

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

BRENDA MAIA REMONATO

**LIOFILIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS: UMA REVISÃO NARRATIVA COM
APLICAÇÃO NO ENSINO DE TERMODINÂMICA**

**Bagé
2025**

BRENDA MAIA REMONATO

**LIOFILIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS: UMA REVISÃO NARRATIVA COM
APLICAÇÃO NO ENSINO DE TERMODINÂMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura em
Física da Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Licenciada em Física.

Orientador: Wladimir Hernandez Flores

**Bagé
2025**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

R3891 Remonato, Brenda Maia

 Liofilização de biopolímeros: uma revisão
narrativa com aplicação no ensino de termodinâmica /
Brenda Maia Remonato.

 79 p.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, FÍSICA, 2025.

 "Orientação: Wladimir Hernandez Flores".

 1. Biopolímeros. 2. Liofilização. 3.
Termodinâmica. 4. Ensino de Física. I. Título.

BRENDA MAIA REMONATO

LIOFILIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS: UMA REVISÃO NARRATIVA COM APLICAÇÃO NO ENSINO DE TERMODINÂMICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para obtenção do Título de Licenciado em Física.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 02/07/2025.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Wladimir Hernandez Flores

Orientador
UNIPAMPA

Profa. Dra. Renata Hernandez Lindemann

UNIPAMPA

Profa. Dra. Rosana Cavalcanti Maia Santos

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **WLADIMIR HERNANDEZ FLORES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 18:38, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ROSANA CAVALCANTI MAIA SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 19:08, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RENATA HERNANDEZ LINDEMANN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/07/2025, às 20:30, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1777793** e o código CRC **84C31DDF**.

AGRADECIMENTO

Agradeço, primeiramente, aos meus pais por serem meus exemplos de perseverança, por me ensinarem a importância de correr atrás dos meus sonhos e, principalmente, por me permitirem fazer isso com a certeza de que sempre terei amor e segurança me esperando em casa.

Agradeço também aos meus amigos pelas risadas, conversas e conselhos, mas, acima de tudo, por terem acreditado em mim, mesmo quando eu não acreditei.

“[...] as ideias são muito mais indomáveis do que as lembranças, elas anseiam e estão sempre à procura de novas formas de criar raízes”.

V. E. Schwab

RESUMO

Nos últimos anos o processo de liofilização tem sido utilizado em diversos ramos da indústria como um dos principais métodos de secagem. Sua predominância se encontra na indústria de alimentos e na indústria farmacêutica, contudo, estudos sobre a utilização do processo de liofilização no desenvolvimento de materiais também podem ser encontrados na literatura. Esta pesquisa tem como objetivo sistematizar os conceitos físicos termodinâmicos presentes no processo de liofilização de biopolímeros e utilizar o processo de liofilização como contextualização para a elaboração de uma proposta de atividade para o ensino de termodinâmica no Ensino Médio. Para sistematização de conceitos será utilizada uma revisão de literatura do tipo narrativa. A atividade de ensino utiliza as abordagens da contextualização e a interdisciplinaridade, que são abordagens pedagógicas que buscam superar os limites do ensino tradicional, promovendo uma educação mais significativa, crítica e integrada. A contextualização fundamenta-se na valorização da realidade social e cultural dos alunos como ponto de partida para a aprendizagem. Apoiada em teóricos como Paulo Freire, Piaget, Lev Vygotsky e David Ausubel, enfatiza a importância de relacionar o conteúdo escolar com as experiências dos alunos, promovendo engajamento e reflexão crítica. A interdisciplinaridade baseia-se na integração de diferentes áreas do conhecimento para abordar temas complexos de forma totalizante. Neste trabalho está fundamentada nas ideias de Ivani Fazenda que aponta essa abordagem como essencial para compreender a complexidade do mundo atual e desenvolver competências necessárias para a vida em sociedade. Ambas as abordagens compartilham fundamentos pedagógicos que valorizam a aprendizagem ativa, significativa e contextualizada, promovendo o desenvolvimento integral dos alunos e preparando-os para enfrentar os desafios do século XXI.

Palavras-Chave: biopolímeros; liofilização; termodinâmica; ensino de física.

ABSTRACT

In recent years, the freeze-drying process has been employed in various industrial sectors as one of the primary drying methods. Its predominant applications are found in the food and pharmaceutical industries, however, studies on the use of freeze-drying in the development of materials are also available in the literature. This research aims to systematize the thermodynamic physical concepts inherent to the freeze-drying process of biopolymers and to use freeze-drying as a context for the elaboration of an educational activity focused on teaching thermodynamics at the high school level. To systematize the concepts, a narrative literature review will be conducted. The educational activity will incorporate contextualization and interdisciplinarity approaches, pedagogical strategies that aim to transcend the limitations of traditional teaching, promoting a more meaningful, critical, and integrated education. Contextualization is grounded in valuing students' social and cultural realities as a starting point for learning. Drawing on theorists such as Paulo Freire, Piaget, Lev Vygotsky and David Ausubel, it emphasizes the importance of connecting school content to students' experiences, thereby promoting engagement and critical reflection. Interdisciplinarity, in turn, is based on integrating different areas of knowledge to address complex topics in a comprehensive manner. This work is based on the ideas of Ivani Fazenda, who points out this approach is essential for understanding the complexity of today's world and developing the skills necessary for life in society. Both approaches share pedagogical foundations that prioritize active, meaningful, and contextualized learning, promoting the integral development of students and preparing them to face the challenges of the 21st century.

Keywords: biopolymers; freeze-drying; thermodynamics; physics teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Setores de aplicação do amido	15
Figura 2 – Estrutura do amido: (a) amilose e (b) amilopectina	31
Figura 3 – Modelo predominante da estrutura do amido: (a) Estrutura granular do amido, (b) Anéis de crescimento amorfos e cristalinos, (c) Lamelas amorfas e cristalinas, (d) Blocklets, (e) Organização das cadeias de amilopectina e amilose, (f) Nanocristais, (g) Molécula de amilopectina, (h) Molécula de amilose	32
Figura 4 – Sistematização de informações sobre o processo de congelamento presente nos trabalhos de Kasper e Friess (2011) e Assegehegn (2020)	34
Figura 5 – Diagrama das denominações das mudanças de fase	38
Figura 6 – Diagrama de fases	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Divisão da atividade de ensino em situações-problema.....	47
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

et al. – e colaboradores

apud. – citado por

n. – número

p. – página

v. – volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Origem da ideia e relação com o histórico do autor	13
1.2 Importância e significado do estudo	14
1.3 Contexto em que se pretende conduzir a pesquisa.....	15
1.4 Breve exposição da problemática que envolve a pesquisa	16
1.4.1 O ensino de física em contexto.....	16
1.4.2 Materiais porosos.....	18
1.5 Objetivos.....	19
1.5.1 Objetivo geral	19
1.5.2 Objetivos específicos.....	19
1.6 Organização do trabalho	19
2 PERSPECTIVAS TEÓRICAS PARA APRENDIZAGEM	20
2.1 Perspectiva da contextualização	20
2.2 Perspectivas da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel	23
2.3 Perspectiva da interdisciplinaridade	26
2.4 Contextualização e interdisciplinaridade nas orientações curriculares para o ensino médio	27
3 O AMIDO E O PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO	30
3.1 Estrutura e processamento do amido	30
3.2 O processo de liofilização	33
3.2.1 Congelamento	33
3.2.2 Secagem primária	35
3.2.3 Secagem secundária.....	36
4 TERMODINÂMICA DO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO	37
4.1 Mudanças de estado	37

4.2 Solidificação	39
4.3 Sublimação	39
4.4 Vaporização	40
5 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	42
5.1 Abordagem metodológica para elaboração das situações-problema a partir da interdisciplinaridade e contextualização	42
5.2 Abordagem metodológica para sistematizar o conhecimento sobre o amido, o processo de liofilização e a termodinâmica	43
5.3 Abordagem metodológica para a elaboração da proposta de atividade de ensino.....	44
6 PROPOSTA DE ATIVIDADE DE ENSINO	45
6.1 Descrição das situações-problema	45
6.1.1 Explorando o congelamento através da liofilização do café.....	47
6.1.2 Explorando a sublimação através da liofilização de alimentos	48
6.1.3 Explorando a evaporação através da liofilização de um material biopolimérico.....	48
6.1.4 Material de apoio para o professor	49
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICE A – SITUAÇÃO-PROBLEMA 1: EXPLORANDO O CONGELAMENTO ATRAVÉS DA LIOFILIZAÇÃO DO CAFÉ	54
APÊNDICE B – ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA 1	59
APÊNDICE C – SITUAÇÃO-PROBLEMA 2: EXPLORANDO A SUBLIMAÇÃO ATRAVÉS DA LIOFILIZAÇÃO DE ALIMENTOS.....	62
APÊNDICE D – ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA 2	67
APÊNDICE E – SITUAÇÃO-PROBLEMA 3: EXPLORANDO A EVAPORAÇÃO ATRAVÉS DA LIOFILIZAÇÃO DE UM MATERIAL BIOPOLIMÉRICO	70
APÊNDICE F – ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA 3.....	75

APÊNDICE G – MATERIAL DE APOIO PARA APLICAÇÃO.....	78
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

1.1 Origem da ideia e relação com o histórico do autor

A ideia que se buscou desenvolver neste trabalho tem como tema o processo de liofilização de biopolímeros e o ensino de física, delimitado este tema ao estudo da termodinâmica do processo de liofilização com aplicação no ensino médio.

O processo de Liofilização é utilizado na extração da água da estrutura formada por biopolímeros, que são polímeros de origem natural (proteínas, polissacarídeos, etc.). O processo de liofilização possui vasta aplicação em diferentes áreas, podendo ser utilizado na fabricação de fármacos, alimentos e também no desenvolvimento de materiais.

O interesse da autora pela pesquisa surge do desenvolvimento de materiais biopoliméricos com potencial para suporte de nanopartículas que estão sendo desenvolvidos pelo Prof. Dr. Wladimir H. Flores, membro do grupo de pesquisa Nanoestruturados (CNPq) e docente pesquisador da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

Como discente do Curso de Física da UNIPAMPA, ingressante no ano de 2020, participou de dois projetos de extensão, um deles voltado à formação continuada de professores para o ensino de Física na Educação Infantil, e o outro denominado “Astronomia para Todos” que tem como alguns dos objetivos atender o público do planetário fixo e móvel e desenvolver materiais e pesquisa na área de planetários. Também participou do Programa Institucional de Iniciação à Docência (PIBID), subprojeto Física, Química e Matemática, que busca a inserção de alunos de cursos de licenciatura no cotidiano de escolas de educação básica.

