nível de compreensão sobre as propriedades térmicas?”.

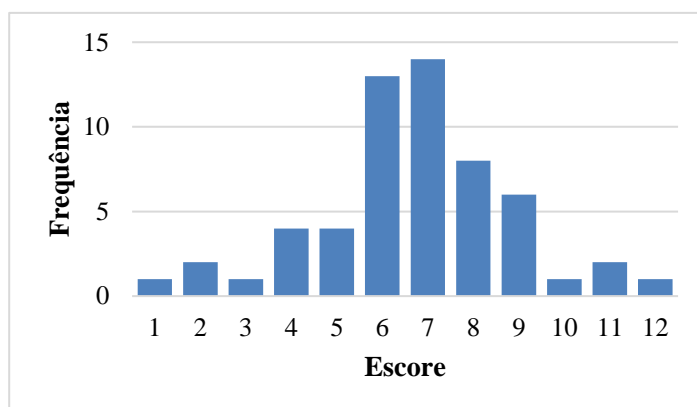
O primeiro dado relevante nesse estudo é a distribuição do número de acertos, também conhecido como frequência, a Figura 73 apresenta a distribuição na aplicação realizada em 2019 e na Figura 74 a distribuição na segunda aplicação. Conforme a Figura 73, o teste possui um escore mínimo de 3 e o máximo de 13, lembrando que o escore máximo do teste é de 24. Aqui foi verificado que a maioria dos respondentes ficaram com os escores entre 6 e 9, totalizando 111 respondentes. O escore 8 é o que possui o maior número de respondentes, 34 alunos. O escore máximo obtido 13 possui apenas 3 respondentes. De modo geral, houve acertos em 54% do número de itens, um pouco mais da metade, o que pode ser considerado relativamente baixo.

Figura 73 – Distribuição dos escores da primeira aplicação do TCPT no segundo ano do ensino médio



Fonte: Próprio Autor

Figura 74 – Distribuição dos escores da segunda aplicação do TCPT no segundo ano do ensino médio



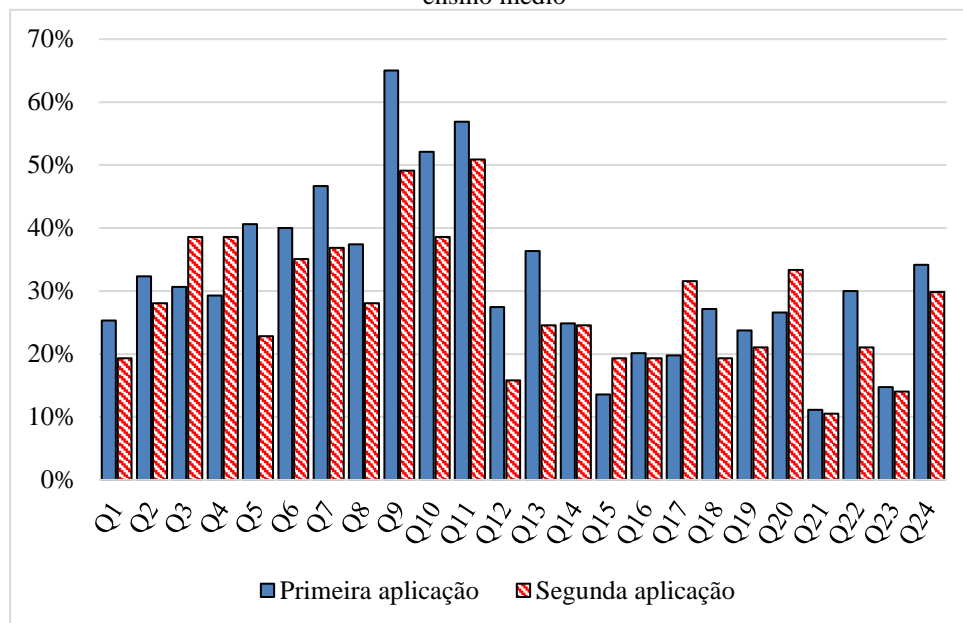
Fonte: Próprio Autor

Aa Figura 74 mostra o escore mínimo de 1 e o máximo de 12 resultado abaixo em relação à primeira aplicação. Foi verificado que nesse caso os respondentes também ficaram concentrados entre os escores 6 e 9, onde o escore 7 é o que possui o maior

número de respondentes 14 no total e o maior escore que é 12 possui apenas 1 aluno. Nessa segunda aplicação do teste o escore reduziu um pouco em relação à aplicação anterior, que já não era tão satisfatório.

Outra informação importante nessas duas aplicações é o percentual de acerto em cada item do teste.

Figura 75 – Percentual de acertos de cada item do TCPT nas duas aplicações. Alunos do segundo ano do ensino médio



Fonte: Próprio Autor

É possível constatar na Figura 75 que em termos percentuais, os acertos na primeira aplicação foram ligeiramente melhores. Em média os alunos da primeira aplicação acertaram 32% do teste contra 28% na segunda aplicação. Na primeira aplicação foi obtido 10 itens na média ou acima da média de acertos e 12 itens na segunda aplicação. Os conceitos contemplados nos itens com acerto acima da média estão na Tabela 8.

Tabela 8 – Concepções dos itens com maior percentual de acertos nas duas aplicações

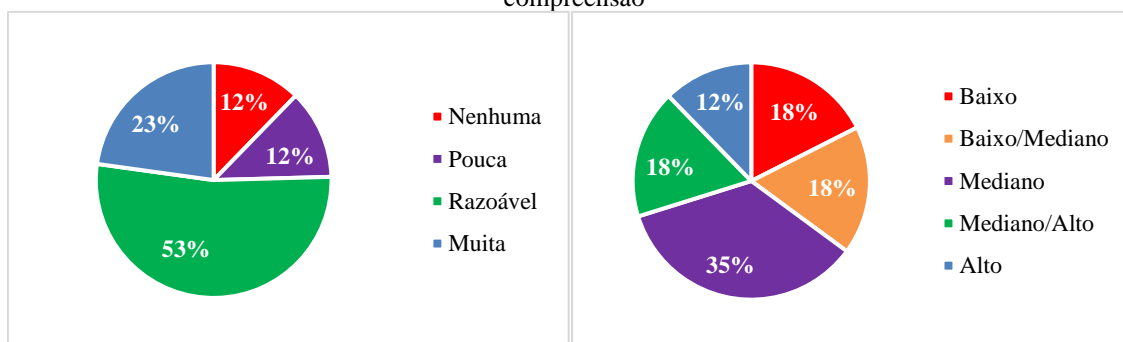
Concepção	Item - Primeira aplicação	Item - Segunda aplicação
Calor e Temperatura	Q5, Q6, Q11 e Q13	Q4, Q6, Q11 e Q17
Condutividade Térmica	Q2 e Q9	Q2, Q3 e Q9
Calor Específico	Q2 e Q9	Q2, Q3 e Q9
Equilíbrio Térmico	-	Q20
Pressão	Q5 e Q7	Q4 e Q7
Volume	Q8	Q8
Calor Latente	Q9, Q10, Q11, Q13 e Q24	Q9, Q10, Q11, Q17, Q20 e Q24

Fonte: Próprio Autor

É possível ver na Tabela 8 que a grande diferença entre a primeira aplicação e a segunda está no conceito de equilíbrio térmico, os itens dos demais conceitos são praticamente similares. Na segunda aplicação houve um pequeno aumento na quantidade de itens nos conceitos de condutividade térmica, calor específico e calor latente. Lembrado que a segunda aplicação tem uma média menor e também menos participantes.

Apesar de um número menor de participantes a segunda aplicação possui informações a respeito da confiança do aluno em realizar o teste. Na Figura 76 mostra o percentual das duas perguntas: “Qual a sua disposição em realizar esse teste?”, gráfico a esquerda, e “Qual é o seu nível de compreensão sobre as propriedades térmicas?”, gráfico a direita.

Figura 76 – A esquerda, percentual da disposição em realizar o teste. A direita, percentual do nível de compreensão



Fonte: Próprio Autor

Para a pergunta sobre a disposição do aluno em resolver o teste houve a predominância do Razoável tendendo para o Muita, 76% dos alunos respondentes, teve disposição em responder. Na segunda pergunta sobre o nível de compreensão houve a predominância do Mediano.

A Tabela 9 traz os valores sobre a disposição em realizar o teste confrontando com a média dos escores dos respondentes. Para a opção *nenhuma* apenas 7 alunos com média de acertos de 7,29 e escores indo de 2 a 12, possuindo uma grande variância⁴⁰ o que representa uma média inconsistente possuindo uma composição de escore de valores indo de muito baixo a muito alto, outra informação importante é o desvio padrão⁴¹ que

⁴⁰ Dado um conjunto de dados, a variância é uma medida de dispersão que mostra o quão distante cada valor desse conjunto está do valor central (médio). Quanto menor é a variância, mais próximos os valores estão da média; mas quanto maior ela é, mais os valores estão distantes da média.

<https://brasilecola.uol.com.br/matematica/medidas-dispersao-variância-desvio-padrao.htm>

⁴¹ O desvio padrão é capaz de identificar o “erro” em um conjunto de dados, caso quiséssemos substituir um dos valores coletados pela média aritmética. O desvio padrão aparece junto à média aritmética, informando o quão “confiável” é esse valor. <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/medidas-dispersao-variância-desvio-padrao.htm>

representa o erro e teve o valor de 3,09. Para a opção *nenhuma* houve um grande erro o que pode indicar uma aleatoriedade nas respostas. Na opção *pouca* houve um erro menor, o que mostra que os 7 participantes obtiveram quantidades de acertos bem próximos. Para 30 alunos, a maioria, afirmaram uma *razoável* disposição e a variância foi de 3,7 e um erro de 1,92 indo de um escore 2 até 11 e para aqueles que estavam com *muita* disposição, apenas 13 alunos, possuem escores indo de 2 a 12 com grande variância.

Tabela 9 – Escore médio da disposição em realizar o teste

	Quantidade de alunos	Média (escore)	Menor (escore)	Maior (escore)	Variância	Desvio padrão
Nenhuma	7	7,29	1	11	9,57	3,09
Pouca	7	6,43	5	7	0,62	0,78
Razoável	30	6,57	2	11	3,70	1,92
Muita	13	6,85	2	12	7,31	2,70

Fonte: Próprio Autor

A Tabela 10 mostra as médias dos escores em cada nível de compreensão e é observado que aqueles que se consideraram com *baixo* nível de compreensão foram os que mais acertaram o teste, fato curioso e para aqueles que julgaram ter um *alto* nível tiveram menor média.

Tabela 10 – Escore médio do nível de compreensão das propriedades térmicas

	Quantidade de alunos	Média (escore)	Menor (escore)	Maior (escore)	Variância	Desvio padrão
Baixo	10	7,30	5	11	2,90	1,70
Baixo/Mediano	10	6,10	2	9	5,66	2,38
Mediano	20	7,00	4	10	3,16	1,78
Mediano/Alto	10	6,70	1	12	10,01	3,16
Alto	7	5,86	2	7	3,14	1,77

Fonte: Próprio Autor

Usando a Teoria Clássica dos Testes (Apêndice 3) foram obtidos alguns parâmetros psicométricos, o ID, IPD e o coeficiente bisserial, que permitem qualificar as respostas dos alunos de tal forma que é possível apontar onde estão as falhas ou acertos mais consistentes.

A classificação do índice de dificuldade (ID) na primeira aplicação é mostrada na Tabela 11. Para os respondentes nenhum item foi classificado como muito fácil e somente o item 9 foi determinado como fácil. A maioria dos itens foram classificados como Difíceis e Muito difíceis e apenas 4,17% dos itens foram considerados fáceis bem abaixo dos 20% considerado ideal e o item considerado como o mais difícil foi o Q21.

Tabela 11 – Distribuição dos itens em relação ao Índice de Dificuldade (ID), primeira aplicação

Classificação	Item	Valores	Percentual de itens no teste
Muito fáceis	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Fáceis	Q9	0,64	4,17%
Normais	Q7, Q10 e Q11	0,46 a 0,52	12,50%
Difíceis	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q8, Q12, Q13, Q14, Q18, Q20, Q22 e Q24	0,25 a 0,40	58,33%
Muito difíceis	Q15, Q16, Q17, Q19, Q21 e Q23	0,11 a 0,19	25,00%

Fonte: Próprio Autor

Na segunda aplicação não houve itens considerados muito fáceis ou fáceis, somente dois itens foram considerados normais, Tabela 12. Doze itens foram classificados como difíceis e dez itens classificados como muito difíceis e assim como na primeira aplicação o item considerado mais difícil foi o Q21. Comparando as duas tabelas a maioria dos itens classificados como difíceis, basicamente metade do teste nas duas aplicações, os itens que possuem essa classificação são quase os mesmos.

Tabela 12 – Distribuição dos itens em relação ao Índice de Dificuldade (ID), na segunda aplicação

Classificação	Item	Valores	Percentual de itens no teste
Muito fáceis	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Fáceis	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Normais	Q9 e Q11	0,49 a 0,51	8,33%
Difíceis	Q2, Q3, Q4, Q6, Q7, Q8, Q10, Q13, Q14, Q17, Q20 e Q24	0,25 a 0,39	50,00%
Muito difíceis	Q1, Q5, Q12, Q15, Q16, Q18, Q19, Q21, Q22 e Q23	0,11 a 0,23	41,67%

Fonte: Próprio Autor

A discriminação dos itens na primeira aplicação está na Tabela 13, a maioria dos itens foram classificados como ruins (58,33%), ou seja, 14 itens discriminam de forma considerada *ruim* e devem ser revisados, os itens Q2, Q3, Q4, Q7, Q9, Q10, Q11 e Q13 são considerados os melhores para discriminar os respondentes. Em princípio dez itens podem ser considerados aceitáveis para discriminar os respondentes de forma satisfatória, que estão classificados entre *marginal* e *muito bom*.

Tabela 13 – Distribuição dos itens em relação a Discriminação (IPD), primeira aplicação

Classificação	Item	Valores	Percentual de itens no teste
Muito Bom	Q2, Q7, Q9, Q10, Q11 e Q13	0,41 a 0,57	25,00%
Bom	Q3 e Q4	0,30 e 0,34	8,33%
Marginal	Q8 e Q24	0,23 e 0,27	8,33%
Ruim	Q1, Q5, Q6, Q12, Q14, Q15, Q16, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21, Q22 e Q23	-0,05 a 0,18	58,33%

Fonte: Próprio Autor

O índice de discriminação da segunda aplicação mostrado na Tabela 13, diferentemente da primeira aplicação foi obtido itens considerados aceitáveis para discriminar, doze itens no total entre o considerado *marginal* e *muito bom*. No entanto, 50% dos itens ainda são considerados ruins.

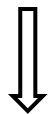
Tabela 14 – Distribuição dos itens em relação a Discriminação (IPD), segunda aplicação

Classificação	Item	Valores	Percentual de itens no teste
Muito Bom	Q2, Q3, Q7, Q9, Q10, Q11 e Q24	0,40 a 0,67	29,17%
Bom	Q22	0,33	4,17%
Marginal	Q1, Q12, Q17 e Q20	0,20 a 0,27	16,67%
Ruim	Q4, Q5, Q6, Q8, Q13, Q14, Q15, Q16, Q18, Q19, Q21 e Q23	-0,13 a 0,13	50,00%

Fonte: Próprio Autor

A classificação do coeficiente bisserial, na Tabela 15, mostra que os respondentes do teste possuem um perfil equilibrado, tendendo para um bom desempenho. Foi observado valor de r_{biss} negativo em apenas três itens na segunda aplicação do teste. A tabela também mostra que a maioria dos itens possui valores positivos se aproximam 0,5 o que demonstra um perfil misto dos respondentes.

Tabela 15 – Distribuição do coeficiente bisserial dos itens

Coeficiente Bisserial (r_{biss})	Itens na primeira aplicação	Itens na segunda aplicação		-1	
-0,12 a -0,05	Nenhum	Q4, Q14 e Q18		Aumento no desempenho do respondente	
0,01 a 0,20	Q1, Q5, Q6, Q12, Q15, Q16, Q17, Q18, Q19, Q21, Q22 e Q23	Q5, Q6, Q8, Q13, Q16, Q19 e Q23			
0,21 a 0,39	Q4, Q8, Q14, Q20 e Q24	Q1, Q12, Q15, Q17, Q20, Q21, e Q22			
0,40 a 0,59	Q2, Q3, Q7, Q9, Q10, Q11 e Q13	Q2, Q3, Q7, Q9, Q10, Q11 e Q24	+1		

Fonte: Próprio Autor

Outra informação importante para a análise é a média dos erros dos itens por conceito físico. Dessa forma, foi possível estimar quais conceitos os respondentes tiveram mais dificuldade. É importante ressaltar que um item pode estar em mais de um conceito físico. A média dos erros por conceito estão na Tabela 16, a maior média está no conceito de equilíbrio térmico e a menor está no conceito de condutividade. É possível verificar que a maioria dos conceitos possuem uma média acima de 60% de erro.

Tabela 16 – Distribuição dos erros dos itens por conceito físico

Conceitos	Itens	Primeira aplicação		Segunda aplicação	
		Média dos erros	Variância	Média dos erros	Variância
Calor e Temperatura	Q1, Q4, Q5, Q6, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17, Q18 e Q19	0,70	0,01	0,74	0,01
Condutividade Térmica	Q1, Q2, Q3, Q9, Q13 e Q16	0,65	0,02	0,70	0,01
Calor Específico	Q2, Q3 e Q9	0,57	0,04	0,61	0,01
Equilíbrio Térmico	Q1, Q14 e Q20	0,74	0,00	0,74	0,01
Pressão	Q4, Q5, Q7 e Q12	0,64	0,01	0,71	0,01
Volume	Q8 e Q20	0,68	0,01	0,69	0,00
Calor Latente	Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21, Q22, Q23 e Q24	0,70	0,02	0,74	0,01

Fonte: Próprio Autor

Com base nesses dados obtidos em duas aplicações do teste conceitual, fica depreendido que, de modo geral, os alunos do segundo ano do ensino médio possuem dificuldades em compreender os conceitos físicos. Os itens em sua maioria foram considerados ruins no ponto de vista discriminativo e muito difíceis para a maioria dos respondentes. Por conta disso o perfil geral dos alunos é considerado misto, mesmo que o escore máximo tenha sido de apenas 13 acertos na primeira aplicação e 12 na segunda. O fato de que muitos itens foram considerados ruins não quer dizer exatamente que esses itens devem ser retirados do teste, e sim revistos, e possivelmente adaptados à realidade dos respondentes.

Todos os valores de proporção de acertos, erros, coeficiente bisserial, índice de dificuldade e índice de discriminação de cada item do teste estão no Apêndice 4.

5.2 – RESULTADOS FINAIS – APLICAÇÃO DA SEI

A sequência de Ensino Investigativa foi aplicada para 30 alunos de uma turma do segundo ano do ensino médio no ano de 2021, os resultados a seguir são todos para esse contingente. Diferente dos resultados preliminares que foram em torno do TCPT, agora o resultado possui uma maior variedade de testes. Começando pelas perguntas conceituais, depois o teste pictórico, o mapa conceitual e por fim o TCPT fechando a avaliação final da SEI. A sequência de aplicação dos testes está descrita no Capítulo 5.

5.2.1 – Perguntas Conceituais

As perguntas conceituais foram aplicadas na SEI durante a segunda e a terceira aula. Foram realizadas em sala e respondidas pelos alunos numa ficha de respostas, contendo 16 perguntas. Durante as repostas os alunos puderam promover o debate entre eles o que é inerente ao ensino investigativo.

Na segunda aula, as primeiras perguntas da ficha de respostas são objetivas, possuindo nos seus itens as alternativas para serem marcadas. As duas primeiras perguntas trazem conceitos que já deveriam estar estabelecidos previamente para os alunos, os conceitos de temperatura e calor e a segunda tabela traz perguntas referentes a simulação mostrada em sala de aula.

A Tabela 17 mostra o resultado em que 80% dos alunos conseguiram responder corretamente, marcando a alternativa em que a consideram o grau de agitação molecular, que é a correta. Somente 13,33% confundiram temperatura com calor, e os 6,67%

consideraram temperatura como sendo apenas quanto um corpo é quente, ou seja, relacionando somente com a ideia de quente e deixando de lado a ideia de frio. Esse resultado mostra que o conceito de temperatura é um subsunçor bem estabelecido.

Para o conceito de calor houve um acerto de 66,67%, mas 33,33% confundiram o conceito de calor com temperatura.

Tabela 17 – Respostas objetivas parte 1 da ficha de atividades da aula 2, percentual de respostas

Número de respondentes			
Perguntas	Respostas		
	Indica o quanto um corpo é quente	É a medida do grau de agitação das moléculas que compõem um corpo*	É o calor dos corpos
O que é Temperatura?	2	24	4
	6,67%	80,00%	13,33%
Perguntas	Respostas		
	É a temperatura dos corpos	É o fluxo de energia térmica*	
O que é Calor?	10	20	
	33,33%	66,67%	

* Alternativa correta. Fonte: Próprio Autor

A Tabela 18 traz as perguntas objetivas referentes ao simulador *Formas de Energia e Transformações*, as perguntas são feitas de acordo com o que acontece na simulação a primeira pergunta relaciona a temperatura dos corpos (Ferro e Tijolo) antes do aquecimento, a maioria respondeu assertivamente que os dois possuíam a mesma temperatura antes do aquecimento já que se encontravam em um mesmo ambiente. A segunda pergunta se refere a quantidade de energia entre o Ferro e o Tijolo, nesse caso a simulação faz um aquecimento e com o uso da legenda de energia é possível visualizar que o Ferro ficou com mais “blocos” de energia [E], assim a maioria respondeu conforme a visualização da simulação. A última pergunta da Tabela 18 é referente à mudança de temperatura, o resultado é coincidente com a primeira pergunta, aparentemente os alunos que não identificaram que os corpos estavam a mesma temperatura também não identificaram o aquecimento.

Tabela 18 – Respostas objetivas parte 2 da ficha de atividades da aula 2, percentual de respostas

Número de respondentes			
Perguntas	Respostas		
	Ferro	Tijolo	Os dois possuem a mesma temperatura*
Qual dos dois blocos tem a temperatura mais baixa antes do aquecimento?	3	2	25
	10,00%	6,67%	83,33%
Qual dos blocos acumulou mais energia?	Respostas		
	Ferro*	Tijolo	
Houve mudança de temperatura?	24	6	
	80,00%	20,00%	
Houve mudança de temperatura?	Respostas		
	Somente no bloco de Ferro	Somente no bloco do Tijolo	Em ambos os blocos*
Houve mudança de temperatura?	1	5	24
	3,33%	16,67%	80,00%

*Alternativa correta. Fonte: Próprio Autor

A Tabela 19 mostra o resultado de perguntas abertas, no entanto, delimitadas a simulação mostrada em sala. O que foi possível gerar respostas com ideias próximas, sendo contabilizadas numa resposta em comum que de certa forma engloba a resposta dada pelo aluno. Na primeira pergunta, Como você acha que é o comportamento da molécula de água no estado sólido? As respostas, no total de 19 (63,33%), se aproximaram da resposta: *Moléculas juntas, agrupadas. Com pouca movimentação*, que pode ser considerada a resposta mais correta. Para a pergunta: O aumento de temperatura modifica a configuração da molécula de água? 90,00% dos alunos perceberam que houve modificação na configuração da molécula de água. A resposta categorizada como *Outras* traz uma mistura de opiniões, respostas inconclusivas, respostas em branco ou fora de contexto. Essa mesma classificação, *Outras*, será usada nas respostas das tabelas adiante.

Tabela 19 – Respostas subjetivas parte 3 da ficha de atividades da aula 2, percentual de respostas

Número de respondentes			
Perguntas	Respostas		
	Moléculas juntas, agrupadas. Com pouca movimentação*	Moléculas juntas. Com espaço maior do que no estado líquido	Outras
Como você acha que é o comportamento da molécula de água no estado sólido?	19	4	7
	63,33%	13,33%	23,33%

	Respostas	
	Sim, modificando seu movimento e aumentando o distanciamento*	Outras
O aumento de temperatura modifica a configuração da molécula de água?	27	3
	90,00%	10,00%

*Resposta considerada correta. Fonte: Próprio Autor

As tabelas a seguir são referentes as perguntas realizadas na terceira aula da sequência investigativa. As perguntas foram respondidas na ficha de respostas, as perguntas são referentes as situações ocorridas no simulador *Molecular Workbench*. Lembrando que as perguntas foram debatidas em sala o que gerou um certo consenso nas respostas. As perguntas são abertas, mas delimitadas as situações propostas. Assim como na aula dois da SEI as respostas foram agrupadas com ideias próximas, sendo contabilizadas numa resposta em comum.

A Tabela 20 mostra as perguntas e respostas referentes ao estado gasoso mostrado no simulador, é possível ver que a maioria dos alunos conseguiu perceber que as moléculas possuem um movimento aleatório com colisões e que possuem um distanciamento. A maioria também conseguiu relacionar o comportamento de jogadores de futebol com as moléculas de um gás.

Tabela 20 – Respostas subjetivas parte 1 da ficha de respostas, aula 3

	Número de respondentes		
Perguntas	Respostas		
	Movimento agitado, aleatório com colisões entre as moléculas	Misturadas e agitadas com ligação, momentaneamente, fraca	Outras
Descreva o movimento dos átomos e moléculas em um gás	14	10	6
	46,67%	33,33%	20,00%
	Respostas		
Perguntas	Os jogadores podem se mover por todo o campo, assim como as moléculas	A semelhança está na movimentação	Outras
	Como o comportamento e o arranjo das moléculas de gás são semelhantes a jogadores de futebol correndo no campo?	10	17
	33,33%	56,67%	10,00%

Fonte: Próprio Autor

A Tabela 21 mostra as perguntas e as repostas sobre os líquidos. Na primeira pergunta a maioria dos alunos, 80,00%, percebeu que as moléculas selecionadas no simulador se misturam com a outras e uma pequena parte respondeu que além da mistura as moléculas percorreram todo o espaço disponível. Os alunos também relacionaram de forma satisfatória um comício (mostrado na imagem no simulador) com o movimento molecular em um líquido.

Tabela 21 – Respostas subjetivas parte 2 da ficha de repostas, aula 3

Número de respondentes		
Perguntas	Respostas	
	Movimento agitado e se misturam com as outras moléculas	Os átomos selecionados se misturam com os outros e percorrem todo o espaço disponível
Observe o movimento do átomo ou molécula que foram selecionados aleatoriamente. Descreva o movimento desse átomo / molécula em comparação com os átomos ao seu redor	24	6
	80,00%	20,00%
Respostas		
Como o movimento das pessoas em um comício ao ar livre se parece com um líquido?	As pessoas podem se misturar e mover assim como as moléculas	Outras
	23	7
	76,67%	23,33%

Fonte: Próprio Autor

Já as respostas para o estado sólido estão disponíveis na Tabela 22. Na primeira pergunta sobre o movimento dos sólidos, a maioria das respostas dos alunos é para uma vibração das moléculas, mas sem sair do lugar e uma parte deles não conseguiu perceber a vibração molecular, levando a responderem que as moléculas são fixas no estado sólido. Para o papel das forças intermoleculares, 76,67% dos alunos afirmaram que essas forças servem para unir as moléculas e 10% identificaram que essas forças são maiores nos sólidos e líquidos. Na comparação entre as moléculas de um sólido com pessoas sentadas em cadeiras num cinema, 56,67% dos alunos relacionaram de forma assertiva a movimentação individual de uma pessoa sentada como sendo a vibração molecular.

Tabela 22 – Respostas subjetivas parte 3 da ficha de respostas, aula 3

Número de respondentes			
Perguntas	Respostas		
	As moléculas vibram, mas não mudam de lugar	Estão fixas e não se movem	
Como você descreveria o movimento e o arranjo dos átomos e moléculas em um sólido?	20	10	
	66,67%	33,33%	
Respostas			
Descreva o papel das forças intermoleculares para sólidos e líquidos	Tem o papel de unir as moléculas	A força entre os sólidos e os líquidos é maior do que nos gases	Outras
	23	3	4
	76,67%	10,00%	13,33%
Respostas			
Como o movimento dos átomos e moléculas em um sólido se assemelha às pessoas em uma sala de cinema?	As pessoas estão paradas, fixas, nas cadeiras do cinema	As pessoas e as moléculas possuem movimento, mas não mudam de lugar	
	13	17	
	43,33%	56,67%	

Fonte: Próprio Autor

Por fim a Tabela 23 com as perguntas sobre a mudança de fase, a primeira pergunta é sobre a mistura de um líquido quente com um sólido frio mostrada no simulador, a maioria dos alunos percebeu que a causa do aquecimento dos átomos maiores, que representavam o sólido frio foi a mistura com o líquido quente. A segunda pergunta é sobre o que acontece com as moléculas quando a curva *Temperatura x Energia* permanece com temperatura constante, a maioria percebeu que houve uma mudança de fase da matéria, 73,33% e 6,67% perceberam que houve somente uma dispersão.

Tabela 23 – Respostas subjetivas parte 4 da ficha de respostas, aula 3

Número de respondentes			
Perguntas	Respostas		
	A mistura do líquido quente com o sólido frio	Outras	
O que você acha que causou o aumento da temperatura dos átomos maiores que estão originalmente na parte direita do modelo?	27	3	
	90,00%	10,00%	
Respostas			
	Ocorreu uma mudança de fase	Houve uma dispersão das moléculas	Outras
	22	2	6
Descreva o que estava acontecendo no modelo quando a temperatura parou de subir (no meio da simulação). Descreva o estado das moléculas ao longo desse tempo	73,33%	6,67%	10,00%

Fonte: Próprio Autor

Todos esses resultados fazem parte da interação aluno-aluno e aluno-professor durante as aulas, o debate prevaleceu durante a apresentação das perguntas. Os alunos formularam as suas hipóteses e responderam de forma satisfatória.

5.2.3 – Teste Pictórico

O Teste Pictórico sobre as Fases da Matéria e as suas Mudanças foi aplicado para os 30 alunos da turma do segundo ano ao término da primeira e quarta aula da sequência investigativa. A abordagem desse teste pictórico é qualitativa, visto que as questões são abertas e as respostas são subjetivas.

Como mostrado no Capítulo 4 o teste possui uma expectativa de resposta em cada item, ou seja, o desenho de um modelo mental em cada item, as respostas dos alunos serão mostradas a seguir. Para as respostas fornecidas pelos alunos foi observado um *padrão nas respostas*, dessa forma foi possível categorizá-las. Assim os desenhos foram enquadrados num *padrão de respostas* dos alunos, mostrados nas tabelas a seguir. A

construção do *padrão de respostas* foi baseada na observação dos desenhos apresentados pelos alunos, comparando com modelos adotados pela literatura, cientificamente correto.

Na primeira parte no item A era esperado que o modelo físico desenhado fosse do tipo dinâmico, o aluno deveria expressar as moléculas como esferas e dando a ideia de movimento ao desenho fazendo uso de sombras, setas ou qualquer indicativo de movimento. Esse item pede para o aluno desenhar as moléculas de água nos estados sólido, líquido e gasoso. A Tabela 24 mostra o padrão de respostas dos alunos depois da aplicação do teste.

Na primeira aplicação, na aula 1, a maioria dos alunos representaram os estados físicos por meio de figuras geométricas de forma não molecular, os desenhos foram de gelo, água líquida em um recipiente e vapor de água saindo de um recipiente. Aparentemente, os alunos sentiam a necessidade de desenhar os estados físicos da água de forma macroscópica e dentro de recipientes.

Já na segunda aplicação ao final da aula 4, os alunos representaram, em sua maioria, as moléculas como esferas e com o distanciamento proporcional ao estado físico. Essa representação mental é o padrão de resposta mais correto e 86,67% dos alunos desenharam os seus modelos com esse aspecto.

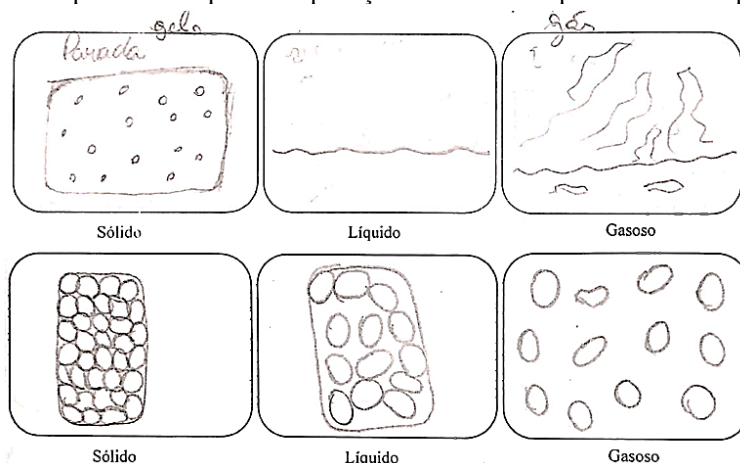
Tabela 24 – Respostas do item A da primeira parte do teste pictórico, sobre os estados físicos da água

Quantidade de respondentes (porcentagem)			
Padrão de resposta	Primeira aplicação, aula 1	Segunda aplicação, aula 4	Ganho
Representou os estados físicos dentro de recipientes	8 (26,67%)	1 (3,33%)	- 23,34%
Representou os estados físicos por figuras geométricas diferenciadas para cada estado	15 (50,00%)	3 (10,00%)	- 40,00%
Representou as moléculas como esferas e com o distanciamento proporcional a cada estado*	7 (23,33%)	26 (86,67%)	63,34%

*Padrão de resposta mais correta. Fonte: Próprio Autor

A Figura 77 mostra a resposta de um aluno da turma, é possível verificar que houve uma mudança na representação do seu modelo. Na primeira aula o aluno representou os estados físicos com imagens com representação macroscópica, na quarta aula o aluno já representou os estados físicos a nível molecular e com o distanciamento molecular mais adequado.

Figura 77 – A parte superior corresponde a aplicação na aula 1 e na parte inferior a aplicação na aula 4



Fonte: Próprio Autor

A Tabela 25 traz os resultados do item B da primeira parte, sobre o calor fluindo de um corpo para outro, a maioria dos alunos nessa primeira aplicação representaram os seus modelos de forma curiosa, desenharam o calor fluindo de um corpo para outro usando o desenho de pessoas, outros usaram setas para indicar o sentido do calor. Alguns alunos representaram o calor com o uso de chamas, indo de um objeto a outro.

Na segunda aplicação os alunos, na sua maioria, representaram a transferência de calor a nível molecular, é importante notar que difere bastante da primeira aplicação que nenhum aluno representou dessa forma. Esse padrão de resposta é o mais assertivo, é o que mais se aproxima do modelo científico.

Tabela 25 – Respostas do item B da primeira parte do teste pictórico, sobre o calor de um corpo para outro

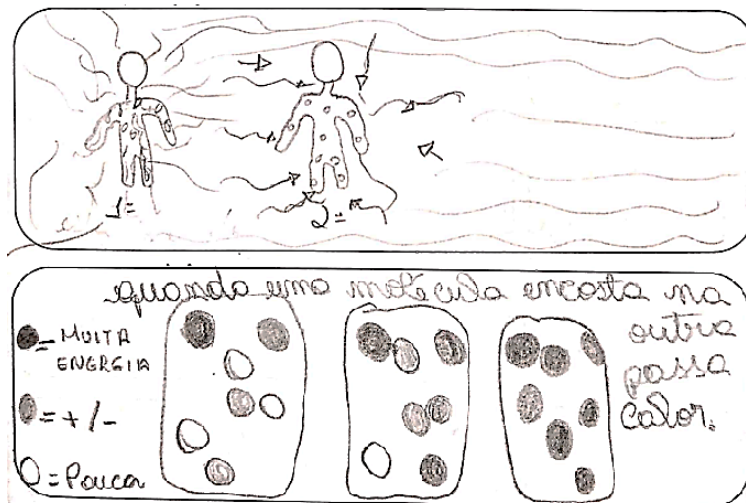
Quantidade de respondentes (porcentagem)			
Padrão de resposta	Primeira aplicação, aula 1	Segunda aplicação, aula 4	Ganho
Representou o calor sendo trocado entre pessoas, com linhas conectando-as	12 (40,00%)	4 (13,33%)	- 26,67%
Representou o calor por meio de linhas conectando dois ou mais objetos	11 (36,67%)	8 (26,67%)	- 10,00%
Representou o calor por meio de chamas, fogo, ente objetos	7 (23,33%)	2 (6,67%)	- 16,66%
Representou o calor passando de molécula a molécula*	0 (0,00%)	16 (53,33%)	53,33%

*Padrão de resposta mais correta. Fonte: Próprio Autor

A Figura 78 mostra a representação que um aluno fez nas aulas. Na primeira imagem ele representou o calor entre corpos de pessoas, na segunda vez que ele produziu

o seu desenho utilizando a representação molecular para o calor, com detalhes na intensidade de energia. O aluno adicionou uma categoria de cor para a energia em cada molécula.

Figura 78 – Representação de um aluno do calor entre dois corpos



Fonte: Próprio Autor

Na segunda parte do teste pictórico há mais dois itens, o primeiro tem os resultados na Tabela 26, nesse item foi pedido para o aluno representasse a mistura das moléculas de água com as moléculas de cloreto de sódio. Na primeira aplicação a maioria dos alunos usou a representação da água líquida num recipiente misturada com sal na forma de esferas.

Tabela 26 – Respostas do item A da segunda parte do teste pictórico, sobre a mistura de água e cloreto de sódio

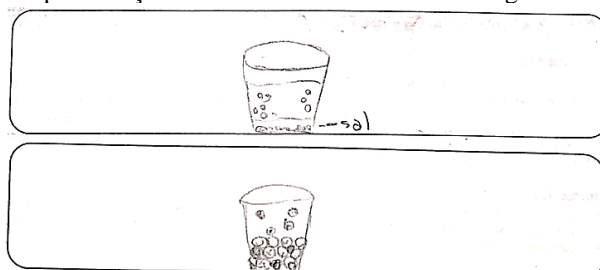
Quantidade de respondentes (porcentagem)			
Padrão de resposta	Primeira aplicação, aula 1	Segunda aplicação, aula 4	Ganho
Não representou de forma satisfatória	5 (16,67%)	7 (23,33%)	6,66%
Representou a água no estado líquido em um recipiente e o cloreto de sódio por pontos ou esferas misturado com a água	15 (50,00%)	5 (16,67%)	- 33,33%
Representou as moléculas de água e cloreto de sódio por esferas e diferenciando as duas substâncias*	10 (33,33%)	15 (50,00%)	16,67%

*Padrão de resposta mais correta. Fonte: Próprio Autor

Na segunda aplicação, aula 4, os alunos na maioria representaram a mistura usando o desenho de moléculas, para a água e o sal, buscando diferenciá-las. Esse padrão de resposta é o mais assertivo.

A Figura 79 mostra a representação de um aluno nas duas aulas, na primeira ele representou a água no estado líquido não molecular e o sal na forma molecular, já na segunda representação o aluno representou a água e o sal na forma molecular.

Figura 79 – Representação de um aluno da mistura entre água e cloreto de sódio



Fonte: Próprio Autor

Por fim o último item do teste, o item B da segunda parte, nele foi pedido que o aluno representasse as fases da matéria, sólido, líquido e gasoso de uma substância, assim como as mudanças das respectivas fases. A Tabela 27 mostra o número de representações dos alunos da turma. Na primeira aplicação (aula 1) 36,67% dos alunos desenharam as moléculas como esferas e diferenciando a geometria em cada fase, esse padrão de resposta é o considerado assertivo, os alunos representaram de forma satisfatória a geometria molecular em cada estado.

Outros 20,00% usaram outras formas geométricas para representar cada fase, 23,33% não representaram de forma molecular e por fim aqueles que não conseguiram representar de forma satisfatória, ou não desenharam.

Tabela 27 – Respostas do item B da segunda parte do teste pictórico, processos de mudança de fase

Padrão de resposta	Quantidade de respondentes (porcentagem)		
	Primeira aplicação, aula 1	Segunda aplicação, aula 4	Ganho
Representou os estados físicos com o uso de substâncias nos respectivos estados, não representando de forma molecular	7 (23,33%)	2 (6,67%)	- 16,66%
Representou as moléculas com formas geométricas (esferas, quadrados e triângulos) dentro de recipientes	6 (20,00%)	0 (0,00%)	- 20,00%
Representou as moléculas por meio de esferas mostrando a geometria de cada estado*	11 (36,67%)	21 (70,00%)	33,33%
Representou as moléculas por esferas, mostrando o	2 (6,67%)	7 (23,33%)	16,66%

distanciamento conforme a fase e indicou o afastamento durante a mudança de fase**

Não representou de forma satisfatória	4 (13,33%)	0 (0,00%)	- 13,33%
---------------------------------------	------------	-----------	----------

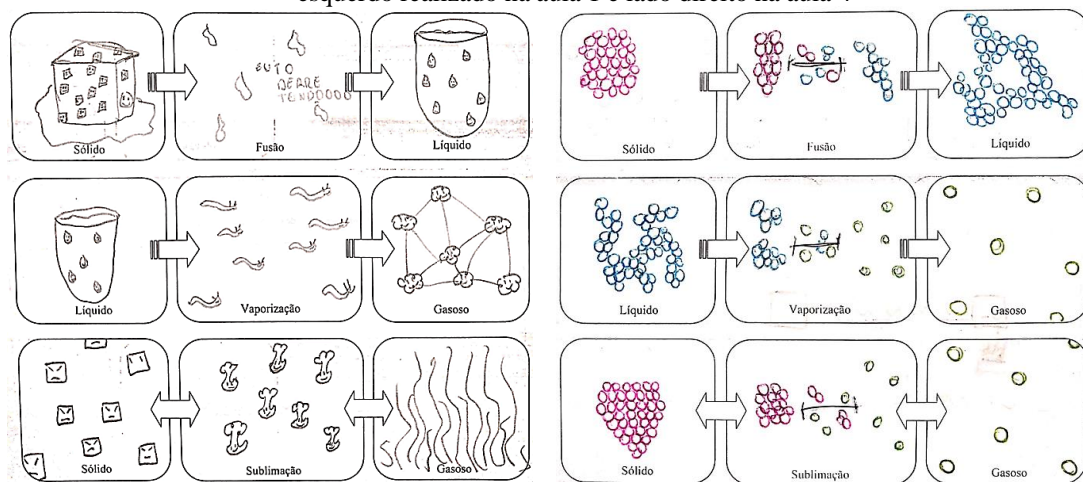
*Padrão de resposta mais correta. **Padrão de resposta melhorado. Fonte: Próprio Autor

Na aula 4, na reaplicação do teste, houve uma mudança na representação da maioria, 70,00% dos alunos representaram de forma molecular mantendo a geometria dos estados físicos.

Para o padrão de resposta em que os alunos representaram as moléculas por esferas e indicaram o afastamento molecular durante a mudança de fase, foi considerado como o mais correto, por ser mais completo. Na aplicação da aula 1 foi obtido apenas 6,67% dos alunos nesse padrão, já na segunda aplicação foram 23,33%.

A Figura 80 mostra a representação de um aluno, é possível verificar que na primeira aplicação ele representou o estado sólido por cubos, o estado líquido por cubos e o gasoso por nuvens e para as mudanças de fase recorreu a pequenos desenhos animados. Já na segunda aplicação, aula 4, o aluno representou todos os estados físicos com o uso de esferas e conseguiu mostrar a mudança de fase de forma satisfatória, com o uso de uma indicação do afastamento molecular durante a mudança, também fez a diferenciação das fases com cores diferentes.

Figura 80 – Representação pictórica de um aluno para as fases da matéria e suas mudanças. Lado esquerdo realizado na aula 1 e lado direito na aula 4



Fonte: Próprio Autor

De modo geral o teste pictórico aplicado na primeira aula mostrou que os alunos tinham uma certa dificuldade em representar, desenhar ou expressar um modelo molecular para os estados físicos da matéria. Após as aulas subseqüentes a representação

dos alunos foi mais assertiva, eles conseguiram desenhar mais facilmente as moléculas nos seus respectivos estados.

Foi possível notar que houve uma modificação na representação dos modelos dos alunos, eles expressaram um modelo físico do tipo dinâmico, ou seja, conseguiram perceber uma continuidade de uma fase para outra.

Também foi possível perceber que a percepção dos alunos sobre o aspecto molecular da matéria sofreu uma modificação, uma parcela significativa dos alunos percebeu que o estado físico da matéria é modificado quando ocorre o distanciamento molecular e que devido à distância entre as moléculas suas interações são diferentes. Nesse contexto é possível afirmar que parte dos alunos conseguiram perceber que as trocas de calor entre as moléculas também se modificam com o distanciamento molecular. Assim é possível inferir que parte dos alunos conseguiram perceber que a condutividade térmica se modifica em cada fase da matéria assim como o calor específico.