Em setembro de 2023 iniciou seus primeiros estudos, na área de materiais, trabalhando com o ajuste de funções aplicado a difratogramas de raios X com uso de programas computacionais no âmbito do projeto “Pesquisa de Materiais Sustentáveis com Potencial de Aplicações Tecnológicas”. Em fevereiro de 2024 oficializou sua participação como participante voluntária no referido projeto. Durante esse período, vem dedicando-se aos estudos de materiais biopoliméricos, processo de liofilização, difração de raios X e espectroscopia Raman.

1.2 Importância e significado do estudo

A importância e significado do estudo se relacionam aos aspectos pessoal, científico, social e ambiental, além do aspecto educacional.

Em termos pessoais, o trabalho irá contribuir com o desenvolvimento acadêmico e pessoal da autora. Ajudará no desenvolvimento de uma base sólida de conhecimento para futuros estudos na área de ciência de materiais e familiarização com diferentes técnicas experimentais de caracterização, além do desenvolvimento de habilidades como organização e escrita científica.

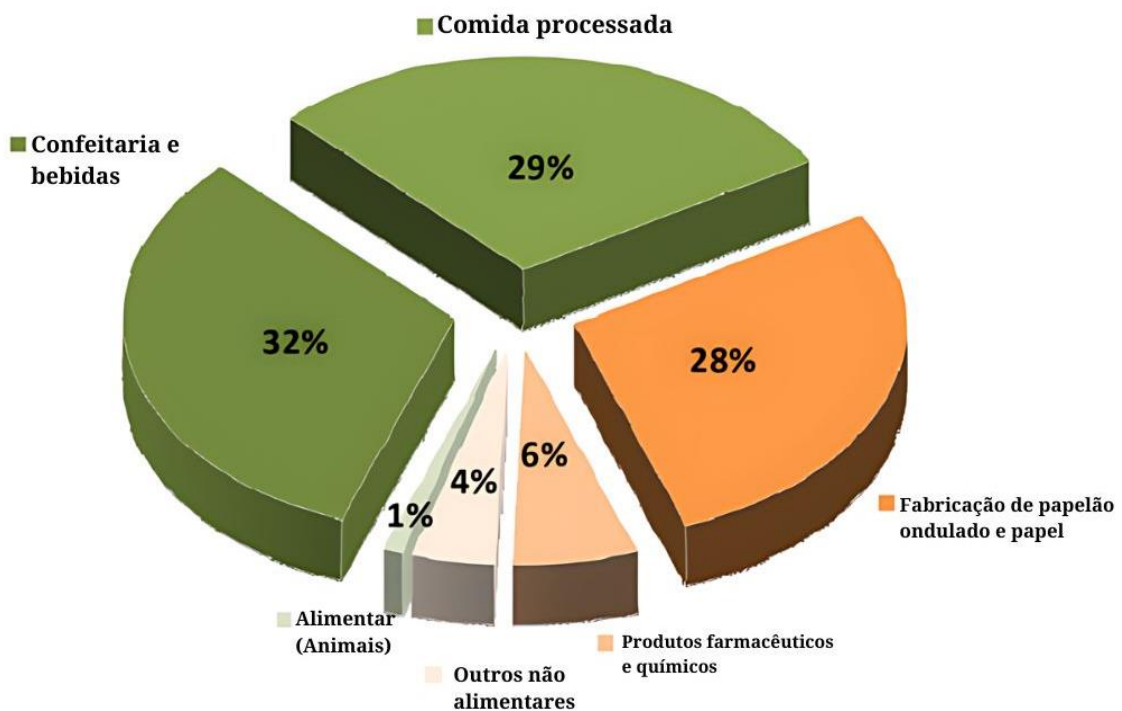
Quanto ao aspecto científico, este estudo pretende contribuir com atividades do grupo Nanoestruturados que visa a pesquisa do processo de liofilização de biopolímeros. Este processo, também conhecido como secagem por congelamento, envolve remoção de água de produtos através da mudança de estado físico por sublimação. De forma geral, o método de realização desse processo requer o congelamento do material e posterior inserção em um ambiente de baixa pressão. Esse método possibilita a passagem direta da água em estado sólido para estado gasoso sem passar pela fase líquida. Nos últimos anos, grande parte da aplicação do processo de liofilização se deu na indústria farmacêutica, na produção de diversos fármacos (Kunal *et al.*, 2015). Já, na indústria alimentícia, conforme aponta Liu e colaboradores (2022) baseando-se nas ideias de Cheng-Hai *et al.* (2008) e Berk (2013), a liofilização possui diversas vantagens quando bem-sucedida, podendo ser utilizada para preservar propriedades nutricionais, cor, cheiro, gosto, entre outros.

Do ponto de vista do desenvolvimento de materiais, o processo de liofilização depende de fatores como o próprio material de partida, os métodos aos quais ele será submetido, assim como, as propriedades desejadas e sua posterior aplicação. No ramo em questão, pode ser utilizado como método de secagem para o desenvolvimento de materiais porosos (Baudron *et al.*, 2019).

No que se refere ao aspecto social e ambiental, o trabalho contribuirá com a pesquisa no desenvolvimento de materiais sustentáveis, pois para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado como biopolímero o amido que é um biopolímero abundante na natureza, podendo ser encontrado em diversas plantas como milho, batata, mandioca, entre outras (Le Corre, 2011). Por ser um polímero de origem natural, o amido tem sido estudado como uma alternativa aos plásticos a base de petróleo (Adewale; Yancheshmeh; Lam, 2022). A Figura 1 mostra que nos últimos anos o

amido tem sido utilizado em diversos ramos industriais, sua predominância ainda se encontra na indústria alimentícia, contudo, também é utilizado na fabricação de papéis, na indústria farmacêutica e em outras aplicações não alimentares (Le Corre, 2011).

Figura 1 – Setores de aplicação do amido



Fonte: Adaptado de Le Corre (2011)

O presente trabalho também busca contribuir com a aproximação da pesquisa acadêmica e desenvolvimento tecnológico com o ambiente escolar, uma vez que utiliza o processo de liofilização de biopolímeros, (tema pesquisado pela autora e utilizado em diversas indústrias) como contexto para o ensino de conceitos de termodinâmica no ensino médio, colaborando, portanto, nos aspectos científicos, sociais e educacional.

1.3 Contexto em que se pretende conduzir a pesquisa

Este estudo se desenvolveu no âmbito de um Trabalho de Conclusão (TCC) do Curso de Licenciatura em Física da UNIPAMPA que combina, por um lado, um estudo de iniciação científica envolvendo o processo de liofilização junto ao grupo de

pesquisa Nanoestruturados da mesma Instituição e, por outro, o planejamento e elaboração de uma proposta de atividade para o ensino de conceitos termodinâmicos no contexto do processo de liofilização. A atividade de ensino utilizará as abordagens da contextualização e da interdisciplinaridade.

A contextualização e a interdisciplinaridade são abordagens que emergem como respostas às limitações do ensino tradicional. Elas buscam tornar a educação mais significativa, relevante e eficaz, promovendo uma educação integradora. A contextualização enfatiza a importância de relacionar os conteúdos educacionais com a realidade dos alunos, considerando seu contexto sociocultural e experiências prévias. A interdisciplinaridade propõe a integração de diferentes áreas do conhecimento para abordar problemas complexos, refletindo a natureza interconectada do mundo contemporâneo. Ambas as abordagens se fundamentam em epistemologias que valorizam a construção ativa do conhecimento, a mediação social e a compreensão totalizante dos fenômenos. Psicologicamente, elas se apoiam em teorias que destacam a importância da motivação, do engajamento e do desenvolvimento de habilidades cognitivas superiores.

1.4 Breve exposição da problemática que envolve a pesquisa

1.4.1 O ensino de física em contexto

O ensino focado nas ideias tradicionais de memorização de conteúdo, tem sido muito frequente dentro das salas de aula (Gelhardt; Ecco, 2022). As escolas, tem se preocupado principalmente no repasse destes conteúdos, deixando de promover um ensino de qualidade, onde o aluno é exposto a condições que possibilitam a construção do seu conhecimento, através de um ensino contextualizado, que possibilita relacionar o cotidiano do aluno com os próprios conteúdos (Gelhardt; Ecco, 2022).

Gelhardt e Ecco (2022) apontam que o ensino dos conteúdos de forma arbitrária, sem contexto ou apenas com exemplificação tem se mostrado ineficiente para uma aprendizagem significativa, pois não envolve a realidade do aluno e nem seus conhecimentos prévios adquiridos fora do ambiente escolar. Esses autores (2022, p. 18), tomando como fundamento a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, destacam que “[...] somente é possível um aprendizado duradouro e

com significado quando uma nova ideia é ligada a um conhecimento já existente na estrutura cognitiva do sujeito, valorizando assim, seus saberes prévios”. Os autores, nesse trecho, destacam que aprendizagem significativa é aprendizagem duradoura e com significado.

Contextualizar o conteúdo é fazer com que ele possua relação com a realidade em que o aluno está inserido, é torná-lo algo presente em seu cotidiano (Gelhardt; Ecco, 2022). A contextualização possui propósitos que vão além de relacionar os conteúdos com a realidade do aluno, conforme apontam Gelhardt e Ecco (2022, p. 22-23)

Advoga-se, por meio dos Parâmetros Curriculares Nacionais, a contextualização como procedimento para dar sentido e significado aos temas, assuntos, conteúdos desenvolvidos em aula. Também entende a contextualização como um eficiente recurso para motivar e despertar o interesse do aluno para aprender.

Segundo esses mesmos autores, a construção de significados se relaciona com os conhecimentos prévios:

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel apresenta os princípios de como aquilo que é aprendido por um indivíduo cria significados na sua estrutura cognitiva. Isso ocorre a partir de uma rede de significados prévios, em que o novo conhecimento se ancora, ou seja, apoia-se para ser construído e assimilado (Gelhardt; Ecco, 2022, p. 38).

Portanto, a construção de significado também se apoia nos conhecimentos que o aluno possui, que podem ter sido construídos através de suas experiências de vida.