5.2.4 – Mapa Conceitual

Para avaliar um mapa conceitual foi adotado um *critério de avaliação*, baseado em uma pontuação. Conforme Novak e Gowin (1996) o critério de pontuação dos itens deve ficar a cargo de quem propõe a elaboração de um mapa conceitual, no entanto é sugerido uma chave de pontuação dos mapas conceituais. Nesse trabalho foi usada a sugestão sugerida na obra com a seguinte grade de pontuação, Tabela 28.

Tabela 28 – Grade de pontuação para correção do mapa conceitual

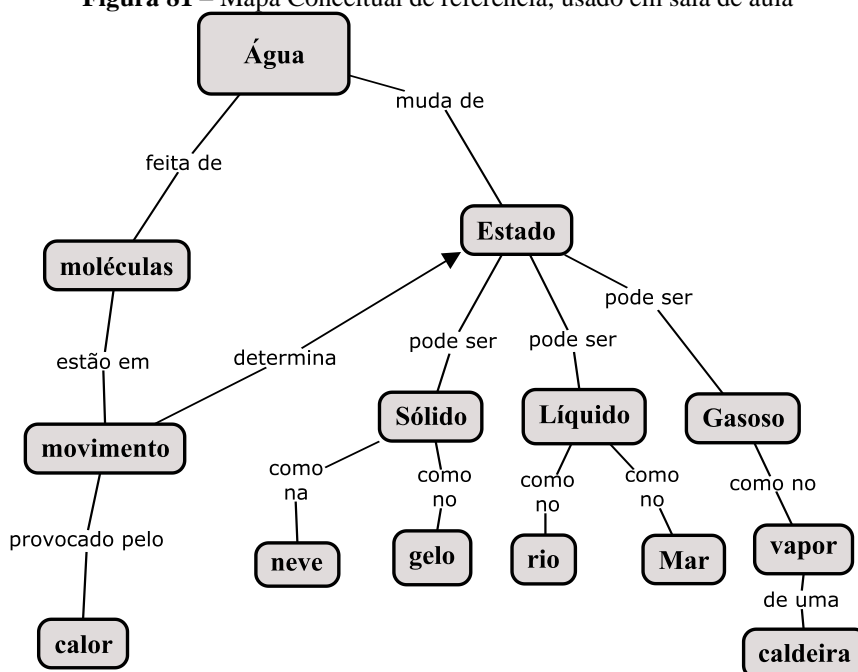
Grade de pontuação		
Pontuação	Critério	Descrição
1	Número de conceitos	Quantidade de conceitos apresentados. Apenas conceitos novos inseridos no mapa.
1	Número de conectivos	Palavras que conectam os conceitos, ligam os conceitos de forma lógica, criando frases entre os conceitos
2	Níveis de hierarquia	Organização dos conceitos a partir do conceito chave localizado no topo. Indo do mais abrangente para o mais específico.

2	Ligações transversais	Quantidade de relações entre partes diferentes do mapa, liga um segmento da hierarquia a outro.
1	Número de exemplos	Acontecimento ou objetos concretos que sejam exemplos pertinentes

Fonte: Próprio Autor

Para poder classificar os mapas realizados pelos alunos em termos de porcentagem, um mapa conceitual pode ser usado como referência e a pontuação de cada aluno é dividida pela pontuação do mapa de referência. A Figura 81 é o mapa de referência, pois ele foi usado em sala de aula como exemplo, e ficou exposto aos alunos um tempo suficiente para se ter como referência.

Figura 81 – Mapa Conceitual de referência, usado em sala de aula



Fonte: Próprio Autor

O mapa conceitual de referência possui a pontuação de 32 pontos, uma vez que ele possui 8 conceitos, 13 conectivos, 4 níveis hierárquicos, 1 ligação transversal e 1 exemplo.

A Tabela 29 traz a distribuição de pontuação nos mapas conceituais produzidos pelos alunos e também a porcentagem em relação ao mapa conceitual de referência, essa porcentagem é a razão entre a pontuação do aluno e a pontuação do mapa de referência (32 pontos), em que o mapa de referência representa 100%.

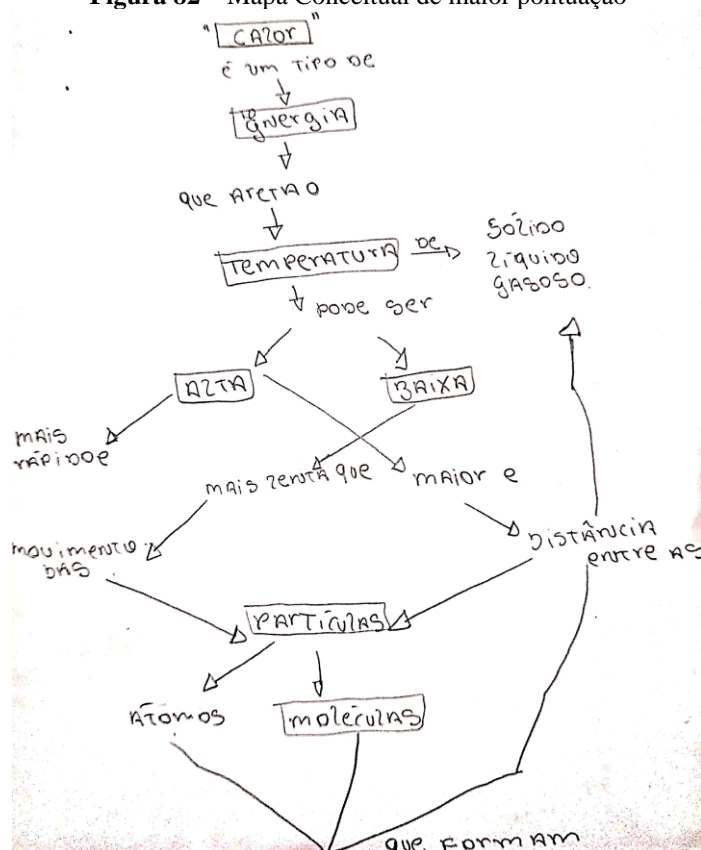
Tabela 29 – Pontuação dos alunos na construção do Mapa Conceitual
Pontuação dos alunos na construção do Mapa Conceitual

Pontuação						
Nº Aluno	Conceito	Conectivo	Hierarquia	Ligação transversal	Exemplos	Porcentagem
1	7	3	6	2	0	56,25%
2	6	0	0	0	0	18,75%
3	7	2	0	0	1	31,25%
4	7	2	2	0	0	34,38%
5	6	5	2	2	0	46,88%
6	7	5	6	0	0	56,25%
7	7	0	6	0	0	40,63%
8	7	0	6	0	0	40,63%
9	7	0	6	0	0	40,63%
10	8	3	6	2	2	65,63%
11	7	0	8	0	0	46,88%
12	9	5	8	0	0	68,75%
13	7	0	8	0	0	46,88%
14	7	0	0	0	0	21,88%
15	6	0	0	0	0	18,75%
16	6	0	0	0	0	18,75%
17	9	6	10	2	0	84,38%
18	6	0	0	0	0	18,75%
19	8	5	4	0	0	53,13%
20	8	5	4	0	0	53,13%
21	11	1	8	4	0	75,00%
22	7	0	6	0	0	40,63%
23	7	5	4	0	0	50,00%
24	5	4	4	0	0	40,63%
25	7	4	6	2	0	59,38%
26	15	6	10	0	0	96,88%
27	15	6	10	2	0	103,13%
28	7	0	6	0	0	40,63%
29	7	0	8	0	0	46,88%

Fonte: Próprio Autor

No resultado os alunos possuem uma média de porcentagem de 48,54%, basicamente metade da pontuação. Como foi o único mapa conceitual construído durante a SEI é aceitável e compreensível que o aluno obtenha essa pontuação. Geralmente o primeiro mapa conceitual de um indivíduo é uma espécie de rascunho das primeiras ideias, então é natural que esse resultado produza porcentagens de 18,75%. A Figura 82 apresenta o mapa conceitual que possui a maior pontuação.

Figura 82 – Mapa Conceitual de maior pontuação

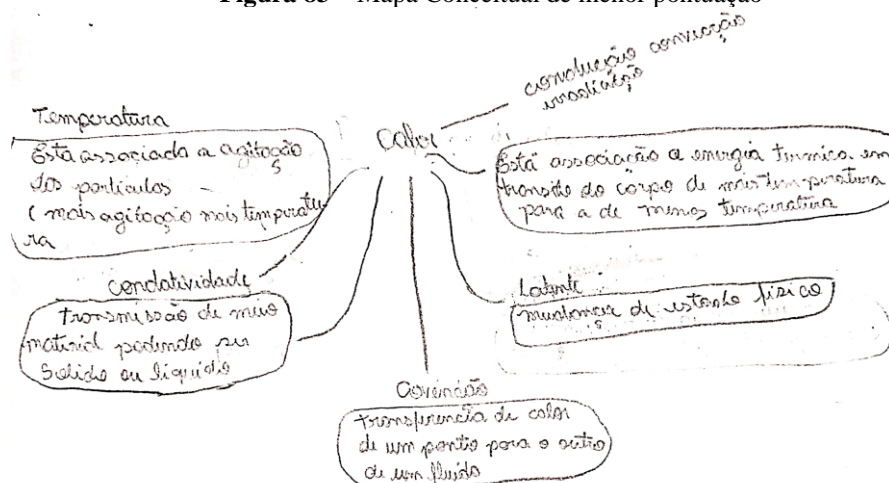


Fonte: Próprio Autor

É possível notar que o mapa possui uma hierarquia com cinco níveis detectáveis, esse aluno conseguiu usar alguns conectivos em algumas partes do mapa é possível verificar a diferenciação progressiva, como na relação de partículas, átomos e moléculas. O aluno conseguiu mostrar que os átomos são feitos de partículas assim como as moléculas, mas ele poderia ter relacionado moléculas a átomos. Também relacionou o aumento de temperatura com o distanciamento das partículas e também calor como uma forma de energia.

Na Figura 83 mostra o mapa conceitual de menor pontuação e é possível perceber que o aluno não conseguiu estabelecer uma hierarquia, ele centralizou o conceito de calor e conectou-o a outros conceitos e as suas explicações logo abaixo. Nesse caso não foi identificada uma diferenciação, os conceitos se relacionam ao calor apenas pela linha de conexão, ou seja, não tem o termo conectivo, o que torna a ligação vaga. Nesse caso ficou evidente que o aluno conseguiu construir um mapa mental.

Figura 83 – Mapa Conceitual de menor pontuação



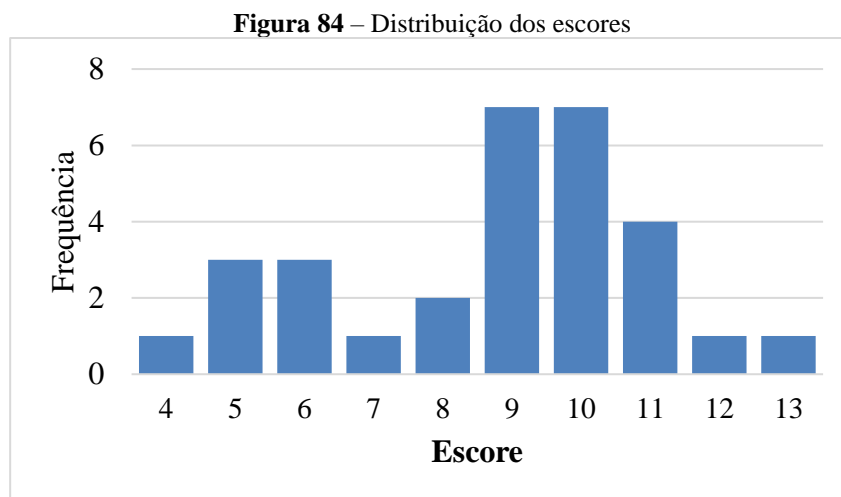
Fonte: Próprio Autor

O mapa conceitual pode ser uma excelente estratégia pedagógica para representar graficamente os conceitos e as suas relações, formando as proposições. No entanto, requer uma dedicação do aluno, deve ser realizado com cuidado e refeito diversas vezes, se possível, para ter um bom aspecto, com hierarquia bem clara e uma diferenciação progressiva bem estabelecida e com o uso de palavras de conexão.

Nessa atividade foram obtidos mapas conceituais diversificados, uns acima da média de referência e vários abaixo, talvez pelo pouco tempo para construir ou pela falta de prática. No entanto o mapa serviu, também, para o aluno rever os conceitos vistos nas aulas anteriores e organiza-los, mesmo que precariamente. Foi obtido apenas 12 alunos acima da média, menos da metade, que conseguiram fazer mapas com mais elementos e fáceis de perceber as relações, os demais alunos construíram mapas que as vezes eram de difícil compreensão. De modo geral essa atividade trouxe para os alunos uma nova forma de organizar os seus conceitos na sala de aula, uma experiência que talvez perdure na sua estrutura cognitiva.

5.2.5 – TCPT

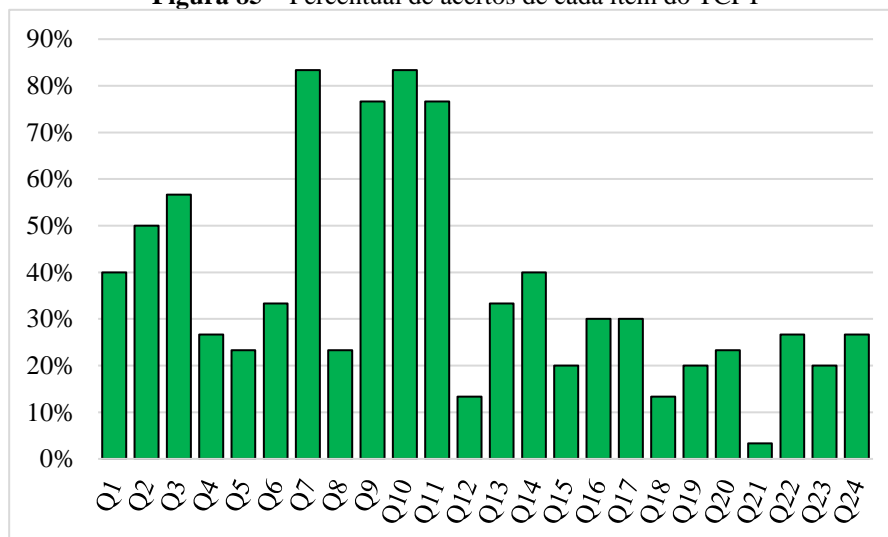
O teste foi aplicado na última aula da SEI para 30 alunos de uma turma do segundo ano como avaliação final, o resultado mostrado na Figura 84 traz a distribuição de acertos ou frequência. Essa distribuição mostra o escore mínimo de 4 acertos e o máximo de 13, no entanto, a concentração maior está entre as pontuações entre 9 e 11, num teste que possui 24 itens.



Fonte: Próprio Autor

Um parâmetro de fundamental importância é o percentual de acertos em cada item do teste. A Figura 85 traz esse percentual, verificou-se que os acertos nos itens Q7, Q9, Q10 e Q11 ultrapassam os 75%. A média geral de acertos ficou em 30%, colocando 12 itens acima ou igual a média. Também é possível ver que o item Q21 teve o menor número de acertos apenas 3% e os itens Q7 e Q10 com a maior porcentagem de acerto, 83%.

Figura 85 – Percentual de acertos de cada item do TCPT



Fonte: Próprio Autor

A Tabela 30 mostra a concepção dos conceitos dos itens acima ou igual a média de acertos. Somente o conceito de Volume não ficou na média de acertos. Já os conceitos de Calor, Calor Específico, Condutividade e a Calor Latente estão acima da média de acertos, isso é um fator importante, pois foram os conceitos mais abordados na SEI, verificar a Tabela 5 com as concepções dos itens.

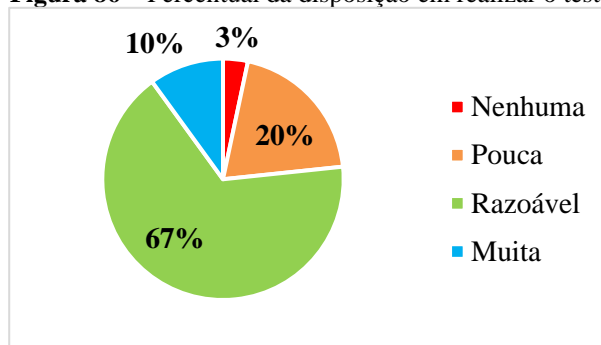
Tabela 30 – Concepções dos itens com percentual de acertos maior que a média

Concepção	Item
Calor e Temperatura	Q1, Q6, Q11, Q13, Q14, Q16 e Q17
Condutividade Térmica	Q1, Q2, Q3, Q9, Q13 e Q16
Calor Específico	Q2, Q3 e Q9
Equilíbrio Térmico	Q1 e Q14
Pressão	Q7
Volume	-
Calor Latente	Q9, Q10, Q11, Q13, Q14, Q16 e Q17

Fonte: Próprio Autor

Outra informação importante obtida na aplicação do TCPT foi a respeito da confiança do aluno em responder o teste. Uma pergunta sobre a disposição do aluno em realizar o teste e outra sobre o seu nível de compreensão sobre as propriedades térmicas, essas perguntas foram inseridas no cartão resposta, ver Apêndice 1. A Figura 86 mostra o percentual da resposta da pergunta “Qual a sua disposição em realizar esse teste?”.

Figura 86 – Percentual da disposição em realizar o teste



Fonte: Próprio Autor

As respostas sobre a disposição em realizar o teste estão na Tabela 31, nela é visível que somente 1 aluno respondeu a opção *Nenhuma* e mesmo assim conseguiu uma boa pontuação, a maioria dos respondentes optaram pela opção *Razoável* com o escore indo de 4 a 13, com variância de 5,59. Já os alunos que tinham *Muita* disposição tiveram boa pontuação, entre 9 a 11, e com variância 1,00.

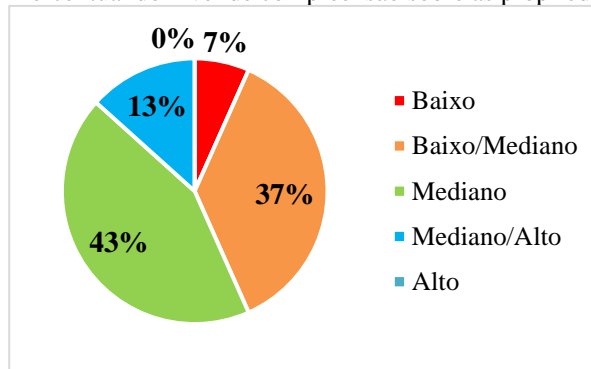
Tabela 31 – Escores da disposição em realizar o teste

	Quantidade de alunos	Média (escore)	Menor (escore)	Maior (escore)	Variância	Desvio padrão
Nenhuma	1	10,00	10	10	-	-
Pouca	6	8,00	5	11	6,40	2,53
Razoável	20	8,70	4	13	5,59	2,83
Muita	3	10,00	9	11	1,00	1,00

Fonte: Próprio Autor

Para a pergunta sobre o nível de compreensão sobre as propriedades térmicas, ver a Figura 87, nenhum aluno se considerou com *Alto* nível de compreensão, de certa forma houve uma certa honestidade ou uma consciência do aluno, uma vez que a pontuação mais alta do TCPT foi de 13 acertos.

Figura 87 – Percentual do nível de compreensão sobre as propriedades térmicas



Fonte: Próprio Autor

Em relação a compreensão das propriedades térmicas, a maioria dos alunos considerou que o nível de compreensão foi *Baixo/Mediano* e *Mediano* e dois deles indicaram como *Baixo*. Esse padrão de resposta por estar associado a baixa autoestima dos estudantes, pois era um dia de avaliação e muitos deles podem ter considerado que sua preparação não era adequada.

Tabela 32 – Escore do nível de compreensão sobre as propriedades térmicas

	Quantidade de alunos	Média (escore)	Menor (escore)	Maior (escore)	Variância	Desvio padrão
Baixo	2	10,50	10	11	0,50	0,71
Baixo/Mediano	11	8,00	4	11	5,40	2,32
Mediano	13	8,62	5	12	5,42	2,33
Mediano/Alto	4	10,25	9	13	3,58	1,89
Alto	0	-	-	-	-	-

Fonte: Próprio Autor

Todos os parâmetros psicométricos dos itens do TCPT com o uso da Teoria Clássica dos Testes estão no Apêndice 4. A Tabela 33 mostra o ID (Índice de Dificuldade) de todos os itens do teste, a maioria deles foi classificado como muito difícil e difícil. Apenas 4,17% dos itens foram considerados normais, abaixo do esperado que é de 20%. No entanto, 16,67% dos itens foram considerados muito fáceis, uma porcentagem maior do que o considerado como ideal que é de 10%. O item considerado mais difícil foi o 21 e os mais fáceis foram 7 e o 10.

Tabela 33 – Distribuição dos itens em relação ao ID

Classificação	Item	Valores	Percentual de itens no teste
Muito fáceis	Q7, Q9, Q10 e Q11	0,77 a 0,83	16,67%
Fáceis	Q3	0,57	4,17%
Normais	Q2	0,50	4,17%
Difíceis	Q1, Q4, Q6, Q13, Q14, Q16, Q17, Q22 e Q24	0,27 a 0,40	37,50%
Muito difíceis	Q5, Q8, Q12, Q15, Q18, Q19, Q20, Q21 e Q23	0,03 a 0,23	37,50%

Fonte: Próprio Autor

Para o índice de discriminação 10 itens possuem boa classificação, entre *muito bom* e *bom*. Sendo 12,50% para Muito Bom e 29,17% para Bom, as duas classificações são consideradas boas para discriminar, ver Tabela 34.


Tabela 34 – Distribuição dos itens em relação à Discriminação (IPD)

Classificação	Item	Valores	Percentual de itens no teste
Muito Bom	Q2, Q13 e Q16	0,50 a 0,63	12,50%
Bom	Q3, Q6, Q7, Q8, Q9, Q22 e Q24	0,38	29,17%
Marginal	Q14, Q15 e Q19	0,25	12,50%
Ruim	Q1, Q4, Q5, Q10, Q11, Q12, Q17, Q18, Q20, Q21 e Q23	- 0,13 a 0,13	45,83%

Fonte: Próprio Autor

A Tabela 35 do coeficiente bisserial mostra os alunos respondentes com um perfil misto, tendendo para um alto desempenho. Somente um item obteve um valor negativo e muito próximo de zero. A maioria dos itens teve valor positivo e 5 itens com valores acima de 0,50.

Tabela 35 – Distribuição do coeficiente bisserial (r_{biss})

Coeficiente Bisserial (r_{biss})	Itens		
-0,06 a 0,10	Q4, Q5, Q11, Q12, Q17, Q18 e Q20		-1
0,16 a 0,25	Q1, Q14, Q19 e Q21		Aumento no desempenho do respondente
0,27 a 0,36	Q3, Q6, Q15 e Q23		+1
0,45 a 0,53	Q2, Q8, Q10, Q13, Q16, Q22 e Q24		
0,57 a 0,64	Q7 e Q9		

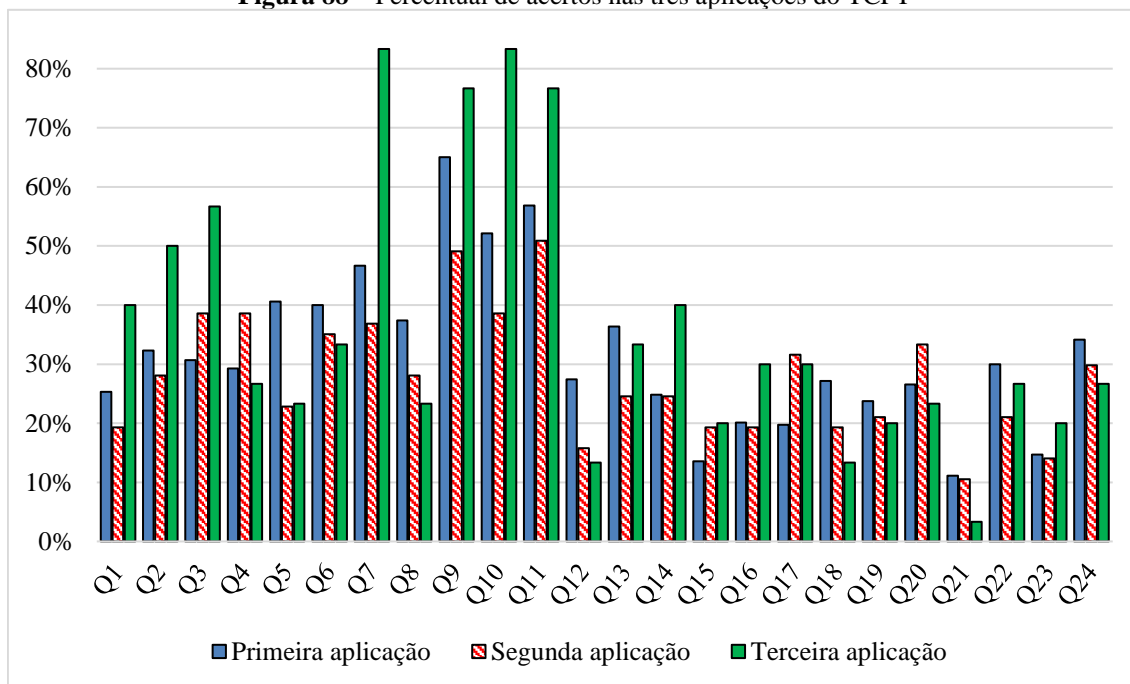
Fonte: Próprio Autor

Os índices ID e IPD foram de certa forma bons, levando em consideração o número de acertos no teste.

5.2.4.1 – Análise comparativa do TCPT – antes e após da SEI

A comparação entre as aplicações anteriores do TCPT (preliminar) e a aplicação após a SEI é de fundamental importância para ter um parâmetro a respeito de quanto a sequência de ensino pode ter impactado no perfil do aluno. A Figura 88 traz o comparativo das porcentagens das três aplicações do TCPT, uma em 2019, em 2020 e em 2021 após a aplicação da SEI para as turmas de segundo ano. Apesar do número de alunos diferir nas aplicações a comparação da porcentagem de acertos pode ser realizada comparativamente.

Figura 88 – Percentual de acertos nas três aplicações do TCPT



Fonte: Próprio Autor

Foi constatado que na terceira aplicação onze itens (Q1, Q2, Q3, Q7, Q9, Q10, Q11, Q14, Q15, Q16 e Q23) tiveram acertos superiores às duas aplicações preliminares e também itens com porcentagens de acertos maiores que 75%. Outro comparativo importante é com os parâmetros ID, IPD e r_{biss} nas três aplicações, a Tabela 36 mostra o comparativo entre o ID nas três aplicações.

Tabela 36 – Tabela comparativa entre os IDs nas três aplicações e o percentual ideal

Classificação	Percentual de itens			Percentual ideal
	Primeira aplicação	Segunda aplicação	Terceira aplicação	
Muito fáceis	-	-	16,67%	10%
Fáceis	4,17%	-	4,17%	20%
Normais	12,50%	8,33%	4,17%	40%
Difíceis	58,33%	50,00%	37,50%	20%
Muito difíceis	25,00%	41,67%	37,50%	10%

Fonte: Próprio Autor

Na terceira aplicação tiveram itens classificados como *muito fáceis*, o que não houve nas duas aplicações anteriores. Também houve uma diminuição na classificação de itens difíceis. A Tabela 37 mostra o comparativo do IPD, na terceira aplicação 41,67% foram classificados como *muito bom* e *bom* (soma das porcentagens), contra 33,30% e 33,17% na primeira e segunda aplicação respectivamente. Também houve uma diminuição na classificação *ruim* na terceira aplicação.

Tabela 37 – Comparativo do ID nas três aplicações

Classificação	Percentual de itens		
	Primeira aplicação	Segunda aplicação	Terceira aplicação
Muito Bom	25,00%	29,17%	12,50%
Bom	8,33%	4,17%	29,17%
Marginal	8,33%	16,67%	12,50%
Ruim	58,33%	50,00%	45,83%

Fonte: Próprio Autor

Para o coeficiente bisserial foi constatado, na terceira aplicação, um aumento perceptível na quantidade de itens acima de 0,50 o que mostra que houve um aumento no desempenho dos alunos (Tabela 35). Nas aplicações anteriores foram obtidos valores inferiores, mostrando um perfil de aluno de desempenho inferior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa dissertação foi relatado a construção de uma Sequência de Ensino Investigativo a partir de uma perspectiva de Teoria da Aprendizagem Significativa, trazendo elementos da Teoria dos Modelos Mentais. O resultado é a elaboração de um material de apoio ao professor contendo o passo-a-passo da sequência, desde a teoria da Física abordada até a prática pedagógica, passando pela descrição do uso dos recursos didáticos. A abordagem da Termodinâmica, na dissertação, segundo a Aprendizagem Significativa, trazendo os conceitos mais gerais e inclusivos para o mais específico, assim como as aulas descritas no produto educacional.

Durante as aulas foi possível notar que houve um interesse maior em relação aos temas abordados, a presença de um simples projetor, um computador com um software simulador aguçou a curiosidade dos alunos. É algo diferente do modelo convencional utilizado na escola.

Em relação ao objetivo do trabalho foi percebido que os alunos conseguiram melhorar as suas percepções sobre os estados da matéria e as suas propriedades, isso ficou bastante evidente nas respostas conceituais e no teste pictórico. Nas respostas conceituais os alunos, na maioria, responderam de forma satisfatória, lembrado que houve o debate aluno-aluno e aluno-professor na formulação das suas respostas.

No teste pictórico foi possível notar o avanço no modelo mental de representar as moléculas nos estados físicos, é importante perceber nesse ponto que a segunda aplicação do teste foi numa aula após a apresentação dos simuladores, ou seja, em outro dia, o que evidencia que a percepção sobre a estrutura molecular da matéria permaneceu de certa forma na estrutura cognitiva do aluno. É importante destacar que em alguns momentos é difícil a identificação do modelo mental do aluno, alguns produzem desenhos confusos, difíceis de serem compreendidos. Conforme Baptista e Moreira (1999):

Em alguns casos, foi difícil a identificação dos modelos mentais pois, de fato, inferir o que é que as pessoas têm nas suas cabeças, ainda que de uma forma mais simplificada possível, é uma tarefa sumariamente difícil. Não estávamos buscando as concepções alternativas dos alunos, estávamos tentando identificar os modelos mentais em que essas concepções possivelmente estariam baseadas (BAPTISTA; MOREIRA, 1999, p. 214).

Também foi constatado que em algumas ocasiões o modelo representado buscava elementos do cotidiano, principalmente quando foi pedido para representar os estados físicos da água a nível molecular, alguns alunos trouxeram o cotidiano, desenhando a água em recipientes como copos, cubos de gelo e vapor na forma de nuvens, algo que

também foi relatado no trabalho de Cristina et al. (2013), “Em todas as questões evidenciamos influências do cotidiano e das práticas sociais de referência na elaboração dos modelos mentais”.

Em relação ao Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT) o resultado satisfatório, havendo um ganho em relação depois da aplicação da SEI. Também houve uma melhora no perfil do aluno após a SEI, considerando os índices obtidos com o uso da Teoria Clássica dos Testes (TCT). No entanto, para uma análise mais completa a TRI (Teoria de Resposta ao Item) poderia fornecer mais informações a respeito do perfil do aluno, ficando para uma eventual pesquisa complementar.

A sequência investigativa descrita aqui é um *design* didático que pode ser aplicado como está ou melhorado, ficando a critério do professor. Lembrado que as particularidades das turmas, escolas, alunos e professores moldam o ensino da Física em sala, e essa sequência é apenas uma entre muitas que vem para somar com as práticas dos professores.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: PARALELO EDITORA, LDA, 2003.
- BAGNATO, V. S. A Condensação de Bose-Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 11–26, 1997.
- BAPTISTA, C.; MOREIRA, M. A. Tipos de Representações Mentais Utilizadas por Estudantes de Física Geral na Área de Mecânica Clássica e Possíveis Modelos Mentais nessa Área. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 202–215, 1999.
- BARROSO, M. F.; RUBINI, G.; SILVA, T. DA. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, 2018.
- BONJORNO, J. R. et al. **Física: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano**. 3º Edição ed. São Paulo: Editora FTD S.A., 2016.
- BORGATTO, A. F.; ANDRADE, D. F. DE. Análise clássica de testes com diferentes graus de dificuldade. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 23, n. 52, p. 146–146, 2012.
- BORGES, A. T. COMO EVOLUEM OS MODELOS MENTAIS. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 1, n. 1, p. 66–92, jun. 1999.
- BOULDER, U. OF C. **Estados da Matéria**. PhET Interactive Simulations, , 2012. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html>
- BOULDER, U. OF C. **Formas de Energia e Transformações**. PhET Interactive Simulations, , 2013. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_pt_BR.html>
- BRAGA, M. B. P. **Proposta Metodológica Experimental Demonstrativa Por Investigação: Contribuições para o Ensino da Física na Termologia**. [s.l: s.n.].
- BRAGA, M. B. P. **Escala de Proficiências em Concepções Térmicas [tese]: Diagnóstico Psicométrico de Estudantes em Portugal e Brasil**. Florianópolis:

Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Educação/
Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, 2018a.

BRAGA, M. B. P. **Escala de Proficiências em Concepções Térmicas: Diagnóstico Psicométrico de Estudantes em Portugal e Brasil**. Florianópolis: Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Educação/ Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, 2018b.

BRAGA, M. B. P.; KALHIL, J. B. Conceitos microscópicos como necessidade do conhecimento macroscópico na termologia. **Revista Cubana de Física**, v. 27, n. 2A, p. 184–187, 2010.

BRAGANÇA, E. A. DE F. **Correntes Induzidas e Condensado Fermiônico no Espaço-Tempo de uma Corda Cósmica**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2017.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf>

BROCK, C.; FILHO, J. B. DA R. Causas da rejeição dos Estudantes de Ensino Médio à carreira profissional no Magistério em Física. In: **Física no ensino médio: falhas e soluções**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012.

CARVALHO, A. M. P. DE. Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas. In: LONGHINI, M. D. (Ed.). **O uno e o diverso na educação**. Uberlândia: EDUFU, 2011.

CARVALHO, A. M. P. DE. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7ª ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJER, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. 4 Ed ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2012.

CHU, H.-E. et al. Evaluation of Students' Understanding of Thermal Physics in Everyday Contexts. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 5, p. 1509–1543, 2012.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2º edição ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 2007.

CRISTINA, N. et al. Modelos mentais e representações utilizadas por estudantes do ensino médio para explicar ondas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 440–457, 2013.

DUBIN, J. **O Mundo de Beakman: Termodinâmica, Beakmania e Espinhas**. Columbia Tri-Star Television Distribution, Columbia Pictures Television, , 1993. Disponível em: <<https://www.dailymotion.com/video/x6jycyb%0A>>

EBEL, R. L.; FRISBIE, D. A. **Essentials of Educational Measurement**. 5th. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1991.

ERTHAL, T. C. **Manual de Psicometria**. 8 ed. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, 2009.

EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. **Manual de Psicologia Cognitiva**. 7º Edição ed. [s.l.] ARTMED EDITORA LTDA, 2017.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física de Feynman**. Volume I ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GRINGS, E. T. DE O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 7, n. 1, p. 23–46, 2008.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12 ed. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

JANUÁRIO, E. F.; BATISTA, F. H.; GONÇALVES, K. M. Análise do aditivo Etilenoglicol em Fluido de Arrefecimento de Radiadores Automotivos. **Journal of Exact Sciences - JES**, v. 22, n. 1, p. 5–9, 2019.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental Models**. Cambridge: Havard University Press, 1983.

LABS, E. **EvalBee**. PuneEkodroid Labs, , 2021. Disponível em: <<https://evalbee.com/>>

- LORD, F. M. A Theory Test Scores. **Psychometric Monographs**, v. 48, n. 7, p. 166, 1952.
- MOREIRA, M. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 193–232, 1996.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1999.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 3, p. 25–46, 2011.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 1º ed. São Paulo: Editora Moraes, 1982.
- NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Praxis Educativa**, v. 5, n. 1, p. 9–29, 21 jul. 2010.
- NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a Aprender**. Lisboa: PLÁTANO EDIÇÕES TÉCNICAS, 1996.
- OLIVEIRA, M. J. DE. **Termodinâmica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.
- PAIVA, A. et al. **Estados estranhos da matéria: condensação de Bose-Einstein**. Disponível em: <<http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo3/modulo2/topico1.php>>. Acesso em: 7 jul. 2020.
- PASQUALI, L. **Psicometria: Teoria dos testes na Psicologia e na Educação**. 4º Ed. ed. Petrópolis: Editora Vozes Ltda, 2003.
- RUIZ-MORENO, L. et al. Mapa conceitual: ensaiando critérios de análise. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 453–463, dez. 2007.
- SANTROCK, J. W. **Psicologia Educacional**. 3º ed. São Paulo: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda, 2009.
- SEARS, F. W.; SALINGER, G. L. **Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística**. 3º ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1979.
- SILVA, I. DA; SILVA, J. B.; CARDOSO, E. Dissipadores de Calor Microaletados para Resfriamento de Processadores. **XXVII Congresso Nacional de Estudantes de**

Engenharia Mecânica, 2021.

SILVÉRIO, A. C. **Física - Sistemas complexos e outras fronteiras**. Volume 4 ed. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001.

SOLINO, A. P.; FERRAZ, A. T.; SASSERON, L. H. Ensino Por Investigação Como Abordagem Didática : Desenvolvimento de práticas científicas escolares. **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, p. 26–30, 2015.

TANAHOUNG, C. et al. SURVEYING SYDNEY INTRODUCTORY PHYSICS STUDENTS ' UNDERSTANDINGS OF HEAT AND TEMPERATURE. **Australian Institute of Physics**, n. December, p. 3–6, 2006.

UFJF, C. Revista do Sistema de Avaliação - SADEAM. 2015.

VALADARES, J. A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 1, p. 36–57, 2011.

WATTANAKASIWICH, P. et al. Development and implementation of a conceptual survey in thermodynamics. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**, v. 21, n. 1, p. 29–53, 2013.

XIE, C. **Molecular Workbench**. Concord Consortium, , 2014. Disponível em: <<http://mw.concord.org/modeler/>>

XIE, C. **Energy2D**. Concord Consortium, , 2020. Disponível em: <<http://energy2d.concord.org>>

YEO, S.; ZADNIK, M. Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. **The Physics Teacher**, v. 39, n. 8, p. 496–504, 2001.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 14° ed. [s.l.] Pearson Education do Brasil, 2016.

ZEMANSKY, M. W. **Calor e Termodinâmica**. 5° ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1978.

ZIEBELL, L. F. **O Quarto Estado da Matéria**. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Cartão Resposta do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)

A1.1 – Cartão resposta – Aplicado em 2019

NOME :
TURMA :

■	Código do Aluno	■	A B C	■
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		11 ○ ○ ○	
	0 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		.	
	1 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		.	
	2 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		A B C D	
■	3 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	■	12 ○ ○ ○ ○	■
	4 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		13 ○ ○ ○ ○	
	5 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		14 ○ ○ ○ ○	
	6 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		15 ○ ○ ○ ○	
	7 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		16 ○ ○ ○ ○	
■	8 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	■	A B C D	■
	9 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		17 ○ ○ ○ ○	
	.		18 ○ ○ ○ ○	
	.		19 ○ ○ ○ ○	
	A B C D E		20 ○ ○ ○ ○	
■	1 ○ ○ ○ ○ ○	■	.	■
	.		A B C D E F	
	A B C D		21 ○ ○ ○ ○ ○ ○	
	2 ○ ○ ○ ○		22 ○ ○ ○ ○ ○ ○	
■	3 ○ ○ ○ ○	■	23 ○ ○ ○ ○ ○ ○	■
	.		24 ○ ○ ○ ○ ○ ○	
	.			
	A B C			
	4 ○ ○ ○			
■	5 ○ ○ ○	■		■
	6 ○ ○ ○			
	7 ○ ○ ○			
	8 ○ ○ ○			
	9 ○ ○ ○			
■	10 ○ ○ ○	■		■

A1.2 – Cartão resposta – Aplicado em 2021

NOME: :
TURMA: :

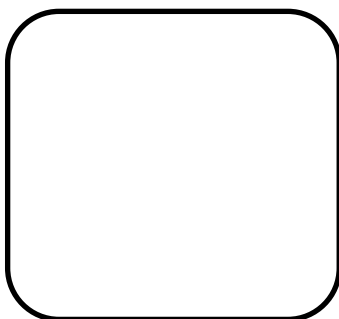
<p>■ Qual a sua disposição em realizar esse teste?</p> <p style="margin-left: 20px;"> <input type="radio"/> Nenhuma <input type="radio"/> Razoável <input type="radio"/> Pouca <input type="radio"/> Muita </p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="text-align: center;">A B C</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> </table>		A B C		8	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		9	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		10	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		11	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																
	A B C																														
8	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
9	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
10	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
11	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
<p>■ Qual é o seu nível de compreensão sobre as propriedades térmicas?</p> <p style="margin-left: 20px;"> <input type="radio"/> Baixo <input type="radio"/> Baixo/Mediano <input type="radio"/> Mediano <input type="radio"/> Mediano/Alto <input type="radio"/> Alto </p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="text-align: center;">A B C D</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> </table>		A B C D		12	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		13	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		14	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		15	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		16	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>													
	A B C D																														
12	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
13	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
14	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
15	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
16	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
<p>■</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="text-align: center;">A B C D E</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> </table>		A B C D E		1	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="text-align: center;">A B C D</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> </table>		A B C D		2	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		3	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																
	A B C D E																														
1	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
	A B C D																														
2	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
3	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
<p>■</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="text-align: center;">A B C</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> </table>		A B C		4	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		5	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		6	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		7	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="text-align: center;">A B C D</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>17</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> </table>		A B C D		17	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		18	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		19	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		20	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	
	A B C																														
4	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
5	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
6	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
7	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
	A B C D																														
17	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
18	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
19	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
20	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
<p>■</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="text-align: center;">A B C D E F</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>21</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>23</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>24</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></td> <td></td> </tr> </table>		A B C D E F		21	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		22	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		23	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		24	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		<p>■</p>															
	A B C D E F																														
21	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
22	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
23	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														
24	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>																														

APÊNDICE 2 – TESTE PICTÓRICO

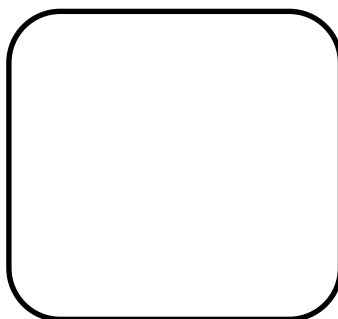
A primeira parte do teste pictórico foi inspirado no trabalho de dissertação de Braga (2010). Já a segunda parte do teste é de autoria própria.

A2.1 – Primeira Parte

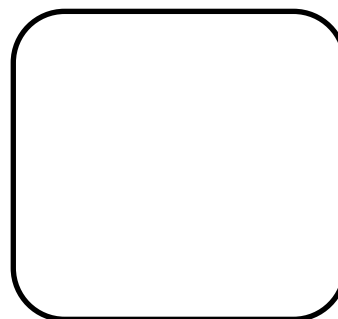
A) O gelo sólido, a água líquida e o vapor da água são a mesma substância. Faça um desenho da substância água em cada estado físico da matéria representando como ela é por dentro, ou seja, como as moléculas de água estão organizadas “dentro” de cada estado da matéria.



Sólido

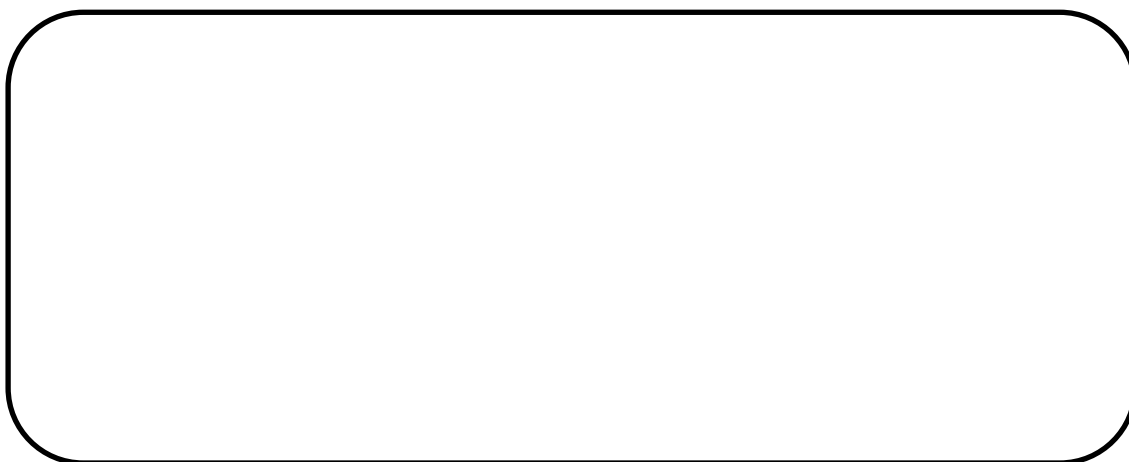


Líquido



Gasoso

B) O calor é determinante para o aquecimento das substâncias. Faça um desenho, de como você entende, do calor entre dois corpos.

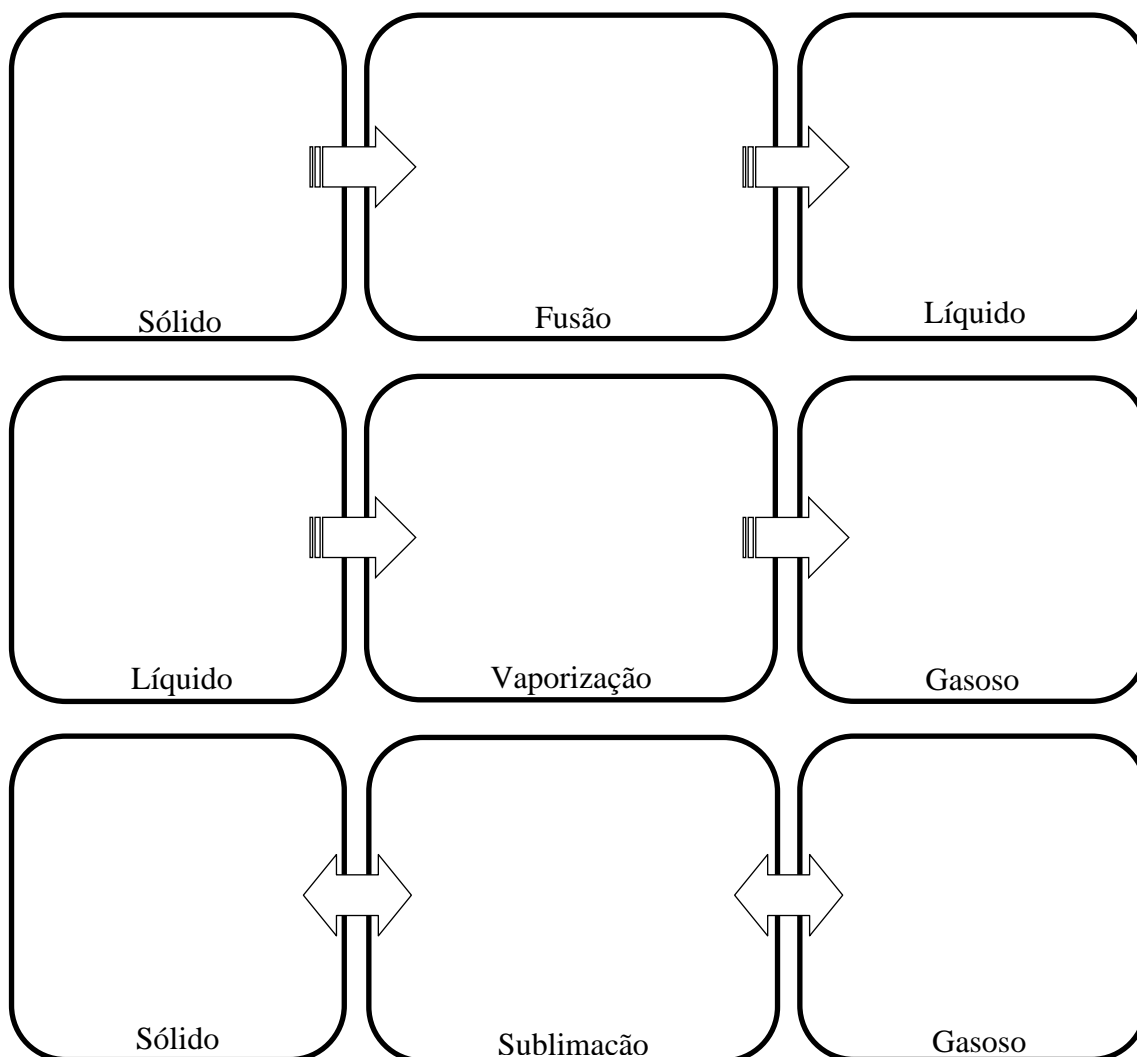


A2.2 – Segunda Parte

A) A água no estado líquido é mais comum de ser observado no cotidiano. Desenhe, como você imagina, as moléculas de água no estado líquido misturada ao sal de cozinha (cloreto de sódio).



B) Represente, desenhe, as moléculas de uma substância mudando de estado físico, conforme as indicações. Estado inicial → Processo de mudança → Estado final.



APÊNDICE 3 – TEORIA CLÁSSICA DOS TESTES

A TCT procura descobrir o comportamento dos alunos respondentes de um teste, por meio de um resultado que possui uma pontuação total (escore). Com a análise do número de acertos e erros no teste é possível verificar a qualidade dos itens. Essa análise proporciona verificar quais conceitos físicos são mais bem compreendidos pelos estudantes. Existem vários parâmetros psicométricos que podem inferir sobre a compreensão dos conceitos, entre eles estão: o Índice de Dificuldade (ID) e o Índice Percentual de Discriminação (IPD), que se complementa com os índices correlacionais de discriminação.

A3.1 – Índice de Dificuldade

O Índice de Dificuldade (ou índice de facilidade) de um item mede o percentual de acertos de um item (questão) de um teste. Assim é correto afirmar que, num item que é respondido corretamente por 60%, é mais fácil do que um item que teve 40% de respostas corretas, entretanto, uma afirmação mais precisa pode se obter estimando o índice de dificuldade corrigido, ao levar em consideração o acerto aleatório e o erro. A dificuldade do item é dada pelo número de acertos, sendo esse o conceito adotado (PASQUALI, 2003).

$$ID = \frac{\text{total de acertos}}{\text{total de respondentes}} = \frac{A}{n} \quad (1)$$

Na equação, ID representa o índice de dificuldade, A o total de respostas certas do item e n o número total de respostas do item (incluindo acertos e erros). É importante perceber que um item com dificuldade 1 ou 0 não traz uma informação muito relevante, pois com ID igual a 1 (ou 100%) o item seria extremamente fácil a ponto de todos os alunos acertarem, e um ID igual a 0 o item seria impossível de resolver ou não foi respondido por ninguém, o que demonstraria um item totalmente inadequado (dentro dessa perspectiva) para um certo grupo de respondentes. A pretensão do índice de dificuldade é medir as diferenças individuais no que diz respeito ao rendimento alcançado em um teste, ele irá discriminar os respondentes (ERTHAL, 2009). Para interpretar o ID dos itens, o Quadro 1 fornece uma classificação.

Quadro 1 - Classificação para o Índice de Dificuldade.

Classificação do item em relação ao ID	Quantitativo ideal de itens no teste (% esperado)	Limite aproximado dos itens de dificuldade
Muito fáceis	10 %	de 0,75 a 0,95
Fáceis	20 %	de 0,55 a 0,74
Normais	40 %	de 0,45 a 0,54
Difíceis	20 %	de 0,25 a 0,44
Muito difíceis	10 %	de 0,05 a 0,24

Fonte: Cerdá (1972 *Apud* ERTHAL, 2009, p. 79). Adaptado.

Conforme Braga (2018), itens mais fáceis permitem discriminar respondentes em posições menos favorecidas e itens mais difíceis discriminam os respondentes mais capacitados. Logo, itens fáceis e difíceis ajudam a discriminar os dois extremos em uma distribuição. Então, um teste que melhor avalia o desempenho dos estudantes é aquele que possui os IDs com variabilidade de 0,50 entre o percentual de acertos e erros, em que se compreende que um teste deve ser equilibrado, possuindo itens difíceis e fáceis para melhor avaliar os diferentes perfis de domínio dos respondentes no contínuo de desempenho, ou todos sendo medianos. O ID ideal adotado é o meio caminho entre o nível de chance de acerto ao acaso e 1 (LORD, 1952).

A3.2 – Índice Percentual de Discriminação

Este índice estabelece a relação entre os escores totais mais altos ou mais baixos no teste e as respostas certas ou erradas em um item. O IPD é um indicador de consistência interna dos itens com relação ao teste. O IPD irá avaliar a capacidade de diferenciar respondentes com bom desempenho daqueles com baixo rendimento. O cálculo do IPD é realizado através da técnica abreviada do ID utilizando a regra dos 27%, que consiste na escolha de dois grupos de respondentes, um grupo dos 27% dos maiores escores e outro com os 27% dos menores escores de um item (ERTHAL, 2009).

$$IPD = 2 \cdot ID = 2 \cdot \frac{A_{27\%}^+ - A_{27\%}^-}{n^+ + n^-} \quad (2)$$

Em que $A_{27\%}^+$ é o número de acertos do grupo dos 27% maiores escores do item e $A_{27\%}^-$ é o número de acertos dos 27% menores. E n^+ e n^- representam o número de respondentes dos 27% maiores escores e dos 27% menores, respectivamente.

O Quadro 2 mostra uma classificação do índice de discriminação, assim, um item pode ser julgado se é bom ou inadequado para discriminar.

Quadro 2 - Classificação para o Índice Percentual de Discriminação.

Índice de Discriminação	Avaliação do item
$IPD \geq 0,40$	Muito bom
$0,30 \leq IPD \leq 0,39$	Bom, mas possivelmente sujeito a melhorias
$0,20 \leq IPD \leq 0,29$	Marginal, geralmente necessitando de melhorias
$IPD \leq 0,19$	Ruim, sujeitos a rejeição ou deve ser revisado

Fonte: Ebel & Frisbie (1991, p. 232). Tradução livre.

Outra forma de discriminar os itens de um teste pode ser baseada na correlação, no qual aqui é evidenciado duas: o coeficiente bisserial (r_{biss}) e o coeficiente ponto-bisserial (r_{pb}). O coeficiente bisserial é uma medida de associação entre o desempenho do respondente no item e o desempenho no teste todo, com o seu escore total. O r_{biss} irá estimar a correlação entre a variável de desempenho no teste e uma variável não observável com distribuição normal que, por hipótese, representa a habilidade que determina o erro e o acerto do item (BORGATTO; ANDRADE, 2012).

$$r_{biss} = \frac{M^+ - M^-}{\sigma} \frac{p(1-p)}{h(p)} \quad (3)$$







Em que M^+ é a média da medida do desempenho para os respondentes que acertaram o item, M^- é a medida do desempenho no teste para os respondentes que erraram o item, σ é o desvio-padrão da medida de desempenho no teste para todos os respondentes, p é o percentual de respostas ($p = a/n$) e $h(p)$ o valor da densidade da distribuição normal com média 0 e variância 1 no ponto onde a área da curva à esquerda deste ponto é igual a p (BORGATTO; ANDRADE, 2012).

O coeficiente bisserial pode ser relacionado com o coeficiente ponto-bisserial (r_{pb}), sendo uma correlação de Pearson entre respostas dos itens e seus respectivos escores. $r_{pb} = (M^+ - M^-/\sigma)(\sqrt{p/q})$, em que $q = 1 - p$ é o percentual de respostas erradas. O coeficiente bisserial (r_{biss}) pode ser determinado de maneira mais simples, principalmente para o cálculo computacional (BRAGA, 2018).

$$r_{biss} = \frac{r_{pb}\sqrt{pq}}{\sigma} \quad (4)$$

O Quadro 3 fornece explicitamente a interpretação pedagógica para r_{biss} e r_{pb} .

Quadro 3 - Interpretação a ser realizada na discriminação dos respondentes.

Valores	Interpretação		
$-1 < r_{pb} < 1$	Se o valor foi negativo ou próximo de zero, os indivíduos de bom desempenho de modo geral no teste estão errando o item, contrariando aquilo que se espera. Nesse caso, é recomendado rever o item ou eliminá-lo.		
$-1 < r_{biss} < 1$	É uma transformação do r_{pb} . O seu valor revela como determinado grupo de indivíduos que assinalaram uma alternativa se distribui entre aqueles de baixo e alto desempenho, ou seja, possibilita inferir sobre um perfil de determinado grupo distinguindo proporções de escolhas sobre de indivíduos sobre a alternativa.		
Perfis de composição de grupos (de baixo e alto desempenho) para determinada alternativa do item, de acordo com os valores do r_{biss} .			
Com um valor negativo e próximo de -1 : perfil com predomínio de sujeitos de baixo desempenho 	Com valor igual ou próximo a zero: perfil de composição misto, mais ou menos equilibrado.	Um valor positivo e próximo de 1: perfil com predomínio de sujeitos de alto desempenho 	
			
 Determinada Alternativa			

Fonte: Braga (2018, p. 169). Adaptado.

A identificação de perfis de composição de grupos pode auxiliar o professor na tomada decisão sobre as atividades a serem desenvolvidas pelos alunos diferentemente, buscando identificar e valorizar as potencialidades de cada sujeito, além de propor diferentes níveis de dificuldades, rompendo com um ensino linear, considerando que todos devem aprender e progredir da mesma forma (BRAGA, 2018, p. 169).

Existem mais parâmetros psicométricos que podem melhorar a análise de um teste dentro da Teoria Clássica dos Testes. Naturalmente, o almejado é um perfil de respondentes predominantemente capazes de fornecer informações consistentes para uma análise satisfatória, preliminar, na perspectiva da TCT.

APÊNDICE 4 – TABELAS DOS PARÂMETROS PSICOMÉTRICOS DO TCPT. APLICAÇÕES NO SEGUNDO ANO DO ENSINO MÉDIO

A4.1 – Proporção de acertos, erros, índice de dificuldade, índice de discriminação e coeficiente bisserial – aplicação em novembro de 2019 (166 alunos, 6 turmas) – preliminar

Item	Proporção de Acertos	Proporção de Erros	Índice de Dificuldade (ID)	Índice de Discriminação (IPD)	Coefficiente Bisserial
1	0,25	0,75	0,25	0,11	0,16
2	0,32	0,68	0,32	0,43	0,50
3	0,31	0,69	0,30	0,34	0,43
4	0,29	0,71	0,29	0,30	0,25
5	0,41	0,59	0,40	-0,05	0,06
6	0,40	0,60	0,40	0,14	0,07
7	0,47	0,53	0,46	0,41	0,46
8	0,37	0,63	0,37	0,23	0,24
9	0,65	0,35	0,64	0,57	0,59
10	0,52	0,48	0,52	0,41	0,47
11	0,57	0,43	0,52	0,43	0,40
12	0,27	0,73	0,27	0,00	0,01
13	0,36	0,64	0,36	0,41	0,45
14	0,25	0,75	0,25	0,18	0,26
15	0,14	0,86	0,13	0,09	0,19
16	0,20	0,80	0,19	0,11	0,16
17	0,20	0,80	0,19	0,07	0,11
18	0,27	0,73	0,27	0,07	0,10
19	0,24	0,76	0,23	0,05	0,02
20	0,27	0,73	0,25	0,16	0,23
21	0,11	0,89	0,11	0,09	0,17
22	0,30	0,70	0,29	0,14	0,13
23	0,15	0,85	0,14	0,11	0,18
24	0,34	0,66	0,34	0,27	0,30

A4.2 – Proporção de acertos, erros, índice de dificuldade, índice de discriminação e coeficiente bisserial – aplicação em setembro de 2020 (57 alunos, 9 turmas) – preliminar

Item	Proporção de Acertos	Proporção de Erros	Índice de Dificuldade (ID)	Índice de Discriminação (IPD)	Coefficiente Bisserial
1	0,19	0,81	0,19	0,20	0,34
2	0,28	0,72	0,28	0,40	0,58
3	0,39	0,61	0,39	0,60	0,48
4	0,39	0,61	0,39	-0,13	-0,12
5	0,23	0,77	0,23	0,13	0,16
6	0,35	0,65	0,35	0,07	0,18
7	0,37	0,63	0,37	0,40	0,44
8	0,28	0,72	0,28	0,07	0,04
9	0,49	0,51	0,49	0,47	0,44
10	0,39	0,61	0,39	0,67	0,55
11	0,51	0,49	0,51	0,60	0,57
12	0,16	0,84	0,16	0,20	0,36
13	0,25	0,75	0,25	0,07	0,06
14	0,25	0,75	0,25	-0,07	-0,05
15	0,19	0,81	0,19	0,00	0,28
16	0,19	0,81	0,19	0,07	0,16
17	0,32	0,68	0,32	0,27	0,24
18	0,19	0,81	0,19	-0,13	-0,11
19	0,21	0,79	0,21	0,13	0,13
20	0,33	0,67	0,33	0,27	0,35
21	0,11	0,89	0,11	0,13	0,22
22	0,21	0,79	0,21	0,33	0,39
23	0,14	0,86	0,14	-0,13	0,09
24	0,30	0,70	0,30	0,47	0,57

A4.3 – Proporção de acertos, erros, índice de dificuldade, índice de discriminação e coeficiente bisserial – aplicação em agosto de 2021 (30 alunos, 1 turma)

Item	Proporção de Acertos	Proporção de Erros	Índice de Dificuldade (ID)	Índice de Discriminação (IPD)	Coefficiente Bisserial
1	40%	60%	0,40	0,13	0,16
2	50%	50%	0,50	0,50	0,45
3	57%	43%	0,57	0,38	0,36
4	27%	73%	0,27	0,13	0,10
5	23%	77%	0,23	0,13	0,09
6	33%	67%	0,33	0,38	0,27
7	83%	17%	0,83	0,38	0,57
8	23%	77%	0,23	0,38	0,53
9	77%	23%	0,77	0,38	0,64
10	83%	17%	0,83	0,13	0,45
11	77%	23%	0,77	0,13	0,05
12	13%	87%	0,13	0,00	0,07
13	33%	67%	0,33	0,50	0,48
14	40%	60%	0,40	0,25	0,24
15	20%	80%	0,20	0,25	0,35
16	30%	70%	0,30	0,63	0,53
17	30%	70%	0,30	0,00	0,10
18	13%	87%	0,13	-0,13	-0,06
19	20%	80%	0,20	0,25	0,19
20	23%	77%	0,23	0,00	0,04
21	3%	97%	0,03	0,00	0,25
22	27%	73%	0,27	0,38	0,46
23	20%	80%	0,20	0,13	0,35
24	27%	73%	0,27	0,38	0,50

APÊNDICE 5 – PLANOS DE AULA

A5.1 – Aula 1

Plano de Aula

Estrutura curricular

Escola: E.E. Desembargador André Vidal de Araújo

Professor: José Bruno dos Santos Barbosa

Título/Tema: Introdução à Termodinâmica e os estados da matéria

Turma: 2º ano do Ensino Médio

Modalidade: Presencial

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Componente Curricular: Física

Competência Específica (BNCC):

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Habilidades da BNCC:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

Local: Sala de aula

Duração: 50 minutos

Objetivos:

- Identificar as formas de energias, principalmente a energia térmica;
- Conhecer as leis da Termodinâmica;
- Identificar os estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) e as suas mudanças;
- Compreender o movimento molecular.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Quadro branco e marcador;
- Caixa de som;
- Projetor;
- Vídeo;

- Papel com atividade impressa.

Metodologia

Preparando o ambiente:

Essa aula está situada após a apresentação e debate do conteúdo de Termometria em que foi tratado sobre a medição de temperatura, sendo esperado que o aluno saiba identificar as escalas de medidas de temperatura e utilizar as regras de conversão adequadas. Conheça também o instrumento de medida, o termômetro. O aluno também já deve conhecer os estados da matéria, pois são vistos no ensino fundamental e também pode ser percebido no cotidiano.

Agora, essa aula apresentará a introdução a Termodinâmica de forma geral trazendo as leis resumidamente. A abordagem sobre a Termodinâmica é apenas a nível de energia, ou seja, a conservação de energia e as trocas de energia. E como essas trocas interferem no aquecimento dos materiais e na mudança de fase. O professor deve promover a participação do aluno na aula, fazendo perguntas e esperando as suas respostas para avançar nos passos da aula.

Desenvolvimento:

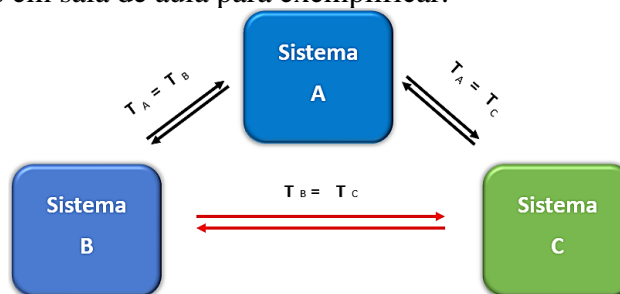
Passo 1:

Inicialmente, deve ser apresentado por meio de um slide o nome do tema Termodinâmica e a partir comece a associar o termo *Termo* com temperatura e calor e o termo *dinâmica* com movimento. Nesse ponto, é importante citar o contexto histórico da Termodinâmica, principalmente entre o final do século XVIII e início do século XIX, relacionando com a revolução industrial. Entre os inúmeros pesquisadores da época destacam-se Sadi Carnot, Lord Kelvin e James Joule.

Passo 2:

Apresente a Lei zero da Termodinâmica com o enunciado: *Dois sistemas que estejam em equilíbrio térmico com um terceiro estarão também em equilíbrio térmico um com o outro.*

Agora, com o uso da imagem, comente o conceito de equilíbrio térmico. A imagem pode ser usada para estimular o aluno a perceber o equilíbrio entre o Sistema B e C, uma vez que o professor pode levar o aluno a perceber esse equilíbrio, e para isso pode ser utilizado objetos disponíveis em sala de aula para exemplificar.



Como exemplo o professor pode usar com um caso do cotidiano, por exemplo, a água sendo aquecida num recipiente contendo um termômetro. A água está a mesma temperatura do recipiente e do termômetro, logo o recipiente está com a mesma temperatura do termômetro.

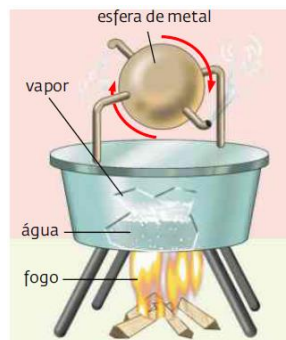


Passo 3:

Nesse passo apresente a Primeira lei da Termodinâmica: *A variação líquida na energia total de um sistema durante um processo é igual à diferença entre a energia total recebida e a energia total rejeitada pelo sistema termodinâmico durante um processo.*



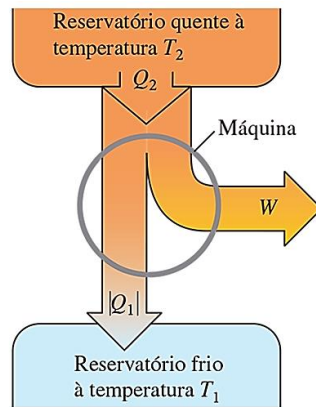
Deve-se comentar que a energia de entrada é na forma de *calor* e a energia de saída é o *trabalho*. A mudança de energia é a *energia interna* e pode ser mostrada a formulação matemática: $\Delta U = Q - \tau$. Como exemplo da primeira lei pode ser usada a máquina de Heron (considerada a primeira máquina a vapor). Dessa forma é possível mostrar que a entrada de energia (calor) é promovida pelo fogo, a mudança de energia ocorre na água e a energia de saída provoca o movimento na esfera de metal (trabalho).



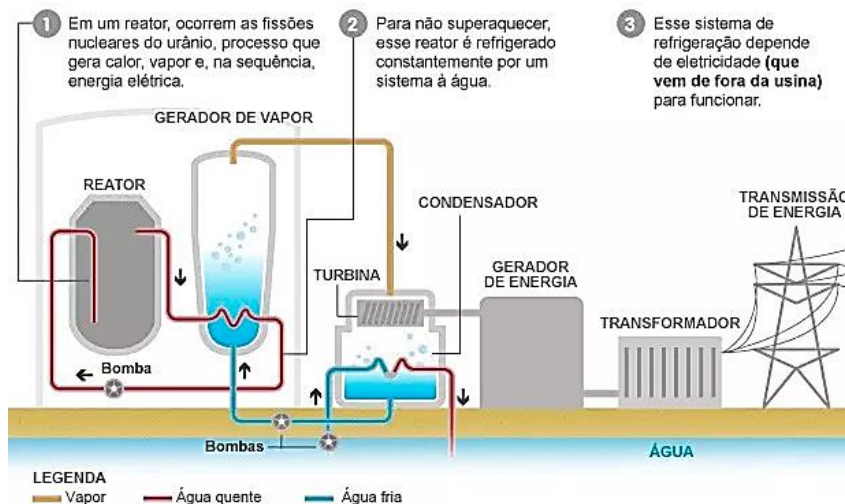
Passo 4:

Segunda lei da Termodinâmica:

É impossível construir um dispositivo que funcione em um ciclo e não produza qualquer outro efeito que não seja a transferência de calor de um corpo com temperatura mais baixa para um corpo com temperatura mais alta.



É possível relacionar a máquina térmica com o motor a combustão interna usado nos automóveis. Em quem Q_2 é a energia produzida na combustão, W é o trabalho produzido, ou seja, o que leva o automóvel ao movimento e Q_1 é a energia dissipada. O professor também pode associar a representação da imagem com uma máquina a vapor ou uma usina nuclear, podendo exemplificar o seu uso para a geração de energia elétrica.



Passo 5:

Nessa parte é a hora de apresentar o vídeo compilado para relacionar a Termodinâmica com o movimento molecular. O vídeo é de um programa de TV chamado *O Mundo de Beakman*, possui 5 minutos de exibição. O vídeo está disponível no link <https://youtu.be/PrmpY6eGrw>. Compreende a uma parte do episódio 16 da primeira temporada.

Passo 6:

Apresente os estados da matéria mais conhecidos sólido, líquido e gasoso. Com o uso de figuras em um slide. A substância escolhida deve ser a água (pura), sendo a substância mais comum e fácil de ser encontrada nos três estados. Primeiro deve ser comentado que a água pode ser aquecida, ou seja, pode receber energia sem mudar de estado. Depois apresente as mudanças de estado relacionando a energia utilizada para a mudança de fase. Lembrando que a substância água possui uma irregularidade quando solidifica. Fale sobre cada mudança de estado dando ênfase a mudança de volume ocupado, fale também sobre a vaporização.



Avaliação:

Teste do tipo pictórico com quatro itens onde o aluno deve desenhar segundo a sua perspectiva sobre os estados da matéria a nível molecular. O teste também pede uma representação do calor e de uma mistura de substâncias. Para esse teste é esperado que o aluno represente as moléculas das substâncias por pequenas esferas, fazendo uma distinção entre as substâncias pelo tamanho ou por quantidade, agrupando esferas para representar uma molécula. Outro fato esperado é que o aluno consiga desenhar as moléculas com distâncias distintas entre os estados físicos. Os resultados nessa atividade, nesse momento, são expectativas uma vez que os alunos ainda não estão familiarizados com o aspecto molecular das substâncias.

Leitura Complementar:

SILVA, G. R. DA; ERROBIDART, N. C. G. Termodinâmica e Revolução industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, 27 jul. 2019. v. 19, p. 71–97.

Referências:

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>.

Física da água: 9 fatos surpreendentes sobre H₂O. [s.d.]. Disponível em: <<https://hypescience.com/fisica-da-agua/>>. Acesso em: 7 jul. 2021.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física 2**. 2º Ed. ed. São Paulo: Editora Ática, 2016.

LUZ, A. M. R. Da; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. Da C. **Física 2: contexto e aplicações**. 2º Ed. ed. São Paulo: editora Scipione, 2016.

Motor a vapor – Wikipédia, a enciclopédia livre. [s.d.]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_vapor>. Acesso em: 7 jul. 2021.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 14º ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016.

A5.2 – Aula 2

Plano de Aula

Estrutura curricular

Escola: E.E. Desembargador André Vidal de Araújo

Professor: José Bruno dos Santos Barbosa

Título/Tema: Calorimetria e mudança de fase da matéria

Turma: 2º ano do Ensino Médio

Modalidade: Presencial

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Componente Curricular: Física

Competência Específica (BNCC):

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Habilidades da BNCC:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

Local: Sala de aula

Duração: 50 minutos

Objetivos:

- Identificar algumas formas de energia e suas conversões, e como se relacionam com as Leis de Termodinâmica;
- Identificar os estados da matéria, condensado de Bose-Einstein, Sólido, Líquido, Gasoso e Plasma;
- Conhecer a propriedade Calor específico dos materiais;
- Conhecer as mudanças de fase da matéria;
- Conhecer a propriedade Calor Latente;
- Identificar a distribuição molecular nos três estados.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Projetor;
- Quadro branco e marcador;

- Papel com atividade impressa;
- Software Formas de Energia e Transformações;
- Software Estados da Matéria.

Metodologia

Preparando o ambiente:

Essa aula está situada após a apresentação da Termodinâmica de modo simplificado, e também após a apresentação dos três estados físicos da matéria. Aula começa retomando as ideias sobre Termodinâmica, com o uso do simulador mostrando as diferentes formas de energia e as suas conversões. Em seguida, na apresentação em slide, deverá ser retomado a mudança de fase, agora mostrando mais estados da matéria. E finalmente, com usos dos simuladores, introduzir os conceitos de calor específico e calor latente.

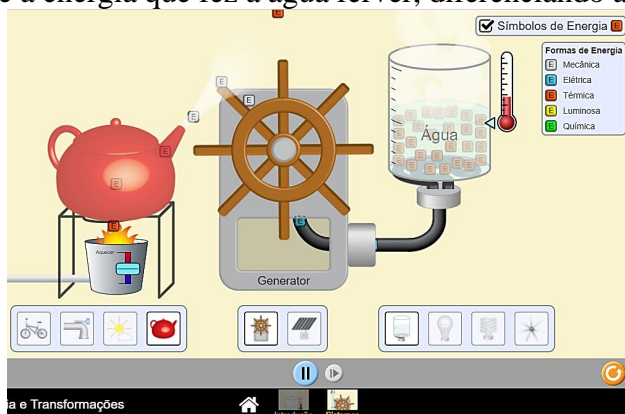
O aluno deve possuir previamente os conceitos de calor, energia térmica e estados da matéria, conceitos explorados anteriormente e reforçados nessa aula. O professor deve promover o debate entre os alunos, fazendo perguntas durante a aula e registrando em uma ficha de respostas. Os simuladores usados devem criar um ambiente motivador em sala, saindo do convencional, tornado o conteúdo mais significativo e aproximando com o cotidiano.

Desenvolvimento:

Passo 1:

O professor deve iniciar a aula com a distribuição da ficha de atividade individual que contém as perguntas realizadas durante a aula. Logo após deve iniciar a apresentação do slide com o título da aula a dos questionamentos: **Por que os corpos aquecem de forma diferente? E por que mudam de fase?**

Posteriormente apresentar o simulador *Formas de Energia e Transformações* na parte de chamada sistemas e deve mostrar as formas de energia: Mecânica, Térmica, Elétrica, Luminosa e Química. No simulador é possível visualizar a conversão entre elas possibilitando relacione com as leis da Termodinâmica. Nessa parte do simulador a energia que deve ter ênfase é a térmica. Com o simulador na aba de sistemas usando o bule de com água saindo vapor como fonte de energia e o recipiente com água recebendo a energia faça o aquecimento até a água ferver. Comente aos alunos sobre a energia que fez o aquecimento e a energia que fez a água ferver, diferenciando as duas.



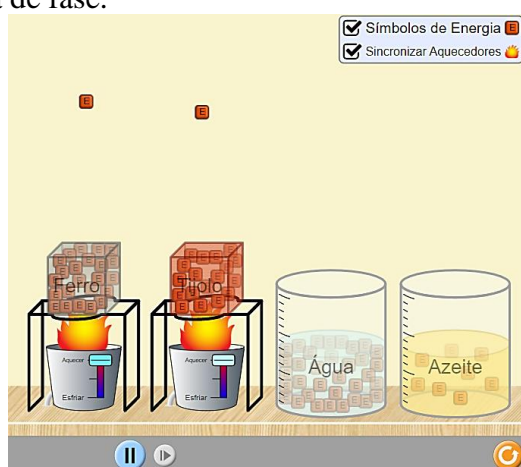
Passo 2:

Agora o professor deve voltar a explorar os estados físicos da matéria, os três mais conhecidos usando imagens em slides. Em seguida deve ser perguntado se existem outros estados da matéria. Após a pergunta e interação com os alunos, o professor deve dar continuidade apresentando mais dois estados o plasma e o condensado de Bose-Einstein.



Passo 3:

Usando o *software Formas de Energia e Transformações*, o professor deve simular o aquecimento de dois blocos, um de ferro e outro de tijolo mostrando o símbolo de energia [E]. Nessa ocasião deve ser feita uma atividade, perguntas, para interagir com a turma. A atividade consiste de apenas duas perguntas: *O que é temperatura? e o que é calor?* É uma atividade rápida feita na ficha de atividades e os alunos devem responder em até 5 minutos. Após as respostas dos alunos, o professor deve continuar com a simulação aquecendo os blocos e falando que a energia adicionada aos dois não é suficiente para provocar uma mudança de fase.



Ainda falando do aquecimento a simulação deve ser reiniciada para aquecer novamente os blocos para mostrar que eles acumulam quantidades de energia diferentes e isso deve levar a mais uma atividade com duas perguntas: *“Qual dos dois blocos tem a temperatura mais baixa antes do aquecimento?”* e *“Houve mudança de temperatura?”*.

Passo 4:

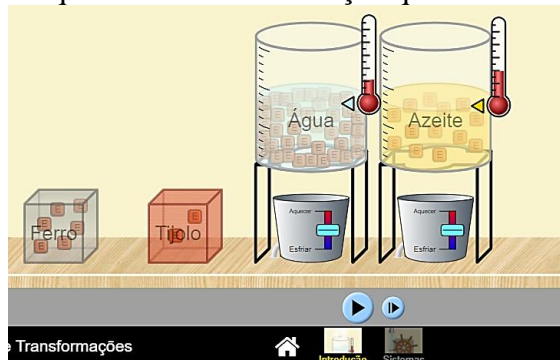
No simulador *Formas de Energia e Transformações* deverá ser colocado a substância água (líquida) e o azeite para iniciar o aquecimento simultâneo e mostrar por meio do termômetro que as temperaturas diferem após o aquecimento. Em seguida a simulação deverá ser reiniciada para fazer a seguinte interação:

1 – Admita que as substâncias possuem a mesma quantidade de massa. É possível fazer essa estimativa, pois os dois líquidos nos recipientes estão no mesmo nível;

2 – Aqueça as substâncias água e azeite de forma simultânea e conte a quantidade adicionada de E no recipiente do azeite até a marcação de temperatura igual a 4. Como as fontes são sincronizadas elas fornecem a mesma quantidade de energia aos recipientes que totalizam $5E$ para os dois;

3 – Pause a simulação e verifique as medidas nos termômetros, os dois recipientes começam com medida no termômetro na marcação em 1, o azeite varia 3 unidades de temperatura e a água varia 1. Comente na aula essa diferença, esperando que o aluno perceba que essa diferença se dá por que as substâncias são diferentes;

4 – E por se tratar de substâncias diferentes o aquecimento é diferente, e nesse caso existe uma propriedade térmica que faz essa diferenciação que é o calor específico;



5 – Usando a apresentação em slide mostre a formulação matemática que relaciona os conceitos e ao problema apresentada no simulador, $Q = mc\Delta T$;

6 – Adotando as massas iguais a 1 e as medidas de calor e variação de temperatura no simulador, realize os cálculos para cada substância, chegando aos valores $c = 5$ para a água e $c = 1,6$ para o azeite. Mesmo sendo uma estimativa, a propriedade térmica calor específico é diferente para as substâncias.

Passo 5:

Nesse passo o professor deverá reiniciar a simulação colocando o recipiente com água líquida para ser aquecido até o máximo possível (marcação 4 no termômetro). Nesse momento será possível visualizar a mudança de fase da água líquida para o estado gasoso. O professor deve instigar o aluno a pensar: Se o recipiente contendo água continua recebendo energia da fonte, porque a temperatura parou de subir, o que está acontecendo.



A visualização pode ajudar os alunos a concluir que a temperatura parou de subir por conta da mudança de fase.

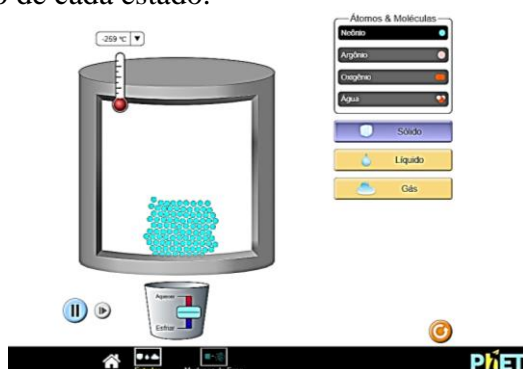
Agora o professor pode afirmar ao aluno que a temperatura estável mesmo com a adição de energia ao recipiente é consequência da mudança de fase, sendo uma característica para substâncias puras.

Passo 6:

Nessa última etapa da aula, busca-se mostrar as fases da matéria a nível molecular com o simulador *Estados da Matéria*. Com ele é possível visualizar o comportamento molecular de algumas substâncias nos três estados físicos da matéria. Além de escolher a substância, o software permite a modificação das variáveis de estado, temperatura, volume e pressão. Antes de iniciar a simulação aplique uma atividade com duas perguntas, usando a ficha de atividades:

- 1 – Como vocês acreditam que é o comportamento da molécula de água no estado sólido?
- 2 – O aumento de temperatura modifica a configuração da molécula de água?

Agora mostre o comportamento da substância Neônio nos três estados da matéria selecionando nos botões com as indicações de estado, comente o distanciamento molecular característico de cada estado.



Selecione o estado sólido e comece o aquecimento para ocorrer a mudança de fase, relacionando com o calor sensível e o latente. Para a substância água observe a solidificação irregular, comente o aumento de volume na fase de gelo.

No simulador, na parte Mudança de fase, é possível modificar as variáveis pressão, volume e temperatura. Nessa parte deve ser mostrada na simulação a influência da pressão na mudança de fase.

Para finalizar esse último passo, o professor deve perguntar novamente aos alunos: **Por que os corpos aquecem de forma diferente? E por que mudam de fase?** O esperado é que eles formulem as suas hipóteses e ajudando conforme o necessário.

Avaliação:

Atividade realizada durante a aula, as perguntas estão dentro dos Passos da aula. Deve ser realizada pelos alunos na ficha de atividade distribuída no início da aula.

Leitura complementar:

Quinto estado da matéria observado no espaço pela primeira vez – SoCientífica. [s.d.]. Disponível em: <<https://socientifica.com.br/quinto-estado-da-materia-observado-no-espaco-pela-primeira-vez/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

PAIVA, A. *et al.* Estados estranhos da matéria: condensação de Bose-Einstein. **Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa**, 2010. Disponível em: <<http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo3/modulo2/topico1.php>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

Referências:

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>.

LUZ, A. M. R. Da; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. Da C. **Física 2: contexto e aplicações**. 2º Ed. ed. São Paulo: editora Scipione, 2016.

Quantum made simple. **Quantum made simple**, [s.d.]. Disponível em:

<<http://toutestquantique.fr/en/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

SIMULATIONS, P. I. **Estados da Matéria**. PhET Interactive Simulations. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html>.

_____. **Formas de Energia e Transformações**. PhET Interactive Simulations.

Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_pt_BR.html>.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 14º ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016.

A5.3 – Aula 3

Plano de Aula

Estrutura curricular

Escola: E.E. Desembargador André Vidal de Araújo

Professor: José Bruno dos Santos Barbosa

Título/Tema: Mudança de fase da matéria: Perspectiva molecular

Turma: 2º ano do Ensino Médio

Modalidade: Presencial

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Componente Curricular: Física

Competência Específica (BNCC):

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Habilidades da BNCC:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos,

dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Local: Sala de aula

Duração: 50 minutos

Objetivos:

- Identificar os estados da matéria e nível molecular, representativo;
- Conhecer as mudanças de fase da matéria na perspectiva molecular;
- Identificar o movimento molecular nos três estados;

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Papel com atividade impressa;
- Projetor;
- Software Molecular Workbench.

Metodologia

Preparando o ambiente:

Esta aula ocorre após a apresentação sobre a calorimetria e os estados da matéria. Agora há uma volta aos estados da matéria, mas com ênfase na perspectiva molecular. Com o uso do software *Molecular Workbench* é possível fazer uma apresentação no estilo slide com simulação integrada. Nessa aula é esperado que o aluno tenha adquirido o conhecimento sobre as fases da matéria, calor, calor sensível e calor latente. O professor deve conduzir a aula sempre perguntando, questionando e estimulando os alunos a responder e formular hipóteses das perguntas realizadas durante a aula.

Desenvolvimento:

Passo 1:

Inicie a aula distribuindo a ficha de respostas, onde os alunos responderão às perguntas feitas durante a aula. Em seguida apresente o slide iniciando o tema da aula e com o questionamento: **Como os materiais mudam de fase?** Estimule os alunos para responder essa pergunta e formular hipóteses.

Agora inicie o simulador Molecular Workbench selecionando Activity Center e escolhendo Phase Change. A página deve ser previamente traduzida e adaptada, o software permite essa edição. A tela de abertura possui um índice dos tópicos abordados, inicie pelo tópico introdução. Nesse tópico é explorado a mudança de fase do gelo no oceano ártico, fale sobre as geleiras e sobre o processo de derretimento, fale também sobre os icebergs.

Mudança de Fase: Introdução

A mudança de fase está acontecendo em todos os lugares ao nosso redor. É um dos principais fatores que criam clima em nosso planeta.

Mudança de Fase no Oceano Ártico

O Oceano Ártico, o menor oceano da Terra, tem uma variação sazonal considerável enquanto a deriva do gelo cobre o oceano. A camada de gelo se afina no verão e muitos icebergs menores são produzidos, alguns dos quais podem estar frios o suficiente para flutuar mais para o sul.

O congelamento da água e o derretimento do gelo são mudanças de fase que afetam fundamentalmente o ecossistema da região do Pólo Norte.

Liste mais três exemplos diários de mudança de fase.

Passo 2:

Agora avance para o tópico Gases explorando a simulação de dois modelos de gases. Use a função para marcar as moléculas da região central da simulação para visualizar a movimentação.

Movimento atômico nos Gases

Execute os modelos de dois tipos de gases e observe-os cuidadosamente.

As linhas tracejadas representam pares de átomos próximos o suficiente para se atrair. Selecione "Mostrar Interações". Estime o número médio de linhas tracejadas no modelo.

Clique no botão "Escolha aleatoriamente um átomo e mostre sua trajetória" para seguir um átomo.

Como usar os controles de simulação

Gás 1 Gás 2 Mostrar Interações

Escolha aleatoriamente um átomo e mostre sua trajetória | Marcar átomos perto do centro

Questões

Descreva o movimento dos átomos e moléculas em um gás.

Como o comportamento e o arranjo das moléculas de gás são semelhantes e diferentes dos jogadores de futebol correndo no campo?

Ao final da simulação são realizadas duas perguntas que devem ser respondidas pelos alunos na ficha de respostas:

- 1 – Descreva o movimento dos átomos e moléculas dos gases;
- 2 – Como o comportamento e o arranjo das moléculas de gás são semelhantes e diferentes dos jogadores de futebol correndo em campo.

Agora avance para o tópico sobre os Líquidos e faça a simulação para os dois modelos de líquidos, lembrando de marcar as moléculas centrais para demonstrar o movimento dessas moléculas marcadas.

Movimento Atômico nos Líquidos

Aqui estão os modelos de dois líquidos. Um líquido é composto apenas de átomos. O outro é feito de moléculas triatómicas. Execute os modelos e observe-os cuidadosamente.

(1) Certifique-se de que "Mostrar atrações" esteja selecionado. As atrações entre os átomos são mostradas por linhas tracejadas. (2) Execute cada modelo de líquido. (3) Em seguida, estime o número médio de linhas tracejadas que um átomo forma com seus vizinhos.

Como usar os controles de simulação

Líquido 1 Líquido 2 Mostrar atrações Tire uma foto instantânea

Escolha aleatoriamente um átomo e mostre sua trajetória | Marcar átomos perto do centro

Questões

Observe o movimento do átomo ou molécula que foram selecionados aleatoriamente. Descreva o movimento desse átomo / molécula em comparação com os átomos ao seu redor.

Como o movimento das pessoas em um comício ao ar livre se parece com um líquido?

Ao final da simulação sobre os líquidos também tem duas perguntas que serão respondidas pelos alunos na ficha de respostas:

1 – Observe o movimento do átomo ou molécula que foram selecionados aleatoriamente. Descreva o movimento desse átomo/molécula em comparação com os átomos ao seu redor;

2 – Como o movimento das pessoas em um comício ao ar livre se parece com um líquido?

Agora mostre a simulação para o estado sólido de forma similar aos outros estados físicos da matéria.



Ao final da simulação tem três perguntas sobre o estado sólido:

1 – Como você descreveria o movimento e o arranjo dos átomos e moléculas em um sólido?