Na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel temos uma “via de mão dupla” para que a aprendizagem seja significativa, ou seja, depende tanto do docente quanto do aluno. Essa teoria estabelece condições que são necessárias para a efetivação da aprendizagem significativa que se referem a condições relativas ao material de ensino e condições relativas ao aluno (Moreira, 2012).

Quanto às condições do material a ser disponibilizado ao aluno, este deve ser potencialmente significativo, ou seja, ter uma estrutura lógica ou conceitual explicativa, bem como vocabulário e terminologia adaptados ao aluno (Moreira, 2012). Porém, apenas esse material não será suficiente se o aluno não tiver interesse em aprender, conforme aponta Moreira (2012, p. 8)

A segunda condição é talvez mais difícil de ser satisfeita do que a primeira: o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-

arbitrária e não-litera, a seus conhecimentos prévios. É isso que significa predisposição para aprender.

Assim, quanto às condições relativas ao aluno, cabe a este ser um agente ativo no seu processo de aprendizagem, com predisposição favorável à compreensão, procurando dar significado ao novo conhecimento; a outra condição é que o aluno tenha na sua estrutura cognitiva conhecimentos já aprendidos que lhe permitam relacionar com o novo conhecimento (Moreira, 2012).

Adicionalmente, com base no exposto, ficará potencialmente favorecida a aprendizagem do aluno a partir de um material que lhe permita fazer conexões entre os conceitos a serem aprendidos e aspectos da realidade a qual ele esteja inserido, por exemplo, em uma abordagem de ensino em contexto. Neste trabalho, o processo de liofilização de biopolímeros será utilizado como contexto para proporcionar um ensino contextualizado buscando uma aprendizagem significativa de conteúdos de termodinâmica.

1.4.2 Materiais porosos

Um dos caminhos para o desenvolvimento de materiais porosos é primeiramente transformá-lo em gel e posteriormente secá-lo, buscando manter sua estrutura, conforme afirmam Baudron e colaboradores (2019). Eles dissertam sobre a utilização do processo de liofilização como método de secagem de tais materiais, afirmando que

Na liofilização, os géis são primeiramente congelados, transformando todo o líquido que preenche os poros em sólido. A sublimação do solvente é então realizada em baixa pressão, evitando a formação da interface vapor-líquido. Uma variedade de estruturas mesoporosas de poros abertos foi criada com sucesso pela liofilização em sistemas inorgânicos ou orgânicos, [...]. (Baudron *et al.*, 2019, p. 1, tradução nossa).

O processo de liofilização consiste na remoção de água através da sublimação de cristais de gelo de um material previamente congelado. Sua aplicação se dá em uma gama de áreas, incluindo a produção de produtos farmacêuticos, biológicos e secagem de produtos na indústria alimentícia, e nos últimos anos tem sido utilizado no desenvolvimento de materiais.

Este estudo se insere nesta problemática e envolve um problema que pode ser colocado da seguinte forma: **quais são as condições para obtenção de um material**

tecnológico com porosidade controlada, tais como tamanho, distribuição e tipo de poros.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo geral

Sistematizar o entendimento dos conceitos físicos termodinâmicos da liofilização de biopolímeros com aplicação na elaboração de uma atividade de ensino de física para o 2º ano do ensino médio no contexto do processo de liofilização.

1.5.2 Objetivos específicos

A presente pesquisa tem como objetivos específicos:

- a. Realização de uma revisão da literatura do tipo narrativa, buscando sistematizar conceitos sobre o processo de liofilização e o amido;
- b. Sistematizar os conceitos termodinâmicos envolvidos no processo de liofilização;
- c. Planejar e elaborar uma proposta de atividade de ensino de termodinâmica no contexto do processo de liofilização para o ensino médio.

1.6 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em 7 capítulos. O Capítulo 2 apresenta os referenciais teóricos utilizados para fundamentar a proposta de atividade que utiliza as abordagens da contextualização e interdisciplinaridade. O Capítulo 3 aborda o referencial teórico sobre o amido e o processo de liofilização, enquanto que a apresentação dos conceitos termodinâmicos envolvidos no processo de liofilização se encontra no Capítulo 4. O Capítulo 5 apresenta a abordagem metodológica utilizada, o Capítulo 6 apresenta a proposta de atividade de ensino desenvolvida no andamento deste trabalho, e no Capítulo 7 se encontram as considerações finais. No final do documento, encontram-se os Apêndices contendo as situações-problema da proposta de atividade de ensino, suas análises e um material de apoio para aplicação.

2 PERSPECTIVAS TEÓRICAS PARA APRENDIZAGEM

Para fundamentar as atividades de ensino propostas neste trabalho que terá como contexto o processo de liofilização para o ensino de conceitos de termodinâmica, apresentam-se, a seguir, as perspectivas da contextualização, da interdisciplinaridade e da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel para aprendizagem que fundamentam a proposta de atividade de ensino.

2.1 Perspectiva da contextualização

Começamos com a origem e formação da palavra. “Contextualização” é um substantivo derivado do verbo “contextualizar” (substantivo “contexto” + sufixo “-alizar”). A palavra “contexto” tem sua origem do latim *contextus* que significa “ação de tecer junto”, “conexão”, “conjunto de palavras que se relacionam” (Houaiss; Villar, 2001). Portanto, “contextualizar” significa “colocar em contexto” ou “inserir algo nas circunstâncias que lhe conferem sentido”. Assim, “contextualização” é o ato de inserir em contexto, de relacionar um fato, ideia, palavra ou acontecimento com as circunstâncias que o cercam, facilitando sua compreensão plena (Ferreira, 2010). Na educação, se refere a abordagem pedagógica que relaciona conteúdos escolares ou acadêmicos à realidade dos alunos, tornando o aprendizado mais significativo e relevante (Freire, 2005).

A contextualização na educação surge como uma resposta às críticas ao ensino tradicional, que frequentemente apresentava os conteúdos de forma descontextualizada e alheia à realidade dos alunos. Ganhou força especialmente a partir das décadas de 1970 e 1980 influenciada por movimentos educacionais que buscavam tornar a aprendizagem mais significativa e relevante. No Brasil, a contextualização foi fortemente influenciada pelas ideias de educadores como Paulo Freire (2005), que defendia uma educação libertadora e vinculada à realidade sociocultural dos alunos. Para ele, a contextualização é essencial para que a educação seja um ato de conhecimento e transformação da realidade, promovendo a consciência crítica e a emancipação dos alunos.

Em diversos momentos de sua obra “Pedagogia do Oprimido”, Paulo Freire (2005) aborda o conceito da contextualização indiretamente, quando defende que os conteúdos programáticos precisam fazer sentido e serem condizentes com a realidade

do indivíduo, para que o mesmo o compreenda, problematize e o reflita. Além disso traz a ideia da concepção bancária da educação, onde o educador não é um problematizador e mediador do conhecimento, mas sim uma figura de total sabedoria, e que portanto deve apenas repassar sua sabedoria a outras pessoas. Nesta concepção de educação bancária o aluno se encontra no papel de um receptor do conhecimento, sem compreendê-lo de verdade, apenas aceitando e decorando as informações que lhe são repassadas. Nos dias atuais ainda é possível encontrar esse cenário descrito por Freire em sua obra, docentes que acreditam que seu papel é apenas repassar o conhecimento sem contexto e ligação com a realidade de seus alunos. Sobre a concepção da educação bancária Freire ainda afirma que:

Falar da realidade como algo parado, estático, compartimentado e bem-comportado, quando não falar ou dissertar sobre algo completamente alheio à experiência existencial dos educandos vem sendo, realmente, a suprema inquietação desta educação. A sua irrefreada ânsia. Nela, o educador aparece como seu indiscutível agente, como o seu real sujeito, cuja tarefa indeclinável é “encher” os educandos dos conteúdos de sua narração. Conteúdos que são retalhos da realidade desconectados da totalidade em que se engendram e em cuja visão ganhariam significação. A palavra, nestas dissertações, se esvazia da dimensão concreta que devia ter ou se transforma em palavra oca, em verbosidade alienada e alienante. Daí que seja mais som que significação e, assim, melhor seria não dizê-la (Freire, 2005, p. 65-66).

Para Freire (2005) os conteúdos programáticos devem ter relação com a realidade do estudante pois saem das necessidades e conversas levantadas pela própria comunidade. Ele traz em sua obra a ideia de que é necessário observar a realidade do povo, suas conversas e seu cotidiano para compreender quais conteúdos devem ser problematizados. Quando discorre sobre o momento em que o material que contém os conteúdos problematizados está pronto, afirma que:

Preparado todo este material, a que se juntariam pré-livros sobre toda esta temática, estará a equipe de educadores apta a devolvê-lo ao povo, sistematizada e ampliada. Temática que, sendo dele, volta agora a ele, como problemas a serem decifrados, jamais como conteúdos a serem depositados. O primeiro trabalho dos educadores de base será a apresentação do programa geral da campanha a iniciar-se. Programa em que o povo se encontrará, de que não se sentirá estranho, pois que dele saiu (Freire, 2005, p. 137).

Portanto defende que uma das ferramentas utilizadas na busca por uma educação libertadora é a problematização de situações do cotidiano e da realidade do estudante, visando que os conteúdos tenham sentido e não sejam algo distante que deve apenas ser decorado.

Em termos epistemológicos, a contextualização se fundamenta nas epistemologias construtivista de Jean Piaget e social construtivista de Lev Vigotski.

Conforme aponta Piaget (1967 *apud* La Taille, 2019, p. 15) em um de seus livros, intitulado *Biologie et connaissance* “a inteligência humana somente se desenvolve no indivíduo em função de interações sociais que são, em geral, demasiadamente negligenciadas”. Através de tal afirmação é possível perceber que mesmo que Piaget não tenha se debruçado exclusivamente sobre a importância do social no desenvolvimento de seus trabalhos, ele a reconhecia (La Taille, 2019).

Ao longo do estudo da epistemologia de Piaget é fácil perceber sua visão sobre o papel do meio social no desenvolvimento. Constantemente é possível perceber abordagens sobre interação social e como essas interações se desenvolvem e contribuem para o desenvolvimento da criança.