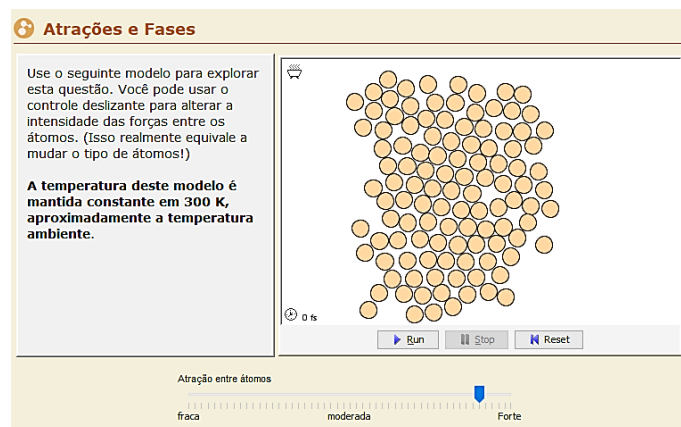
2 – As moléculas de gás estão tão distantes umas das outras que as atrações intermoleculares são bastante insignificantes no movimento térmico aleatório das partículas de gás. Descreva o papel das forças intermoleculares para sólidos e líquidos.

3 – Como o movimento dos átomos e moléculas em um sólido se assemelha às pessoas em uma sala de cinema?

Cada atividade nesse passo 2, no final de cada simulação, deve durar em média 5 minutos, totalizando 15 minutos de atividades.

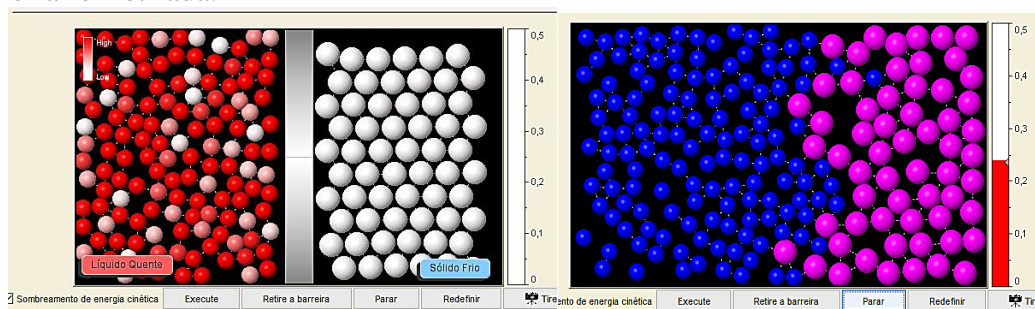
Passo 3:

Nessa parte da simulação o professor deve mostrar que as interações interatômicas são determinantes na fase da matéria, e que o enfraquecimento das interações provoca a mudança. Deve ser confrontado com o conceito de temperatura, uma vez que ela está relacionada com a agitação molecular.



Passo 4:

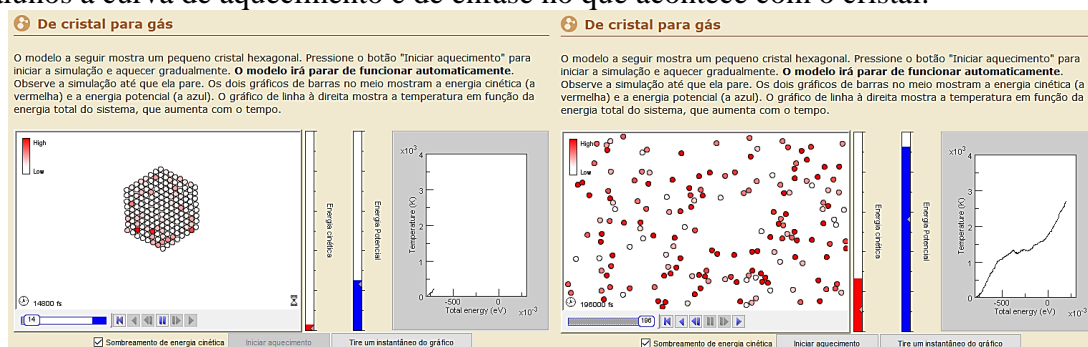
Nesse passo da aula deverá ser mostrado a mistura de duas substâncias, uma no estado líquido e quente e outra no estado sólido e fria. Antes de retirar a barreira entre as substâncias deve ser perguntado ao aluno o que poderá acontecer com as substâncias se a barreira for retirada.



Após a retirada da barreira comente para o aluno sobre a troca de energia entre as substâncias e que a substância sólida mudou de fase, pois as partículas acabam se misturando. Ao final da mistura deve ser feita a pergunta que deve ser respondida pelo aluno na ficha de respostas:

1 – O que você acha que causou o aumento da temperatura dos átomos maiores que estão originalmente na parte direita do modelo?

Avançando para o próximo tópico no simulador é possível simular o aquecimento de um cristal até a fase gasosa. Inicie a simulação no botão *iniciar aquecimento*, mostre aos alunos a curva de aquecimento e dê ênfase no que acontece com o cristal.

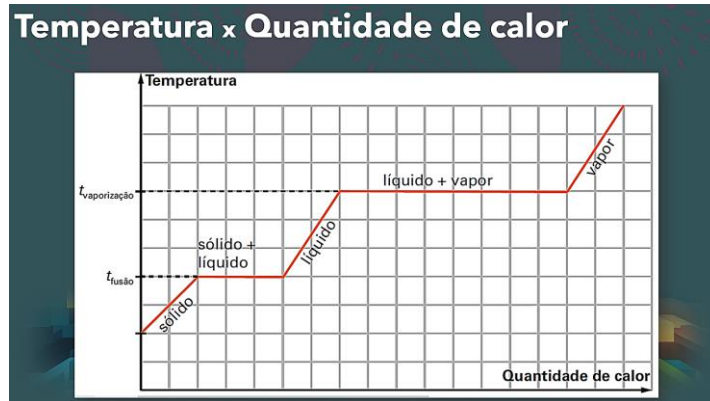


Agora o aluno deve responder à pergunta, na ficha:

1 – Descreva o que estava acontecendo no modelo quando a temperatura parou de subir (no meio da simulação). Descreva o estado das moléculas ao longo desse tempo.

As duas perguntas do desse passo 4, respondidas na ficha de respostas, não devem demorar mais de 10 minutos.

Após a realização da atividade mostre a curva de aquecimento típica de substâncias puras e compare com a curva do simulador.



Passo 5:

Esse passo é para conhecer a evaporação, uma forma vaporização que ocorre a diversas temperaturas, algo que difere do que já foi falado. O simulador deverá mostrar o processo de evaporação.

Um experimento simples

Pressione o botão "Executar" e observe o que acontece. O átomo mais à esquerda recebe a velocidade mais alta (representada pelo comprimento da flecha nele) quando chutado. O átomo mais à direita recebe a velocidade mais baixa. Os intermediários recebem velocidades intermediárias. Quando um átomo sobe para a região de escape (representada pela área acima da linha tracejada), ele sai do modelo.

Um modelo mais realista

No modelo a seguir, colocamos muitas moléculas em um recipiente, que é inicialmente coberto por cima para evitar a evaporação. Execute o modelo por um tempo e observe o gráfico de barras à direita, que representa a temperatura do sistema. Em seguida, pressione o botão "Retire a tampa. Deixe evaporar" e observe a alteração do gráfico de barras.

Passo 6:

Agora retomando aos três estados da matéria. Essa simulação mostra a mudança de estado em uma simulação tridimensional. Após a escolha da substância basta iniciar a simulação e adicionar energia para visualizar as mudanças, deve ser escolhida a substância xenônio e depois poderá ser escolhida outra substância.

O que fazer?

- (1) Escolher o elemento xenônio em "Template" e depois pressionar o botão "Executar".
- (2) Pressione o botão "Aquecer" ou "Resfriar" abaixo para adicionar energia.
- (3) Faça instantâneos que representem os estados sólido, gasoso e líquido.
- (4) Preencha as imagens instantâneas nas três perguntas abaixo.

Agora refaça a pergunta inicial, **como os materiais mudam de fase?** Os alunos devem agora perceber a relação do distanciamento e movimento molecular com a mudança de fase.

Avaliação:

Atividade realizada durante a aula, as perguntas estão dentro dos Passos da aula. Deve ser realizada pelos alunos na ficha de respostas distribuída no início da aula.

Leitura complementar:

ENGINEERING, T. O que é calor na termodinâmica - definição. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-calor-na-termodinamica-definicao/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

Referências:

BONJORNO, J. R. *et al.* **Física: terminologia, óptica, ondulatória, 2º ano.** 3º Edição ed. São Paulo: Editora FTD S.A., 2016.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular.** Ministério da Educação. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>.

LUZ, A. M. R. Da; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. Da C. **Física 2: contexto e aplicações.** 2º Ed. ed. São Paulo: editora Scipione, 2016.

XIE, C. **Molecular Workbench.** Concord Consortium. Disponível em: <<http://mw.concord.org/modeler/>>.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas.** 14º ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016.

A5.4 – Aula 4

Plano de Aula

Estrutura curricular

Escola: E.E. Desembargador André Vidal de Araújo

Professor: José Bruno dos Santos Barbosa

Título/Tema: Calor específico e Condutividade Térmica

Turma: 2º ano do Ensino Médio

Modalidade: Presencial

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Componente Curricular: Física

Competência Específica (BNCC):

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Habilidades da BNCC:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

Local: Sala de aula

Duração: 50 minutos

Objetivos:

- Diferenciar materiais de baixo e alto calor específico;
- Identificar o sentido do calor nos materiais;
- Diferenciar materiais de baixa e alta condutividade térmica;
- Perceber que a mudança de fase da matéria interfere na condutividade térmica.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Projetor;
- Quadro branco e marcador;
- Papel com atividade impressa;
- Software *Energy2D*;
- Software *Molecular Workbench*.

Metodologia

Preparando o ambiente:

Esta aula ocorre após a aula sobre a mudança de fase da matéria com a perspectiva molecular. Nessa aula o foco está na condutividade térmica e também no calor específico, uma vez que será tratado o aquecimento de materiais. O conceito de calor específico e calor já devem estar disponíveis para o aluno como conhecimento prévio, uma vez que já foram explorados em aulas anteriores.

Usando o software *Energy2D* é possível verificar o calor de forma contínua através do contraste de cores. Com esse software é possível simular o aquecimento de diversos materiais inserindo suas propriedades térmicas. Outro software utilizado, o *Molecular Workbench*, em que simula as trocas de energia a nível molecular. O professor deve

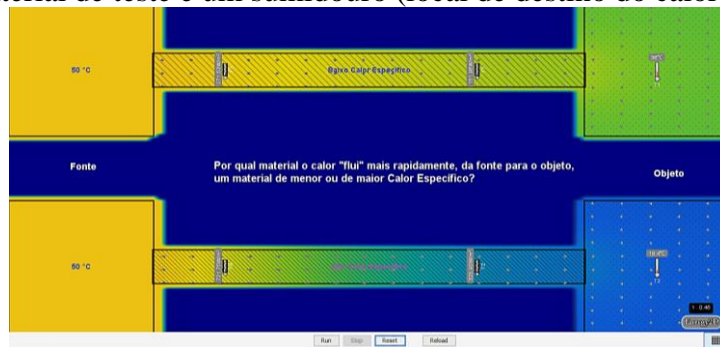
Como

Desenvolvimento:

Passo 1:

A aula deve iniciar com o slide de apresentação da aula e depois o seguinte questionamento: **Por que peças metálicas parecem mais "frias" à temperatura ambiente do que um pedaço de madeira ou plástico?** Estimule os alunos para responder essa pergunta e formular hipóteses.

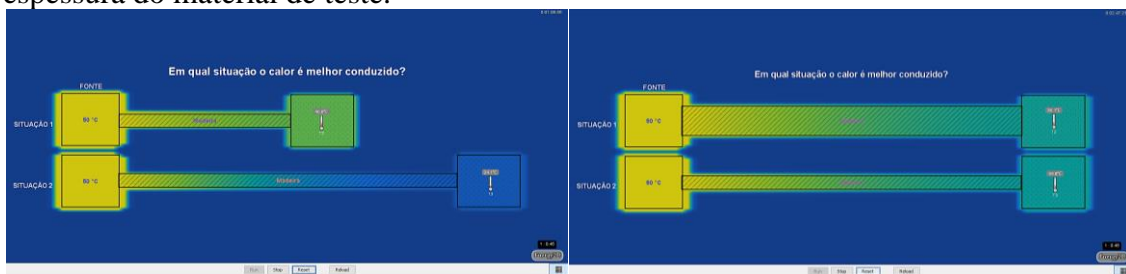
Com o software *Energy2D* a aula deve retomar do conceito de calor específico, usando a simulação. De forma a comparar o alto e o baixo calor específico de um material, o contraste de cores e os termômetros mostram o calor. A simulação utiliza uma fonte de energia, um material de teste e um sumidouro (local de destino do calor).



Passo 2:

Esse passo deve ser iniciado com a pergunta: A forma e o tamanho do material podem interferir na condução do calor?

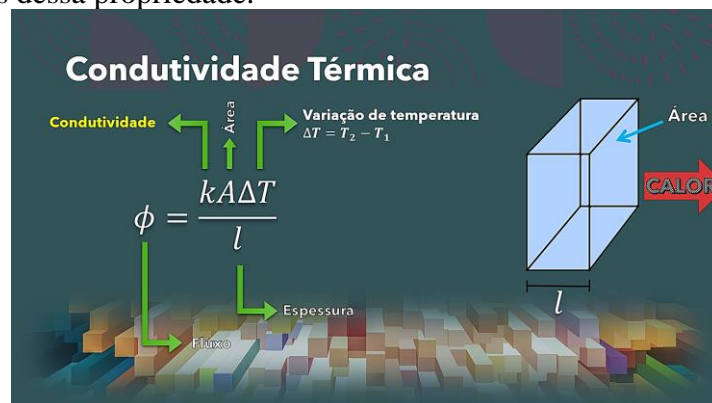
Com o uso do *Energy2D* deve ser feita duas simulações, mudando o comprimento e a espessura do material de teste.



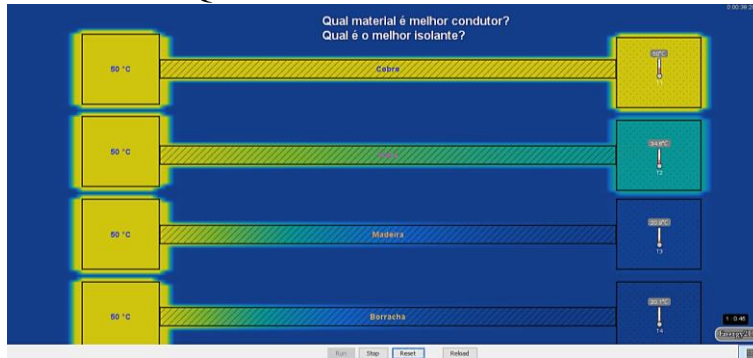
As duas simulações mostram que a dependência da geometria do material de teste interfere na quantidade de energia térmica conduzida.

Passo 3:

Além da geometria do material de teste, o professor deverá apresentar a propriedade térmica condutividade térmica. E deve definir os condutores térmicos e os isolantes térmicos através dessa propriedade.

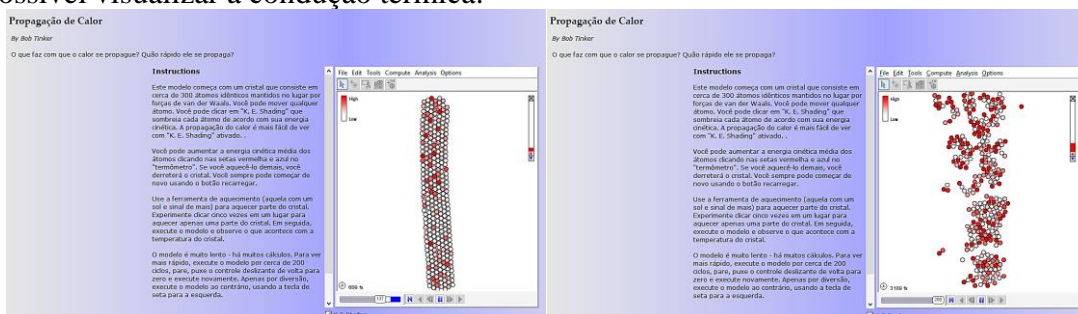


Para demonstrar a diferença da condutividade entre os materiais mais uma simulação no *Energy2D* deve ser apresentada. Nessa simulação a geometria dos materiais são iguais e a condutividade diferente. Os materiais são o cobre, o vidro, a madeira e a borracha. Lembrando que cada material tem o seu calor específico e sua condutividade térmica, cabendo ao professor diferencia-los. O professor deve, após a simulação, perguntar: Qual material é melhor condutor? Qual é o melhor isolante?

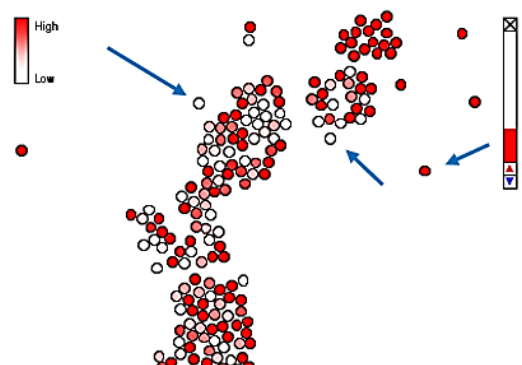


Passo 4:

Para tratar a condutividade a nível molecular e visualizar a energia sendo transmitida, o professor deve utilizar o software *Molecular Workbench* com a simulação propagação de calor. O modelo consiste de um cristal com 300 átomos e conforme se adiciona energia é possível visualizar a condução térmica.



Com o aumento de energia é possível a mudança de fase do cristal. Quando ocorrer a mudança para o estado líquido, o professor deverá mostrar através do contraste de cores que a condução diminui conforme aumenta a distância entre os átomos. Deve relacionar esse distanciamento com a mudança da condutividade dos materiais.



Agora o professor deve voltar ao questionamento inicial: **Por que peças metálicas parecem mais "frias" à temperatura ambiente do que um pedaço de madeira ou plástico?** E agora junto com os alunos respondê-lo usando os conceitos de calor específico e condutividade.

Avaliação:

Reaplicação do Teste pictórico com quatro itens em que o aluno deve desenhar de acordo com a sua perspectiva sobre os estados da matéria a nível molecular. O teste também pede uma representação do calor e de uma mistura de substâncias. Para esse teste é esperado que o aluno represente as moléculas das substâncias por pequenas esferas, fazendo uma distinção entre as substâncias pelo tamanho ou por quantidade, agrupando esferas para representar uma molécula. Outro fato esperado é que o aluno seja capaz de desenhar as moléculas com distâncias distintas entre os estados físicos.

Leitura complementar:

ENGINEERING, T. O que é condutividade térmica de materiais e elementos químicos - Definição. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-condutividade-termica-de-materiais-e-elementos-quimicos-definicao/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

Referências:

BONJORNO, J. R. *et al.* **Física: terminologia, óptica, ondulatória, 2º ano.** 3º Edição ed. São Paulo: Editora FTD S.A., 2016.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular.** Ministério da Educação. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf>.

LUZ, A. M. R. Da; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. Da C. **Física 2: contexto e aplicações.** 2º Ed. ed. São Paulo: editora Scipione, 2016.

XIE, C. **Molecular Workbench.** Concord Consortium. Disponível em: <<http://mw.concord.org/modeler/>>.

_____. **Energy2D.** Concord Consortium. Disponível em: <<http://energy2d.concord.org>>.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas.** 14º ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016.

A5.5 – Aula 5

Plano de Aula

Estrutura curricular

Escola: E.E. Desembargador André Vidal de Araújo

Professor: José Bruno dos Santos Barbosa

Título/Tema: Mapa Conceitual

Turma: 2º ano do Ensino Médio

Modalidade: Presencial

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Componente Curricular: Física

Competência Específica (BNCC):

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Habilidades da BNCC:

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Local: Sala de aula

Duração: 50 minutos

Objetivos:

- Diferenciar conceitos físicos;
- Perceber as conexões e dependências dos conceitos da Termodinâmica;
- Criar um mapa de conceitos.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Quadro branco e marcador;
- Projetor;
- Papel A4 em branco.

Metodologia

Preparando o ambiente:

Esta aula ocorre após as aulas sobre os conceitos sobre as propriedades térmicas, calor específico, condutividade térmica e calor latente. Para ajudar os alunos a organizar os conceitos e relacioná-los, a ferramenta dos Mapas Conceituais é um bom instrumento para esse fim. Uma vez que os mapas conceituais possuem o objetivo de representar relações entre dois ou mais termos conceituais, ajudando o aluno a criar uma rota que ajude a atingir o seu objetivo. Não esquecendo que o mapa conceitual possui uma hierarquia nos conceitos relacionados e é importante que o mapa possua termos (conceitos) que sejam comuns aos alunos, que sejam conhecimentos prévios. Assim podendo associar a conceitos novos. Nesse sentido a elaboração de um mapa de conceitos pode ser uma atividade criativa, podendo ajudar a fomentar a criatividade. Cada mapa organizado pelo aluno oferece evidências sobre o conteúdo e a forma da aprendizagem processada por ele.

Desenvolvimento:

Passo 1:

O professor deve iniciar com a pergunta: **Você consegue lembrar de todos os conceitos que já estudou?**



A partir dessa pergunta, o professor deve definir o conceito de mapa conceitual de forma simples, usando os nomes separados, Mapa e Conceito. A definição é a mesma contida em um dicionário.



Passo 2:

O professor deve mostrar ao aluno a definição de Mapa Conceitual, no slide, para que ele saiba para que serve. Uma boa definição é a seguinte:

Os mapas conceituais servem para tornar claro, tanto aos professores como aos alunos, o pequeno número de ideias chave em que eles se devem focar para uma tarefa de aprendizagem específica. Um mapa conceitual também pode funcionar como um mapa rodoviário visual, mostrando alguns dos trajetos que se podem seguir para ligar os significados de conceitos de forma a que resultem proposições. Depois de terminada uma tarefa de aprendizagem, os mapas conceituais mostram um resumo esquemático do que foi aprendido (NOVAK; GOWIN, 1996, p. 31).

Passo 3:

Nesse momento o professor deve explorar algumas palavras-chaves para criar um mapa conceitual de modelo, as palavras são: Água, movimento, moléculas, calor e estado. Devendo conceituar cada uma delas. Sempre perguntando aos alunos se concordam com o conceito.

Passo 4:

Usando as palavras-chaves deve ser criado o mapa conceitual. Contendo o conceito *Água* como o mais inclusivo, estando no topo. Nesse mapa são adicionadas as palavras de ligação a outros conceitos. Outro ponto importante é a hierarquia dos conceitos que deve ser comentada.



O professor deve mostrar a diferenciação progressiva dos conceitos, ou seja, o conceito mais geral e inclusivo deve ser apresentado no início, para depois serem diferenciados de forma progressiva em termos de detalhes e especificidade.

Passo 5:

Agora o professor deve utilizar os mesmos conceitos para criar outro mapa conceitual, agora com a palavra *moléculas* como a mais inclusiva e no topo do mapa. Deve ficar claro ao aluno que o mapa conceitual é mutável e pode sempre ser aperfeiçoado.



Os conceitos apresentados no mapa conceitual devem ser organizados de forma a favorecer a exploração de relações entre as ideias, as semelhanças e diferença entre elas, e também reconciliar as discrepâncias reais ou aparentes. E também, a relação entre os conceitos que interagem na hierarquia do mapa conceitual devem se relacionar de forma harmônica e lógica, isso é chamado de reconciliação integrativa.

Avaliação:

Construir um Mapa Conceitual usando os conceitos: *energia térmica, calor, calor específico, calor latente, condutividade, temperatura e moléculas*. O professor deve ajudar o aluno a conceituar esses termos, apenas para lembrar, como uma forma de revisá-los, um dos mapas deve ser usado como referência para o aluno. O objetivo é fazer com que o aluno consiga conectar esses conceitos de forma lógica e hierárquica. O aluno pode adicionar mais conceitos se achar necessário para ajudar na elaboração.

A atividade deve ser realizada em uma folha de papel A4 em branco, entregando ao final da aula.

Leitura complementar:

SOUZA, N. A. De; BORUCHOVITCH, E. Mapa conceitual: seu potencial como instrumento avaliativo. **Pro-Posições**, dez. 2010. v. 21, n. 3, p. 173–192.

Referências:

BONJORNO, J. R. *et al.* **Física: terminologia, óptica, ondulatória, 2º ano.** 3ª Edição ed. São Paulo: Editora FTD S.A., 2016.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a Aprender**. Lisboa: PLÁTANO EDIÇÕES TÉCNICAS, 1996.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 14° ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016.

A5.6 – Aula 6

Plano de Aula

Estrutura curricular

Escola: E.E. Desembargador André Vidal de Araújo

Professor: José Bruno dos Santos Barbosa

Título/Tema: Teste Conceitual

Turma: 2° ano do Ensino Médio

Modalidade: Presencial

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Componente Curricular: Física

Habilidades da BNCC:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

Local: Sala de aula

Duração: 50 minutos

Objetivos:

- Diferenciar conceitos físicos;
- Aplicar os conhecimentos sobre as propriedades térmicas.

Recursos:

- Teste Conceitual impresso;
- Cartão resposta impresso.

Metodologia

Preparando o ambiente:

Após cinco aulas sobre as propriedades térmicas, calor específico, calor latente e condutividade térmica. Essa aula é para aplicar a avaliação final sobre os conceitos

apresentado, um teste conceitual chamado Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas⁴².

Desenvolvimento:

Passo 1: Avaliação

O professor deve aplicar o Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT). O período de tempo da aula deve ser utilizado pelo aluno para realizar a atividade, entregando o cartão resposta ao final. O Teste impresso deve ser devolvido ao final da atividade.

Referências:

BONJORNO, J. R. *et al.* **Física: terminologia, óptica, ondulatória, 2º ano**. 3ª Edição ed. São Paulo: Editora FTD S.A., 2016.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>.

TANAHOUNG, C. *et al.* SURVEYING SYDNEY INTRODUCTORY PHYSICS STUDENTS' UNDERSTANDINGS OF HEAT AND TEMPERATURE. **Australian Institute of Physics**, 2006. n. December, p. 3–6.

WATTANAKASIWICH, P. *et al.* Development and implementation of a conceptual survey in thermodynamics. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**, 2013. v. 21, n. 1, p. 29–53.

YEO, S.; ZADNIK, M. Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. **The Physics Teacher**, 2001. v. 39, n. 8, p. 496–504. Disponível em: <<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1424603>>.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 14ª ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016.

⁴² O TCPT é uma compilação de outros testes conceituais.

APÊNDICE 6 – Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)

Q1. Samuel pega uma lata e uma garrafa plástica de refrigerante da geladeira, onde tinham sido colocados na noite anterior. Ele rapidamente coloca um termômetro no refrigerante contido na lata. A temperatura é de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quais são as temperaturas mais prováveis da garrafa de plástico e do refrigerante de seu interior?

- A) Estão ambas abaixo de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- B) Estão ambas a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- C) Estão ambas acima de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- D) O refrigerante está a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, mas a garrafa está a mais de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- E) Depende da quantidade de refrigerante e/ou do tamanho da garrafa.

Q2. Jan anuncia que não gosta de sentar nas cadeiras de metal da sala porque "ao tocá-la, são mais frias que as de plástico". Com qual afirmação você concorda totalmente?

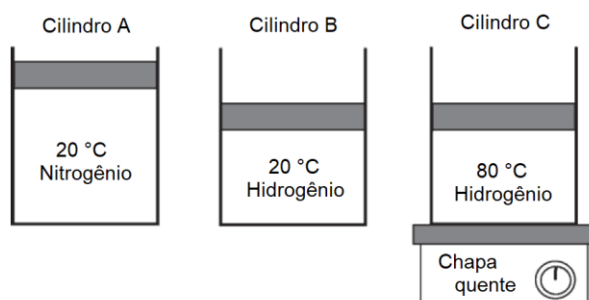
- A) Jim concorda e diz: "As cadeiras de metal ficam mais frias porque o metal é naturalmente mais frio que o plástico".
- B) Kip diz: "As cadeiras de metal não são mais frias, porque estão na mesma temperatura".
- C) Lou diz: "As cadeiras de metal não são mais frias, parecem mais frias porque são mais pesadas".
- D) Mai diz: "As cadeiras de metal são mais frias porque o metal absorve o calor do corpo mais rapidamente".

Q3. Kim pega duas réguas, uma de metal e outra de madeira. Ele anuncia que o metal se sente mais frio do que o de madeira. Qual é a sua explicação preferida para essa situação para Kim?

- A) O metal conduz o calor mais rapidamente que a madeira.
- B) A madeira é naturalmente uma substância mais quente que o metal.
- C) Os metais são melhores radiadores de calor que a madeira.
- D) O frio flui mais facilmente de um metal.

Use as seguintes informações para responder às perguntas 4 e 5.

Três cilindros idênticos são preenchidos com quantidades desconhecidas de gases ideais. Os cilindros são fechados com pistões idênticos de massa M e atrito desprezível. Os cilindros A e B estão em equilíbrio térmico com a sala a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, e o cilindro C é mantido a uma temperatura de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. O pistão de cada cilindro está em equilíbrio mecânico com o meio ambiente.



Q4. A pressão do gás nitrogênio no cilindro A em relação a pressão do gás hidrogênio no cilindro B será?

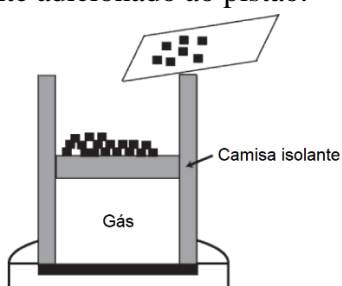
- A) Maior
- B) Menor
- C) Igual

Q5. A pressão do gás hidrogênio no cilindro B em comparação à pressão do gás hidrogênio no cilindro C será?

- A) Maior
- B) Menor
- C) Igual

Use as seguintes informações para responder às perguntas 6 a 8.

Um gás ideal está contido em um cilindro com um pistão bem ajustado, para que nenhum gás escape. Várias pequenas massas estão no pistão. (Desconsidere o atrito entre o pistão e as paredes do cilindro.) O cilindro é colocado em uma camisa isolante. Um grande número de massas é rapidamente adicionado ao pistão.



Q6. A temperatura do gás muda?

- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Permanece inalterada

Q7. A pressão do gás muda?

- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Permanece inalterada

Q8. O volume do gás muda?

- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Permanece inalterado

Q9. Quando se coloca água morna em um copo a superfície externa do mesmo permanece seca. Quando colocamos água gelada, a superfície externa do copo fica úmida. Nesse caso pode-se afirmar que:

- A) o copo deixa “vazar” água gelada pelos seus poros
- B) o copo deve ser de metal, pois somente metais podem ficar com a superfície úmida
- C) a superfície externa gelada provoca a condensação das moléculas de água contidas no ar.

Q10. João percebeu um cheiro desagradável em seu guarda-roupas, foi ao mercado em busca de algo que tirasse esse odor, o vendedor recomendou naftalina (pequenas bolinhas sólidas). Ao passar do tempo, João percebeu que a naftalina começou a

sumir do guarda-roupas, as bolinhas iam diminuindo de tamanho. Então João concluiu que:

- A) diminui de tamanho porque a naftalina derrete quando colocada em contato com o tecido das roupas.
- B) a naftalina diminui de tamanho devido ao aumento de temperatura dentro do guarda-roupas.
- C) a naftalina diminui de tamanho até sumir pois muda de estado físico, passando do sólido diretamente para o estado gasoso.

Q11. O dióxido de carbono sólido “CO₂” é conhecido como gelo seco ele é muito usado para produzir o efeito de fumaça em apresentações (shows). Ele é resfriado a uma temperatura inferior a – 70 °C, e ao entrar em contato com o ar torna-se gás, produzindo uma fumaça branca. A respeito desse processo afirma-se:

- A) que o gelo seco faz uma mudança de estado físico, do estado sólido para o gasoso.
- B) que o dióxido de carbono é naturalmente um gás e por isso sempre se tornará um gás.
- C) a fumaça branca que sai do gelo seco é apenas o frio que sai e não altera o tamanho do gelo.

Q12. Jim acredita que deve usar água fervente para fazer uma xícara de chá. Ele diz a seus amigos que "Eu não poderia fazer chá se eu estivesse acampando em uma montanha alta porque a água não ferve em grandes altitudes". Qual afirmação você concorda totalmente?

- A) Joys diz: "Sim, porque a água ferve abaixo de 100 ° C quando a pressão diminui."
- B) Tay diz: "Jim está incorreto porque a água sempre ferve na mesma temperatura".
- C) Lou diz: "O ponto de ebulição da água diminui, mas a própria água ainda está a 100 ° C".
- D) Mai diz: "Eu concordo com Jim. A água nunca chega ao ponto de ebulição."

Q13. Existem três potes de água fervente no fogão. Qual deles tem a temperatura mais baixa?

- A) Aquele que está fervendo vigorosamente
- B) Aquele que está fervendo há mais tempo
- C) Aquele que mal está fervendo
- D) Todos eles têm a mesma temperatura

Q14. Qual é a temperatura mais provável dos cubos de gelo que se encontram armazenados no congelador de uma geladeira?

- A) -10°C
- B) 0 °C
- C) 5 °C
- D) A temperatura depende do tamanho dos cubos de gelo

Q15. Francisco pega seis cubos de gelo no congelador e coloca quatro deles dentro de um copo com água, deixando os outros dois sobre a mesa. Agita várias vezes o copo até que os cubos de gelo estejam bem pequenos e tenham parado de derreter. Qual é a temperatura mais provável da água nesta situação?

- A) -10 °C
- B) 0 °C
- C) 5 °C
- D) 10 °C

Q16. Os cubos de gelo que Francisco deixou sobre o balcão quase derreteram por completo e repousam sobre uma poça de água, ficando ainda pequenos pedaços de gelo. Qual é a temperatura mais provável desses cubos de gelo menores?

- A) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Q17. Sobre o fogão está uma panela cheia de água. A água começou a ferver rapidamente. A temperatura mais provável da água é:

- A) $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) Nenhuma das respostas acima é correta

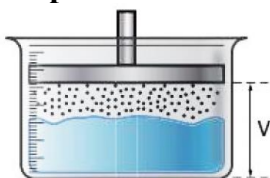
Q18. Cinco minutos mais tarde, a água na panela ainda ferve. A temperatura mais provável da água agora é:

- A) $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) $120\text{ }^{\circ}\text{C}$

Q19. Qual será a temperatura do vapor acima da água fervente na panela?

- A) $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) $120\text{ }^{\circ}\text{C}$

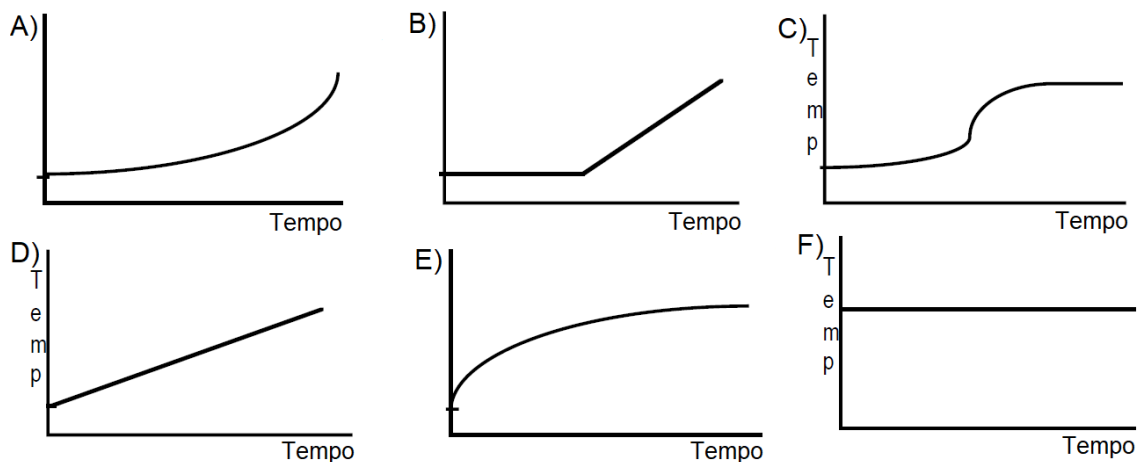
Q20. A figura mostra um cilindro com embolo, no qual certo líquido está em equilíbrio com o próprio vapor. Se reduzirmos o volume V , sem alterar a temperatura:



- A) mais líquido se vaporizará
B) mais vapor vai se condensar
C) a proporção de líquido e vapor não se alterará
D) o líquido começará a ferver

As perguntas 21 a 24 referem-se a um copo inicialmente com uma mistura de 50 g de gelo e 50 g de água a 0°C . O copo é perfeitamente isolado para que nenhum calor possa ser transferido para dentro ou para fora. A temperatura ambiente é de 25°C .

Um pequeno aquecedor de xícara de café dentro da xícara permite que o calor seja transferido para a mistura de gelo e água. O calor é transferido a uma taxa constante e a mistura é agitada continuamente para que a temperatura seja sempre uniforme em toda a mistura. Para cada pergunta abaixo, escolha a forma do gráfico de temperatura e tempo nos gráficos **A** a **F** na parte superior da página que melhor corresponda à temperatura da mistura durante o intervalo de tempo descrito. (Você pode escolher um gráfico mais de uma vez. A origem dos gráficos não representa necessariamente 0°C .)



Q21. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo quando o gelo está derretendo, mas ainda há gelo na água?

Q22. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo quando ainda há gelo no início do intervalo, mas todo o gelo desaparece antes do final do intervalo?

Q23. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo quando há apenas água (o gelo derrete completamente antes do início do intervalo), mas nenhuma fervura ocorre durante o intervalo?

Q24. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo em que a água está fervendo durante todo o tempo mostrado no gráfico?

Chave de correção dos itens:

Q1 – B	Q13 – D
Q2 – D	Q14 – A
Q3 – A	Q15 – B
Q4 – C	Q16 – B
Q5 – C	Q17 – B
Q6 – A	Q18 – B
Q7 – A	Q19 – B
Q8 – B	Q20 – B
Q9 – C	Q21 – F
Q10 – C	Q22 – B
Q11 – A	Q23 – D
Q12 – A	Q24 – F

APÊNDICE 7 – Ficha de Atividades

Ficha de Atividades

Nome: _____

O que é Temperatura?

- Indica o quanto um corpo é quente.
- É a medida do grau de agitação das moléculas que compõem um corpo.
- É o calor dos corpos.

O que é Calor?

- É a temperatura dos corpos.
- É o fluxo de energia térmica.

1

Qual dos dois blocos tem a temperatura mais baixa antes do aquecimento?

- Ferro
- Tijolo
- Os dois possuem a mesma temperatura

Qual dos blocos acumulou mais energia?

- Ferro
- Tijolo

Houve mudança de temperatura?

- Somente no bloco de Ferro
- Somente no bloco do Tijolo
- Em ambos os blocos

2

Como você acredita que é o comportamento da molécula de água no estado sólido?

O aumento de temperatura modifica a configuração da molécula de água?

3

APÊNDICE 8 – Ficha de Respostas

Nome: _____

Ficha de respostas

2.1	2.2	2
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

3.1	3.2	3
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

4.1	4.2	4.3	4
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

6.1	6
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

7.1	7
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

APÊNDICE 9 – PRODUTO EDUCACIONAL

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES
TÉRMICAS: Evidências em Modelos Mentais e Subsunções
(MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR)**

José Bruno dos Santos Barbosa

Manaus – AM
2021

MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES
TÉRMICAS: Evidências em Modelos Mentais e Subsunções**

José Bruno dos Santos Barbosa

Orientador:
Dr. Marcel Bruno Pereira Braga

Produto educacional, material instrucional, associado à dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) polo 4.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Manaus – AM
2021

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

B238s Barbosa, José Bruno dos Santos.
Sequência de ensino investigativo sobre as propriedades térmicas: evidências em modelos mentais e subsunçores – material de apoio ao professor / José Bruno dos Santos Barbosa. – Manaus, 2021.
90 f. : il. color.

Produto Educacional proveniente da Dissertação - Sequência de ensino investigativo sobre as propriedades térmicas: evidências em modelos mentais e subsunçores. (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Marcel Bruno Pereira Braga.
ISBN 978-65-88247-55-6

1. Ensino de física. 2. Termodinâmica. 3. Leis da termodinâmica. 4. Propriedades térmicas. 5. Aprendizagem significativa. I. Braga, Marcel Bruno Pereira. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 536.7

APRESENTAÇÃO

Caro professor este é o produto educacional da dissertação de mestrado Sequência De Ensino Investigativo Sobre As Propriedades Térmicas: Evidências em Modelos Mentais e Subsunçores. Trata-se de uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI), sobre as propriedades térmicas, especificamente o calor específico, calor latente e condutividade térmica.

O objetivo é proporcionar ao professor do ensino médio, mais especificamente o que atua no segundo ano, uma sequência de aulas para auxiliá-lo no ensino das propriedades térmicas. A sequência utiliza as teorias psicológicas educacionais da Aprendizagem Significativa e dos Modelos Mentais. As aulas começam trazendo os conceitos mais gerais e inclusivos, abordando também o aspecto visual dos conceitos físicos, com o uso dos softwares simuladores.

Este material de apoio possui todos os passos, teorias e recursos didáticos para sua implementação. Começando pela didática do Ensino Investigativo preconizando a participação do aluno nas aulas, o professor deve ser um mediador do conhecimento científico estimulando o aluno ao debate e a formulação de hipóteses, aproveitando o seu conhecimento cotidiano, passando pela psicologia educacional da Aprendizagem Significativa e dos Modelos Mentais. Em seguida o material apresenta os conceitos Físicos abordados em sala, começando pela Termodinâmica e seguindo para as propriedades térmicas.

Outro ponto importante é a apresentação dos recursos didáticos, o material de apoio descreve todos os simuladores, *softwares*, utilizados em sala e a construção dos testes conceituais: Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas e o os testes conceituais (TCTP) e o Teste Pictórico sobre as Fases da Matéria e suas Mudanças.

A Sequência de Ensino possui seis aulas que estão descritas passo-a-passo nesse material de apoio. O quadro a seguir mostra a organização das aulas de forma sintética.

Quadro Organizacional das Aulas			
Tema	Objetivo	Materiais	Atividade
Aula 1 Introdução à Termodinâmica e os estados da matéria	<ul style="list-style-type: none">▪ Identificar os tipos de energias, principalmente a energia térmica;▪ Conhecer as leis da Termodinâmica;▪ Compreender o movimento molecular;▪ Identificar os estados da matéria e suas mudanças;▪ Organizar os conceitos físicos para as próximas aulas.	<ul style="list-style-type: none">▪ Computador;▪ Software leitor de slides;▪ Quadro branco;▪ Caixa de som;▪ Projetor;▪ Vídeo;▪ Atividade impressa.	Teste Pictórico

Aula 2	Calorimetria e mudança de fase da matéria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar algumas formas de energia e suas conversões, e como se relacionam com as leis de Termodinâmica; ▪ Identificar os estados da matéria, condensado de Bose-Einstein, Sólido, Líquido, Gasoso e Plasma; ▪ Conhecer a propriedade Calor específico dos materiais; ▪ Conhecer as mudanças de fase da matéria; ▪ Conhecer a propriedade Calor Latente; ▪ Identificar a distribuição molecular nos três estados. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Projetor; ▪ Quadro branco; ▪ Atividade impressa; ▪ Software <i>Formas de Energia e Transformações</i>; ▪ Software <i>Estados da Matéria</i>. 	Atividade conceitual realizada na Ficha de Atividades
Aula 3	Mudança de fase da matéria: Perspectiva molecular.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar os estados da matéria e nível molecular, representativo; ▪ Conhecer as mudanças de fase da matéria na perspectiva molecular; ▪ Identificar o movimento molecular nos três estados; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Atividade impressa; ▪ Projetor; ▪ Software Molecular Workbench 	Atividade conceitual realizada na Ficha de Respostas
Aula 4	Calor específico e Condutividade Térmica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diferenciar materiais de baixo e alto calor específico; ▪ Identificar o sentido do calor nos materiais; ▪ Diferenciar materiais de baixa e alta condutividade térmica; ▪ Perceber que a mudança de fase da matéria interfere na condutividade térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Projetor; ▪ Quadro branco; ▪ Atividade impressa; ▪ Software <i>Energy2D</i>; ▪ Software <i>Molecular Workbench</i>. 	Reaplicação do Teste Pictórico
Aula 5	Mapa Conceitual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diferenciar conceitos físicos; ▪ Perceber as conexões e dependências dos conceitos da Termodinâmica; ▪ Criar um mapa de conceitos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computador; ▪ Software leitor de slides; ▪ Quadro branco; ▪ Projetor; ▪ Papel A4 em branco. 	Construção do Mapa Conceitual
Aula 6	Teste Conceitual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diferenciar conceitos físicos; ▪ Aplicar os conhecimentos sobre as propriedades térmicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teste Conceitual impresso; ▪ Cartão resposta impresso. 	Aplicação do TCTP

É importante saber que o professor pode fazer adaptações às aulas, melhorando e acrescentando mais informações, adaptando à realidade da turma em que está lecionando.