Com a definição de coação e cooperação que são, segundo Piaget, tipos de relação social, é possível perceber como o meio e a interação com outra pessoa influenciam, de formas diferentes, o desenvolvimento da inteligência. Na coação por termos uma figura de autoridade, não temos a possibilidade de um debate de argumentos, portanto pode ser considerada um empecilho durante o processo. Na cooperação, contudo, temos o cenário oposto, pois é nela que o debate e a discussão se fazem presentes (La Taille, 2019).

As relações de *cooperação* representam justamente aquelas que vão pedir e possibilitar esse desenvolvimento. Como seu nome indica, a cooperação pressupõe a coordenação das *operações* de dois ou mais sujeitos. Agora, não há mais assimetria, imposição, repetição, crença etc. Há discussão, troca de pontos de vista, controle mútuo dos argumentos e das provas (La Taille, 2019, p. 29, *grifos* do autor).

Portanto, através dos conceitos de coação e cooperação vemos a importância do meio e da interação social no desenvolvimento do conhecimento, pela perspectiva de Piaget.

Em Vigotski a influência do social no desenvolvimento fica mais evidente, pois ele propõe que a aquisição da fala se relaciona com o desenvolvimento pois é através dela que, segundo ele, ocorrem as interações sociais que refletirão no desenvolvimento do aprendizado (Palangana, 2015). Além disso, Vigotski traz em sua teoria a ideia de que o processo de desenvolvimento é composto por dois aspectos:

Podem-se distinguir, dentro de um processo geral de desenvolvimento, duas linhas qualitativamente diferentes de desenvolvimento, diferindo quanto a sua

origem: de um lado, os processos elementares, que são de origem biológica; de outro, as funções psicológicas superiores, de origem sociocultural. A história do comportamento da criança nasce do entrelaçamento dessas duas linhas. A história do desenvolvimento das funções psicológicas superiores seria impossível sem um estudo de sua pré-história, de suas raízes biológicas, e de seu arranjo orgânico. As raízes do desenvolvimento de duas formas fundamentais, culturais, de comportamento, surge durante a infância: o uso de instrumentos e a fala humana. Isso, por si só, coloca a infância no centro da pré-história do desenvolvimento cultural (Vigotski, 1988 *apud* Palangana, 2015, p. 103).

Portanto, em sua visão, o social e o biológico trabalham juntos no desenvolvimento, ambos com suas influências e particularidades dentro do processo. Ele também acredita que ao longo do desenvolvimento essas duas linhas recebem diferentes destaques sendo os fatores de origem biológica mais predominantes nos estágios iniciais e os fatores socioculturais mais aparentes no desenvolvimento ao longo do tempo, em função das interações sociais (Palangana, 2015).

Segundo Palangana (2015), o contexto social em que a criança se encontra possui, para Vigotski, um papel extremamente importante, sendo um diferencial no desenvolvimento de diferentes aprendizagens. Uma criança que vive na zona rural estará sujeita a aprendizagens diferentes de uma criança que mora na zona urbana, pois os meios sociais onde estão, possuem culturas e costumes distintos.

Além de trazer a importância da diversidade social em sua teoria, Vigotski ao criar o conceito da “zona de desenvolvimento proximal”, mostra como aspectos sociais, neste caso a interação com um parceiro mais capaz, impactam no aprendizado da criança, “[...] concebendo, desse modo, o aprendizado como um processo de troca e, portanto, um processo social.” (Palangana, 2015, p. 158).

A contextualização, portanto, apoia-se na ideia de que o conhecimento não é algo isolado, mas construído a partir das experiências e interações do indivíduo com o mundo ao seu redor. Em termos pedagógicos, a contextualização é fundamental para que os alunos possam relacionar o que aprendem na escola com as práticas culturais e sociais da sua comunidade.

2.2 Perspectivas da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel

Do ponto de vista psicológico, a contextualização se fundamenta em teorias que enfatizam a importância das experiências prévias, do ambiente sociocultural e da motivação para a aprendizagem. Uma teoria relevante para o ensino de ciências é a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Ausubel (2002) defende em sua Teoria da Aprendizagem Significativa que o contexto social contribui para o compartilhamento de ideias, pois a interação com a cultura, ou mesmo com diferentes culturas, origina em cada pessoa uma estrutura cognitiva distinta em razão da natureza idiossincrática do significado.

O significado psicológico é, invariavelmente, idiossincrático. No entanto, sua natureza idiossincrática não exclui a possibilidade de alguns significados sociais serem compartilhados. Os vários significados individuais que os diferentes membros de uma dada cultura atribuem aos mesmos conceitos e proposições geralmente são bastante similares para permitir a compreensão e a comunicação interpessoal. Como comentamos anteriormente, esta homogeneidade de compartilhamento de significados numa cultura em particular, e também entre culturas relacionadas, reflete os mesmos significados lógicos implícitos em conceitos e proposições logicamente significativos, além disso, em muitos aspectos comuns ideológicos, nas estruturas cognitivas de diferentes pessoas (Ausubel, 2002, p. 131-132, tradução nossa).

Segundo o autor, para que ocorra uma aprendizagem significativa uma nova ideia deve interagir com as ideias relevantes (subsunçores) e significados que o próprio aluno já possui em sua estrutura cognitiva e essa interação resultará na alteração do significado de ambas. Como cada estudante possui uma estrutura cognitiva única, fruto do contato com diferentes culturas e comunidades, o resultado da interação entre uma ideia nova e a ideia prévia, resultará em uma terceira ideia com significados distintos para cada pessoa (Ausubel, 2002).

Ausubel (2002) no decorrer de sua obra reafirma a importância dessas ideias únicas para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa. “Porém é precisamente essa interação entre novas tarefas de aprendizagem e algumas estruturas cognitivas idiossincráticas já existentes que constitui a característica distinta da aprendizagem significativa” (p. 64).

Outro aspecto de grande importância para o desenvolvimento da aprendizagem significativa são os materiais potencialmente significativos. Segundo Ausubel (2002) os materiais potencialmente significativos só são aprendidos quando se relacionam com ideias e conceitos relevantes previamente disponíveis na estrutura cognitiva do estudante, ou seja, quando se relacionam com os subsunçores. Essa interação de ideias e conceitos é importante pois resulta em novos significados e colabora na organização e retenção dos mesmos.

Ao longo de sua obra “Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva” Ausubel (2002) discute diferentes abordagens de ensino, sendo algumas delas a abordagem expositiva e a utilização de resolução de problemas. Em

seu texto deixa claro em diversos momentos que ambas quando aplicadas corretamente podem levar a uma aprendizagem significativa.

Consequentemente, uma proposição mais justificável é que tanto as técnicas expositivas, quanto as de resolução de problemas, podem ser por memorização ou significativas, dependendo das condições em que a aprendizagem ocorre. Nos dois casos, a aprendizagem significativa ocorre se a tarefa de aprendizagem puder ser ancorada de uma maneira não arbitrária e não literal com o que o aprendiz já sabe e se este adota uma atitude de aprendizagem correspondente para o fazê-lo (Ausubel, 2002, p. 96, tradução nossa).

O uso de situações-problema também é discutido em documentos como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) que discorre:

Na definição das competências específicas e habilidades da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias foram privilegiados conhecimentos conceituais considerando a continuidade à proposta do Ensino Fundamental, sua relevância no ensino de Física, Química e Biologia e sua adequação ao Ensino Médio. Dessa forma, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias propõe um aprofundamento nas temáticas Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Os conhecimentos conceituais associados a essas temáticas constituem uma base que permite aos estudantes investigar, analisar e discutir situações-problema que emergem de diferentes contextos socioculturais, além de compreender e interpretar leis, teorias e modelos, aplicando-os na resolução de problemas individuais, sociais e ambientais. Dessa forma, os estudantes podem reelaborar seus próprios saberes relativos a essas temáticas, bem como reconhecer as potencialidades e limitações das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Brasil, 2018, p. 548).

Tal recorte aborda a utilização de situações-problema como uma abordagem para a construção do raciocínio e do conhecimento, pois através delas o aluno não só consegue aplicar seus entendimentos sobre o conteúdo, analisando em diferentes situações como aquele conhecimento pode ser aplicado, mas também reestruturar tais conhecimentos. Isso corrobora com o que é proposto como a terceira competência específica da área de ciências da natureza e suas tecnologias, que diz que os estudantes devem

3. 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) (Brasil, 2018, p. 553).

E também com a segunda competência geral da educação básica:

2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (Brasil, 2018, p. 9).

Pensando no que foi exposto acima, guiado pelos direcionamentos presentes na BNCC, e fundamentado principalmente pelas teorias elaboradas por David Ausubel, Piaget, Vigotski e Paulo Freire, este trabalho traz como proposta um conjunto de situações-problema utilizando como contexto a liofilização de biopolímeros para o ensino de conceitos termodinâmicos.

2.3 Perspectiva da interdisciplinaridade

Para este estudo, optou-se pelas contribuições de Ivani Fazenda (2008) como referencial teórico para embasar o trabalho interdisciplinar com o tema da liofilização no ensino de conceitos termodinâmicos, uma vez que seu trabalho é de grande importância para a fundamentação do conceito da interdisciplinaridade no Brasil, e sua prática no contexto escolar.

Através do processo de liofilização é possível trabalhar conteúdos de física, como as transformações de estado físico, variações de temperatura e pressão. Contudo, para o entendimento do processo como um todo, é necessário conhecimentos além da física. Visando isto, a abordagem proposta neste trabalho busca integrar conhecimentos da química (mudanças de estado e composição dos alimentos), biologia (preservação de nutrientes e microrganismos) e até de áreas como a tecnologia e ciências aplicadas à saúde e à indústria alimentícia. Nesse cenário, o conceito de interdisciplinaridade formulado por Fazenda (2008) se revela especialmente pertinente.

A interdisciplinaridade emerge como um movimento intelectual que ganha destaque no século XX, especialmente após as duas guerras mundiais. Neste período a sociedade se deparava com diversos problemas sociais e econômicos que evidenciavam a necessidade de abordagens integradas, conforme apontado por Fazenda (2008). A autora ainda afirma que “*É necessário estudar-se a problemática e a origem dessas incertezas e dúvidas para se conceber uma educação que as enfrente.*” (2008, p. 14, grifos do autor).