Boa aula!

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	iii
1 – SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA, TEORIA DA APRENDIZAGEM E OS MODELOS MENTAIS.....	1
1.1 – SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	1
1.2 – APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	3
1.2.1 – Mapa Conceitual.....	5
1.3 – MODELOS MENTAIS	5
2 – UM POUCO DE FÍSICA.....	8
2.1 – LEIS DA TERMODINÂMICA.....	8
2.1.1 – Lei Zero	8
2.1.2 – Primeira Lei	9
2.1.3 – Segunda Lei	9
2.2 – MUDANÇAS DE FASE DA MATÉRIA E AS PROPRIEDADES TÉRMICAS	11
2.2.1 – Capacidade Térmica e Calor específico	11
2.2.2 – Transição de Fase da Matéria	13
2.2.3 – Condutividade Térmica	14
3 – CONHECENDO OS RECURSOS DIDÁTICOS	16
3.1 – CONHECENDO OS SIMULADORES	16
3.1.1 – Formas de Energia e Transformações.....	17
3.1.2 – Estados da Matéria	19
3.1.3 – Energy2D.....	22
3.1.4 – Molecular Workbench	26
3.2 – SOFTWARE PARA OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS.....	32
4 – OS TESTES CONCEITUAIS	37
4.1 – TESTE SOBRE A COMPREENSÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS - TCPT ..	38
4.2 – TESTE PICTÓRICO SOBRE AS FASES DA MATÉRIA E SUAS MUDANÇAS	39
4.2.1 – Primeira Parte	40
4.2.2 – Segunda Parte	41
5 – APLICAÇÃO DA SEI	43
5.1 – AULA 1	45
5.2 – AULA 2	50
5.3 – AULA 3	56
5.4 – AULA 4	62
5.5 – AULA 5	66
5.6 – AULA 6	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES.....	76
Apêndice 1 – Teste Pictórico sobre as Fases da Matéria e suas Mudanças	76
Apêndice 2 – Endereço eletrônico dos Slides utilizados nas aulas.....	78
Apêndice 3 – Ficha de Atividades	79
Apêndice 4 – Ficha de Respostas.....	80
ANEXO.....	81
Anexo 1 – Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas.....	81

1 – SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA, TEORIA DA APRENDIZAGEM E OS MODELOS MENTAIS

1.1 – SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Geralmente, o ensino é visto como um processo em que o professor mostra aos alunos novas informações e conceitos, os estudantes recebem e memorizam podendo utilizar ou não esses conceitos em situações escolares, ou em sua vida cotidiana. Essa prática tradicional é centrada em atividades em que o professor é o principal ator, e os alunos expectadores que registram e acompanham o raciocínio desenvolvido pelo professor. O ensino de Física que pode estabelecer uma mudança nas interações entre o professor e os alunos não deve ser pautado puramente na relação de autoridade em que o professor é absoluto em suas ações. O professor deverá permitir o trabalho intelectual dos alunos de tal forma que ele seja um agente mediador do conhecimento (CARVALHO, 2011).

Para que os alunos aprendam e possam compreender as aulas de Física, visto que não é uma tarefa fácil. As aulas deveram propor um ambiente investigativo, de tal forma que o professor possa ensinar os alunos no processo do trabalho científico para poderem gradativamente ampliar os seus conhecimentos científicos, de preferência recorrendo aos conhecimentos prévios deles.

[...] uma sequência de ensino investigativa deve ter algumas atividades-chave: na maioria das vezes a SEI inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado e ofereça condições para que pensem e trabalhem com as variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático (CARVALHO, 2013, p. 9).

O planejamento de uma sequência de ensino investigativa que tem o objetivo fazer com que o estudante construa um conceito deve começar por atividades manipulativas na forma de questões ou problemas que, de preferência, envolvam conhecimentos do cotidiano. Nesse caso a questão, ou o problema, pode incluir uma experiência, um jogo, um texto, um vídeo ou uma simulação. A passagem da ação manipulativa para a construção intelectual do conteúdo instrucional deve ser feita com a ajuda do professor, quando este leva o aluno por meio de uma série de pequenas ações a tomar consciência dos problemas ou questionamentos propostos. Essa passagem não é fácil para o aluno e nem para o professor, é relevante ter consciência da importância do erro na construção de novos conhecimentos. Quando o erro é trabalhado, ou seja, quando o aluno reflete sobre

o seu erro e o supera, pode ser mais proveitoso do que ficar seguindo à risca uma aula expositiva (CARVALHO, 2013). É claro que a superação do erro se dá a partir de várias tentativas em resolver um problema ou questão proposta em sala pelo professor.

[...] Uma dessas etapas são a elaboração e o teste de hipóteses. O problema e os conhecimentos prévios – espontâneos ou já adquiridos – devem dar condições para que os alunos construam suas hipóteses e possam testá-las procurando resolver o problema. A solução do problema deve levar à explicação do contexto mostrando aos alunos que Ciência não é natureza, mas leva a uma explicação da natureza (CARVALHO, 2013, p. 7).

A linguagem abordada na SEI tem uma grande importância sendo preciso direcionar o aluno que na maioria das vezes possui uma linguagem cotidiana para uma linguagem científica. A linguagem científica não é somente a linguagem verbal, é também a linguagem matemática, as imagens, gráficos e tabelas. O professor deve levar para a sala de aula questões ou problemas que conduza o aluno a justificar a sua resposta e fazê-lo sistematizar o seu raciocínio em torno dos conceitos, e gradualmente deixando a sua linguagem mais distante do cotidiano e aproximando da linguagem científica.

Segundo Carvalho (2011) podem ser citados quatro pontos importantes para fundamentar o planejamento de uma Sequência de Ensino Investigativo que tem o objetivo criar condições para a construção do conhecimento pelo aluno:

1 – *A importância de um problema para um início da construção do conhecimento.* É um ponto fundamental, iniciar a sequência com um problema ou questão que seja compreendida pelo aluno e que o leve a formular hipóteses;

2 – *Passar a ação manipulativa para a ação intelectual;*

3 – *A importância da tomada de consciência de seus atos para a construção do conhecimento;*

4 – *As diferentes etapas das explicações científicas.* As discussões com os alunos devem chegar até a etapa das explicações do que está sendo estudado.

O professor tem um papel importante em verificar se os alunos entenderam os problemas ou questionamentos propostos. Ao verificar que os alunos terminaram uma tarefa atribuída deve recolher o material e organizar um pequeno debate na turma entre os alunos e o professor. Esta é uma etapa importante e o professor deve disponibilizar um tempo na aula para uma sistematização coletiva do conhecimento, podendo fazer perguntas com a intenção de descobrir como os alunos pensaram na solução do problema. As atividades devem ser organizadas de modo que os alunos discutam sobre o assunto, coletivamente, expondo aos colegas suas ideias e entendimento. Assim os alunos podem

começar a tomar consciência das suas ações, é nesse momento que eles podem apresentar suas hipóteses usadas na resolução do problema. Outra etapa importante é sistematização individual do conhecimento que ocorre após a sistematização coletiva, o professor deve pedir que escrevam ou desenhem sobre o que aprenderam em sala de aula (CARVALHO, 2013).

1.2 – APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O ponto central da teoria do aprendizado significativo de David Ausubel está baseado no conhecimento prévio do aluno. Aquilo que ele já sabe será a base para a aquisição de novos conceitos. A aprendizagem significativa é um processo em que uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo (MOREIRA; MASINI, 1982).

Para Ausubel existe a aprendizagem mecânica que é uma aquisição de informações desordenadamente com pouca ou nenhuma conexão entre elas. Os conceitos aprendidos de forma mecânica são armazenados de forma a isolá-los dos demais conhecimentos sem conectá-los, criando um dicionário de conceitos independentes. O conhecimento fica distribuído de forma arbitrária na estrutura cognitiva. No entanto, após a descoberta de um conceito, a aprendizagem só é significativa quando esse novo conceito se liga aos conceitos subsunçores já existentes. Em suma, a aprendizagem é significativa se a nova informação é incorporada de forma não aleatória a estrutura cognitiva, podendo ser por descoberta ou recepção.

Para ocorrer uma aprendizagem significativa são necessárias algumas condições:

1 – O material¹ a ser aprendido deve ser claro e apresentado em linguagem acessível para o aprendiz. Deve-se utilizar exemplos relacionáveis com a estrutura de conhecimento pré-existente.

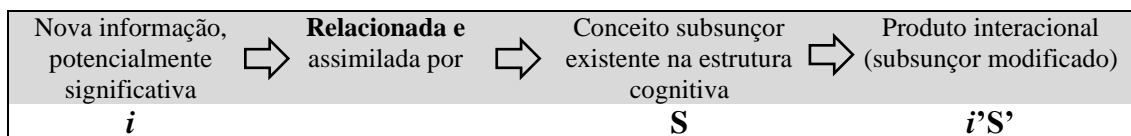
2 – O aluno deve possuir conhecimento anterior relevante (subsunçores). Essa condição ocorre com a própria vivência do indivíduo.

3 – O aluno deve ter vontade de aprender. Essa condição é a mais desafiadora pois depende da motivação do indivíduo em adquirir novos conhecimentos e incorporar a sua estrutura cognitiva.

¹ O termo *material* se refere a livros didáticos, softwares, atividades experimentais, simulações computacionais, entre outros.

A assimilação de conceitos ocorre quando o aluno incorpora uma nova informação as ideias já estabelecidas em sua estrutura cognitiva (SANTROCK, 2009). A característica mais importante do processo de assimilação é a não-arbitrariedade e a substantividade. Conforme Ausubel a assimilação do conhecimento pode ser representada de maneira simbólica conforme o Quadro 1:

Quadro 1 - Processo de Assimilação



Fonte: Moreira; Masini (1982). Adaptado

O princípio da assimilação, pode ser entendido a seguinte forma:

1 – A informação potencialmente significativa *i* é assimilada sob uma nova ideia ou conceito mais inclusivo, já existente na estrutura cognitiva **S**.

2 – *i* e **S** agora permanecem relacionados, conectados, a uma nova unidade *i'S'* que é o subsunçor modificado.

No que se refere a facilitação programada da aprendizagem significativa, Ausubel propõe quatro princípios, conforme Moreira (2011):

1 – *Diferenciação progressiva*, o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais de uma disciplina sejam apresentadas antes, adicionado progressivamente os detalhes mais específicos.

2 – *Reconciliação integrativa*, a programação do material de ensino deve ser feita para explorar as relações entre as ideias apontando as semelhanças e diferenças, reconciliando as eventuais discrepâncias.

3 – *Organização sequencial*, consiste em sequenciar os tópicos de estudo de maneira coerente com as relações de dependências existentes na matéria de ensino.

4 – *Consolidação*, é pautada no domínio do que está sendo estudado, antes que novos conceitos sejam introduzidos, assegura-se um contínuo manejo na matéria de ensino e alta probabilidade sucesso na aprendizagem sequencialmente organizada.

Segundo Ausubel (2003) um organizador prévio é um mecanismo pedagógico que ajuda a implementar novos conceitos, estabelecendo uma conexão entre aquilo que o

aprendiz já conhece e aquilo que ele necessita saber. Assim um organizador fornece inicialmente um ancoradouro, em um nível mais geral, antes do discente ser confrontado com um novo conceito. O organizador prévio possui um papel mediador, criando uma relação relevante entre o conceito mais específico e um mais geral.

1.2.1 – Mapa Conceitual

Os mapas conceituais possuem o objetivo de representar as relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição consiste em dois ou mais termos conectados por palavras e formam uma unidade semântica (NOVAK; GOWIN, 1996). Mais especificamente podem ser vistos como diagramas hierárquicos que procuram a organização conceitual de um conteúdo.

Os mapas conceituais servem para tornar claro, tanto aos professores como aos alunos, o pequeno número de ideias chave em que eles se devem focar para uma tarefa de aprendizagem específica. Um mapa conceitual também pode funcionar como um mapa rodoviário visual, mostrando alguns dos trajetos que se podem seguir para ligar os significados de conceitos de forma a que resultem proposições. Depois de terminada uma tarefa de aprendizagem, os mapas conceituais mostram um resumo esquemático do que foi aprendido (NOVAK; GOWIN, 1996, p. 31).

1.3 – MODELOS MENTAIS

Representações internas ou *mentais* são maneiras de representar internamente o mundo externo. Os indivíduos não captam o mundo exterior diretamente e rapidamente, eles constroem representações mentais para tentar explicar a priori o mundo externo (MOREIRA, 1996).

Ao tentar explicar o mundo ou fazer previsões, cada indivíduo, cria, simula mentalmente uma estrutura simbólica de componentes (ideias) interligadas. Esses componentes ligados, essas ideias, contribuem para a obtenção de um resultado que explica, pelo menos inicialmente, o funcionamento de um sistema² que naquele momento ainda é complexo ao indivíduo. Dessa forma, a simulação mental permite que uma pessoa possa fazer previsões com um conjunto de condições inicialmente hipotéticas para inferir estados futuros de um sistema.

² Reunião dos elementos, concretos ou abstratos, que se interligam para formar um todo organizado. Algo mais complexo.

O processo de criação e manipulação mental para um modelo de um sistema envolve, segundo Borges (1999), envolve quatro fases:

- 1 – Representar o sistema;
- 2 – Propor um modelo a priori que poderia fazer um sistema funcionar;
- 3 – Imaginar o modelo funcionando, realizando uma simulação mental;
- 4 – Comparar com a realidade.

Com a intenção de caracterizar os modelos mentais, diferenciando de outras representações mentais, como os esquemas de Piaget³ e os constructos de Kelly⁴, Johnson-Laird propõe um conjunto de princípios, segundo Johnson-Laird (1983 apud MOREIRA, 1999, p. 188):

1 – *Princípio da computabilidade*: modelos mentais são computáveis, podem ser descritos na forma de procedimentos efetivos que possam ser executados por uma máquina;

2 – *Princípio da finitude*: modelos mentais são finitos em tamanho e não podem representar um domínio infinito;

3 – *Princípio do construtivismo*: modelos mentais são construídos a partir de elementos básicos organizados de uma forma que represente um estado de coisas;

4 – *Princípio da economia*: uma descrição de um estado de coisas é representada por um só modelo mental. Um único modelo pode representar uma infinidade de possíveis estados de coisas, pois o modelo pode ser revisto recursivamente;

5 – *Princípio da não-indeterminação*: modelos mentais podem representar indeterminações, se somente se, seu uso não for computacionalmente tratável;

6 – *Princípio da predicabilidade*: um predicado pode ser aplicável a todos os termos aos quais outro predicado é aplicável, desde que suas abrangências de aplicação sejam compatíveis entre si;

7 – *Princípio do inatismo*: todos os primitivos conceituais são inatos. Primitivos conceituais subjazem as nossas experiências perceptivas, estratégias cognitivas, ou seja, a capacidade de representar o mundo;

³ Jean Piaget (1896 – 1980). Psicólogo suíço que foi o primeiro a fazer um estudo sistemático sobre a aquisição da compreensão em crianças. Muitos acreditam que ele foi a figura principal da psicologia do desenvolvimento do século XX. <https://www.britannica.com/biography/Jean-Piaget>

⁴ George Alexander Kelly (1905 – 1967). <https://www.britannica.com/biography/George-Kelly-American-psychologist>

8 – *Princípio do número finito de primitivos conceituais*: origina um conjunto correspondente de campos semânticos e outro conjunto finito de conceitos ou “operadores semânticos”, que ocorre em cada campo semântico servindo para construir conceitos mais elaborados;

Esses princípios buscam estruturar os modelos mentais, fazendo algumas limitações em alguns princípios e simplificação em outros. Com relação aos modelos mentais, existem dois a serem considerados, os *físicos* e os *conceituais*. Os modelos físicos representam o mundo físico através da percepção de seus elementos. Já os conceituais são modelos que os indivíduos possuem na mente que representam as abstrações. Os modelos físicos estão classificados em seis tipos, que segundo Johnson-Laird (1983 apud MOREIRA, 1999, p. 191) são:

1 – *Modelo relacional*: é um quadro estático consistindo de um conjunto finito de elementos, que representam um conjunto de entidades físicas, de um conjunto finito de propriedades físicas de tais entidades e de um conjunto de relações entre os elementos representando relações física entre as entidades;

2 – *Modelo espacial*: é um modelo relacional, em que as relações entre as entidades são somente espaciais e estão representadas pela localização dos elementos no espaço;

3 – *Modelo temporal*: consiste em uma sequência de quadros espaciais (de dimensão constante), que ocorre em uma ordem temporal conforme com os eventos;

4 – *Modelo cinemático*: consiste em um modelo temporal psicologicamente contínuo. Esse modelo representa mudanças e movimento nas entidades representadas, sem descontinuidade temporal e que pode funcionar em tempo real;

5 – *Modelo dinâmico*: é um modelo cinemático, no qual existem relações entre os quadros representando relações causais entre os eventos;

6 – *Imagem*: é uma representação, centrada no observador, das características visíveis de um modelo espacial ou cinemático subjacente, correspondendo a uma vista ou projeção do objeto ou estado de coisas.

Os modelos mentais que os indivíduos (alunos, aprendizes ou estudantes) trazem para o ensino instrucional, ambiente escolar, influenciam o ensino e a aprendizagem, portanto devem ser levados em consideração pelo professor. É importante, para o

professor, lidar com conhecimentos que são representados internamente e tentar fazer com que o aluno externalize esses modelos mentais.

2 – UM POUCO DE FÍSICA

De forma simplificada, os tópicos a seguir trazem alguns conceitos físicos para situar o professor de Física, apresentando as Leis da Termodinâmica, Calor Específico, Calor Latente e Condutividade Térmica. Para um estudo mais profundo sobre esses tópicos é recomendado realizar a leitura dos livros que estão na referência.

Seguindo a proposta da Teoria da Aprendizagem Significativa em que o assunto mais geral e inclusivo deve ser apresentado antes, as Leis da Termodinâmica são apresentadas como como assunto mais geral, seguindo para os mais específicos que são as propriedades térmicas. Lembrando que esse avanço para o assunto mais específico deve ser feito de forma progressiva e apontando as semelhanças e diferença entre os assuntos.

2.1 – LEIS DA TERMODINÂMICA

2.1.1 – Lei Zero

Supondo que existam dois corpos A e B, de materiais diferentes, de formatos diferentes e tamanhos diferentes. Supondo que A esteja a uma temperatura mais elevada que B e que são colocados em um sistema isolado, observa-se que após um tempo suficientemente longo as propriedades mensuráveis desses corpos param de se modificar. Dessa forma demonstrando que o equilíbrio térmico foi atingido quando as temperaturas dos corpos A e B são as mesmas e não se modificam mais (SEARS; SALINGER, 1979).

Para três sistemas termodinâmicos A, B e C, supondo que A esteja em equilíbrio térmico com B e C, se A for colocado em contato com B ou C, não haverá calor de um para o outro. Então B e C também estão em equilíbrio (SILVÉRIO, 2001). Assim a lei zero pode ser escrita como:

Dois sistemas que estejam em equilíbrio térmico com um terceiro estarão também em equilíbrio térmico um com o outro.

2.1.2 – Primeira Lei

Também conhecido como princípio da conservação de energia, estabelece de modo simples que a energia não pode ser criada nem destruída durante um processo termodinâmico, mas apenas pode mudar de forma (ÇENGEL; GHAJER, 2012). A primeira lei também pode ser enunciada assim:

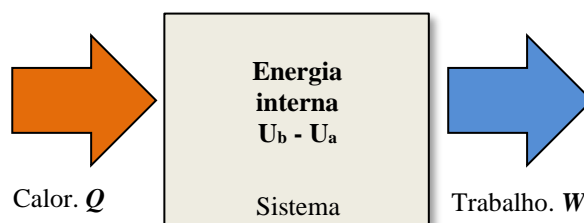
A variação líquida na energia total de um sistema durante um processo é igual a diferença entre a energia total recebida e a energia total rejeitada pelo sistema termodinâmico durante um processo.

Outra forma de enunciar a primeira lei conforme (SEARS; SALINGER, 1979):

A diferença $U_b - U_a$ é o acréscimo na energia interna, e a equação acima afirma que o acréscimo de energia interna de um sistema, em qualquer processo em que não há variação nas energias cinética e potencial do sistema, é igual ao fluxo líquido de calor Q para o sistema menos o trabalho total W realizado pelo sistema.

$$U_b - U_a = Q - W \quad (1)$$

Figura 1 – Esquema mostrando o calor Q sendo adicionado ao sistema, modificando a energia interna e o sistema realizando um trabalho W .

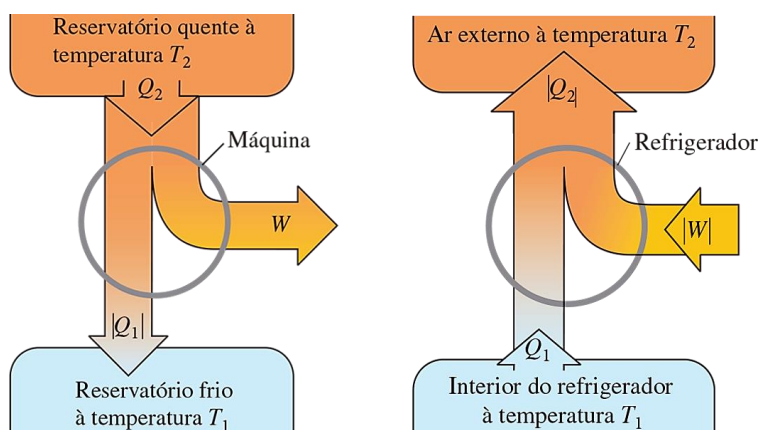


Fonte: Próprio Autor

2.1.3 – Segunda Lei

A Termodinâmica teve a sua origem na tentativa de converter calor em trabalho ao desenvolver dispositivos para essa finalidade, dentre esses dispositivos destacam-se a *máquina térmica* e o *refrigerador*. A máquina térmica com a finalidade de converter calor em trabalho e o refrigerador utilizando o trabalho para retirar calor de uma fonte. A Figura 2 representa esquematicamente a máquina térmica e o refrigerador, em ambos os casos se busca minimizar a dissipação de energia e o rendimento máximo.

Figura 2 – Diagrama esquemático de uma máquina térmica e de um refrigerador.



Fonte: Young e Freedman (2016). Adaptado

É visível que tanto a máquina térmica quanto o refrigerador possuem um sentido no fluxo de energia. Na máquina o calor é no sentido da fonte ou reservatório quente para a fria realizando trabalho, e não o contrário. No refrigerador o sentido do calor da fonte fria para a fonte quente só é possível realizando trabalho, ou seja, sem realização de trabalho não ocorrerá. Então existe um sentido no processo termodinâmico em ambos os casos e a Segunda Lei da Termodinâmica foi enunciada em termos da máquina térmica e do refrigerador por Kelvin⁵ e Clausius⁶.

Segunda Lei para máquina térmica:

É impossível para qualquer sistema passar por um processo no qual absorve calor de um reservatório a uma dada temperatura e o converte completamente em trabalho mecânico de modo que o sistema termine em um estado idêntico ao inicial (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Segunda Lei para o refrigerador:

É impossível a realização de qualquer processo que tenha como única etapa a transferência de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Qualquer dispositivo que transforma calor parcialmente em trabalho ou em energia mecânica pode ser considerado como uma máquina térmica. Assim vários

⁵ William Thomson, Lord Kelvin (1824 – 1907), <https://www.britannica.com/biography/William-Thomson-Baron-Kelvin>.

⁶ Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822 – 1888), <https://www.britannica.com/biography/Rudolf-Clausius>.

dispositivos podem ser considerados máquinas térmicas, como motores a combustão interna e externa, a vapor, entre outros.

2.2 – MUDANÇAS DE FASE DA MATÉRIA E AS PROPRIEDADES TÉRMICAS

2.2.1 – Capacidade Térmica e Calor específico

Sob certas condições é possível conhecer a quantidade de calor cedida ou recebida por um sistema, desde que não haja uma mudança de fase. A capacidade térmica é a razão entre o calor e a temperatura. É uma propriedade que indica a habilidade de um sistema em absorver calor da vizinhança (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

$$C = \frac{d'Q}{dT} \quad (2)$$

Para analisar essa propriedade em cada unidade de massa de um material que compõe um sistema define-se o calor específico, como

$$c = \frac{C}{m} = \frac{1}{m} \frac{d'Q}{dT} \quad (3)$$

Então o calor específico é uma propriedade que indica a capacidade de absorver ou ceder calor por unidade de massa de uma substância, fazendo a temperatura variar. Se dois corpos com calores específicos diferentes recebem a mesma quantidade de calor aquela que possui um alto calor específico necessita de mais energia para elevar a sua temperatura, logo uma substância de menor calor específico necessita de menos energia por unidade de massa para elevar a sua temperatura, na prática um material que possui um menor valor de calor específico aquece mais rapidamente do que outro que possui um valor mais alto. O calor específico de um sistema depende da natureza do sistema, ou seja, depende do tipo de material.

É possível verificar que o calor específico difere em cada um dos estados da matéria e essa diferença se dá, basicamente, em relação aos graus de liberdade das moléculas ou átomos que compõe uma substância. A Tabela 1 mostra alguns valores de calor específicos de algumas substâncias, esses valores experimentais concordam com a teoria.

Tabela 1 – Alguns valores de calor específico em sólidos, líquidos e gases.

Calor Específico em algumas substâncias					
Sólidos			Líquidos		
Substância	Temperatura, K	Calor específico c_p , kJ/kg.K	Substância	Temperatura, K	Calor específico c_p , kJ/kg.K
<i>Alumínio</i>			<i>Amônia</i>		
	300	0,902		239,85	4,43
	400	0,949		253,15	4,52
	500	0,997		273,15	4,60
<i>Cobre</i>				298,15	4,80
	223,15	0,367	<i>Nitrogênio</i>		
	273,15	0,381		77,35	2,06
	473,15	0,403		113,15	2,97
<i>Gelo</i>			<i>Água</i>		
	200	1,56		273,15	4,22
	240	1,86		298,15	4,18
	260	2,02		323,15	4,18
	273	2,11		348,15	4,19
Gases					
Substância	Temperatura, K	Calor específico c_v , kJ/kg.K	Calor específico c_p , kJ/kg.K		
<i>Ar</i>					
	300	0,718	1,005		
	500	0,742	1,029		
	700	0,788	1,075		
<i>Oxigênio</i>					
	300	0,658	0,918		
	400	0,681	0,941		
	600	0,743	1,003		
<i>Vapor de água</i>					
	300	1,4108	1,8723		

Fonte: Çengel e Boles (2013). Adaptado.

Ainda na Tabela 1 é possível verificar a variação do calor específico conforme a temperatura varia para algumas substâncias. Nos sólidos de maneira geral o aumento de temperatura é acompanhado com o aumento do calor específico. Nos líquidos o comportamento é parecido com os dos sólidos, com exceção de substâncias com alguma irregularidade como é o caso da água.

2.2.2 – Transição de Fase da Matéria

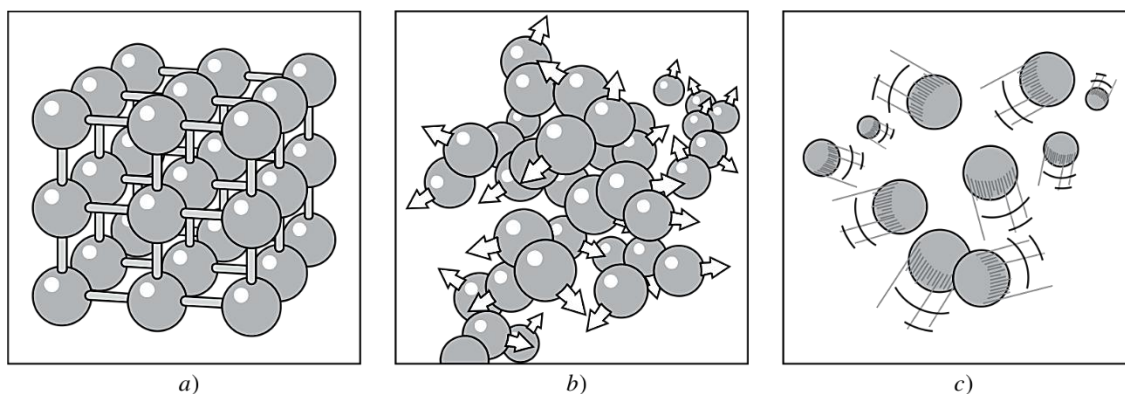
As substâncias podem existir, dependendo das variáveis de estado, em três fases da matéria bem distintas e fáceis de serem observadas, sólido, líquido e gasoso. Outras fases da matéria como o plasma, o condensado de Bose-Einstein e o condensado fermiônico não são simples de serem observadas.

A transição de fase da matéria ocorre quando uma substância vai de um estado físico para outro mudando as suas variáveis de estado que geralmente estão em equilíbrio entre duas fases, e para uma dada pressão isso ocorre a uma temperatura específica. As transições de fase entre os três estados físicos sólido, líquido e gasoso: fusão, vaporização, sublimação e seus inversos (solidificação, condensação e sublimação inversa).

Mudanças de fase são associadas a mudança de volume e entropia, e sendo assim um trabalho será realizado por um sistema ou realizado sobre ele. A

Figura 3 exemplifica como os átomos estão distribuídos e sua estrutura nos materiais. Normalmente o volume ocupado pelos átomos aumenta no sentido do estado gasoso.

Figura 3 – Disposição dos átomos em diferentes fases: a) em um sólido os átomos estão em posições relativamente fixas, b) na fase líquida os átomos formam grupos e estão mais separados e c) na fase gasosa os átomos são dispersos formando uma nuvem.



Fonte: Çengel e Boles (2013).

Se a mudança de fase for a pressão constante e a temperatura constante um sistema deverá absorver ou perder calor, e o calor de transformação l é definido como a razão do calor absorvido ou cedido para que a massa m sofrer uma mudança de fase.

$$l = \frac{Q}{m} \quad (4)$$

A Tabela 2 possui alguns valores de calor latente para algumas substâncias.

Tabela 2 – Calor Latente de fusão e vaporização de algumas substâncias.

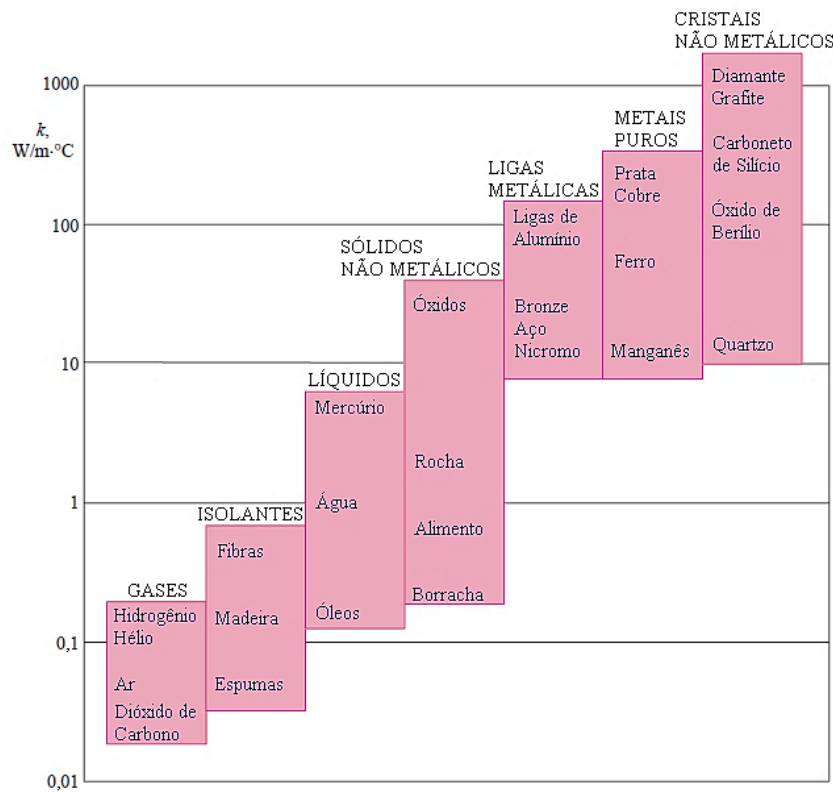
Substância	Ponto de fusão, K	Calor latente de fusão L_F , kJ/kg	Ponto de vaporização, K	Calor latente de vaporização L_V , kJ/kg
Hélio	*	*	4,216	20,9
Hidrogênio	13,84	58,6	20,26	452
Nitrogênio	63,18	25,5	77,34	201
Oxigênio	54,36	13,8	90,18	213
Etanol	159	104,2	351	854
Mercúrio	234	11,8	630	272
Água	273,15	334	373,15	2256
Chumbo	600,5	24,5	2023	871
Prata	1233,95	88,3	2466	2336
Ouro	1336,15	64,5	2933	1578
Cobre	1356	134	1460	5069

Fonte: Young e Freedman (2016). Adaptado. *É necessário aplicar uma pressão superior a 25 atm para o hélio solidificar.

2.2.3 – Condutividade Térmica

A condutividade térmica é uma propriedade de transporte que fornece a uma informação de como o calor transita nos materiais. É uma propriedade que depende da natureza do material e de que fase se encontra. Geralmente, a condutividade térmica possui altos valores nos sólidos e menores valores nos gases, e os líquidos ficando com valores intermediários. Para medir a condutividade num fluido, se faz necessário evitar o deslocamento de massa do material, tornando um processo complexo e por isso, determinar valores de condutividade para meios sólidos é mais simples. A Figura 4 mostra as faixas de valores da condutividade de materiais em várias fases da matéria.

Figura 4 – Faixa de condutividade térmica de diversos materiais em temperatura ambiente.



Fonte: Çengel e Ghajer (2012).

Nos sólidos a condução de calor é devida a basicamente aos efeitos da vibração da rede, que pode ser cristalina, formada pelos átomos dos materiais. E também pela energia transportada pelos elétrons livres (ÇENGEL; GHAJER, 2012). Geralmente a condutividade térmica pode ser determinada pelo cálculo da condução de calor numa região do material.

$$\dot{Q} = \frac{d'Q}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

Uma substância com um grande valor de condutividade é chamada de condutor térmico e com baixo valor chamada de isolante. Se a diferença de temperatura entre partes de uma substância for pequena, k pode ser considerado constante em toda substância (ZEMANSKY, 1978). Reescrevendo em termos da condutividade a equação se torna:

$$k = - \frac{\dot{Q}}{A(dT/dx)} \quad (6)$$

Para os gases a condução do calor e a determinação da condutividade térmica se dá pelo uso da teoria cinética dos gases. Em que deve ser considerado a análise estatística das moléculas dos gases a fim de determinar a energia cinética molecular através de uma superfície. Os movimentos aleatórios e as colisões das moléculas são consideradas nessa

análise, então é importante saber o livre caminho médio e a velocidade média $\bar{v} = \sqrt{8k_B T / \pi m}$ das moléculas (SEARS; SALINGER, 1979). Assim a condutividade poderá ser escrita, para um gás, como uma grandeza dependente do calor específico a volume constante dividido pelo número de Avogadro $c_V^* = c_V / N_A$, da velocidade média das moléculas \bar{v} , do livre caminho médio λ e o número de moléculas por volume n .

$$k = \frac{1}{3} n \bar{v} c_V^* \lambda \quad (7)$$

Em materiais líquidos as forças entre as moléculas são mais fracas do que nos sólidos e mais fortes do que nos gases, pois o espaço entre as moléculas se aproxima mais dos sólidos, o caminho médio livre diminui (SEARS; SALINGER, 1979).

3 – CONHECENDO OS RECURSOS DIDÁTICOS

Alguns recursos em sala de aula são já são bem comuns e já fazem parte dos sistemas de ensino, como o quadro negro que acabou se tornando branco para o uso de marcadores coloridos que substituíram o antigo giz de cera, cartazes, livro didático e algumas vezes projetores. Também está se tornando hábito o uso do computador e do *smartphone* com recurso didático ou para o auxílio do professor. Para o ensino de Física associar o computador a um simulador pode se tornar um recurso didático muito bom, um *software* simulador pode trazer um laboratório virtual para dentro da sala de aula. Essa possibilidade facilita o acesso do aluno a experiência física mesmo que de forma virtual, podendo amenizar a eventual falta de um laboratório de Física na escola.

3.1 – CONHECENDO OS SIMULADORES

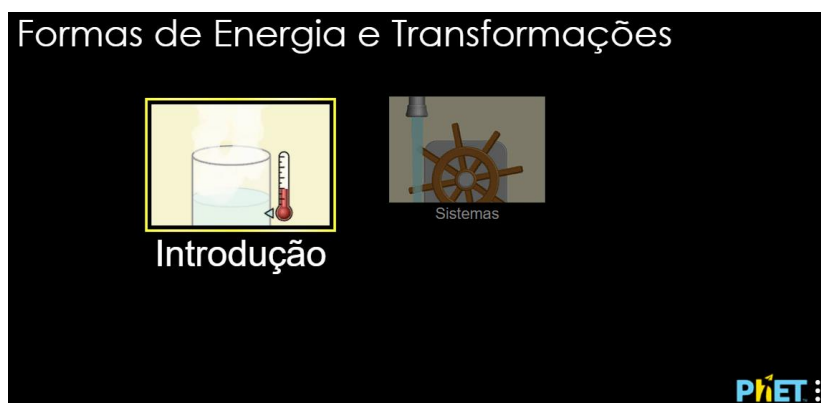
Os softwares simuladores possuem têm como principal objetivo visualizar as interações físicas, mostrando, claro, de forma virtual na tela de um computador. Sua utilização ajuda no entendimento dos conceitos físicos. Na escola o seu uso pode facilitar o aprendizado dos alunos, ajudando de forma visual, mostrando interações que até então eram somente faladas pelo professor e representadas de forma estática nas imagens dos livros didáticos. Os simuladores são: *Formas de Energia e Transformações*, *Estados da Matéria*, *Energy2D* e o *Molecular Workbench*. Que serão apresentados de forma sucinta, mas suficiente para que o leitor possa utilizá-lo de forma satisfatória. Um ponto

importante sobre esses simuladores é que todos são de licença de uso gratuito⁷, ou seja, podem ser utilizados por todos.

3.1.1 – Formas de Energia e Transformações

Este software é um simulador básico sobre as formas de energia e suas conversões, em que a ênfase está na energia térmica. O simulador é de autoria do Phet da Universidade do Colorado (BOULDER, 2013) possui uma licença de uso gratuita e está disponível na internet para uso *online* ou *offline*, sendo a versão *online* mais recente. A Figura 5 mostra a interface inicial do simulador, onde está disponível duas opções de escolha, Introdução ou Sistemas.

Figura 5- Tela inicial do simulador Formas de Energia e Transformações

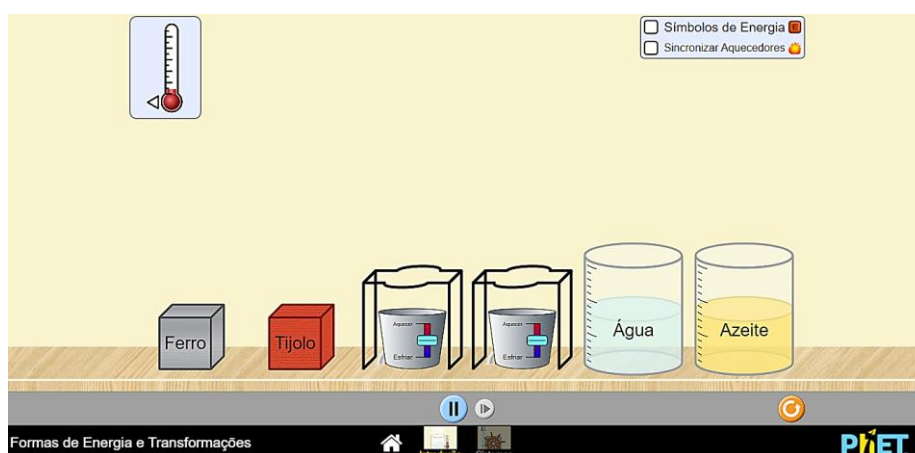


Fonte: Próprio Autor

Na opção Introdução é possível explorar o aquecimento e o resfriamento dos materiais ferro, tijolo, água e azeite. É possível “visualizar” a energia térmica fluindo nos materiais, marcando a opção Símbolos de Energia. As fontes térmicas estão abaixo dos suportes, que servem para colocar os materiais sobre eles, possuem duas configurações Aquecer e Resfriar.

⁷ Os softwares são regidos pela Licença Pública Geral (GNU) - <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>, Licença MIT - <https://opensource.org/licenses/MIT> e pela licença Creative Commons Attribution (CC-BY) - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

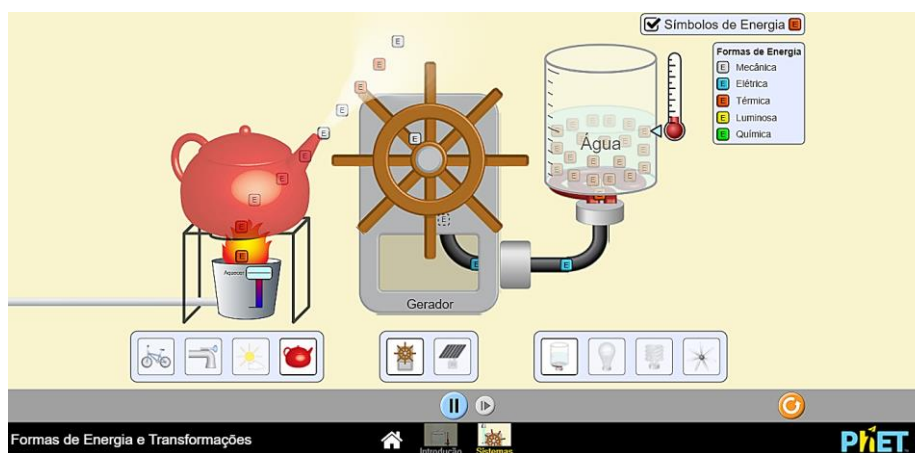
Figura 6 – Tela Introdução do simulador.



Fonte: Próprio Autor

Na opção Sistemas o simulador mostra a conversão de diversas formas de energia. Nessa parte é possível modificar a fonte de energia, o gerador e os aparelhos receptores. Há diversas opções de fontes e aparelhos receptores, é possível combinar vários. Com a opção de Símbolos de Energia ligada é possível “visualizar” os tipos de energias envolvidas na simulação, Figura 7.

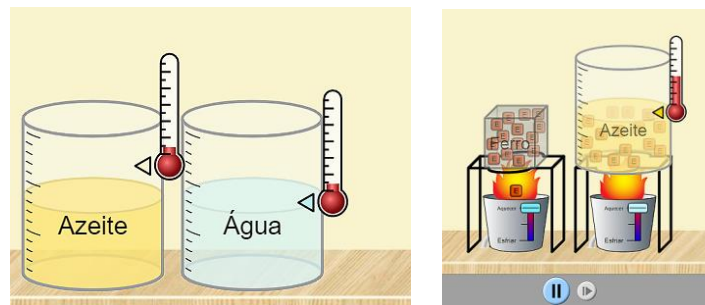
Figura 7 – Tela Sistemas do simulador



Fonte: Próprio Autor

Voltando à tela de Introdução é possível manipular os materiais e medir, de forma estimada, suas temperaturas sem uso de unidade de medida. Para esse fim, basta anexar um termômetro ao material que queira medir a temperatura. É importante que a ponta triangular na base do termômetro fique da mesma cor do material, caso contrário o termômetro não medirá a temperatura do material.

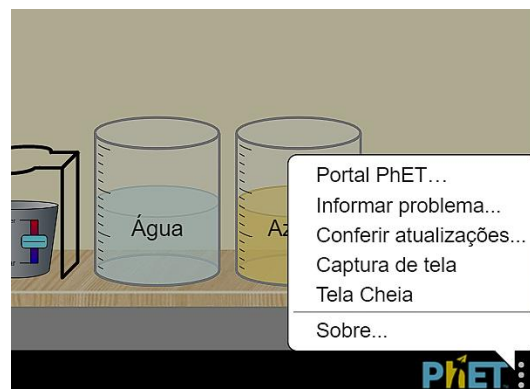
Figura 8 – Materiais com termômetro anexado.



Fonte: Próprio Autor

Para adicionar um termômetro em qualquer material basta arrastá-lo do canto superior esquerdo com o ponteiro do *mouse* e colocar sobre o material desejado. O simulador possui um menu de configurações no canto inferior direito, Figura 9, nesse menu é possível verificar atualizações, colocar em tela cheia, ir para o site do desenvolvedor e a opção sobre.

Figura 9 – Menu de configuração do Simulador



Fonte: Próprio Autor

As configurações do simulador são simples e é voltado para o usuário iniciante, podendo ser utilizado por professores e alunos.

3.1.2 – Estados da Matéria

Este software, como o anterior, também é de autoria do Phet da Universidade do Colorado (BOULDER, 2012) e também é um simulador de configurações básicas, destinado a usuário final. Esse simulador não tem a necessidade de configurações complexas para o seu funcionamento, e como o nome dele sugere, é um software voltado

para simular as mudanças de estado físico da matéria. Na tela inicial é possível escolher entre Estados e Mudança de Fase, Figura 10.

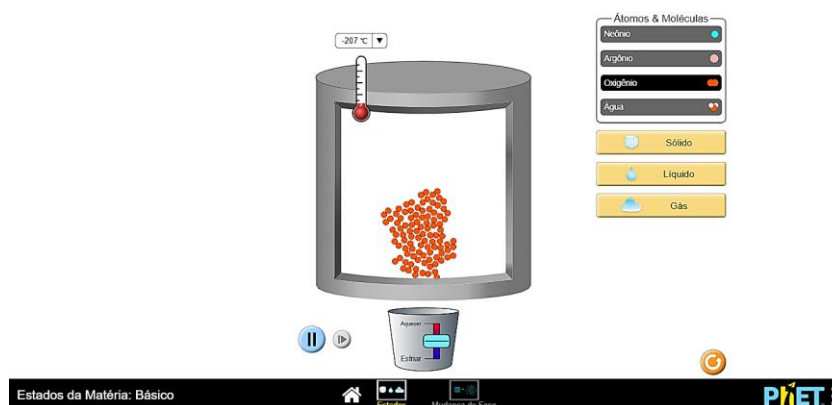
Figura 10 – Tela inicial do simulador Estados da Matéria



Fonte: Próprio Autor

Selecionando a opção Estados o simulador irá mostrar a tela da Figura 11 onde é possível selecionar a substância que se deseja visualizar o estado físico entre elas estão: Neônio, Argônio, Oxigênio e Água. A simulação dos estados físicos acontece a nível molecular como é mostrado na Figura 11. Inicialmente deve-se escolher a substância e o estado físico desejado (sólido, líquido e gasoso) para visualizar, veja que é possível modificar a escala de temperatura. Outro modo de interação é provocar a mudança de fase com o aumento da temperatura, que pode ser aquecendo ou esfriando através do controle localizado na fonte térmica.

Figura 11 – Tela Estados no simulador.



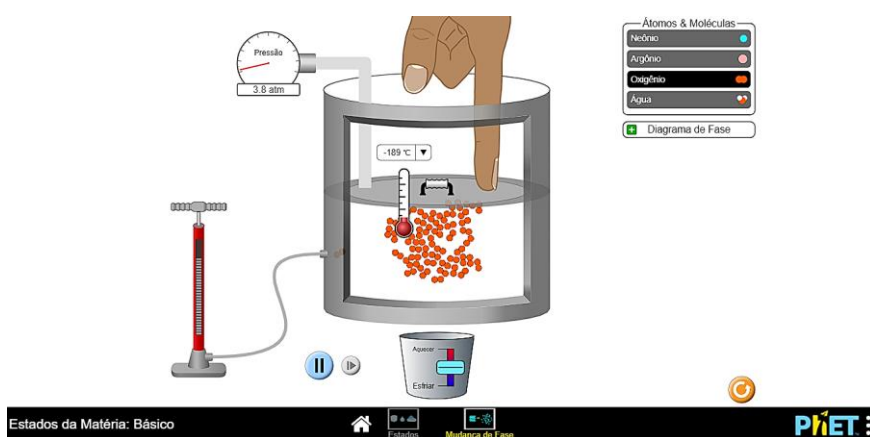
Fonte: Próprio Autor

Ao mudar a temperatura, aquecendo ou esfriando, é possível visualizar o comportamento molecular ao passar de um estado para outro. É importante ficar atento a

mudança de volume das substâncias ao mudar de fase, lembrando que a água possui uma irregularidade ao passar para o estado sólido, aumentando de volume ao invés de diminuir como ocorre nas outras substâncias. Durante a simulação as moléculas possuem um movimento rápido, dependendo da fase, e para ajudar na visualização em alguns casos é possível pausar a simulação, com o uso do botão Pause de cor azul localizado próximo a fonte térmica.

Na segunda parte do simulado, a tela Mudança de Fase, é adicionado a duas novas variáveis a pressão e a quantidade de moléculas. Nessa parte é possível modificar a pressão para visualizar a mudança de fase da matéria movimentando a pampa do recipiente para cima ou para baixo, para diminuir ou aumentar a pressão (ver Figura 12). A seleção da substância continua disponível podendo ser modificada a qualquer momento. Outra parte importante é a disponibilidade do diagrama de fase, que conforme a pressão, volume, temperatura ou número de moléculas se modificam o diagrama indica qual a fase correspondente.

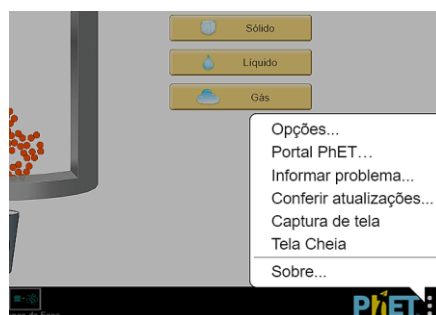
Figura 12 – Tela Mudança de Fase no simulador



Fonte: Próprio Autor

O software possui o menu de opções, bem simplificado, como mostrado da Figura 13. Nele é possível modificar a cor de fundo do simulador entre preto e branco, colocar em tela cheia, informações sobre o software e verificar as atualizações.

Figura 13 – Menu de configurações do simulador



Fonte: Próprio Autor

De modo geral o software é de simples configuração, basicamente ligar e usar sem a necessidade de configurações complicadas e não há a necessidade de construir um modelo, já está pronto. É um simulador que pode ser usado por professores e alunos, sem que haja problemas em seu entendimento.

3.1.3 – Energy2D

Este simulador pode ser considerado de uso intermediário para avançado, é bastante completo. Seu foco está no calor, tratando-o de forma contínua. O *software* possui uma interface simples possuindo um grande espaço para a inserção de objetos, termômetros, sensores de calor e gráficos. Lembrando que o *software* está na língua inglesa, não é um grande empecilho pois os termos são de fácil tradução. A Figura 14 mostra a tela inicial do *Energy2D* (XIE, 2020), bem limpa ou minimalista. As configurações e os itens para serem inseridos estão dispostos no menu superior e nos botões logo abaixo, menu clássico em softwares de computadores. Os objetos que farão parte da simulação como blocos, anéis, círculos, polígonos, partículas, ventilador, árvore e nuvem são inseridos pelos botões abaixo do menu ou pela opção *Insert* no menu. Já na parte inferior o simulador possui o controle de iniciar a simulação (*Run*), um para parar (*Stop*), um para reiniciar (*Reset*) e outro para recarregar a simulação salva (*Reload*).

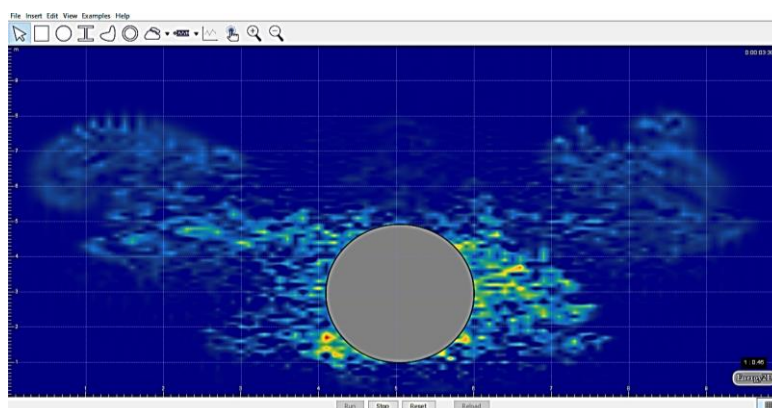
Figura 14 – Tela inicial do simulador Energy2D



Fonte: Próprio Autor

A partir do momento em que um objeto é inserido já pode começar a simulação. Por padrão o ambiente em que os objetos são inseridos possuem e configuração do ar, ou seja, os parâmetros estão configurados com informações do ar. Qualquer objeto, nesse início, aquecido se comportará como na Figura 15.

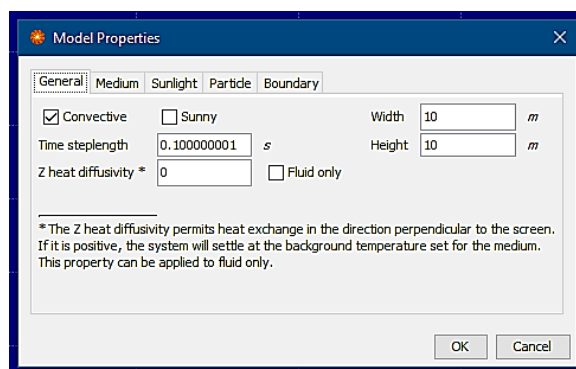
Figura 15 – Simulação de um objeto esférico



Fonte: Próprio Autor

Para ajustar as propriedades do ambiente e como os objetos devem se comportar basta clicar com o botão direito do *mouse* na tela azul e depois em *Properties*, Figura 16. Nessa janela o ambiente pode ser configurado para se comportar como um fluido ou não. Também é possível considerar a incidência solar no ambiente, na opção *Sunlight* pode ser modificada as configurações sobre os raios solares. Na aba *Medium* é possível configurar as propriedades térmicas do ambiente, como temperatura, condutividade, calor específico, densidade, entre outros.

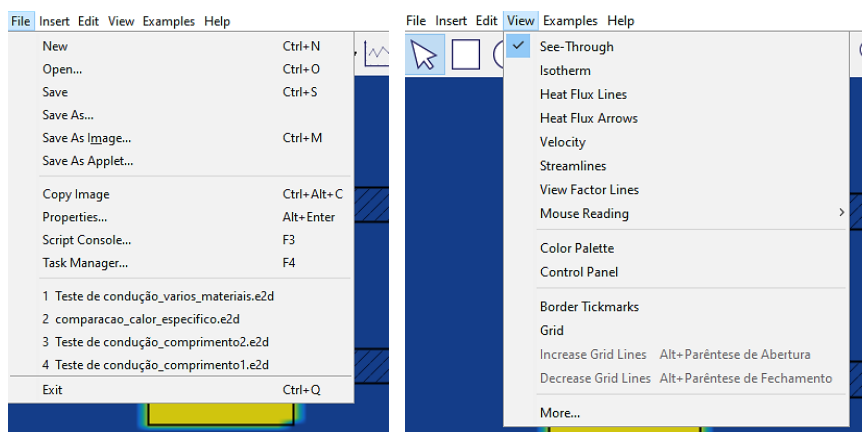
Figura 16 – Propriedades do modelo



Fonte: Próprio Autor

No menu superior, com as opções quase que padrões nos softwares, possui o item *File, Insert, Edit, View, Examples e Help*. A Figura 17 mostra o menu superior do software, com atenção especial para o *View*, nele é possível modificar a visualização do calor nos corpos. Entre as visualizações estão as Isotermas, Linhas de calor, Flexas de calor e Velocidade. Essas visualizações ajudam a compreender como o calor flui nos corpos.

Figura 17 – Menu principal do simulador



Fonte: Próprio Autor

A barra de inserção de itens (botões) logo abaixo do menu fornece mais opções do que o menu *Insert*. A opção seta do *mouse* serve para marcar, arrastar, selecionar e visualizar as configurações dos objetos colocados no ambiente (tela azul), Figura 18. Os outros botões servem para adicionar objetos ao ambiente como o retângulo, a elipse, polígono, bolha e o anel.

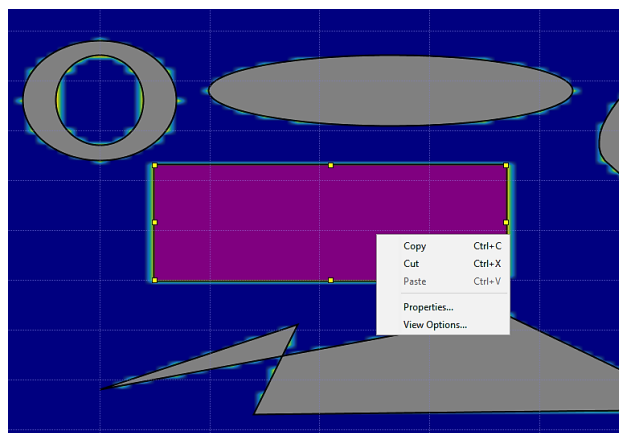
Figura 18 – Barra de inserção de itens



Fonte: Próprio Autor

Esses objetos após inseridos no ambiente de simulação podem ter suas propriedades modificadas, basta um clique com o botão direito do *mouse* sobre o objeto para ter acesso ao menu, Figura 19.

Figura 19 – Menu de um objeto no ambiente do simulador

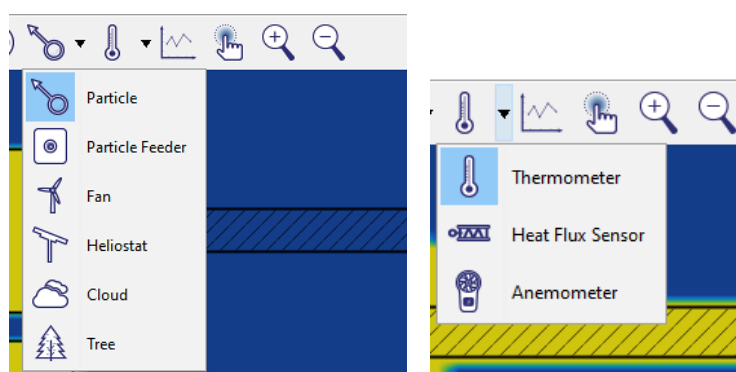


Fonte: Próprio Autor

Na opção *View Options* é possível mudar a cor do objeto, torna-lo visível ou transparente e pode ser bloqueado em uma posição. Na opção *Properties* é possível modificar as propriedades térmicas do objeto como calor específico, condutividade e temperatura. Também é possível colocar o objeto como uma fonte térmica.

A Figura 20 mostra os subitens da barra de inserção, esses subitens podem ser adicionados ao ambiente de simulação, o primeiro insere partículas, nuvens, ventilador, árvore e espelho refletor solar. O segundo subitem insere os sensores, termômetro, anemômetro e fluxo de calor.

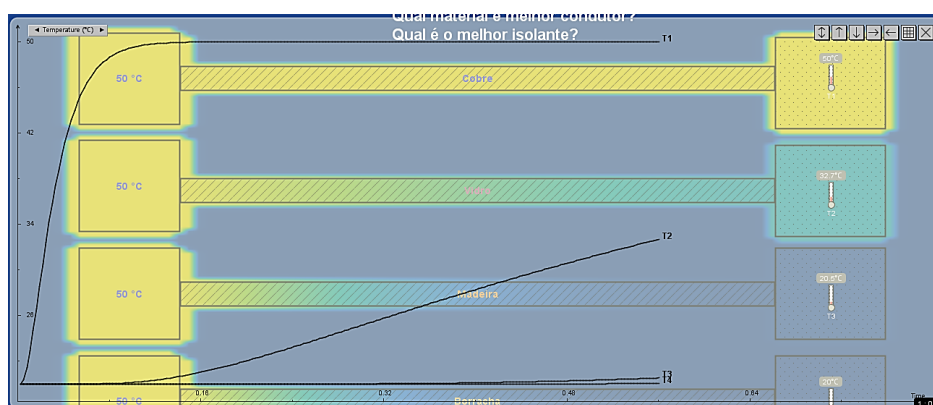
Figura 20 – Barra de inserção de itens, subitens



Fonte: Próprio Autor

O subitem que possui um símbolo de um plano cartesiano serve para mostrar o comportamento gráfico medido pelos sensores, termômetro, anemômetro e fluxo de calor. O gráfico é obtido na tela em tempo real, no momento da simulação (ver Figura 21).

Figura 21 – Gráfico de aquecimento para quatro substâncias



Fonte: Próprio Autor

3.1.4 – Molecular Workbench

Este *software* é um simulador avançado, possui vários recursos e é configurável. Ele é voltado para as interações moleculares, pode ser usado para diversos ramos da ciência como, Física, Química e Biologia. O *Molecular Workbench* possui duas versões, uma *online* e outra *offline*, a diferença está no conteúdo mais recente da versão *online* (XIE, 2014). A Figura 22 mostra a tela inicial do simulador, onde possui as opções de Começando (*Getting Started*), Livraria de Modelos (*Library of Models*) e Centro de Atividades (*Activity Center*). Também possui uma lista rápida de alguns modelos disponíveis.

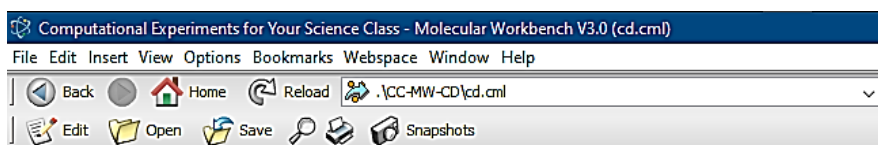
Figura 22 – Tela inicial do simulador Molecular Workbench



Fonte: Próprio Autor

No menu principal estão localizadas as opções *File*, *Edit*, *Insert*, *View*, *Options*, *Bookmarks*, *Webspaces*, *Window* e *Help*. Opções comumente utilizadas em programas de computadores, Figura 23.

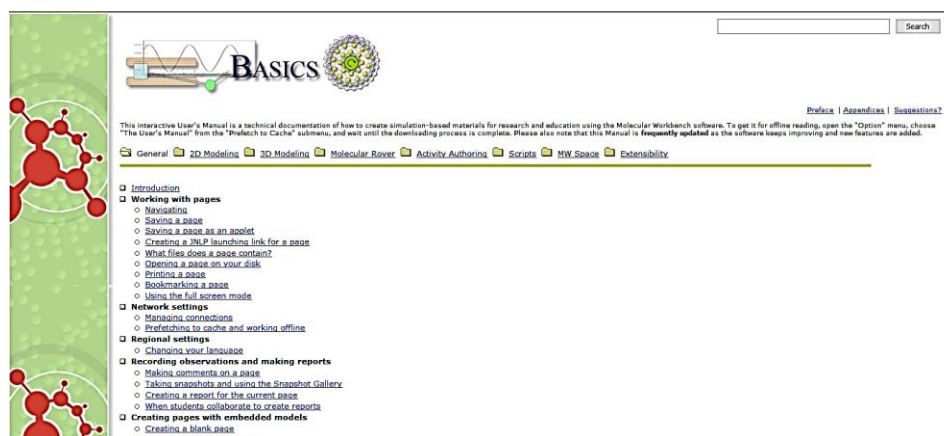
Figura 23 – Menu principal do simulador, barra de navegação e barra de edição



Fonte: Próprio Autor

Na opção *começando* na tela inicial é possível visualizar o manual de operações do *software*, é possível notar que é bastante extenso, com vários passos, é um *software* bastante completo e complexo (ver Figura 24). O manual orienta desde as questões mais gerais de configuração até as modelagens em 3D, ele utiliza vários exemplos para mostrar as funções.

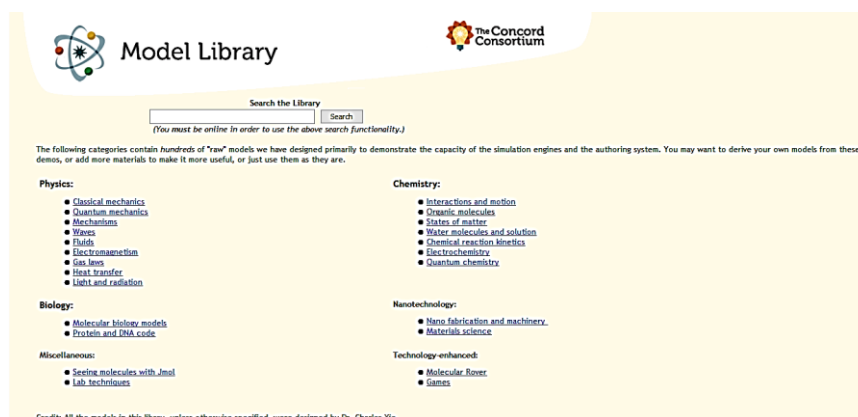
Figura 24 – Tela do manual de operações do simulador



Fonte: Próprio Autor

A segunda opção na tela inicial, a Livraria de Modelos, como o nome sugere possui uma grande quantidade de modelos prontos para o uso pelo professor, Figura 25. Os modelos disponíveis estão separados pelo ramo da ciência que ele se encaixa como Física, Química, Biologia e Nanotecnologia. É possível observar que o tópico de Física possui uma grande quantidade de assuntos abordados, que servem para vários níveis de ensino.

Figura 25 – Tela da Livraria de Modelos



Fonte: Próprio Autor

Abrindo um dos tópicos é possível ver as várias simulações disponíveis, que podem ser usadas pelo professor, já estão prontas e podem ser modificadas de acordo com a necessidade (ver Figura 26).

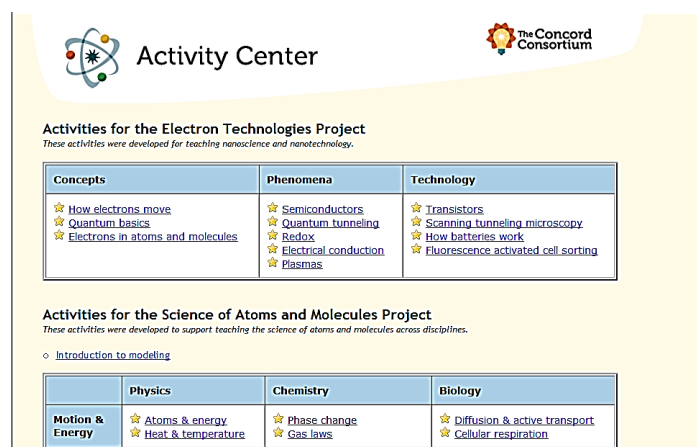
Figura 26 – Tópico Transferência de Calor



Fonte: Próprio Autor

Na terceira opção da tela inicial, *Activity Center*, Centro de Atividades é possível navegar por várias atividades prontas de várias áreas de conhecimento, Figura 27. Após a escolha do tema é possível modifica-lo.

Figura 27 – Centro de atividades do simulador



Fonte: Próprio Autor

A Figura 28 mostra o tema *Phase change* (mudança de fase), já traduzido, ele é separado por tópicos onde podem ser explorados com uso do *mouse*. Os tópicos são sequenciais com uma barra de navegação numérica, uma configuração padrão das atividades.

Figura 28 – Tópico mudança de fase no centro de atividades.

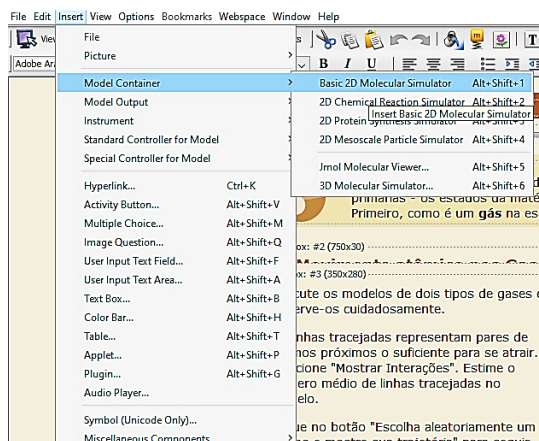


Fonte: Próprio Autor

Para realizar a edição de qualquer parte da atividade como no texto, nas imagens ou nas simulações basta ativar a edição na barra de tarefas (ver Figura 23). Com esse modo ativado é possível realizar as modificações e posteriormente salvar as modificações.

Após habilitar a edição a barra de tarefas irá modificar para a barra de edição, aparecendo os botões de inserção de imagens, texto e simulação. A Figura 29 mostra, no menu principal, a opção *Insert* que contém todos os itens para ser inserido.

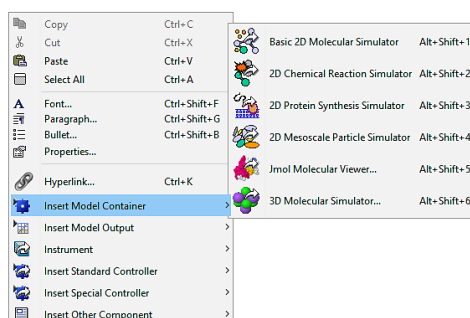
Figura 29 – Opção Insert do Menu principal.



Fonte: Próprio Autor

Também é possível inserir objetos, modelos 2D ou 3D utilizando o botão direito do *mouse* clicando na área de trabalho do simulador (ver Figura 30). Nesse menu também é possível modificar a cor de fundo da área de trabalho, o tipo de fonte e cor, parágrafo e marcadores de texto.

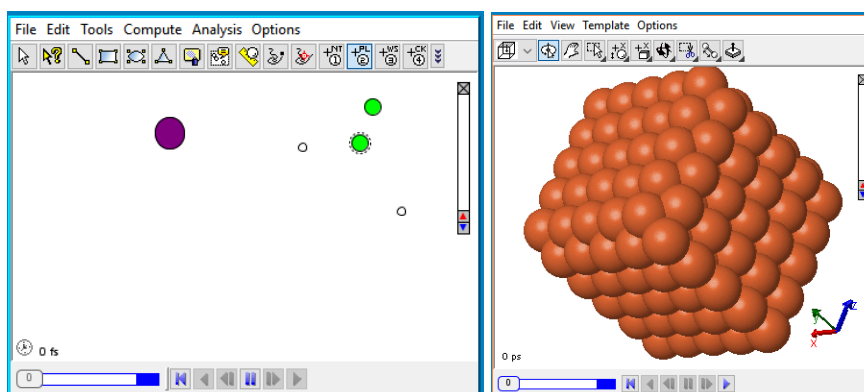
Figura 30 - Menu na área de trabalho do simulador



Fonte: Próprio Autor

Para os modelos 2D e 3D de interação molecular existe uma caixa onde ocorrem as interações. Na Figura 31, a esquerda o modelo 2D e a direita o modelo 3D ambos inseridos na área de trabalho do simulador. A caixa da simulação possui um menu próprio com várias opções, desde inserir moléculas, modificar a visualização, modificar as interações, adicionar campo elétrico, gravitacional, entre outras opções.

Figura 31 – Modelos de interação 2D e 3D



Fonte: Próprio Autor

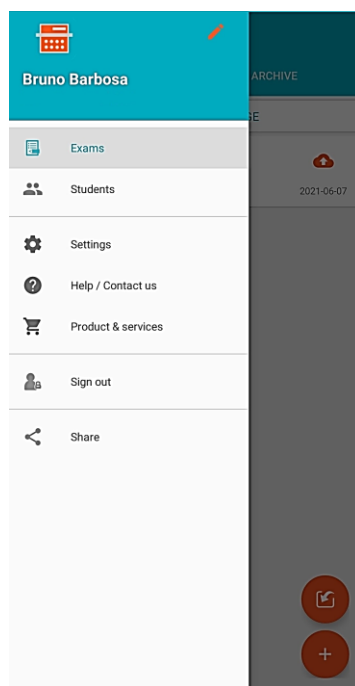
Os controles e os modelos de saída ou medição também podem ser inseridos pelo menu na área de trabalho. Existem vários tipos de controles para os modelos como controle deslizante, botão de ação, caixa de checagem e outros.

O *Molecular Workbench* é um simulador com uma infinidade de opções e configurações, bastante completo e complexo. Possui uma vasta aplicação, é aconselhável navegar pelo manual do simulador para familiarizar com os comandos e configurações, assim como nos modelos prontos.

3.2 – SOFTWARE PARA OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

Ao aplicar qualquer teste objetivo com alternativas para assinalar o professor se depara com a necessidade de criar um mecanismo para adquirir as respostas dos alunos, que pode ser de forma manual ou automatizada. Na forma manual o professor corrige cada teste de forma individual e atribui a sua pontuação, isso demanda muito tempo e trabalho, o que pode ser inviável em algumas situações quando o professor possui um grande número de turmas. Uma forma de otimizar a aquisição de respostas dos alunos é a automatização do processo ou parte dele. Nos dias atuais é possível utilizar um computador para esse fim ou até mesmo um *smartphone*. Existem várias soluções, *softwares*, para esse fim, alguns de licença gratuita e outros de licença proprietária com custos para uso. Dentre os aplicativos destaca-se o *EvalBee* (LABS, 2021) que é gratuito e de fácil manipulação.

Figura 32 – Tela inicial do aplicativo EvalBee.

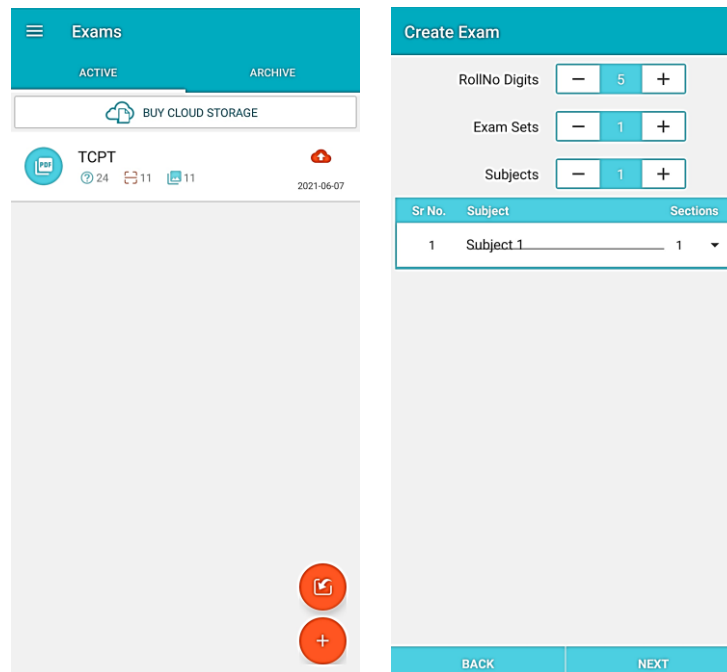


Fonte: Próprio Autor

No aplicativo *EvalBee* a seção *Exams* é o local onde é possível criar um cartão resposta de forma personalizada, para correção de testes objetivos. Na opção adicionar é iniciado o processo de criação, primeiramente deve ser escolhido o número de dígitos do número de registro, matrícula ou um número que possa identificar o aluno. Depois deve

ser escolhido se o teste possui tipos diferentes itens e sendo possível separá-los no teste por assuntos se for necessário.

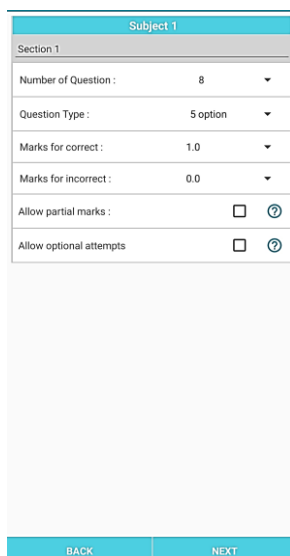
Figura 33 – Seção Exams no aplicativo. A esquerda é a tela para inserir novo teste, a direita é a tela de criação do teste.



Fonte: Próprio Autor

Avançando, após a escolha da quantidade de seções do cartão resposta, cada seção pode ter uma quantidade e tipo de alternativas diferentes, também é possível atribuir a pontuação para cada alternativa correta, assim como descontar uma pontuação para cada alternativa incorreta. Também há a possibilidade de atribuir a pontuação para a marcação parcial em que o aluno pode marcar a alternativa errada e a correta, em que a correta será corrigida e a errada não será levada em consideração.

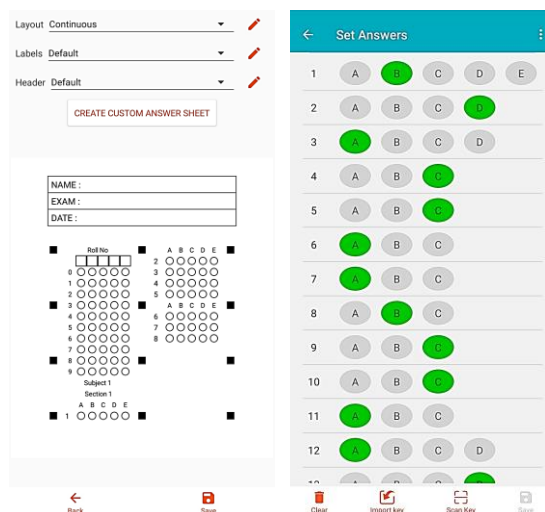
Figura 34 – Tela de adição de itens do teste, mudança no número de alternativas e pontuação.



Fonte: Próprio Autor

Na próxima tela já é possível visualizar o cartão resposta, nessa parte é possível modificar o *layout*, colocando informações sobre o teste, editando os campos para adicionar o nome do aluno, nome da escola ou informações pertinentes. Após a conclusão desses ajustes é a hora de salvar o cartão resposta na opção *Save*. Depois de salvo o cartão resposta do teste ficará disponível em *Exams*, onde é possível alterar ou adicionar a chave de correção (*Key*).

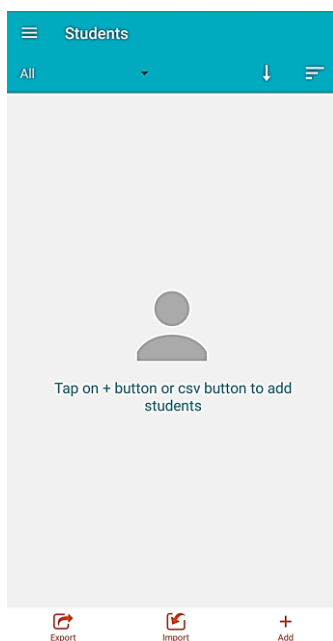
Figura 35 – A esquerda é a tela de edição do layout do cartão resposta. A direita é a chave de correção do cartão.



Fonte: Próprio Autor

Na seção *Students* é possível adicionar uma lista de alunos e identifica-los por número de registro ou matrícula, também é possível importar uma lista de um arquivo no formato *cvs* ou exportar uma lista dos alunos, conforme a Figura 36.

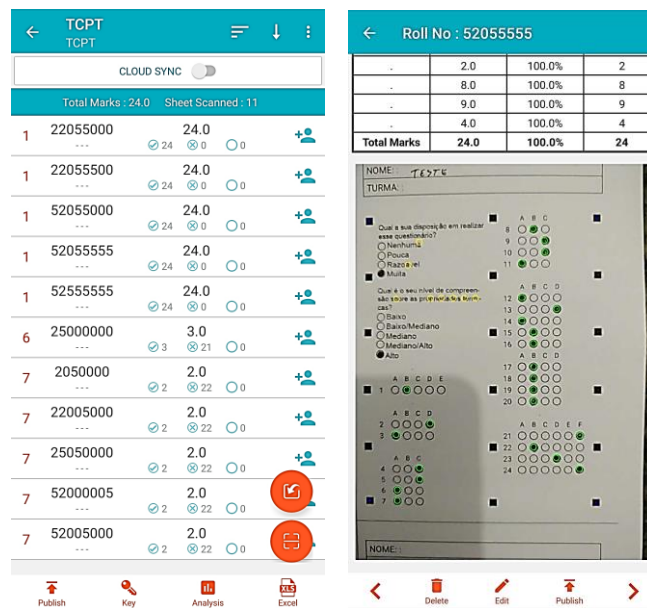
Figura 36 – Seção Students. As opções de criar, importar e exportar alunos estão nos botões na parte inferior.



Fonte: Próprio Autor

Para iniciar a correção de um cartão resposta, já impresso e preenchido pelo aluno respondente, basta iniciar a captura no botão de captura [--]. A correção ocorre de forma automática, bastando o usuário do aplicativo mirar as marcações do cartão resposta nas respectivas posições na câmera do *smartfone*. Conforme a correção ocorre o aplicativo lista os alunos com suas respostas e caso um aluno não esteja na lista ele poderá ser adicionado nesse momento a opção adicionar aluno.

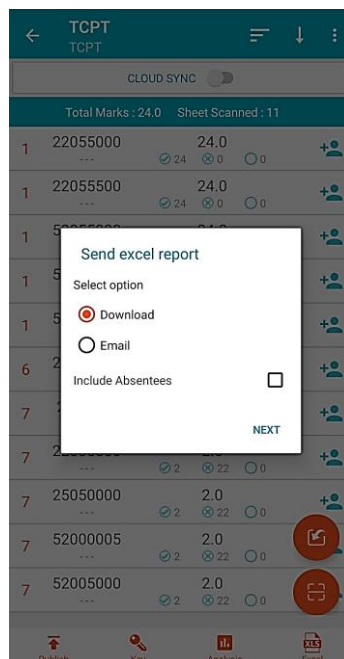
Figura 37 – A esquerda a tela para a captura e correção do cartão resposta, com a lista de cartões corrigidos. A direita a tela de uma correção.



Fonte: Próprio Autor

Após a correção é possível exportar todos os resultados para um arquivo no formato *xls* em planilha, que pode ser editado em vários *softwares*.

Figura 38 – Tela de captura das respostas com a opção exportar ativada. É possível salvar o arquivo *xls* no smartfone ou enviar por e-mail



Fonte: Próprio Autor

Com as informações das correções coletadas e colocadas na planilha a manipulação fica muito mais fácil. Com essa base de dados é possível realizar diversas análises, desde uma simples porcentagem de acertos até análises mais complexas. Com o uso de um editor de planilhas é possível manipular os dados obtidos em um programa editor, Figura 39.

Figura 39 – Programa editor de planilha, MS Excel

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	Q.1 Optioi	Q.1 Key	Q.1 Marks	Q.2 Optioi	Q.2 Key	Q.2 Marks	Q.3 Optioi	Q.3 Key	Q.3 Marks	Q.4 Optioi	Q.4 Key	Q.4 Marks	Q.5 Optioi	Q.5 Key	Q.5 Marks
2	B	B	1.0	D	D	1.0	A	A	1.0	C	C	1.0	C	C	1.0
3	B	B	1.0	D	D	1.0	A	A	1.0	C	C	1.0	C	C	1.0
4	B	B	1.0	D	D	1.0	A	A	1.0	C	C	1.0	C	C	1.0
5	B	B	1.0	D	D	1.0	A	A	1.0	C	C	1.0	C	C	1.0
6	B	B	1.0	D	D	1.0	A	A	1.0	C	C	1.0	C	C	1.0
7	D	B	0.0	C	D	0.0	C	A	0.0	B	C	0.0	A	C	0.0
8	B, E	B	0.0	B	D	0.0	D	A	0.0	A	C	0.0	B	C	0.0
9	B, E	B	0.0	B	D	0.0	D	A	0.0	A	C	0.0	B	C	0.0
10	B, E	B	0.0	B	D	0.0	D	A	0.0	A	C	0.0	B	C	0.0
11	B, E	B	0.0	B	D	0.0	D	A	0.0	A	C	0.0	B	C	0.0
12	B, E	B	0.0	B	D	0.0	D	A	0.0	A	C	0.0	B	C	0.0
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															

Fonte: Próprio Autor

O aplicativo *EvalBee* é um grande facilitador na aquisição de dados e pode ser utilizado por qualquer professor, de qualquer área que deseje realizar um teste objetivo.

4 – OS TESTES CONCEITUAIS

Uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) possui vários elementos, entre eles estão as formas de verificar a aprendizagem. As avaliações ou testes devem ser formativos, afim de verificar se os alunos estão aprendendo os conceitos, termos ou noções científicas. Para este fim nos subtópicos a seguir são apresentados dois instrumentos para verificar a aprendizagem, os dois explorando os conceitos físicos.

Por primeiro o Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas que está disponível no Anexo 1, que é um teste objetivo compilado de vários outros. Logo em seguida o Teste Pictórico sobre as Fases da Matéria e suas Mudanças que traz o desenho como forma de verificar a aprendizagem que está disponível no Apêndice 1.

4.1 – TESTE SOBRE A COMPREENSÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS - TCPT

O teste é uma composição de outros testes conceituais já aplicados em outros trabalhos, também possui uma questão de um livro didático. Esse teste tem como objetivo mapear os conceitos sobre as propriedades térmicas, ou seja, mapear os subsunçores e nortear quais habilidades e competências são mais deficientes. A opção de compor o Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT) de outros testes já existentes atribui maior credibilidade, visto que já possuem pesquisas relevantes.

O TCPT possui 24 questões ou itens numerados de 1 a 24. Quando é identificado pelo item foi atribuído a letra Q, indo de Q1 a Q24. A composição está disposta na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)

Nome do teste ou livro	Número do item
Thermodynamic Concept Survey - TCS	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 12
Thermal Concept Evaluation - TCE	1, 14, 15, 16, 17, 18 e 19
Heat and Temperature Conceptual Evaluation - HTCE	13, 21, 22, 23 e 24
Bonjorno, José R. Física: terminologia, óptica e ondulatória	20
Barbosa, José Bruno S.	9, 10 e 11

Fonte: Próprio Autor

Os testes conceituais estão disponíveis em *PhysPort (Supporting Physics Teaching With Research-Based Resources)* desenvolvido pela Associação Americana de Professores de Física (AAPT⁸), disponível para qualquer pesquisador da área em www.physport.org os demais itens foram retirados de um livro didático e de autoria própria.

O teste *Thermodynamic Concept Survey – TCS* foi primeiramente desenvolvido por Pornrat Wattanakasiwich, Preeda Taleab, Manjula Devi Sharma, e Ian D. Johnston com os resultados publicados no *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education* em 2013 (WATTANAKASIWICH et al., 2013). O *TCE - Thermal Concept Evaluation* é um teste desenvolvido por Shelley Yeo e Marjan Zadnik com os seus resultados publicado em *The Physics Teacher* em 2001 (YEO; ZADNIK, 2001), também com outros resultados publicado no *International Journal of Science Education* em 2012 (CHU et al., 2012) e explorado profundamente na tese de doutorado de Braga (2018). Já o teste *Heat and Temperature Conceptual Evaluation – HTCE* foi

⁸ American Association of Physics Teachers. Disponível em <https://www.aapt.org/>

desenvolvido por Ron Thornton e David Sokoloff tendo os seus resultados publicado em *Australian Institute of Physics 17th National Congress* em 2006 (TANAHOUNG et al., 2006). O livro do autor Bonjorno (2016) é habitualmente utilizado pela rede estadual de educação, fazendo parte do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2018. Os itens de própria autoria exploram, como os outros, os conceitos térmicos, sendo elaborados com ênfase na mudança de fase da matéria entre o estado sólido e o gasoso, uma lacuna que estava presente nos outros testes.

Para efetuar uma análise mais criteriosa do teste é necessário estabelecer as concepções conceituais de cada item. As concepções estão listadas na Tabela 4 e é possível observar que o teste engloba diversos conceitos, e um item pode estar contido em mais de um conceito.

Tabela 4 – Concepções dos itens do Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCPT)

Concepção	Número do item
Calor e Temperatura	1, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, e 19
Condutividade Térmica	1, 2, 3, 9, 13 e 16
Calor Específico	2, 3 e 9
Equilíbrio Térmico	1, 14 e 20
Pressão	4, 5, 7 e 12
Volume	8 e 20
Calor Latente	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24

Fonte: Próprio Autor

A aplicação do teste pode ser realizada em sala de aula ou remotamente (*online*). Quando aplicado em sala é aconselhado ser impresso e com cartão resposta (ver Apêndice 1) para facilitar a correção. O processo de correção do cartão resposta pode ser otimizado com o uso de um *software* de correção, o aconselhado é o *EvalBee* (LABS, 2021) que possui a facilidade na organização e geração do cartão resposta.

4.2 – TESTE PICTÓRICO SOBRE AS FASES DA MATÉRIA E SUAS MUDANÇAS

O teste pictórico foi construído com o propósito de perceber qualitativamente como o aluno externaliza as suas ideias, sua visão a respeito da estrutura molecular dos materiais. O tipo de modelo mental que possui uma maior expectativa como respostas é o dinâmico, em que deve existir uma relação entre as imagens apresentadas. O aluno

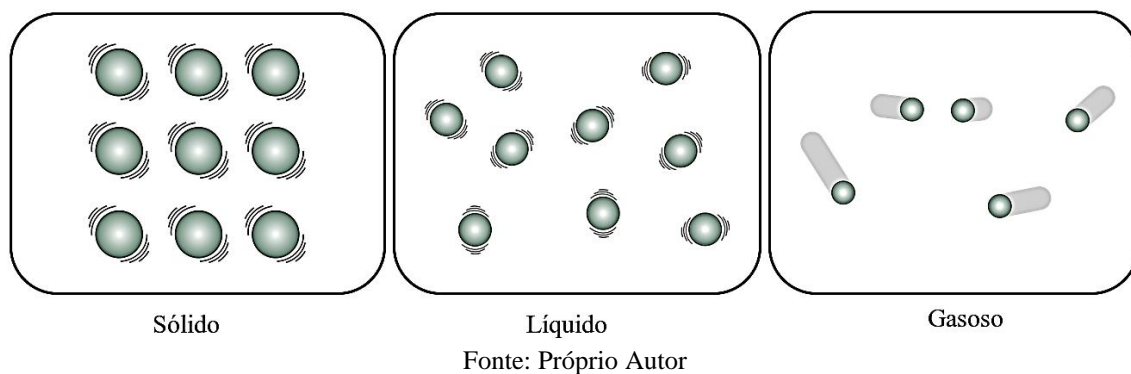
tenderá a adicionar movimento as moléculas, representando uma mudança, uma continuidade.