No âmbito das ciências a interdisciplinaridade é de extrema importância, pois ela colabora no entendimento dos conceitos em sua totalidade, sem fragmentação. Sobre a importância da interdisciplinaridade para as ciências Ivani Fazenda afirma que

Interdisciplinaridade é uma exigência natural e interna das ciências, no sentido de uma melhor compreensão da realidade que elas nos fazem conhecer. Impõe-se tanto à formação do homem como às necessidades de ação, principalmente do educador (Fazenda, 2008, p. 91).

Sua perspectiva reconhece a necessidade de superar a fragmentação do conhecimento escolar e promover a construção coletiva do saber por meio do diálogo entre professores, áreas do conhecimento e experiências de vida dos estudantes. Através dessa interação o aluno pode construir seu conhecimento com a consciência de que aquele conteúdo não é algo aleatório que deve ser pensado apenas em aulas de uma disciplina específica, mas sim, como parte de um todo, que pode ser analisado sob perspectivas distintas.

É neste cenário que propomos a utilização do processo de liofilização como contexto para o ensino de termodinâmica, pois ele pode ser analisado com diferentes olhares dependendo da área do conhecimento. Contudo, para a compreensão total do processo é necessária a integração com as outras áreas. Assim, o trabalho com a liofilização não se limita a uma aplicação de conceitos físicos, mas se configura como uma oportunidade para que os alunos compreendam um processo tecnológico relevante, por meio da articulação de saberes escolares, científicos e sociais.

2.4 Contextualização e interdisciplinaridade nas orientações curriculares para o ensino médio

A importância da contextualização e da interdisciplinaridade no processo de ensino-aprendizagem é discutida em documentos curriculares educacionais brasileiros. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que dita os parâmetros para a educação básica em todo o país é exemplo de documento que se apoia neste tipo de abordagem.

Como uma das finalidades do ensino médio previstas na LDBEN, temos a “consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental” (1996 *apud* Brasil, 2018, p. 464), juntamente com a necessidade de proporcionar ao estudante uma formação condizente com a realidade em que ele está

inserido e com o futuro mercado de trabalho que encontrará (Brasil, 2018). Esses pontos são discutidos na BNCC, que aponta a contextualização como uma das formas de alcançar a consolidação e aprofundamento dos conhecimentos previstos na LDBEN.

Para atingir essa finalidade, é necessário, em primeiro lugar, assumir a firme convicção de que todos os estudantes podem aprender e alcançar seus objetivos, independentemente de suas características pessoais, seus percursos e suas histórias. Com base nesse compromisso, **a escola que acolhe as juventudes** deve:

- favorecer a atribuição de sentido às aprendizagens, por sua vinculação aos desafios da realidade e pela explicitação dos contextos de produção e circulação dos conhecimentos; (Brasil, 2018, p. 465, grifos do autor).

A contextualização dos conteúdos é discutida em diversas partes do documento como uma abordagem para relacionar os conteúdos com o “mundo real” dos alunos. Quando abordado sobre a estruturação da área de ciências da natureza no âmbito do ensino médio, aponta-se que:

Todavia, poucas pessoas aplicam os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos (como estimar o consumo de energia de aparelhos elétricos a partir de suas especificações técnicas, ler e interpretar rótulos de alimentos etc.). Tal constatação corrobora a necessidade de a Educação Básica – em especial, a área de Ciências da Natureza – comprometer-se com o letramento científico da população (Brasil, 2018, p. 547).

Tal recorte nos mostra que a BNCC não trata a contextualização como mera exemplificação, mas sim, conforme discutido na seção 2.1, como uma alternativa de levar o conhecimento à realidade do aluno, fazendo com que o mesmo compreenda que os conteúdos estão presentes no seu cotidiano. Além disso, podemos levantar uma discussão importante sobre o papel do docente na contextualização dos conteúdos, pois, em geral, o aluno calculará o consumo de energia dos aparelhos que utiliza se for mostrado a ele que os conteúdos que estão sendo trabalhados dentro de sala de aula estão retratando a realidade vivida por eles.

Sobre a interdisciplinaridade é possível encontrar na BNCC algumas discussões acerca da sua importância, assim como o direcionamento para que os docentes façam uso de práticas que possibilitem uma abordagem interdisciplinar dos conteúdos. Contudo, neste documento não se encontra uma discussão explícita de como desenvolver essas abordagens.

Subjacente a todas essas finalidades, o Ensino Médio deve garantir aos estudantes a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos

processos produtivos, relacionando a teoria com a prática. Para tanto, a escola que acolhe as juventudes, por meio da articulação entre diferentes áreas do conhecimento, deve [...]. (Brasil, 2018, p. 467).

Portanto, através dessa articulação, a BNCC aponta para uma integração entre os conteúdos de diferentes áreas do conhecimento e, portanto, para a interdisciplinaridade.

Pensando no que foi exposto acima, a proposta de atividade de ensino de conceitos de termodinâmica no contexto do processo de liofilização de biopolímeros, atende a competência específica 1 da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias através das habilidades:

(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 (Brasil, 2018, p. 555).

E a competência 3 da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias nas habilidades:

(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.

(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 (Brasil, 2018, p. 559).

3 O AMIDO E O PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO

3.1 Estrutura e processamento do amido

O amido é um biopolímero facilmente encontrado na natureza, pois muitas plantas o produzem como fonte de reserva de energia. Atualmente grande parte da produção de amido tem sido utilizada na indústria de alimentos e de papel (Le Corre, 2011). Contudo Adewale e colaboradores (2022) expõem em seu estudo o crescimento do mercado do amido em diversas áreas de aplicações, como a indústria farmacêutica, têxtil, de embalagens, energia, entre outras. Quando aplicado em escala industrial, o amido utilizado é submetido a processos físico-químicos que possibilitam a alteração de algumas de suas características e propriedades (Le Corre, 2011).

Conforme podemos observar na Figura 2 a estrutura do amido é composta por cadeias de amilose e a amilopectina. Buléon e colaboradores (1998, p. 85) apontam que:

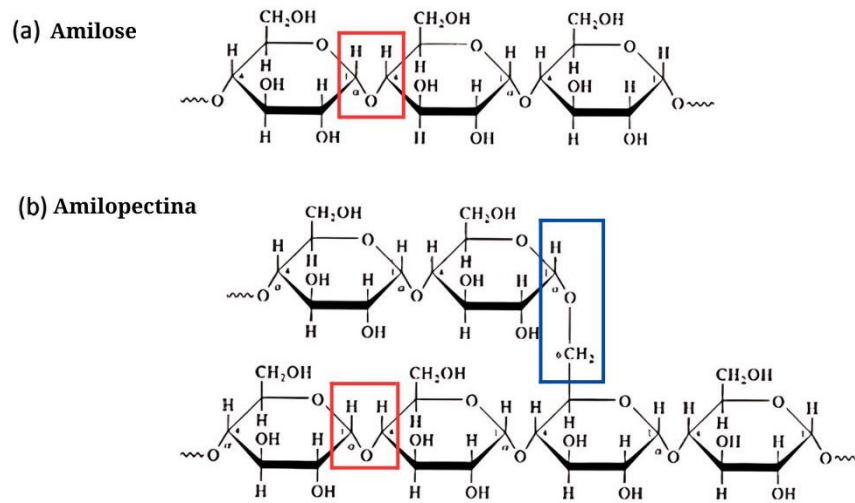
Amilose é definida como uma molécula linear de unidades α -D-glucopiranosil ligadas em (1 \rightarrow 4), mas hoje está bem estabelecido que algumas moléculas são ligeiramente ramificadas por (1 \rightarrow 6)- α -ligações (Buléon *et al.*, 1998, p. 85, tradução nossa).

Sobre a amilopectina, estes mesmos autores afirmam que:

Amilopectina é a componente altamente ramificada do amido: é formada por cadeias de resíduos de α -D-glucopiranosil ligadas entre si por ligações (1 \rightarrow 4) mas com 5-6% das ligações (1 \rightarrow 6) nos pontos de ramificação (Buléon *et al.*, 1998, p. 87, tradução nossa).

As cadeias lineares de amilose ligadas em α -(1-4) estão sinalizadas em vermelho na Figura 2. Nesta mesma figura, encontra-se a molécula de amilopectina de cadeias ramificadas, sinalizadas na cor azul.

Figura 2 – Estrutura do amido: (a) amilose e (b) amilopectina



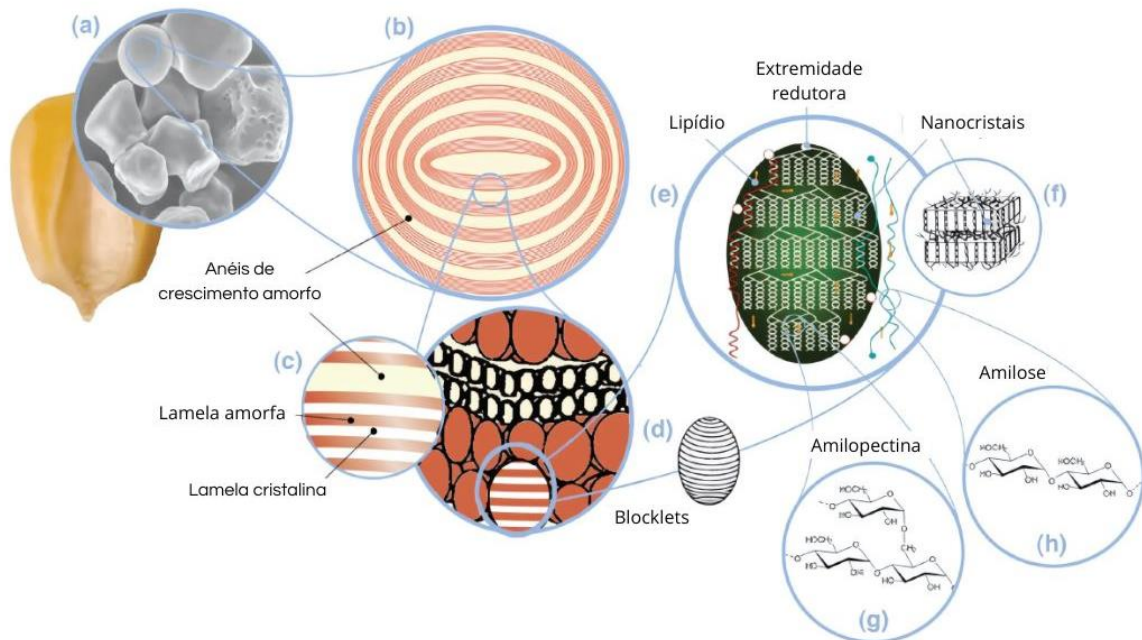
Fonte: Adaptado de Le Corre (2011)

A estrutura do amido foi estudada durante muitos anos. A Figura 3 mostra o modelo predominantemente aceito nos dias atuais (Le Corre, 2011). Na Figura 3 podemos visualizar (a) os grânulos do amido que possuem dimensões e morfologia, dependente da origem botânica, entre 2 e 100 micrometros. Dentro dos grânulos temos os anéis de crescimento amorfos e cristalinos (b), que são compostos de lamelas (c). As lamelas por sua vez são compostas de conjuntos de *blocklets*¹ (d), que são as regiões formadas pela organização das cadeias de amilose e amilopectina (e). As cadeias de amilopectina (g) que possuem ligações em α -(1-4) e em α -(1-6) e formam uma estrutura de dupla hélice que dá origem as lamelas cristalinas dentro dos *blocklets*. As cadeias lineares da amilose (h) por sua vez são responsáveis pelas contribuições amorfas presentes dentro da estrutura dos *blocklets* (Le Corre, 2011).