O teste está dividido em duas partes: a primeira com ênfase nos estados físicos da matéria e a segunda parte com ênfase na mudança de fase da matéria, e cada parte possui dois itens. O teste está disponível para aplicação no Apêndice 2, sendo descrito a seguir.

4.2.1 – Primeira Parte

O item A do teste solicita que o aluno represente as moléculas de água, na forma de um desenho, nos três estados físicos da matéria. O desenho deve representar as moléculas de água. A Figura 40 representa a expectativa de resposta.

Figura 40 – Expectativa de resposta do item A na primeira parte

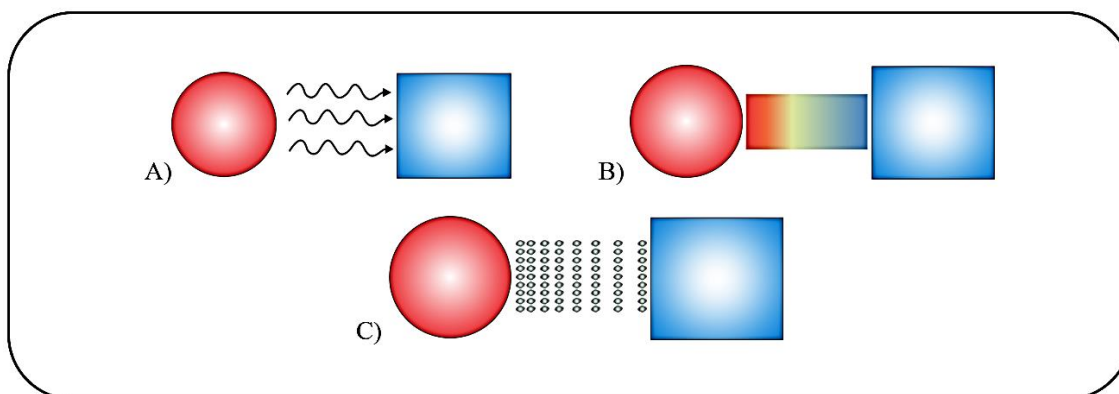


Para o estado sólido é esperado que o aluno represente as moléculas por esferas ou bolas e que as distâncias entre elas sejam pequenas. Também é esperado que o aluno represente a pequena vibração molecular de alguma forma.

Para o líquido o desenho esperado é com um maior distanciamento entre as moléculas e uma representação de movimentação. Também é esperado que o distanciamento não seja regular, o que deve mostrar uma mudança da posição das moléculas. No estado gasoso o desenho esperado deve conter as moléculas mais espaçadas do que nos líquidos e de forma irregular, também deve conter uma identificação do aumento de velocidade de translação das moléculas.

O item B do teste solicita que o aluno represente, na forma de um desenho, o calor entre dois corpos. A Figura 41 mostra a expectativa do desenho que o aluno deve fazer.

Figura 41 – Expectativa de resposta do item B na primeira parte



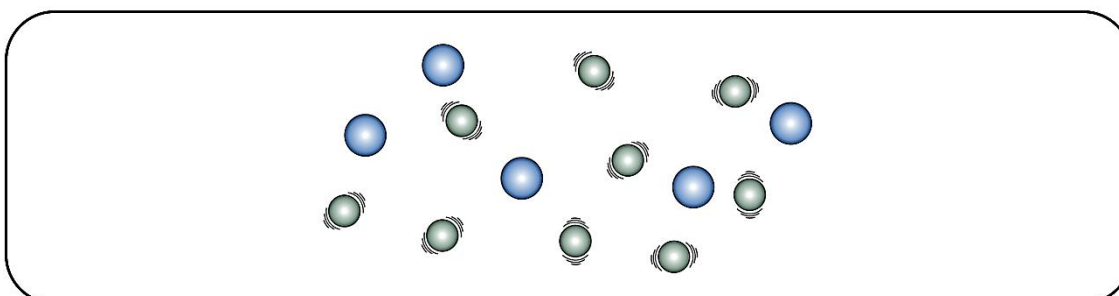
Fonte: Próprio Autor

Para a representação do calor é esperado que o aluno represente por setas retas ou onduladas, podendo fazer uma relação às ondas (A). Também pode representar por uma forma contínua (B), de tal forma que represente o quente por uma cor mais intensa e o frio por uma cor mais clara. Outra representação pode ser por meio de partículas, o aluno pode representar o aquecimento das moléculas de ar ao redor do objeto quente e essas moléculas levam a energia térmica para o objeto frio (C). Quanto à forma dos corpos e a identificação fica a critério do aluno, talvez ele os identifique com números, letras ou indique o quente e o frio.

4.2.2 – Segunda Parte

No primeiro item é pedido o desenho da mistura de água no estado líquido e cloreto de sódio, o sal de cozinha.

Figura 42 – Expectativa de resposta do item A na segunda parte

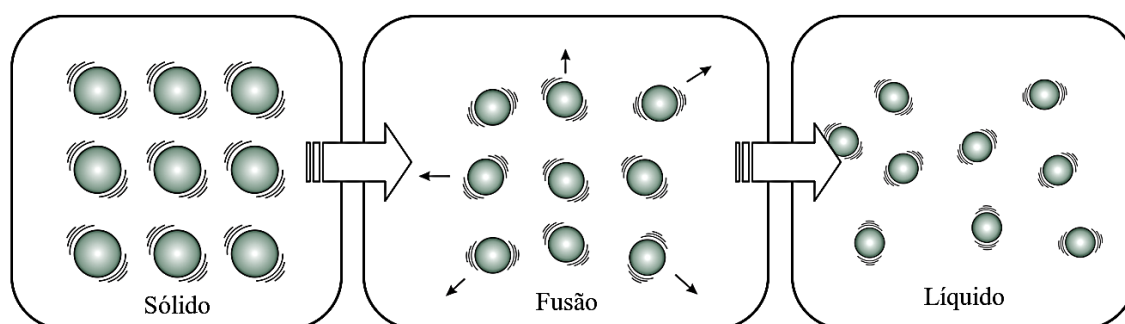


Fonte: Próprio Autor

Para esse desenho é esperado que o aluno represente a mistura de duas substâncias com esferas maiores e menores, sem esquecer do maior espaçamento entre elas, com uma certa desordem. Ele também pode desenhar a água e o cloreto de sódio como um grupo de átomos diferentes, trazendo um modelo mais realista.

Para o segundo item a representação deve ser um pouco mais elaborada. O aluno deve representar os estados físicos iniciais e finais, desenhando também o processo de mudança de fase. É esperado que o aluno indique a mudança de fase de alguma forma, usando algum desenho que indique o afastamento molecular, o desenho provável para esse fim é o uso de setas indicativas.

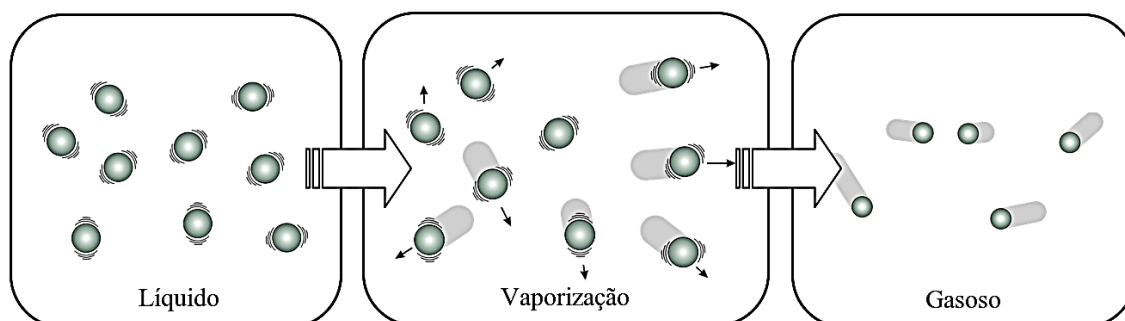
Figura 43 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Sólido, fusão e líquido



Fonte: Próprio Autor

É esperado que o aluno diferencie os estados físicos pelo distanciamento das moléculas, que ele perceba que a mudança de fase modifica o distanciamento molecular.

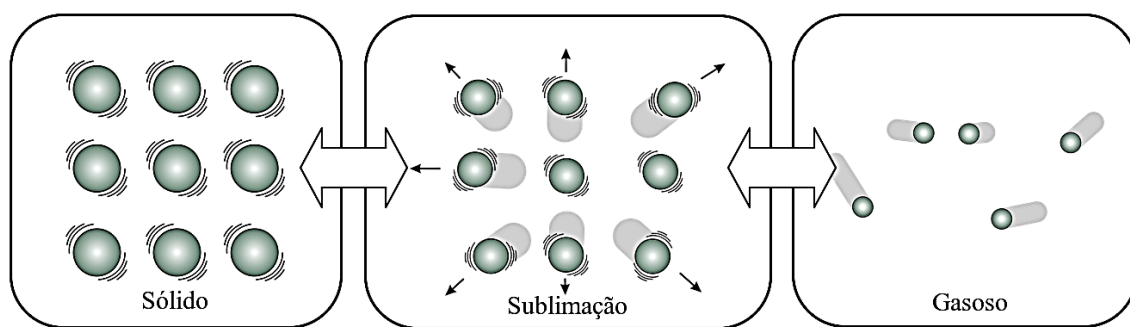
Figura 44 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Líquido, vaporização e gás



Fonte: Próprio Autor

Também é esperado que o aluno desenhe as moléculas com velocidade com o recurso de sombra.

Figura 45 – Expectativa de resposta do item B na segunda parte. Sólido, sublimação e gás



Fonte: Próprio Autor

Todos os desenhos mostrados nas figuras são expectativas, é o que se espera que os alunos desenhem. É claro que surgirão diversos desenhos, com formas diferentes e representações diferentes, cabe ao professor avaliar as semelhanças e diferenças com as expectativas.

5 – APLICAÇÃO DA SEI

A SEI é estruturada em aulas para poder ser adequada a atual estrutura nos sistemas de ensino. Para poder ser realizada é imprescindível o uso de alguns recursos em sala como um projetor, um computador e uma caixa de som, além daqueles que já são corriqueiros na sala de aula. Também pode ser realizada através de videoconferência, nesse caso o ambiente deixa de ser a sala de aula real e passa a ser virtual, deixando de necessitar os recursos alguns recursos da sala presencial. Hoje em dia não é difícil criar ambientes de salas virtuais existem vários serviços online para esse fim. As aulas da SEI são direcionadas preferencialmente para alunos do segundo ano do ensino médio, podendo também ser aplicada no terceiro ano do ensino médio como forma de revisão dos conceitos. A seguir as aulas da SEI serão descritas, apresentando os objetivos, os conteúdos abordados e os recursos didáticos utilizados, e como devem ser utilizados em cada aula.

O conteúdo de Física abordado na SEI está de acordo com a Base Nacional Curricular Comum (BNCC)⁹ dentro da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

⁹ É um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica.

(BRASIL, 2018) e as áreas estão organizadas em competências e habilidades. O Quadro 2 mostra a qual competência e habilidade da BNCC é contemplada em cada aula.

Quadro 2 – Competências específicas e habilidades contempladas na BNCC em cada Aula

Competência específica	Habilidade	Aula
Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.	(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.	1, 2, 3, 4 e 6
	(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.	1, 2, 3 e 4
Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).	(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.	3 e 5
	(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.	2, 4 e 6

5.1 – AULA 1

Essa é a primeira aula da Sequência de Ensino Investigativa (SEI) e deve estar situada após a apresentação e debate do conteúdo de Termometria em que foi tratado sobre a medição de temperatura, e é esperado que o aluno saiba identificar as escalas de medidas de temperatura, conseguindo convertê-las. Conheça também o instrumento de medida, o termômetro. O aluno também já deve conhecer os estados da matéria, uma vez que é visto formalmente no ensino fundamental e também pode ser aprendido na sua vida cotidiana.

Agora, o professor deve apresentar uma introdução a Termodinâmica de modo geral trazendo as leis de forma sucinta. A abordagem sobre a Termodinâmica é apenas a nível de energia, ou seja, a conservação de energia e as trocas de energia. E como essas trocas interferem no aquecimento dos materiais e na mudança de fase. Como as Leis são mais gerais, o assunto abordado parte do mais geral e inclusivo para o mais específico que são o aquecimento e a mudança de fase. O professor deve promover a participação do aluno na aula, fazendo perguntas e esperando as suas respostas para avançar nos passos da aula.

Tema:

- Introdução à Termodinâmica e os estados da matéria.

Objetivos:

- Identificar as formas de energias, principalmente a energia térmica;
- Conhecer as leis da Termodinâmica;
- Compreender o movimento molecular;
- Identificar os estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) e as suas mudanças;
- Organizar os conceitos físicos para as próximas aulas.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Quadro branco e marcador;
- Caixa de som;
- Projetor;
- Vídeo;
- Papel com atividade impressa.

Duração:

- Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento:

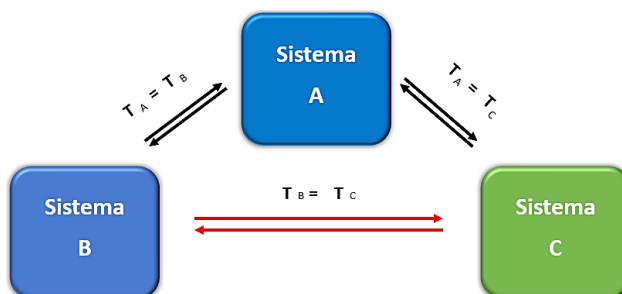
Passo 1:

Inicialmente deve ser apresentado por meio de um slide¹⁰ o nome do tema Termodinâmica e a partir comece a associar o termo *Termo* com temperatura e calor e o termo *dinâmica* com movimento. Nesse ponto é importante citar o contexto histórico da Termodinâmica, principalmente entre o final do século XVIII e início do século XIX, relacionando com a revolução industrial. Entre os inúmeros pesquisadores da época destacam-se Sadi Carnot, Lord Kelvin e James Joule.

Passo 2:

Apresente a Lei zero da Termodinâmica com o enunciado: *Dois sistemas que estejam em equilíbrio térmico com um terceiro estarão também em equilíbrio térmico um com o outro.*

Agora, com o uso da imagem, comente o conceito de equilíbrio térmico. A imagem pode ser usada para estimular o aluno a perceber o equilíbrio entre o Sistema B e C, uma vez que o professor pode levar o aluno a perceber esse equilíbrio, e para isso pode ser utilizado objetos disponíveis em sala de aula para exemplificar.



Como exemplo o professor pode usar com um caso do cotidiano, por exemplo, a água sendo aquecida em um recipiente contendo um termômetro. A água está a mesma temperatura do recipiente e do termômetro, logo o recipiente está com a mesma temperatura do termômetro.

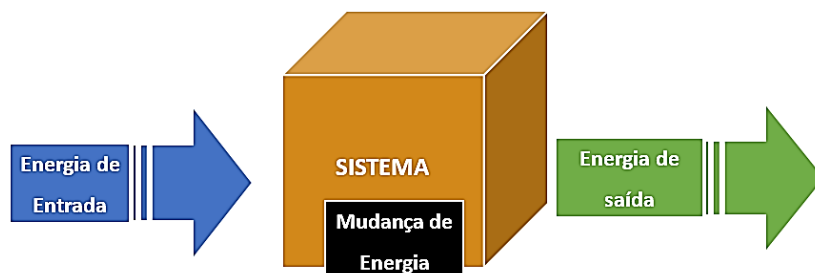
¹⁰ Endereço eletrônico disponível no Apêndice 2 para adquirir o arquivo da apresentação.



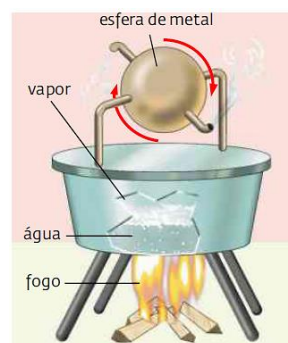
Fonte: Romanzoti (2011)

Passo 3:

Nesse passo apresente a Primeira lei da Termodinâmica: *A variação líquida na energia total de um sistema durante um processo é igual à diferença entre a energia total recebida e a energia total rejeitada pelo sistema termodinâmico durante um processo.*



Deve-se comentar que a energia de entrada é na forma de *calor* e a energia de saída é o *trabalho*. A mudança de energia é a *energia interna* e pode ser mostrada a formulação matemática: $\Delta U = Q - \tau$. Como exemplo da primeira lei pode ser usada a máquina de Heron (considerada a primeira máquina a vapor). Dessa forma é possível mostrar que a entrada de energia (calor) é promovida pelo fogo, a mudança de energia ocorre na água e a energia de saída provoca o movimento na esfera de metal (trabalho).

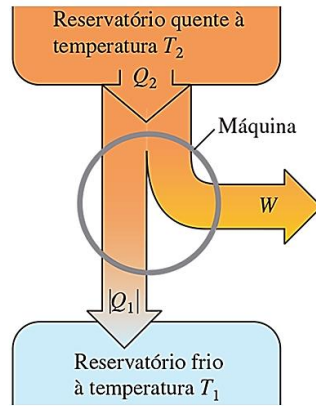


Fonte: Luz, Álvares e Guimarães (2016)

Passo 4:

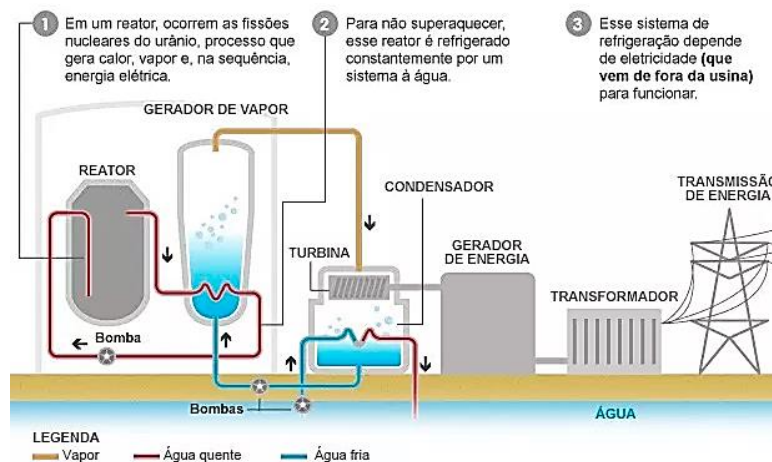
Segunda lei da Termodinâmica:

É impossível construir um dispositivo que funcione em um ciclo e não produza qualquer outro efeito que não seja a transferência de calor de um corpo com temperatura mais baixa para um corpo com temperatura mais alta.



Fonte: Young e Freedman (2016)

É possível relacionar a máquina térmica com o motor a combustão interna usado nos automóveis. Em quem Q_2 é a energia produzida na combustão, W é o trabalho produzido, ou seja, o que leva o automóvel ao movimento e Q_1 é a energia dissipada. O professor também pode associar a representação da imagem com uma máquina a vapor ou uma usina nuclear, podendo exemplificar o seu uso para a geração de energia elétrica.



Fonte: Weg (2019)

Passo 5:

Nessa parte é a hora de apresentar o vídeo para relacionar a Termodinâmica com o movimento molecular. O vídeo é de um programa de TV chamado *O Mundo de*

Beakman, possuindo 5 minutos de exibição. O vídeo está disponível no link <https://youtu.be/PrmpY6eGrw>. Compreende a uma compilação do episódio 16 da primeira temporada. O vídeo relaciona a Termodinâmica com o movimento molecular de forma lúdica, com o uso de pequenos carrinhos para representar as moléculas. Claro que os alunos irão perceber a relação, ficando a cargo do professor reforçar essa relação entre a temperatura e a movimentação molecular. O vídeo também relaciona o equilíbrio térmico ao movimento molecular. Deve ficar claro ao aluno que os objetos ao seu redor, na sala de aula, são feitos de moléculas e que elas possuem um movimento interno.

Passo 6:

Apresente os estados da matéria mais conhecidos sólido, líquido e gasoso. Com o uso de figuras em um slide. A substância escolhida deve ser a água (pura), sendo a substância mais comum e fácil de ser encontrada nos três estados. Primeiro deve ser comentado que a água pode ser aquecida, ou seja, pode receber energia sem mudar de estado. Depois apresente as mudanças de estado relacionando a energia utilizada para a mudança de fase. Lembrando que a substância água possui uma irregularidade quando solidifica. Fale sobre cada mudança de estado dando ênfase a mudança de volume ocupado, fale também sobre os tipos de vaporização.



Avaliação:

Para avaliar essa primeira aula use o Teste do tipo pictórico (Apêndice 1) com quatro itens em que o aluno deve desenhar segundo a sua perspectiva sobre os estados da matéria a nível molecular. O teste também pede uma representação do calor e de uma mistura de substâncias. Para esse teste é esperado que o aluno represente as moléculas das substâncias por pequenas esferas, fazendo uma distinção entre as substâncias pelo tamanho ou por quantidade, agrupando esferas para representar uma molécula. Outro fato

esperado é que o aluno consiga desenhar as moléculas com distâncias distintas entre os estados físicos. Os resultados nessa atividade, nesse momento, são expectativas uma vez que os alunos ainda não estão familiarizados com o aspecto molecular das substâncias.

Leitura Complementar:

SILVA, G. R. DA; ERROBIDART, N. C. G. Termodinâmica e Revolução industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, 27 jul. 2019. v. 19, p. 71–97.

5.2 – AULA 2

Essa aula está situada após a apresentação da Termodinâmica de modo simplificado, Aula 1, e também após a apresentação dos três estados físicos da matéria. Aula começa retomando as ideias sobre Termodinâmica, com o uso do simulador mostrando as diferentes formas de energia e as suas conversões. Em seguida, na apresentação em slide (Apêndice 2), deverá ser retomado a mudança de fase, agora mostrando mais estados da matéria. E finalmente, com usos dos simuladores, introduzir os conceitos de calor específico e calor latente.

O aluno deve possuir previamente os conceitos de calor, energia térmica e estados da matéria, conceitos explorados anteriormente devem ser reforçados nessa aula. O professor deve promover o debate entre os alunos, fazendo perguntas durante a aula e registrando em uma ficha de respostas. Os simuladores usados devem criar um ambiente motivador em sala, saindo do convencional, tornado o conteúdo mais significativo e aproximando com o cotidiano.

Tema:

- Calorimetria e mudança de fase da matéria.

Objetivos:

- Identificar algumas formas de energia e suas conversões, e como se relacionam com as leis de Termodinâmica;
- Identificar os estados da matéria, condensado de Bose-Einstein, Sólido, Líquido, Gasoso e Plasma;
- Conhecer a propriedade Calor específico dos materiais;
- Conhecer as mudanças de fase da matéria;
- Conhecer a propriedade Calor Latente;
- Identificar a distribuição molecular nos três estados.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Projetor;
- Quadro branco e marcador;
- Papel com atividade impressa;
- Software *Formas de Energia e Transformações*;
- Software *Estados da Matéria*.

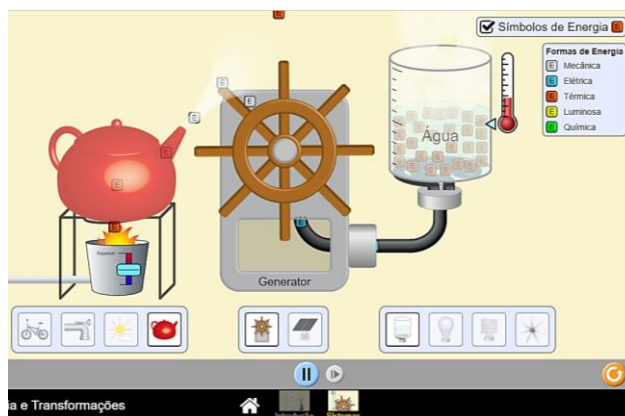
Duração:

- Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento:**Passo 1:**

O professor deve iniciar a aula com a distribuição da ficha de atividade individual (Apêndice 3) que contém as perguntas realizadas durante a aula. Logo após deve iniciar a apresentação do slide com o título da aula e dos questionamentos: **Porque os corpos aquecem de forma diferente? E porque mudam de fase?**

Em seguida apresente o simulador *Formas de Energia e Transformações* na parte de chamada sistemas e deve mostrar as formas de energia: Mecânica, Térmica, Elétrica, Luminosa e Química. No simulador é possível visualizar a conversão entre elas possibilitando relacionar com as leis da Termodinâmica. Nessa parte do simulador a energia que deve ter ênfase é a térmica. Com o simulador na configuração com o bue de com água saindo vapor como fonte de energia e o recipiente com água recebendo a energia, faça o aquecimento até a água ferver. Comente para os alunos sobre a energia que fez o aquecimento e a energia que fez a água ferver, diferenciando as duas.



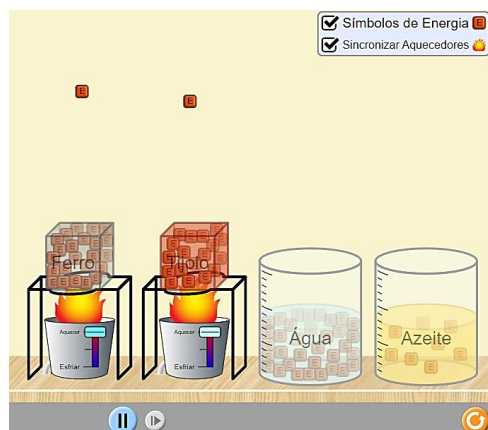
Passo 2:

Agora o professor deve voltar a explorar os estados físicos da matéria, os três mais conhecidos usando imagens em slides (Apêndice 2). Em seguida deve ser perguntado se existem outros estados da matéria. Após a pergunta e interação com os alunos, o professor deve dar continuidade apresentando mais dois estados o plasma e o condensado de Bose-Einstein.



Passo 3:

Usando o *software Formas de Energia e Transformações*, o professor deve simular o aquecimento de dois blocos, um de ferro e outro de tijolo mostrando o símbolo de energia [E]. Nessa ocasião deve ser feita uma atividade, perguntas, para interagir com a turma. A atividade consiste de apenas duas perguntas: *O que é temperatura? e o que é calor?* É uma atividade rápida feita na ficha de atividades e os alunos devem responder em até 5 minutos. Após as respostas dos alunos, o professor deve continuar com a simulação aquecendo os blocos e falando que a energia adicionada aos dois não é suficiente para provocar uma mudança de fase.



Ainda falando do aquecimento a simulação deve ser reiniciada para aquecer novamente os blocos para mostrar que eles acumulam quantidades de energia diferentes e isso deve levar a mais uma atividade com duas perguntas: “*Qual dos dois blocos tem a temperatura mais baixa antes do aquecimento?*” e “*Houve mudança de temperatura?*”.

Passo 4:

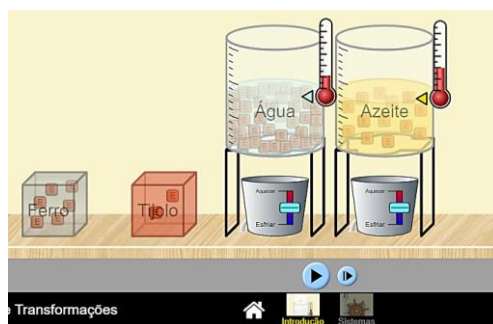
No simulador *Formas de Energia e Transformações* deverá ser colocado a substância água (líquida) e o azeite para iniciar o aquecimento simultâneo e mostrar por meio do termômetro que as temperaturas diferem após o aquecimento. Em seguida a simulação deverá ser reiniciada para fazer a seguinte interação:

1 – Admita que as substâncias possuem a mesma quantidade de massa. É possível ver na simulação que é possível fazer essa estimativa pois os dois líquidos nos recipientes estão no mesmo nível;

2 – Aqueça as substâncias água e azeite de forma simultânea e conte a quantidade adicionada de E no recipiente do azeite até a marcação de temperatura igual a 4. Como as fontes são sincronizadas elas fornecem a mesma quantidade de energia aos recipientes que totalizam $5E$ para os dois;

3 – Pause a simulação e verifique as medidas nos termômetros, os dois recipientes começam com medida no termômetro na marcação em 1, o azeite varia 3 unidades de temperatura e a água varia 1. Comente na aula essa diferença, esperando que o aluno perceba que essa diferença se dá por que as substâncias são diferentes;

4 – E por se tratar de substâncias diferentes o aquecimento é diferente, e nesse caso existe uma propriedade térmica que faz essa diferenciação que é o calor específico;



5 – Usando a apresentação em slide mostre a formulação matemática que relaciona os conceitos e ao problema apresentada no simulador, $Q = mc\Delta T$;

6 – Adotando as massas iguais a 1 e as medidas de calor e variação de temperatura no simulador, realize os cálculos para cada substância, chegando aos valores $c = 5$ para a água e $c = 1,6$ para o azeite. Mesmo sendo uma estimativa, a propriedade térmica calor específico é diferente para as substâncias.

Passo 5:

Nesse passo o professor deverá reiniciar a simulação colocando o recipiente com água líquida para ser aquecido até o máximo possível (marcação 4 no termômetro). Nesse momento será possível visualizar a mudança de fase da água líquida para o estado gasoso. O professor deve instigar o aluno a pensar: Se o recipiente contendo água continua recebendo energia da fonte, porque a temperatura parou de subir, o que está acontecendo.



A visualização pode ajudar os alunos a concluir que a temperatura parou de subir por conta da mudança de fase.

Agora o professor pode afirmar ao aluno que a temperatura estável mesmo com a adição de energia ao recipiente é consequência da mudança de fase, sendo uma característica para substâncias puras.

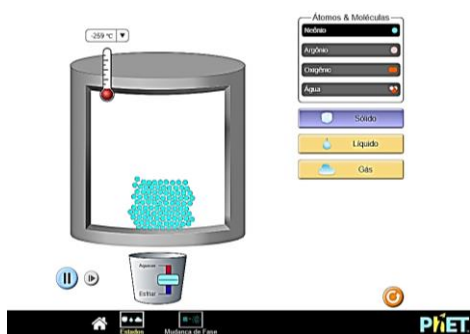
Passo 6:

Nessa última etapa da aula busca-se mostrar as fases da matéria a nível molecular com o simulador *Estados da Matéria*. Com ele é possível visualizar o comportamento molecular de algumas substâncias nos três estados físicos da matéria. Além de escolher a substância, o software permite a modificação das variáveis de estado, temperatura, volume e pressão.

Antes de iniciar a simulação aplique uma atividade com duas perguntas, usando a ficha de atividades:

- 1 – Como vocês acreditam que é o comportamento da molécula de água no estado sólido?
- 2 – O aumento de temperatura modifica a configuração da molécula de água?

Agora mostre o comportamento da substância Neônio nos três estados da matéria selecionando nos botões com as indicações de estado, comente o distanciamento molecular característico de cada estado.



Selecione o estado sólido e comece o aquecimento para ocorrer a mudança de fase, relacionando com o calor sensível e o latente. Para a substância água observe a solidificação irregular, comente o aumento de volume na fase de gelo.

No simulador, na parte Mudança de fase, pode-se modificar as variáveis pressão, volume e temperatura. Nessa parte deve ser mostrada na simulação a influência da pressão na mudança de fase.

Para finalizar esse último passo o professor deve perguntar novamente aos alunos: **Por que os corpos aquecem de forma diferente? E por que mudam de fase?** Espere-se que eles formulem as suas hipóteses e ajudando conforme o necessário.

Avaliação:

Atividade realizada durante a aula, as perguntas estão dentro dos Passos da aula. Deve ser realizada pelos alunos na ficha de atividade distribuída no início da aula.

Leitura complementar:

Quinto estado da matéria observado no espaço pela primeira vez – SoCientífica. [s.d.]. Disponível em: <<https://socientifica.com.br/quinto-estado-da-materia-observado-no-espaco-pela-primeira-vez/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

PAIVA, A. *et al.* Estados estranhos da matéria: condensação de Bose-Einstein. **Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa**, 2010. Disponível em: <<http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo3/modulo2/topico1.php>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

5.3 – AULA 3

Esta aula ocorre após a apresentação sobre a calorimetria e os estados da matéria. Agora há uma volta aos estados da matéria, mas com ênfase na perspectiva molecular. Com o uso do software *Molecular Workbench* é possível fazer uma apresentação no estilo slide com simulação integrada. Nessa aula é esperado que o aluno tenha adquirido o conhecimento sobre as fases da matéria, calor, calor sensível e calor latente. O professor deve conduzir a aula sempre perguntando, questionando e estimulando os alunos a responder e formular hipóteses das perguntas realizadas durante a aula.

Tema:

- Mudança de fase da matéria: Perspectiva molecular.

Objetivos:

- Identificar os estados da matéria e nível molecular, representativo;
- Conhecer as mudanças de fase da matéria na perspectiva molecular;
- Identificar o movimento molecular nos três estados;

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Papel com atividade impressa;
- Projetor;
- Software Molecular Workbench.

Duração:

- Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento:

Passo 1:

Inicie a aula distribuindo a ficha de respostas (Apêndice 4), onde os alunos responderão às perguntas feitas durante a aula. Em seguida apresente o slide iniciando o tema da aula e com o questionamento: **Como os materiais mudam de fase?** Estimule os alunos para responder essa pergunta e formular hipóteses.

Agora inicie o simulador Molecular Workbench selecionando Activity Center e escolhendo Phase Change. A página deve ser previamente traduzida e adaptada, o software permite essa edição. A tela de abertura possui um índice dos tópicos abordados, inicie pelo tópico introdução. Nesse tópico é explorado a mudança de fase do gelo no oceano ártico, fale sobre as geleiras e sobre o processo de derretimento, fale também sobre os icebergs.



Passo 2:

Agora avance para o tópico Gases explorando a simulação de dois modelos de gases. Use a função para marcar as moléculas da região central da simulação para visualizar a movimentação.



Ao final da simulação são realizadas duas perguntas que devem ser respondidas pelos alunos na ficha de respostas:

- 1 – Descreva o movimento dos átomos e moléculas dos gases;
- 2 – Como o comportamento e o arranjo das moléculas de gás são semelhantes e diferentes dos jogadores de futebol correndo em campo.

Agora avance para o tópico sobre os Líquidos e faça a simulação para os dois modelos de líquidos, lembrando de marcar as moléculas centrais para demonstrar o movimento dessas moléculas marcadas.

Movimento Atômico nos Líquidos

Aqui estão os modelos de dois líquidos. Um líquido é composto apenas de átomos. O outro é feito de moléculas triatômicas. Execute os modelos e observe-os cuidadosamente.

(1) Certifique-se de que "Mostrar atrações" esteja selecionado. As atrações entre os átomos são mostradas por linhas tracejadas. (2) Execute cada modelo de líquido. (3) Em seguida, estime o número médio de linhas tracejadas que um átomo forma com seus vizinhos.

Como usar os controles de simulação

Líquido 1 Líquido 2 Mostrar atrações Tire uma foto instantânea

Escolha aleatoriamente um átomo e mostre sua trajetória

Questões

Observe o movimento do átomo ou molécula que foram selecionados aleatoriamente. Descreva o movimento desse átomo / molécula em comparação com os átomos ao seu redor.

Como o movimento das pessoas em um comício ao ar livre se parece com um líquido?

Ao final da simulação sobre os líquidos também tem duas perguntas que serão respondidas pelos alunos na ficha de respostas:

- 1 – Observe o movimento do átomo ou molécula que foram selecionados aleatoriamente. Descreva o movimento desse átomo/molécula em comparação com os átomos ao seu redor;
- 2 – Como o movimento das pessoas em um comício ao ar livre se parece com um líquido?

Agora mostre a simulação para o estado sólido de forma similar aos outros estados físicos da matéria.

Movimento Atômico nos Sólidos

Instruções: Aqui estão os modelos de dois tipos de sólidos. Execute os modelos e observe-os cuidadosamente.

Para ver as interações com mais clareza, você pode alterar o estilo de exibição de "Espaço compacto" para "Bola-bastão" na lista suspensa abaixo.

Como usar os controles de simulação

Sólido 1 Sólido 2 Mostrar interações

Escolha aleatoriamente um átomo e mostre sua trajetória

Ao final da simulação tem três perguntas sobre o estado sólido:

1 – Como você descreveria o movimento e o arranjo dos átomos e moléculas em um sólido?

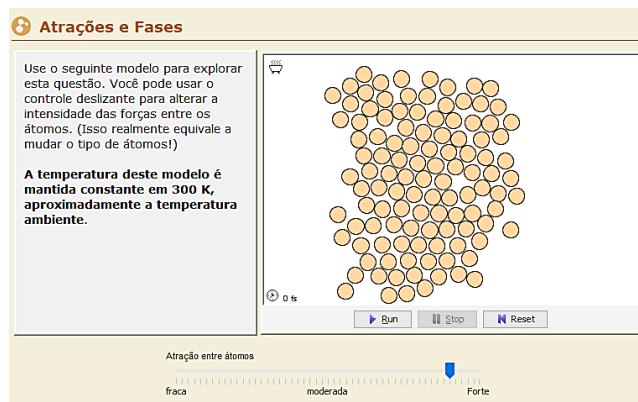
2 – As moléculas de gás estão tão distantes umas das outras que as atrações intermoleculares são bastante insignificantes no movimento térmico aleatório das partículas de gás. Descreva o papel das forças intermoleculares para sólidos e líquidos.

3 – Como o movimento dos átomos e moléculas em um sólido se assemelha às pessoas em uma sala de cinema?

Cada atividade nesse passo 2, no final de cada simulação, deve durar em média 5 minutos, totalizando 15 minutos de atividades.

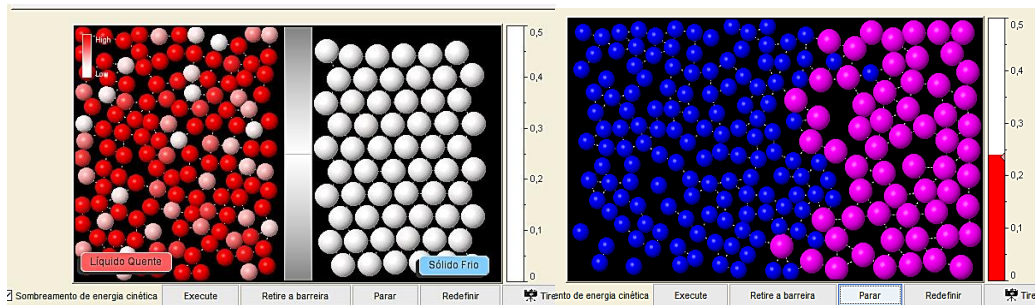
Passo 3:

Nessa parte da simulação o professor deve mostrar que as interações interatômicas são determinantes na fase da matéria, e que o enfraquecimento das interações provoca a mudança. Deve ser confrontado com o conceito de temperatura, uma vez que ela está relacionada com a agitação molecular.



Passo 4:

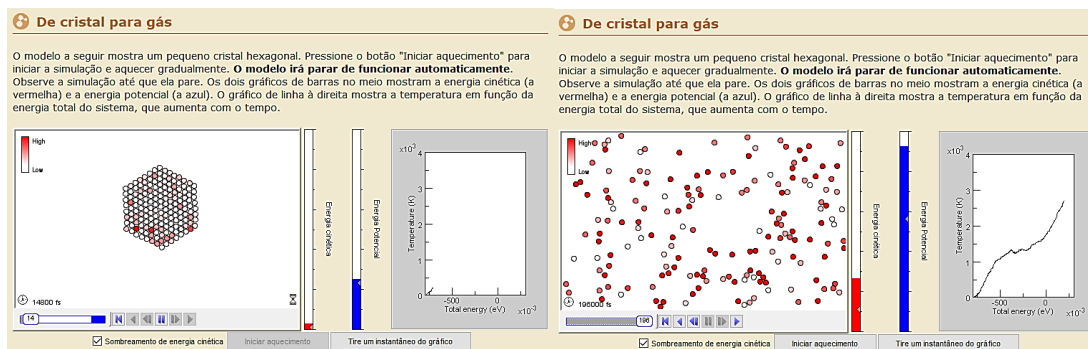
Nesse passo da aula deverá ser mostrado a mistura de duas substâncias, uma no estado líquido e quente e outra no estado sólido e fria. Antes de retirar a barreira entre as substâncias deve ser perguntado ao aluno o que poderá acontecer com as substâncias se a barreira for retirada.



Após a retirada da barreira comente para o aluno sobre a troca de energia entre as substâncias e que a substância sólida mudou de fase, pois as partículas acabam se misturando. Ao final da mistura deve ser feita a pergunta que deve ser respondida pelo aluno na ficha de respostas:

1 – O que você acha que causou o aumento da temperatura dos átomos maiores que estão originalmente na parte direita do modelo?

Avançando para o próximo tópico no simulador é possível simular o aquecimento de um cristal até a fase gasosa. Inicie a simulação no botão *iniciar aquecimento*, mostre aos alunos a curva de aquecimento e dê ênfase no que acontece com o cristal.

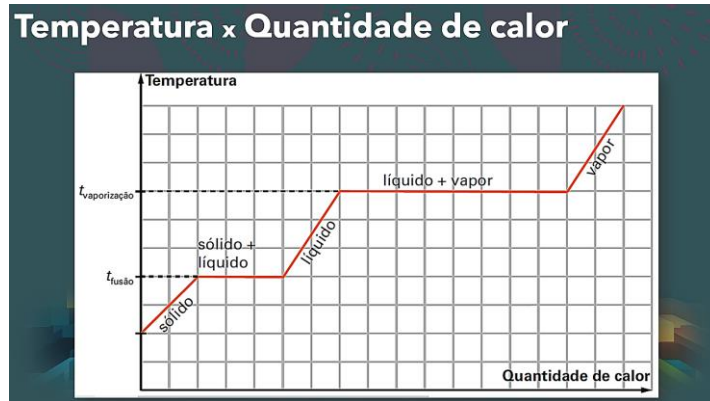


Agora o aluno deve responder a pergunta, na ficha:

1 – Descreva o que estava acontecendo no modelo quando a temperatura parou de subir (no meio da simulação). Descreva o estado das moléculas ao longo desse tempo.

As duas perguntas do desse passo 4, respondidas na ficha de respostas, não devem demorar mais de 10 minutos.

Após a realização da atividade mostre a curva de aquecimento típica de substâncias puras e compare com a curva do simulador.



Passo 5:

Esse passo é para conhecer a evaporação, uma forma vaporização que ocorre a diversas temperaturas, algo que difere do que já foi falado. O simulador deverá mostrar o processo de evaporação.

Um experimento simples

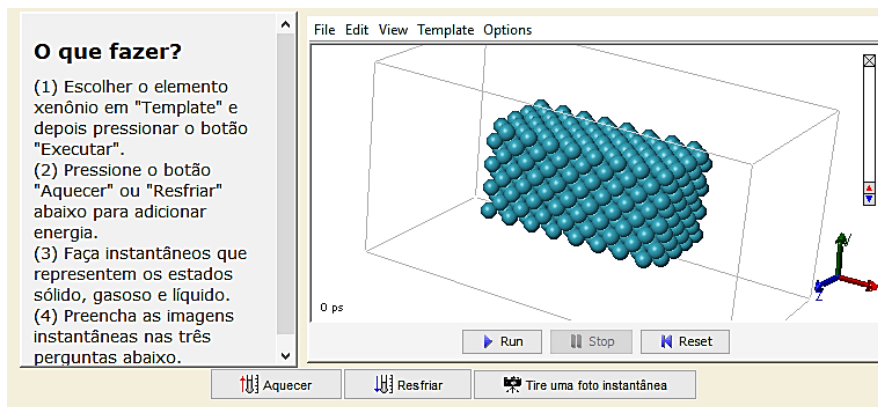
Pressione o botão "Executar" e observe o que acontece. O átomo mais à esquerda recebe a velocidade mais alta (representada pelo comprimento da flecha nele) quando chutado. O átomo mais à direita recebe a velocidade mais baixa. Os intermediários recebem velocidades intermediárias. Quando um átomo sobe para a região de escape (representada pela área acima da linha tracejada), ele sai do modelo.

Um modelo mais realista

No modelo a seguir, colocamos muitas moléculas em um recipiente, que é inicialmente coberto por cima para evitar a evaporação. Execute o modelo por um tempo e observe o gráfico de barras à direita, que representa a temperatura do sistema. Em seguida, pressione o botão "Retire a tampa. Deixe evaporar" e observe a alteração do gráfico de barras.

Passo 6:

Agora retomando aos três estados da matéria. Essa simulação mostra a mudança de estado em uma simulação tridimensional. Após a escolha da substância basta iniciar a simulação e adicionar energia para visualizar as mudanças, deve ser escolhida a substância xenônio e depois poderá ser escolhida outra substância.