As quantidades de amilopectina e amilose presentes no amido variam de acordo com sua origem botânica e afetam sua estrutura molecular (Le Corre, 2011). Segundo Denardin e Silva (2009), há pesquisas em desenvolvimento que buscam uma relação entre a estrutura molecular do amido e suas propriedades físico-químicas, como a gelatinização e a retrogradação.

¹ O significado mais próximo de *blocklets* é de blocos intertravados.

Figura 3 – Modelo predominante da estrutura do amido: (a) Estrutura granular do amido, (b) Anéis de crescimento amorfo e cristalinos, (c) Lamelas amorfas e cristalinas, (d) Blocklets, (e) Organização das cadeias de amilopectina e amilose, (f) nanocristais, (g) Molécula de amilopectina, (h) Molécula de amilose.



Fonte: Adaptado de Le Corre (2011)

Segundo Denardin e Silva (2009), baseando-se nas ideias de Who/fao (1998), quando os grânulos de amido entram em contato com a água ocorre um processo chamado inchamento, que é um processo reversível através da secagem, diferente da gelatinização. Denardin e Silva (2009), ainda apontam, com base nas ideias de Singh e seus colaboradores (2003), que na gelatinização além de promover o contato do amido com a água, também é realizado um aumento de temperatura. Ao aumentar a temperatura, os grânulos do amido começam a se romper e perdem sua organização estrutural (organização das cadeias de amilopectina em dupla hélices), formando um gel. A esse gel damos o nome de amido gelatinizado.

Após passar pelo processo de gelatinização o amido está sujeito ao fenômeno de retrogradação. Sobre a retrogradação do amido, Denardin e Silva (2009, p. 952) afirmam que “Com o passar do tempo, as moléculas do amido vão perdendo energia e as ligações de hidrogênio tornam-se mais fortes, assim, as cadeias começam a reassorciar-se num estado mais ordenado”. Estruturalmente esse processo reflete

uma reorganização de parte das moléculas de amilopectina, após a ruptura dos grânulos ocorrida na gelatinização.

3.2 O processo de liofilização

O processo de liofilização é um processo de secagem que pode ser utilizado no processamento de diversos materiais, como fármacos, alimentos, entre outros. Neste processo o material é primeiramente congelado, depois submetido a um processo de sublimação para a remoção da água ou outro solvente, etapa denominada secagem primária. Além dessas etapas também pode ser realizada a etapa da secagem secundária em que ocorre a remoção da água ainda presente no produto através da dessorção (Kunal *et al.*, 2015).

O processo de liofilização é composto por três etapas: congelamento, secagem primária e secagem secundária (Pikal *et al.*, 1990), que serão discutidas nas próximas seções.

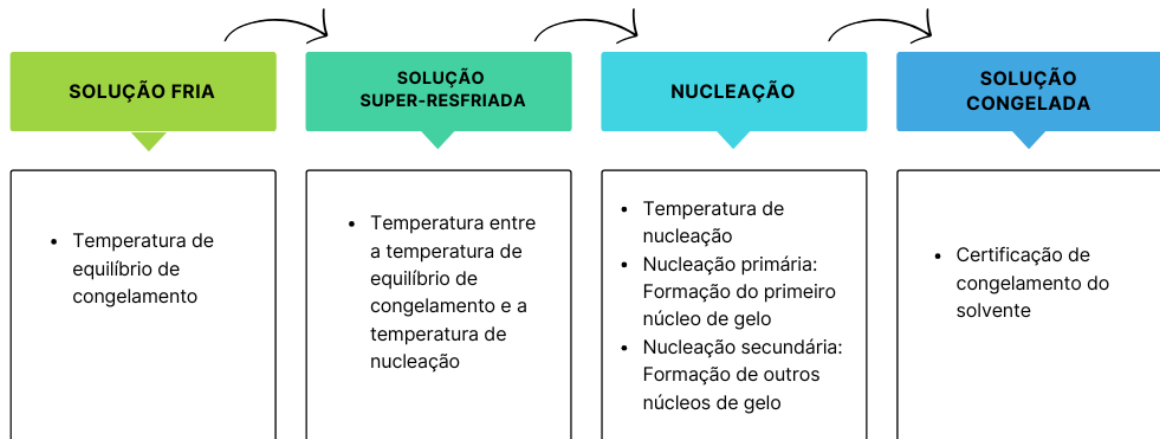
3.2.1 Congelamento

O congelamento é uma etapa de grande importância para o processo de liofilização, podendo afetar o produto final e o próprio andamento da liofilização (Kunal *et al.*, 2015). O congelamento da amostra em um processo de liofilização ocorre antes dela ser acomodada dentro do liofilizador. A importância e os diferentes métodos aplicados nesta etapa são discutidos em diversos trabalhos que podem ser encontrados na literatura.

Um processo de congelamento pode ser descrito, de maneira geral, através do fluxograma abaixo (Figura 4).

A primeira etapa do congelamento é o resfriamento da amostra até a temperatura de equilíbrio de congelamento (próximo a 0°C), quando se encontra neste ponto a solução é chamada de solução fria. Após essa etapa ocorre uma diminuição da temperatura até a temperatura de nucleação (Assegehegn, 2020). Neste ponto entre a temperatura de equilíbrio de congelamento e a temperatura de nucleação a solução é denominada de super-resfriada, ou seja, se encontra no estado líquido mesmo abaixo da temperatura de equilíbrio de congelamento, conforme apontam Kasper e Friess (2011), baseando-se nas ideias de Nail, Jiang, Chongprasert e Knopp (2002).

Figura 4 – Sistematização de informações sobre o processo de congelamento presente nos trabalhos de Kasper e Friess (2011) e Assegehegn (2020)



Fonte: Autoria própria

Quando chega na temperatura de nucleação (temperatura em que o primeiro núcleo de gelo se forma) inicia-se a etapa denominada nucleação primária, e posteriormente a etapa de nucleação secundária, onde os demais núcleos são formados (Assegehegn, 2020). Conforme apontado por Kasper e Friess (2011) com base nas ideias de Matsumoto, Saito e Ohmine (2002), o crescimento dos cristais de gelo se dá pela adição de moléculas aos sítios nucleados.

Kasper e Friess (2011), apoiando-se nos trabalhos de Searles (2004) e Matsumoto, Saito e Ohmine (2002), afirmam que essa adição é realizada com a água disponível em volta dos cristais, que está super-resfriada, ou seja, que está abaixo de temperatura de 0°C porém, ainda se encontra no estado líquido. A água super-resfriada irá absorver 15cal/g das 79cal/g liberadas pela formação do gelo. O processo de formação de cristais de gelo é um processo exotérmico, ou seja, um processo que quando ocorre, libera energia, que neste caso se dá em forma de calor. Em virtude disso ocorre um aumento da temperatura do material.

A quantidade de cristais de gelo e a morfologia do material congelado serão impactadas pela taxa de resfriamento, conforme afirmam Kasper e Friess (2011).

O número de núcleos de gelo formados, a taxa de crescimento do gelo, e os tamanhos dos cristais de gelo dependem do grau de super-resfriamento [14,20]. Quanto maior o grau de super-resfriamento, maior a taxa de nucleação e mais rápida a taxa efetiva de congelamento. Isso resulta em um número elevado de pequenos cristais de gelo. Em contrapartida, em um grau menor de super-resfriamento, observa-se uma quantidade menor de grandes cristais de gelo [14,19] (Kasper; Friess, 2011, p. 249-250, tradução nossa).

Essa morfologia dos cristais de gelo pode impactar no processo de liofilização, principalmente durante a etapa de secagem primária. Nesta etapa o congelamento rápido ocasiona a formação de pequenos cristais de gelo, desse modo, durante a sublimação, o vapor poderá ter dificuldade de deixar a amostra pois poderá encontrar poros fechados. Por outro lado, os cristais de gelo maiores, resultantes de um congelamento lento, após sublimados, criam caminhos que possibilitam um melhor tráfego do vapor até a superfície (Kunal *et al.*, 2015).

Como última etapa do congelamento a solução é mantida na temperatura final de congelamento para que seja possível promover o congelamento de todo o solvente congelável (Assegehegn, 2020).

3.2.2 Secagem primária

O estágio da secagem primária inicia-se após a etapa do congelamento, e é a responsável pela remoção dos cristais de gelo através da sublimação. Nessa etapa, é possível eliminar cerca de 90 a 95% da água presente no produto (Liu; Zhang; Hu, 2022).

A sublimação é a passagem da água em estado sólido, neste caso, em forma de cristais de gelo, para o estado gasoso (vapor). Para que isso ocorra, é necessário fornecer energia ao sistema, pois o processo de sublimação é um processo endotérmico, e no caso da liofilização esse fornecimento ocorre através das bandejas onde estão alocados os materiais (Assegehegn, 2020).

Essa absorção de energia reduz a temperatura da superfície da prateleira onde os frascos repousam e, conseqüentemente, a temperatura do produto diminui. Se a energia adequada não for fornecida durante o período de sublimação, a temperatura do produto diminuirá até um ponto em que a pressão de vapor correspondente e a pressão da câmara atinjam o equilíbrio dinâmico. Nesse ponto, não há sublimação líquida de gelo (Assegehegn, 2020, p. 63, tradução nossa).