Agora refaça a pergunta inicial, **como os materiais mudam de fase?** Os alunos devem agora perceber a relação do distanciamento e movimento molecular com a mudança de fase.

Avaliação:

Atividade realizada durante a aula, as perguntas estão dentro dos Passos da aula. Deve ser realizada pelos alunos na ficha de respostas distribuída no início da aula.

Leitura complementar:

ENGINEERING, T. O que é calor na termodinâmica - definição. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-calor-na-termodinamica-definicao/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

5.4 – AULA 4

Esta aula ocorre após a aula sobre a mudança de fase da matéria com a perspectiva molecular. O professor deve focar essa aula na condutividade térmica e também no calor específico, uma vez que será tratado o aquecimento de materiais. O conceito de calor específico e calor já devem estar disponíveis para o aluno como conhecimento prévio, uma vez que já foram explorados em aulas anteriores.

Usando o software *Energy2D* é possível verificar o calor de forma contínua através do contraste de cores. Esse software simula o aquecimento de diversos materiais, bastando inserir suas propriedades térmicas nas configurações. Outro software utilizado, o *Molecular Workbench*, em que simula as trocas de energia a nível molecular.

Tema:

- Calor específico e Condutividade Térmica.

Objetivos:

- Diferenciar materiais de baixo e alto calor específico;
- Identificar o sentido do calor nos materiais;
- Diferenciar materiais de baixa e alta condutividade térmica;
- Perceber que a mudança de fase da matéria interfere na condutividade térmica.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Projetor;
- Quadro branco e marcador;
- Papel com atividade impressa;
- Software *Energy2D*;
- Software *Molecular Workbench*.

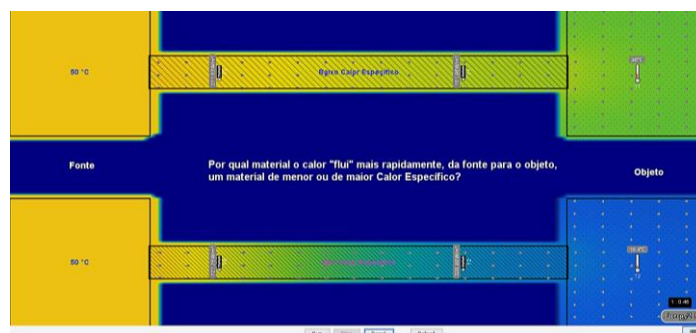
Duração:

- Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento:**Passo 1:**

A aula deve iniciar com o slide de apresentação da aula e depois o seguinte questionamento: **Por que peças metálicas parecem mais "frias" à temperatura ambiente do que um pedaço de madeira ou plástico?** Estimule os alunos para responder essa pergunta e formular hipóteses.

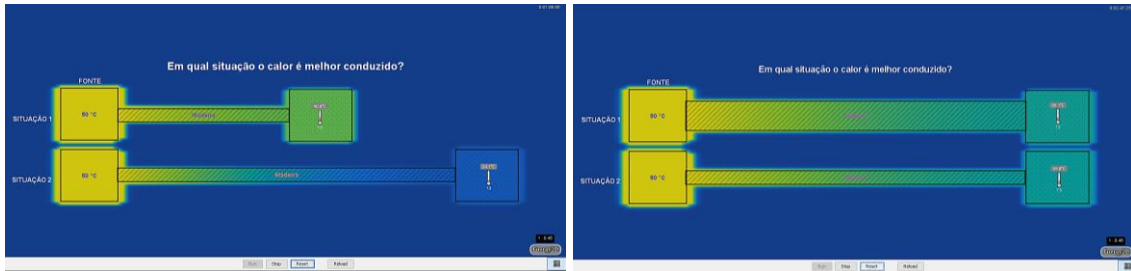
Com o software *Energy2D* a aula deve retomar do conceito de calor específico, usando a simulação. De forma a comparar o alto e o baixo calor específico de um material, o contraste de cores e os termômetros mostram o calor. A simulação utiliza uma fonte de energia, um material de teste e um sumidouro (local de destino do calor).



Passo 2:

Esse passo deve ser iniciado com a pergunta: *A forma e o tamanho do material podem interferir na condução do calor?*

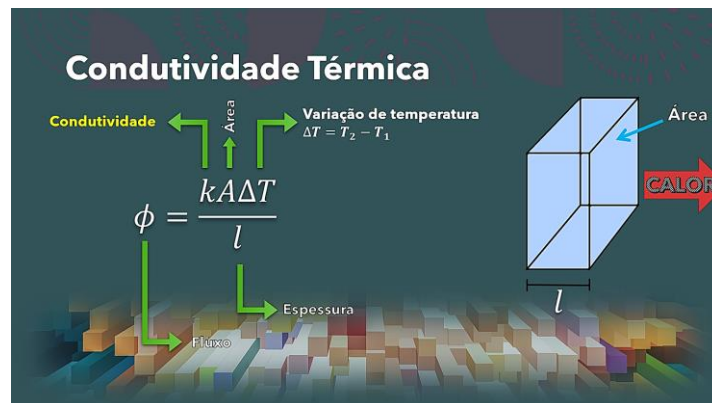
Com o uso do *Energy2D* deve ser feita duas simulações, mudando o comprimento e a espessura do material de teste.



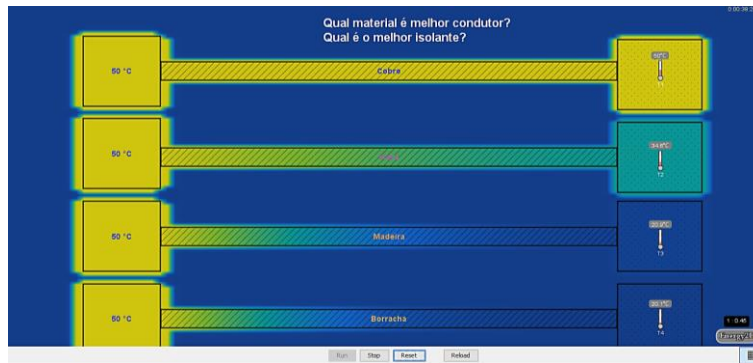
As duas simulações mostram que a dependência da geometria do material de teste interfere na quantidade de energia térmica conduzida.

Passo 3:

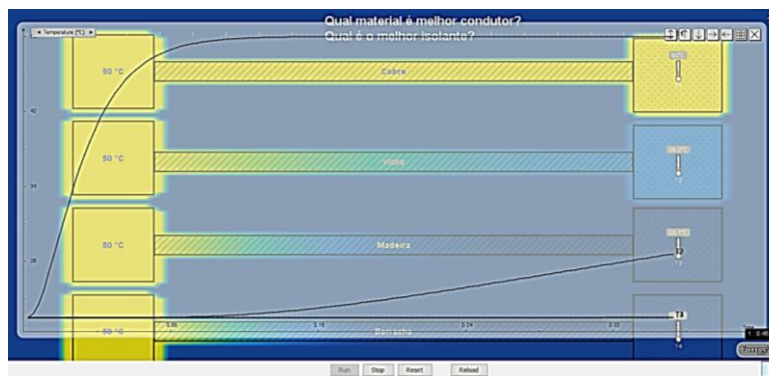
Além da geometria do material de teste, o professor deverá apresentar a propriedade térmica condutividade térmica. E deve definir os condutores térmicos e os isolantes térmicos através dessa propriedade.



Para demonstrar a diferença da condutividade entre os materiais mais uma simulação no *Energy2D* deve ser apresentada. Nessa simulação a geometria dos materiais são iguais e a condutividade diferente. Os materiais são o cobre, o vidro, a madeira e a borracha. Lembrando que cada material tem o seu calor específico e sua condutividade térmica, cabendo ao professor diferencia-los. O professor deve, após a simulação, perguntar: *Qual material é melhor condutor? Qual é o melhor isolante?*

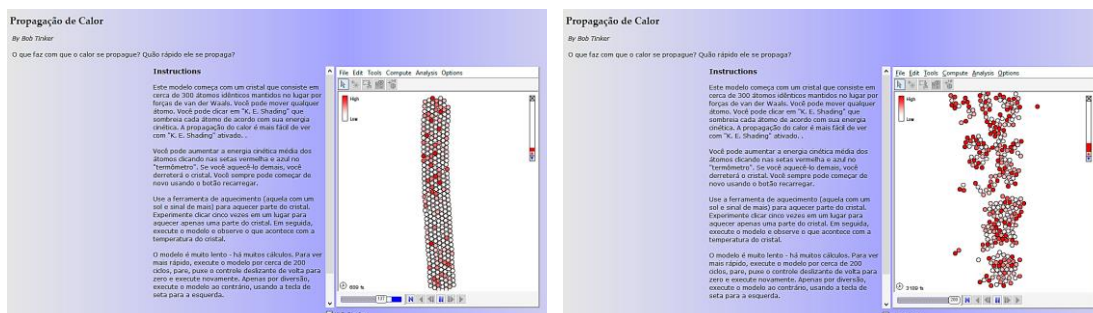


Também é possível mostrar ao aluno a curva de aquecimento dos materiais na simulação. A curva é referente as temperaturas nos termômetros fixados nos materiais, o professor deve mostrar que essas curvas são entre o aumento de temperatura e o tempo para essa ocorrência, diferenciando os materiais condutores e isolantes.



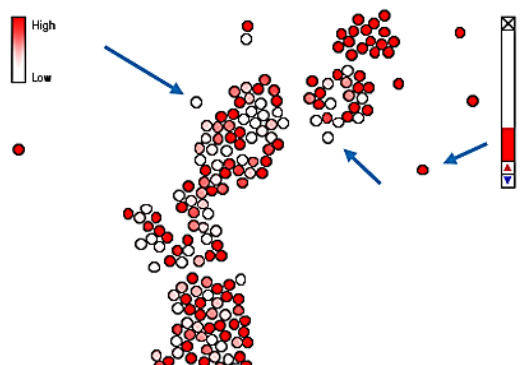
Passo 4:

Para tratar a condutividade a nível molecular e visualizar a energia sendo transmitida, o professor deve utilizar o software *Molecular Workbench* com a simulação propagação de calor. O modelo consiste de um cristal com 300 átomos e conforme se adiciona energia é possível visualizar a condução térmica pelo contraste de cor, branco para baixa energia e vermelho para altas energias.



Com o aumento de energia é possível a mudança de fase do cristal. Quando ocorrer a mudança para o estado líquido, o professor deverá mostrar através do contraste de cores

que a condução diminui conforme aumenta a distância entre os átomos. Deve relacionar esse distanciamento com a mudança da condutividade dos materiais.



Agora o professor deve voltar ao questionamento inicial: **Por que peças metálicas parecem mais "frias" à temperatura ambiente do que um pedaço de madeira ou plástico?** E agora junto com os alunos respondê-lo usando os conceitos de calor específico e condutividade.

Avaliação:

Reaplicação do Teste pictórico com quatro itens em que o aluno deve desenhar de acordo com a sua perspectiva sobre os estados da matéria a nível molecular. O teste também pede uma representação do calor e de uma mistura de substâncias. Para esse teste é esperado que o aluno represente as moléculas das substâncias por pequenas esferas, fazendo uma distinção entre as substâncias pelo tamanho ou por quantidade, agrupando esferas para representar uma molécula. Outro fato esperado é que o aluno seja capaz de desenhar as moléculas com distâncias distintas entre os estados físicos.

Leitura complementar:

ENGINEERING, T. O que é condutividade térmica de materiais e elementos químicos - Definição. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-condutividade-termica-de-materiais-e-elementos-quimicos-definicao/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

5.5 – AULA 5

Esta aula ocorre após as aulas sobre os conceitos sobre as propriedades térmicas, calor específico, condutividade térmica e calor latente. Para ajudar os alunos a organizar os conceitos e relaciona-los, a ferramenta dos Mapas Conceituais é um bom instrumento para esse fim. Uma vez que os mapas conceituais possuem o objetivo de representar relações entre dois ou mais termos conceituais, ajudando o aluno a criar uma rota que

ajude a atingir o seu objetivo. Não esquecendo que o mapa conceitual possui uma hierarquia nos conceitos relacionados e é importante que o mapa possua termos (conceitos) que sejam comuns aos alunos, que sejam conhecimentos prévios. Assim podendo associar a conceitos novos. Nesse sentido a elaboração de um mapa de conceitos pode ser uma atividade criativa, podendo ajudar a fomentar a criatividade. Cada mapa organizado pelo aluno oferece evidências sobre o conteúdo e a forma da aprendizagem processada por ele.

Tema:

- Mapa Conceitual.

Objetivos:

- Diferenciar conceitos físicos;
- Perceber as conexões e dependências dos conceitos da Termodinâmica;
- Criar um mapa de conceitos.

Recursos:

- Computador;
- Software leitor de slides;
- Quadro branco e marcador;
- Projetor;
- Papel A4 em branco.

Duração:

- Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento:

Passo 1:

O professor deve iniciar com a pergunta: **Você consegue lembrar de todos os conceitos que já estudou?**



A partir dessa pergunta, o professor deve definir o conceito de mapa conceitual de forma simples, usando os nomes separados, Mapa e Conceito. A definição é a mesma contida em um dicionário.



Passo 2:

O professor deve mostrar ao aluno a definição de Mapa Conceitual, no slide, para que ele saiba para que serve. Uma boa definição é a seguinte:

Os mapas conceituais servem para tornar claro, tanto aos professores como aos alunos, o pequeno número de ideias chave em que eles se devem focar para uma tarefa de aprendizagem específica. Um mapa conceitual também pode funcionar como um mapa rodoviário visual, mostrando alguns dos trajetos que se podem seguir para ligar os significados de conceitos de forma a que resultem proposições. Depois de terminada uma tarefa de aprendizagem, os mapas conceituais mostram um resumo esquemático do que foi aprendido (NOVAK; GOWIN, 1996, p. 31).

Passo 3:

Nesse momento o professor deve explorar algumas palavras-chaves para criar um mapa conceitual de modelo, as palavras são: Água, movimento, moléculas, calor e estado. Devendo conceituar cada uma delas. Sempre perguntando aos alunos se concordam com o conceito.

Passo 4:

Usando as palavras-chaves dever ser criado o mapa conceitual. Contendo o conceito *Água* como o mais inclusivo, estando no topo. Nesse mapa são adicionadas as palavras de ligação a outros conceitos. Outro ponto importante é a hierarquia dos conceitos que deve ser comentada.



O professor deve mostrar a diferenciação progressiva dos conceitos, ou seja, o conceito mais geral e inclusivo deve ser apresentado no início, para depois serem diferenciados de forma progressiva em termos de detalhes e especificidade.

Passo 5:

Agora o professor deve utilizar os mesmos conceitos para criar outro mapa conceitual, agora com a palavra *moléculas* como a mais inclusiva e no topo do mapa. Deve ficar claro ao aluno que o mapa conceitual é mutável e pode sempre ser aperfeiçoado.



Os conceitos apresentados no mapa conceitual devem ser organizados de forma a favorecer a exploração de relações entre as ideias, as semelhanças e diferença entre elas, e também reconciliar as discrepâncias reais ou aparentes. E também, a relação entre os conceitos que interagem na hierarquia do mapa conceitual devem se relacionar de forma harmônica e lógica, isso é chamado de reconciliação integrativa.

Avaliação:

Construir um Mapa Conceitual usando os conceitos: *energia térmica, calor, calor específico, calor latente, condutividade, temperatura e moléculas*. O professor deve ajudar o aluno a conceituar esses termos, apenas para lembrar, como uma forma de revisá-los, um dos mapas deve ser usado como referência para o aluno. O objetivo é fazer

com que o aluno consiga conectar esses conceitos de forma lógica e hierárquica. O aluno pode adicionar mais conceitos se achar necessário para ajudar na elaboração.

A atividade deve ser realizada em uma folha de papel A4 em branco, entregando ao final da aula.

Leitura complementar:

SOUZA, N. A. De; BORUCHOVITCH, E. Mapa conceitual: seu potencial como instrumento avaliativo. **Pro-Posições**, dez. 2010. v. 21, n. 3, p. 173–192.

5.6 – AULA 6

Após cinco aulas sobre as propriedades térmicas, usando o recurso dos simuladores, os conceitos sobre temperatura, calor, calor específico, calor latente e condutividade térmica já devem estar claros para o aluno.

Essa aula é para aplicar a avaliação final sobre os conceitos apresentados, um teste conceitual chamado Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas. Assim finalizando a Sequência de Ensino Investigativa.

Tema:

- Teste Conceitual.

Objetivos:

- Diferenciar conceitos físicos;
- Aplicar os conhecimentos sobre as propriedades térmicas.

Recursos:

- Teste Conceitual impresso;
- Cartão resposta impresso.

Duração:

- Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento:

Passo 1: Avaliação

O professor deve aplicar o Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas (TCTP), disponível no Anexo 1. O teste deve ser impresso previamente e entregue ao aluno no início da aula junto com o cartão resposta

O período de tempo da aula deve ser utilizado pelo aluno para realizar a atividade, entregando o cartão resposta ao final. O Teste impresso também deve ser devolvido ao final da atividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional apresenta um conjunto de seis aulas, uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), contendo diversos recursos didáticos e atividades. Traz também uma breve descrição dos conceitos físicos abordados nas aulas. Sua abordagem está pautada na Aprendizagem Significativa e na Teoria dos Modelos Mentais.

Esse material de apoio ao professor é uma tentativa, entre várias disponíveis na literatura, de melhorar a prática docente e o aprendizado dos alunos do ensino básico; uma tentativa, sim, pois o processo de ensino-aprendizagem é bastante complexo. Ele perpassa por todas as interações que o aluno tem em sala de aula e na sua vivência cotidiana.

O produto educacional desenvolvido, no que tange ao que se propôs ser, atendeu satisfatoriamente as expectativas. A SEI descrita aqui é um *design* didático que pode ser aplicado como está ou ser adaptado, ficando a critério do professor. Lembrando que as particularidades das turmas, das escolas e dos alunos moldam o ensino da Física em sala.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: PARALELO EDITORA, LDA, 2003.

BONJORNO, J. R. et al. **Física: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano**. 3ª Edição ed. São Paulo: Editora FTD S.A., 2016.

BORGES, A. T. COMO EVOLUEM OS MODELOS MENTAIS. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 1, n. 1, p. 66–92, jun. 1999.

BOULDER, U. OF C. **Estados da Matéria**. PhET Interactive Simulations, , 2012. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html>

BOULDER, U. OF C. **Formas de Energia e Transformações**. PhET Interactive Simulations, , 2013. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_pt_BR.html>

BRAGA, M. B. P. **Escala de Proficiências em Concepções Térmicas: Diagnóstico Psicométrico de Estudantes em Portugal e Brasil**. Florianópolis: Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Educação/ Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, 2018.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular** Brasília Ministério da Educação, , 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8ª Ed ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012.

CARVALHO, A. M. P. DE. Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas. In: LONGHINI, M. D. (Ed.). . **O uno e o diverso na educação**. Uberlândia: EDUFU, 2011.

CARVALHO, A. M. P. DE. **Ensino de ciências por investigação: condições para**

implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica.** 7° ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJER, A. J. **Transferência de Calor e Massa.** 4 Ed ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2012.

CHU, H.-E. et al. Evaluation of Students' Understanding of Thermal Physics in Everyday Contexts. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 5, p. 1509–1543, 2012.

LABS, E. **EvalBee.** PuneEkodroid Labs, , 2021. Disponível em: <<https://evalbee.com/>>

LUZ, A. M. R. DA; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. DA C. **Física 2: contexto e aplicações.** 2° Ed. ed. São Paulo: editora Scipione, 2016.

MOREIRA, M. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 193–232, 1996.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1999.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 3, p. 25–46, 2011.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** 1° ed. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a Aprender.** Lisboa: PLÁTANO EDIÇÕES TÉCNICAS, 1996.

ROMANZOTI, N. **Física da água: 9 fatos surpreendentes sobre H2O.** Disponível em: <<https://hypescience.com/fisica-da-agua/>>. Acesso em: 7 jul. 2021.

SANTROCK, J. W. **Psicologia Educacional.** 3° ed. São Paulo: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda, 2009.

SEARS, F. W.; SALINGER, G. L. **Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística.** 3° ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1979.

SILVÉRIO, A. C. **Física - Sistemas complexos e outras fronteiras.** Volume 4 ed. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001.

TANAHOUNG, C. et al. SURVEYING SYDNEY INTRODUCTORY PHYSICS STUDENTS ' UNDERSTANDINGS OF HEAT AND TEMPERATURE. **Australian Institute of Physics**, n. December, p. 3–6, 2006.

WATTANAKASIWICH, P. et al. Development and implementation of a conceptual survey in thermodynamics. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**, v. 21, n. 1, p. 29–53, 2013.

WEG, M. **Como funcionam as usinas nucleares? | Blog com Ciência**. Disponível em: <<https://museuweg.net/blog/como-funcionam-as-usinas-nucleares/>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

XIE, C. **Molecular Workbench**. Concord Consortium, , 2014. Disponível em: <<http://mw.concord.org/modeler/>>

XIE, C. **Energy2D**. Concord Consortium, , 2020. Disponível em: <<http://energy2d.concord.org>>

YEO, S.; ZADNIK, M. Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. **The Physics Teacher**, v. 39, n. 8, p. 496–504, 2001.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 14° ed. [s.l.] Pearson Education do Brasil, 2016.

ZEMANSKY, M. W. **Calor e Termodinâmica**. 5° ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1978.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Teste Pictórico sobre as Fases da Matéria e suas Mudanças

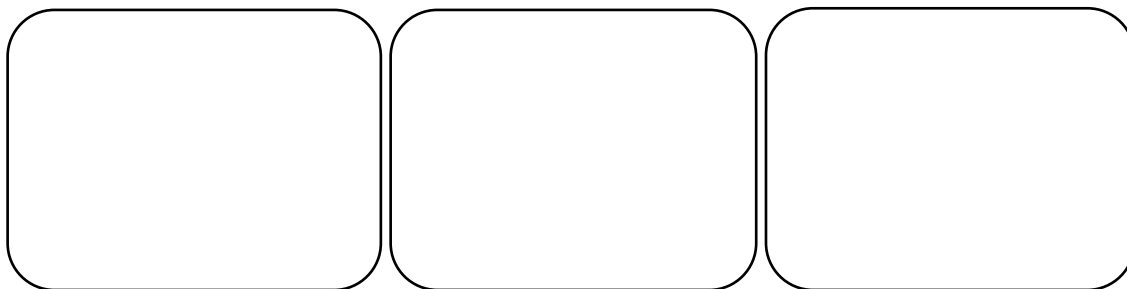
Nome: _____

Instruções:

Essa atividade é para avaliar a sua perspectiva sobre o movimento molecular nas três fases da matéria e nas suas mudanças. Desenhe nos espaços disponíveis o que se pede nas questões. Você pode utilizar lápis ou caneta, use várias cores, se for possível, para ter uma melhor fidelidade do modelo que você está pensando.

Primeira parte

A) O gelo sólido, a água líquida e o vapor da água são a mesma substância. Faça um desenho da substância água em cada estado físico da matéria representando como ela é por dentro, ou seja, como as moléculas de água estão organizadas “dentro” de cada estado da matéria.

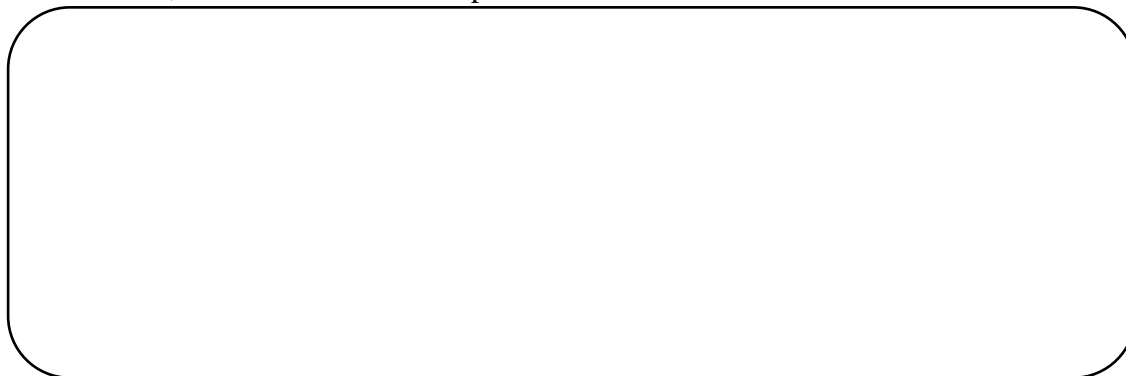


Sólido

Líquido

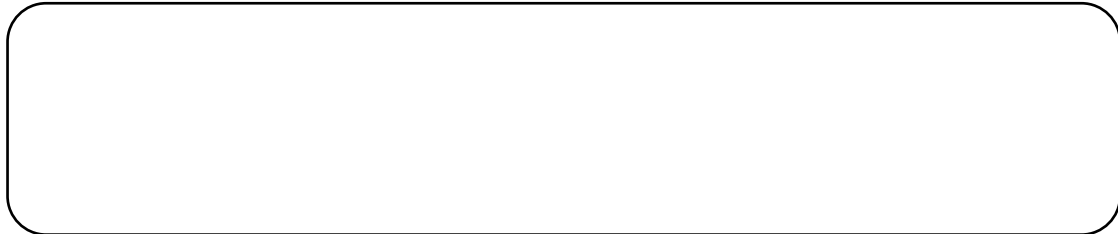
Gasoso

B) O calor é determinante para o aquecimento das substâncias. Faça um desenho, de como você entende, do calor entre dois corpos.

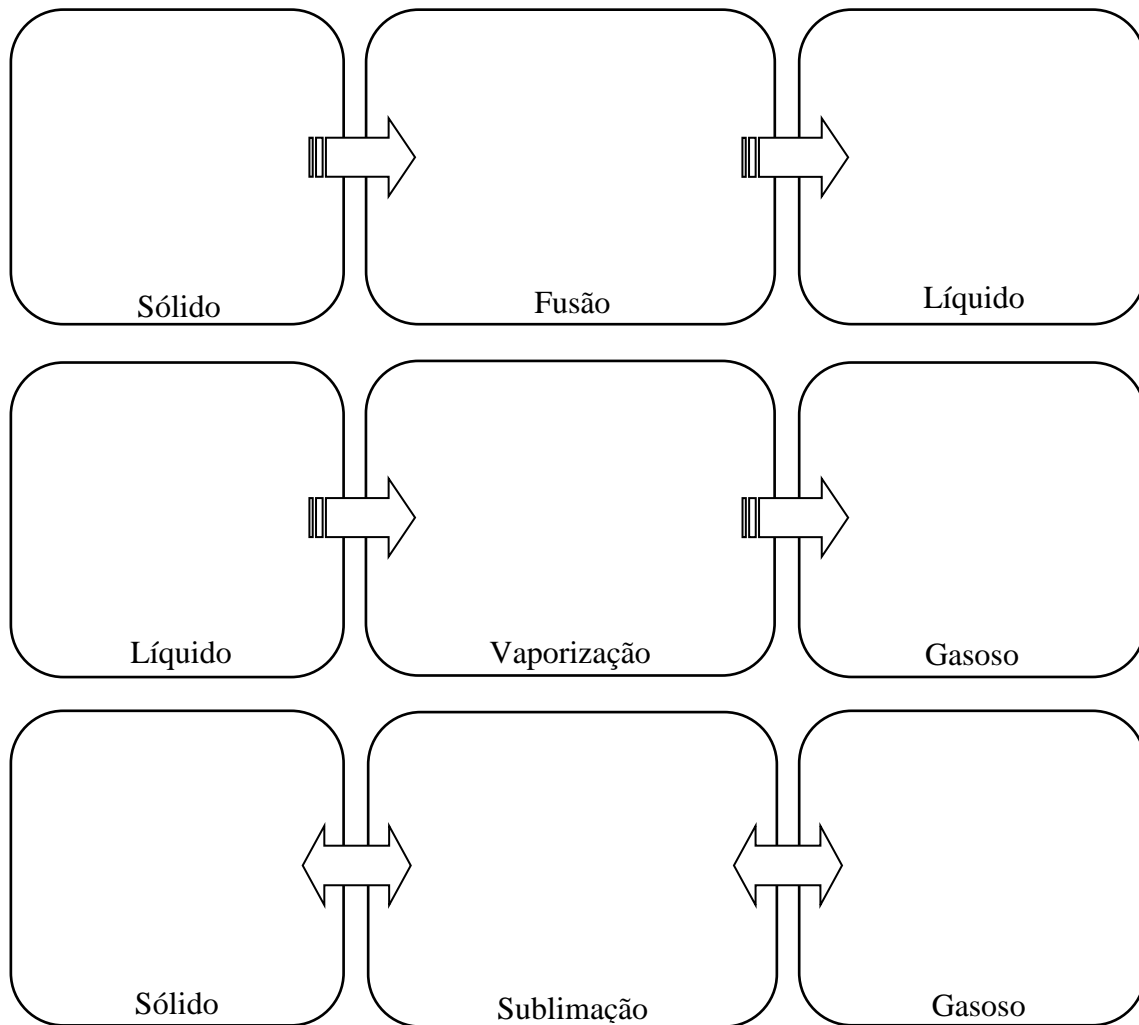


Segunda parte

A) A água no estado líquido é mais comum de ser observado no cotidiano. Desenhe, como você imagina, as moléculas de água no estado líquido misturada ao sal de cozinha (cloreto de sódio).



B) Represente, desenhe, as moléculas de uma substância mudando de estado físico, conforme as indicações. Estado inicial → Processo de mudança → Estado final.



Apêndice 2 – Endereço eletrônico dos Slides utilizados nas aulas

Aula 1:

Servidor 1: <https://app.box.com/s/fy2893zjttanrr1tz3s456hj3qwwosbh>

Servidor 2:

<https://docs.google.com/presentation/d/10sISji94EZbk2Uus3zMvwq2qlwLBb6kg/edit?usp=sharing&oid=111546846002987024808&rtpof=true&sd=true>

Aula 2:

Servidor 1: <https://app.box.com/s/bpofrp165ee49ndg3lzbgnunzzmj1gpb>

Servidor 2:

<https://docs.google.com/presentation/d/1FiZLHFqWLoxdFEWJPFumJoaNOMd-nu02/edit?usp=sharing&oid=111546846002987024808&rtpof=true&sd=true>

Aula 3:

Servidor 1: <https://app.box.com/s/cmrr73ec4lq6sqjcbfrsn7jd04v7jy9k>

Servidor 2:

<https://docs.google.com/presentation/d/1GDiECwwMfj0-jUEuiiNOCPWEnjcUXNrp/edit?usp=sharing&oid=111546846002987024808&rtpof=true&sd=true>

Aula 4:

Servidor 1: <https://app.box.com/s/b83kfraa2airsju1g5627viy3314cg18>

Servidor 2:

https://docs.google.com/presentation/d/1dS1mOy_2FfIOI-rYsQGinC9nodP_n9l8/edit?usp=sharing&oid=111546846002987024808&rtpof=true&sd=true

Aula 5:

Servidor 1: <https://app.box.com/s/i7aa1no4q2n0nd8glr6xx625br8vfpf>

Servidor 2:

https://docs.google.com/presentation/d/1CC5OSRStRvPW6M3Gz_imiZDxZeI4h1L6/edit?usp=sharing&oid=111546846002987024808&rtpof=true&sd=true

Apêndice 3 – Ficha de Atividades

Ficha de Atividades

Nome: _____

O que é Temperatura?

- Indica o quanto um corpo é quente.
- É a medida do grau de agitação das moléculas que compõem um corpo.
- É o calor dos corpos.

O que é Calor?

- É a temperatura dos corpos.
- É o fluxo de energia térmica.

1

Qual dos dois blocos tem a temperatura mais baixa antes do aquecimento?

- Ferro
- Tijolo
- Os dois possuem a mesma temperatura

Qual dos blocos acumulou mais energia?

- Ferro
- Tijolo

Houve mudança de temperatura?

- Somente no bloco de Ferro
- Somente no bloco do Tijolo
- Em ambos os blocos

2

Como você acredita que é o comportamento da molécula de água no estado sólido?

O aumento de temperatura modifica a configuração da molécula de água?

3

Apêndice 4 – Ficha de Respostas

Nome: _____

Ficha de respostas

2.1	2.2	2
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

3.1	3.2	3
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

4.1	4.2	4.3	4
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

6.1	6
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

7.1	7
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

ANEXO

Anexo 1 – Teste sobre a Compreensão das Propriedades Térmicas

Q1. Samuel pega uma lata e uma garrafa plástica de refrigerante da geladeira, onde tinham sido colocados na noite anterior. Ele rapidamente coloca um termômetro no refrigerante contido na lata. A temperatura é de 7°C . Quais são as temperaturas mais prováveis da garrafa de plástico e do refrigerante de seu interior?

- A) Estão ambas abaixo de 7°C .
- B) Estão ambas a 7°C .
- C) Estão ambas acima de 7°C .
- D) O refrigerante está a 7°C , mas a garrafa está a mais de 7°C .
- E) Depende da quantidade de refrigerante e/ou do tamanho da garrafa.

Q2. Jan anuncia que não gosta de sentar nas cadeiras de metal da sala porque "ao tocá-la, são mais frias que as de plástico". Com qual afirmação você concorda totalmente?

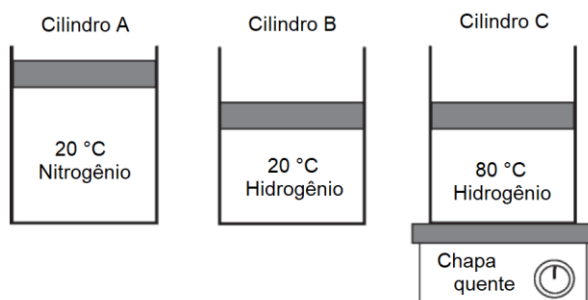
- A) Jim concorda e diz: "As cadeiras de metal ficam mais frias porque o metal é naturalmente mais frio que o plástico".
- B) Kip diz: "As cadeiras de metal não são mais frias, porque estão na mesma temperatura".
- C) Lou diz: "As cadeiras de metal não são mais frias, parecem mais frias porque são mais pesadas".
- D) Mai diz: "As cadeiras de metal são mais frias porque o metal absorve o calor do corpo mais rapidamente".

Q3. Kim pega duas réguas, uma de metal e outra de madeira. Ele anuncia que o metal se sente mais frio do que o de madeira. Qual é a sua explicação preferida para essa situação para Kim?

- A) O metal conduz o calor mais rapidamente que a madeira.
- B) A madeira é naturalmente uma substância mais quente que o metal.
- C) Os metais são melhores radiadores de calor que a madeira.
- D) O frio flui mais facilmente de um metal.

Use as seguintes informações para responder às perguntas 4 e 5.

Três cilindros idênticos são preenchidos com quantidades desconhecidas de gases ideais. Os cilindros são fechados com pistões idênticos de massa M e atrito desprezível. Os cilindros A e B estão em equilíbrio térmico com a sala a 20°C , e o cilindro C é mantido a uma temperatura de 80°C . O pistão de cada cilindro está em equilíbrio mecânico com o meio ambiente.



Q4. A pressão do gás nitrogênio no cilindro A em relação a pressão do gás hidrogênio no cilindro B será?

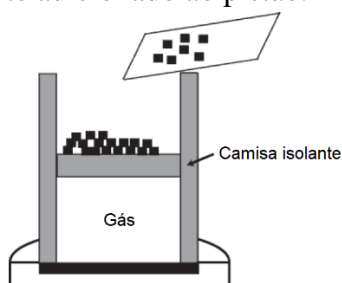
- A) Maior
- B) Menor
- C) Igual

Q5. A pressão do gás hidrogênio no cilindro B em comparação à pressão do gás hidrogênio no cilindro C será?

- A) Maior
- B) Menor
- C) Igual

Use as seguintes informações para responder às perguntas 6 a 8.

Um gás ideal está contido em um cilindro com um pistão bem ajustado, para que nenhum gás escape. Várias pequenas massas estão no pistão. (Desconsidere o atrito entre o pistão e as paredes do cilindro.) O cilindro é colocado em uma camisa isolante. Um grande número de massas é rapidamente adicionado ao pistão.



Q6. A temperatura do gás muda?

- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Permanece inalterada

Q7. A pressão do gás muda?

- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Permanece inalterada

Q8. O volume do gás muda?

- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Permanece inalterado

Q9. Quando se coloca água morna em um copo a superfície externa do mesmo permanece seca. Quando colocamos água gelada, a superfície externa do copo fica úmida. Nesse caso pode-se afirmar que:

- A) o copo deixa “vazar” água gelada pelos seus poros
- B) o copo deve ser de metal, pois somente metais podem ficar com a superfície úmida
- C) a superfície externa gelada provoca a condensação das moléculas de água contidas no ar.

Q10. João percebeu um cheiro desagradável em seu guarda-roupas, foi ao mercado em busca de algo que tirasse esse odor, o vendedor recomendou naftalina (pequenas bolinhas sólidas). Ao passar do tempo, João percebeu que a naftalina começou a sumir do guarda-roupas, as bolinhas iam diminuindo de tamanho. Então João concluiu que:

- A) diminui de tamanho porque a naftalina derrete quando colocada em contato com o tecido das roupas.
- B) a naftalina diminui de tamanho devido ao aumento de temperatura dentro do guarda-roupas.
- C) a naftalina diminui de tamanho até sumir pois muda de estado físico, passando do sólido diretamente para o estado gasoso.

Q11. O dióxido de carbono sólido “CO₂” é conhecido como gelo seco ele é muito usado para produzir o efeito de fumaça em apresentações (shows). Ele é resfriado a uma temperatura inferior a – 70 °C, e ao entrar em contato com o ar torna-se gás, produzindo uma fumaça branca. A respeito desse processo afirma-se:

- A) que o gelo seco faz uma mudança de estado físico, do estado sólido para o gasoso.
- B) que o dióxido de carbono é naturalmente um gás e por isso sempre se tornará um gás.
- C) a fumaça branca que sai do gelo seco é apenas o frio que sai e não altera o tamanho do gelo.

Q12. Jim acredita que deve usar água fervente para fazer uma xícara de chá. Ele diz a seus amigos que "Eu não poderia fazer chá se eu estivesse acampando em uma montanha alta porque a água não ferve em grandes altitudes". Qual afirmação você concorda totalmente?

- A) Joys diz: "Sim, porque a água ferve abaixo de 100 ° C quando a pressão diminui."
- B) Tay diz: "Jim está incorreto porque a água sempre ferve na mesma temperatura".
- C) Lou diz: "O ponto de ebulição da água diminui, mas a própria água ainda está a 100 ° C".
- D) Mai diz: "Eu concordo com Jim. A água nunca chega ao ponto de ebulição."

Q13. Existem três potes de água fervente no fogão. Qual deles tem a temperatura mais baixa?

- A) Aquele que está fervendo vigorosamente
- B) Aquele que está fervendo há mais tempo
- C) Aquele que mal está fervendo
- D) Todos eles têm a mesma temperatura

Q14. Qual é a temperatura mais provável dos cubos de gelo que se encontram armazenados no congelador de uma geladeira?

- A) -10°C
- B) 0 °C
- C) 5 °C
- D) A temperatura depende do tamanho dos cubos de gelo

Q15. Francisco pega seis cubos de gelo no congelador e coloca quatro deles dentro de um copo com água, deixando os outros dois sobre a mesa. Agita várias vezes o copo até que os cubos de gelo estejam bem pequenos e tenham parado de derreter. Qual é a temperatura mais provável da água nesta situação?

- A) -10 °C
- B) 0 °C
- C) 5 °C
- D) 10 °C

Q16. Os cubos de gelo que Francisco deixou sobre o balcão quase derreteram por completo e repousam sobre uma poça de água, ficando ainda pequenos pedaços de gelo. Qual é a temperatura mais provável desses cubos de gelo menores?

- A) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Q17. Sobre o fogão está uma panela cheia de água. A água começou a ferver rapidamente. A temperatura mais provável da água é:

- A) $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) Nenhuma das respostas acima é correta

Q18. Cinco minutos mais tarde, a água na panela ainda ferve. A temperatura mais provável da água agora é:

- A) $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) $120\text{ }^{\circ}\text{C}$

Q19. Qual será a temperatura do vapor acima da água fervente na panela?

- A) $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ B) $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
D) $120\text{ }^{\circ}\text{C}$

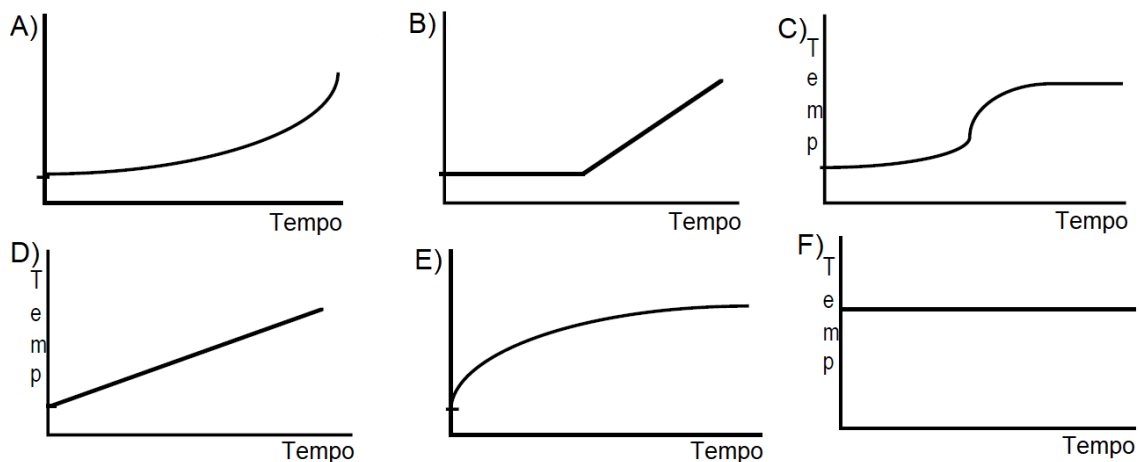
Q20. A figura mostra um cilindro com embolo, no qual certo líquido está em equilíbrio com o próprio vapor. Se reduzirmos o volume V, sem alterar a temperatura:



- A) mais líquido se vaporizará
B) mais vapor vai se condensar
C) a proporção de líquido e vapor não se alterará
D) o líquido começará a ferver

As perguntas 21 a 24 referem-se a um copo inicialmente com uma mistura de 50 g de gelo e 50 g de água a 0°C . O copo é perfeitamente isolado para que nenhum calor possa ser transferido para dentro ou para fora. A temperatura ambiente é de 25°C .

Um pequeno aquecedor de xícara de café dentro da xícara permite que o calor seja transferido para a mistura de gelo e água. O calor é transferido a uma taxa constante e a mistura é agitada continuamente para que a temperatura seja sempre uniforme em toda a mistura. Para cada pergunta abaixo, escolha a forma do gráfico de temperatura e tempo nos gráficos **A** a **F** na parte superior da página que melhor corresponda à temperatura da mistura durante o intervalo de tempo descrito. (Você pode escolher um gráfico mais de uma vez. A origem dos gráficos não representa necessariamente 0°C .)



Q21. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo quando o gelo está derretendo, mas ainda há gelo na água?

Q22. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo quando ainda há gelo no início do intervalo, mas todo o gelo desaparece antes do final do intervalo?

Q23. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo quando há apenas água (o gelo derrete completamente antes do início do intervalo), mas nenhuma fervura ocorre durante o intervalo?

Q24. Qual gráfico pode mostrar um intervalo de tempo em que a água está fervendo durante todo o tempo mostrado no gráfico?

Chave de correção dos itens:

Q1 – B	Q13 – D
Q2 – D	Q14 – A
Q3 – A	Q15 – B
Q4 – C	Q16 – B
Q5 – C	Q17 – B
Q6 – A	Q18 – B
Q7 – A	Q19 – B
Q8 – B	Q20 – B
Q9 – C	Q21 – F
Q10 – C	Q22 – B
Q11 – A	Q23 – D
Q12 – A	Q24 – F

ANEXO

ANEXO 1 – Autorização Institucional



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física




UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Eu Suziany Leandro Vidinho Da Silva, abaixo assinado, responsável pela **Escola Estadual Desembargador André Vidal de Araújo**, autorizo a aplicação do produto educacional referente ao trabalho de pesquisa intitulado *SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO SOBRE AS PROPRIEDADES TÉRMICAS: Evidências em Modelos Mentais e Subsunoçores*, a ser conduzido pelo pesquisador e professor da instituição **José Bruno dos Santos Barbosas**. Fui informado(a), pelo responsável do estudo, sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas na instituição a qual represento.

Manaus, 02 de agosto de 2021


E. E. Des. André Vidal de Araújo
SUZIANY LEANDRO VIDINHO
Gestora - Port. GS 388/2021

Assinatura e carimbo do responsável institucional