Mi e colaboradores (Mi *et al.*, 2019, p. 1547, tradução nossa) afirmam que “cristais de gelo na superfície da amostra congelada primeiro absorvem calor e sublimam para formar a interface de sublimação. [40]”, e que, ao longo da secagem primária a interface de sublimação, ou seja, os locais onde estão acontecendo as transformações dos cristais de gelo do estado sólido para o gasoso, se direciona para dentro da estrutura do material. Portanto, como antes mencionado, nesse estágio a

distribuição dos cristais de gelo possui um papel muito importante, pois será a responsável pelo caminho que a água sublimada irá percorrer.

Além do tamanho dos cristais de gelo, há outros parâmetros de extrema importância durante a etapa de secagem primária como a pressão e a temperatura. Durante essa etapa, a pressão da câmara de liofilização é uma das responsáveis por manter a continuação do processo de sublimação. Kunal e colaboradores (2015) afirmam que

A pressão da câmara precisa ser abaixo do que a pressão de vapor do gelo na interface de sublimação do produto para facilitar a sublimação do gelo e o transporte de vapor de água para o condensador onde é depositado como gelo. Pressões muito altas na câmara diminuem a taxa de sublimação reduzindo o gradiente de pressão entre a interface de sublimação e a câmara, mitigando assim a força motriz da sublimação e a continua remoção de gelo (Kunal *et al.*, 2015, p. 529, tradução nossa).

Já a temperatura durante todo o processo de secagem primária deve ser controlada, pois se houver um aumento da temperatura isso poderá ocasionar o descongelamento da amostra (Mi *et al.*, 2019).

3.2.3 Secagem secundária

A secagem secundária é o último estágio do processo de liofilização sendo responsável pela remoção da água, por aumento de temperatura, ainda presente no produto após a realização da secagem primária. Neste momento do processo pode-se acreditar que o produto já esteja seco, contudo, ainda existe nele uma umidade residual de cerca de 7 a 8% (Kunal *et al.*, 2015).

Sobre a secagem secundária Kunal e colaboradores (2015) afirmam que

A secagem secundária normalmente é continuada a uma temperatura do produto superior a ambiente, mas compatível com a sensibilidade do produto. Em contraste com as condições de processamento para secagem primária, que utilizam baixa temperatura de prateleira e vácuo moderado, a secagem por dessorção é facilitada pelo aumento da temperatura de prateleira e pela redução da pressão da câmara ao mínimo (Kunal *et al.*, 2015, p. 531, tradução nossa).

Alguns autores como Pikal e seus colaboradores (1990) afirmam que uma parte da secagem secundária inicia ainda durante a etapa da secagem primária, contudo, apenas nos pontos onde o gelo já foi sublimado.

4 TERMODINÂMICA DO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO

Como apresentado nas seções anteriores o processo de liofilização faz uso de diversos conceitos termodinâmicos, como solidificação, sublimação e outras mudanças de estado. Além disso, também faz uso de conceitos como ponto triplo e diagrama de fases da água. Portanto, neste capítulo tais conceitos serão discutidos de forma a sistematizar os principais conceitos e como eles são aplicados no processo de liofilização.

4.1 Mudanças de estado

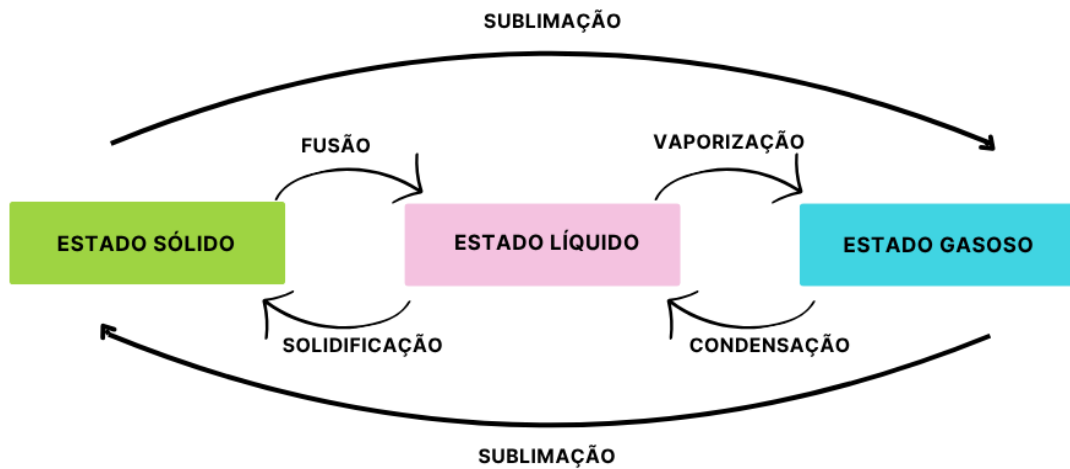
As mudanças de estado da matéria correspondem a passagem de um estado (também conhecidos como fase) para outro. Grande parte da matéria que encontramos na natureza se manifesta em três estados, sendo eles, o estado sólido, líquido e o estado gasoso (Luz; Álvares, 2005).

Dizemos que um determinado material sofreu uma mudança de fase ou estado, quando passa de um estado físico inicial para outro (Luz; Álvares, 2005). A água dentro de um copo a temperatura ambiente se encontra no estado líquido, porém após um período dentro do congelador é transformada em gelo, ou seja, sofreu uma mudança de estado, pois passou do estado líquido para o estado sólido.

A Figura 5 mostra a denominação correspondente a cada mudança de estado. É fácil perceber que temos diversas possibilidades, podemos, por exemplo, transformar a água em estado líquido para o estado gasoso, ou fazer com que a água em estado sólido passe direto para o estado gasoso sem passar pelo estado líquido.

Durante um processo completo de liofilização de um material temos mudanças de estado acontecendo em cada uma das etapas. Para o caso do biopolímero, que foi gelatinizado, no congelamento temos a solidificação que transforma a água (líquida) aprisionada na rede do gel (composto pelas moléculas do amido) em um bloco contendo água congelada (em forma de cristais de gelo).

Figura 5 – Diagrama das denominações das mudanças de fase



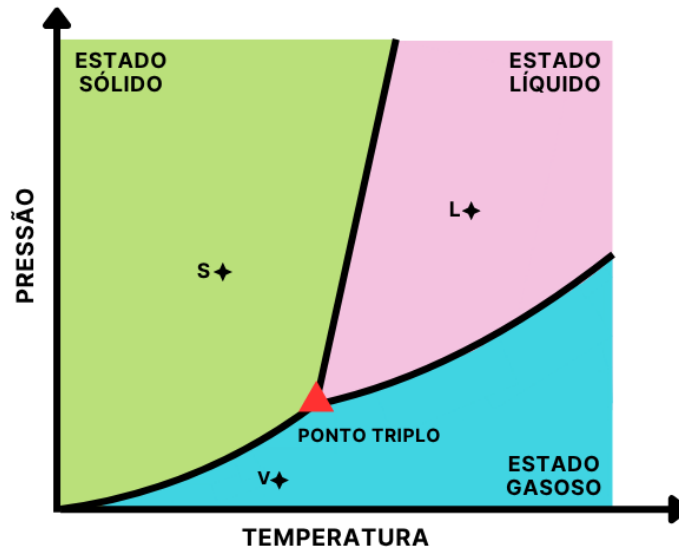
Fonte: Autoria própria

Na secagem primária temos a sublimação, que é a responsável por remover a água do nosso bloco, promovendo a passagem direta da água em estado sólido para o estado gasoso sem passar para o estado líquido. E por último, temos na secagem secundária um processo de evaporação, em que removemos a água residual através do aumento da temperatura (Kunal *et al.*, 2015).

As mudanças de estado da água podem ser representadas através de um diagrama de fases. O diagrama de fases da água é um diagrama onde podemos visualizar através de curvas de pressão por temperatura as mudanças de estados físicos da matéria (Luz; Álvares, 2005). A Figura 6 mostra um diagrama de fases da água e suas curvas que representam os pontos onde ocorrem as mudanças de fase a uma determinada pressão e temperatura. Portanto, podemos alterar o estado de um determinado material alterando a pressão e temperatura a qual ele se encontra (Luz; Álvares, 2005).

No diagrama de fases da água, apresentado na Figura 6, observa-se um ponto denominado de ponto triplo, sinalizado com o triângulo vermelho. Denomina-se ponto triplo, o ponto correspondente a uma determinada temperatura e pressão em que a água encontra-se nos três estados ao mesmo tempo, estado sólido, líquido e gasoso (Luz; Álvares, 2005). Os valores correspondentes de pressão e temperatura do ponto triplo da água, são respectivamente, 4,6mmHg e 0,01°C (Luz; Álvares, 2005).

Figura 6 – Diagrama de fases



Fonte: Autoria própria

4.2 Solidificação

A solidificação é a passagem de uma substância do estado líquido para o estado sólido, na Figura 6, corresponde a passagem da região rosa para a região verde. Para que esse processo ocorra é necessário que ocorra uma diminuição da temperatura, essa temperatura é a mesma temperatura necessária para ocorrer o processo de fusão (passagem do estado sólido para o líquido), no caso da água essa temperatura é 0°C (Luz; Álvares, 2005).

Para ocorrer a solidificação, é necessário também que a água ceda 80 calorias por grama (cal/g) de calor para o ambiente, ou seja, o calor latente de solidificação é 80cal/g (Luz; Álvares, 2005). Portanto, para conseguir solidificar a água é necessário que cada grama de água presente na substância que queremos solidificar transfira 80 calorias para o ambiente em que se encontra. Mesmo que essa quantidade de calor seja cedida para o ambiente, a temperatura da substância permanece a mesma a qual estava no início da solidificação (Luz; Álvares, 2005).

Na liofilização a solidificação ocorre na etapa do congelamento da amostra, ou seja, antes da amostra ser colocada dentro do liofilizador, transformando a água líquida em cristais de gelo, que serão posteriormente sublimados.

4.3 Sublimação

A sublimação é a passagem do estado sólido direto para o estado gasoso sem passar pelo estado líquido (Luz; Álvares, 2005). Uma das formas de promover a sublimação é através da redução da pressão até um ponto abaixo do ponto triplo da água (Luz; Álvares, 2005). Se tivermos nosso bloco congelado (contendo amido e água no estado sólido) a uma pressão acima do ponto triplo e a uma temperatura menor do que do ponto triplo (por exemplo, correspondente a região de S na Figura 6), podemos diminuir a pressão até um ponto abaixo do ponto triplo, desta forma, fazemos com que o bloco passe direto do estado sólido para o estado gasoso (região azul).

A sublimação ocorre durante a etapa da secagem primária do processo de liofilização, onde os cristais de gelo são sublimados do material através da diminuição da pressão na câmara de liofilização.

4.4 Vaporização

A vaporização é passagem do estado líquido para o estado gasoso, da região rosa para a região azul da Figura 6. Ela pode se dar de duas formas, por evaporação ou ebulição (Luz; Álvares, 2005), e se caracteriza como um processo endotérmico, ou seja, em que ocorre a absorção de energia (Lisboa *et al.*, 2016).

Conforme apontam Luz e Álvares (2005), na evaporação temos a transformação acontecendo de forma lenta e sem a necessidade de uma temperatura específica, enquanto que a ebulição é caracterizada por uma mudança de fase rápida e que ocorre apenas em temperaturas específicas para cada líquido.

A velocidade em que ocorre a evaporação de uma substância depende de parâmetros como, por exemplo a temperatura da substância, a área superficial disponível, e a quantidade de moléculas no estado de vapor durante a evaporação (Luz; Álvares, 2005). Para promover a evaporação podemos aumentar a temperatura da substância para entregar energia suficiente para as moléculas passarem do estado líquido para o estado de vapor. Portanto, quanto maior a temperatura, maior será a velocidade de evaporação da substância (Luz; Álvares, 2005). A área superficial disponível também é um parâmetro que influencia na velocidade de evaporação de uma substância, quanto maior a área superficial disponível maior é a velocidade de evaporação, pois as moléculas terão mais espaço disponível para conseguir evaporar (Luz; Álvares, 2005). Por último, outro fator que também contribui para a velocidade

de evaporação é a quantidade de moléculas de vapor presentes na superfície do líquido. Se tivermos uma quantidade muito grande de moléculas acumuladas no ponto em que o líquido e o vapor se encontram, essas moléculas podem acabar atrapalhando o fluxo de evaporação de novas moléculas (Luz; Álvares, 2005).

No processo de liofilização a vaporização ocorre na etapa de secagem secundária (Assegehegn, 2020). Neste momento ocorre o aumento da temperatura das prateleiras e, portanto, as moléculas de água recebem energia suficiente para que consigam deixar o estado líquido e passar para o estado de vapor (Kunal *et al.*, 2015).

5 ABORDAGEM METODOLÓGICA

5.1 Abordagem metodológica para elaboração das situações-problema a partir da interdisciplinaridade e contextualização

Para a compreensão e fundamentação dos aspectos referentes a abordagem do ensino em contexto, foi realizada a leitura de quatro obras, buscando compreender as visões de Paulo Freire, Piaget, Vigotski e David Ausubel sobre o impacto do contexto social no desenvolvimento e aprendizagem.

Para a compreensão da visão de Paulo Freire, a autora utilizou a obra “Pedagogia do Oprimido”, onde o mesmo expõe as principais diferenças entre uma educação opressora, preocupada com o repasse de informações, e uma educação libertadora pautada no ensino contextualizado, baseado na realidade de seus alunos (Freire, 2005).

Para compreender a visão de Piaget, a obra utilizada foi “Piaget, Vigotski, Wallon: Teorias psicogenéticas em discussão” de autoria de Yves de La Taille, Marta Kohl de Oliveira e Heloysa Dantas (2019). Nesta obra cada autor é responsável por abordar os principais conceitos e ideias de uma teoria, sendo Yves de La Taille o responsável pela obra Piaget e o utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

O entendimento da visão de Vigotski se deu através da leitura da obra “Desenvolvimento e aprendizagem em Piaget e Vigotski: a relevância do social” de Isilda Campaner Palangana (2015). Neste livro a autora aborda os principais elementos das teorias de Piaget e Vigotski e a forma como a importância do social é abordada em cada uma delas, sendo neste trabalho utilizada apenas suas ideias sobre a visão de Vigotski.

A visão de David Ausubel foi analisada através da obra “Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva” (2002), onde o autor disserta sobre a sua Teoria da Aprendizagem Significativa, e sobre a assimilação e retenção do conhecimento.

Para o desenvolvimento da seção sobre a interdisciplinaridade foi utilizada a obra “Interdisciplinaridade: História, teoria e pesquisa” de Ivani Fazenda (2008). Tal obra e autora foram escolhidas em virtude de sua grande participação na consolidação e divulgação da interdisciplinaridade no Brasil. Em sua obra Fazenda aborda o surgimento de movimentos que buscavam um ensino interdisciplinar e a teoria da interdisciplinaridade com seus principais fundamentos e pesquisas.

Para a elaboração das situações-problema, fundamentadas nas obras citadas, foram pensados três contextos para inserir o aluno na termodinâmica a partir do processo de liofilização:

1. Liofilização do café, contexto utilizado para desenvolver a situação-problema 1;
2. Liofilização de alimentos, utilizado para desenvolver a situação-problema 2;
3. Liofilização de um material biopolimérico, que dá o contexto da situação-problema 3.

Cada situação-problema foi pensada para conter os objetivos de aprendizagem, o contexto, o desafio, uma questão de múltipla-escolha que solicita justificativa se adequada ou inadequada em termos científicos. O capítulo sobre a elaboração da proposta de atividade de ensino apresenta os detalhes metodológicos.

5.2 Abordagem metodológica para sistematizar o conhecimento sobre o amido, o processo de liofilização e a termodinâmica

Para sistematizar o entendimento da termodinâmica do processo da liofilização de biopolímeros, se procedeu com uma pesquisa bibliográfica por meio de uma revisão de literatura do tipo narrativa.

Utilizar revisões narrativas é uma forma de analisar a literatura, sem a necessidade de fornecer demasiadas informações acerca dos passos que foram executados (Rother, 2007). Rother (2007) aponta que

Essa categoria de artigos têm um papel fundamental para a educação continuada pois, permitem ao leitor adquirir e atualizar o conhecimento sobre uma temática específica em curto espaço de tempo; porém não possuem metodologia que permitam a reprodução dos dados nem fornecem respostas quantitativas para questões específicas. São considerados artigos de revisão narrativas e são qualitativos (Rother, 2007, p. v).

Durante o desenvolvimento da pesquisa a autora buscou ambientar-se com as principais pesquisas desenvolvidas sobre o processo de liofilização e sua utilização no desenvolvimento de materiais. Além do estudo sobre a liofilização, também, realizou um estudo sobre o desenvolvimento de materiais a base de amido de diferentes origens botânicas e suas possíveis potencialidades tecnológicas.

Os textos utilizados para as seções sobre o amido e o processo de liofilização, são em sua maioria, artigos, teses e dissertações que foram sugeridos pelo professor orientador para que fossem estudados e utilizados no decorrer da pesquisa.

Para a sistematização dos conceitos termodinâmicos abordados no ensino médio que estão envolvidos no processo de liofilização foram utilizados livros de física e química do segundo ano do ensino médio.

5.3 Abordagem metodológica para a elaboração da proposta de atividade de ensino

Após a sistematização de literatura sobre liofilização de biopolímeros, o procedimento metodológico seguiu para o planejamento e elaboração de uma proposta de atividade de ensino de conteúdos de termodinâmica no contexto de um processo de produção de materiais liofilizados.

Assim, o processo de liofilização foi considerado como contexto para o planejamento e elaboração da proposta de atividade para o ensino de conceitos termodinâmicos, tais como mudanças de fase, diagrama de fases da água e transferência de calor, entre outros.

A Atividade, intitulada “Explorando a termodinâmica através do processo de liofilização”, contém três situações-problema e encontra-se nos Apêndices “A” até o apêndice “G” deste trabalho. A primeira situação-problema está apresentada no Apêndice A sob título “Explorando o congelamento através da liofilização do café” e aborda a liofilização do café, trazendo os conceitos termodinâmicos de congelamento, taxa de resfriamento e taxa de congelamento.

A segunda situação-problema intitulada “Explorando a sublimação através da liofilização de alimentos” encontra-se no apêndice C e aborda a liofilização de alimentos utilizados em acampamentos, explorando a etapa da secagem primária e conceitos sobre a sublimação e o diagrama de fases da água.

A terceira atividade aborda a última etapa do processo de liofilização, a secagem secundária. A situação-problema intitulada “Explorando a evaporação através da liofilização de um material biopolimérico”, discute sobre os conceitos de evaporação, processos endotérmicos e exotérmicos e velocidade de evaporação.

Além das situações-problema também foi desenvolvido um material de apoio para ser utilizado pelo professor na aplicação da atividade, este material está disponível no Apêndice G.

6 PROPOSTA DE ATIVIDADE DE ENSINO

6.1 Descrição das situações-problema

Neste capítulo será realizada uma descrição da atividade denominada “Explorando a termodinâmica através do processo de liofilização”, os referenciais teóricos utilizados na sua elaboração, e sua estrutura geral.

A atividade “Explorando a termodinâmica através da liofilização” é composta de um conjunto de três situações-problema que relacionam conceitos de termodinâmica com o processo de liofilização. Nestas situações-problema o processo de liofilização é utilizado como contexto para abordar conteúdos como mudanças de estado, transferência de energia, diagrama de fases, entre outros. Através dessa contextualização busca-se mostrar aos estudantes que tais conceitos se relacionam com o cotidiano e podem ser percebidos nas mais diversas situações.

O uso de um processo tecnológico como contexto para a aprendizagem teve sua fundamentação baseada nos trabalhos de autores como David Ausubel, Piaget, Vigotski e Paulo Freire, que discutem em suas obras a importância do social no desenvolvimento e aprendizagem. Em vista disso, a proposta de atividade desenvolvida pretende situar os conteúdos de termodinâmica na realidade e contexto sociocultural do aluno, mostrando que os conteúdos aprendidos dentro de sala de aula não são arbitrários, mas sim, uma parte das explicações acerca dos comportamentos da própria natureza.

Como apontado por David Ausubel (2002) em sua teoria da aprendizagem significativa, os materiais potencialmente significativos são de grande importância para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa, levando isso em conta, a atividade desenvolvida busca ser inserida nesta classe de materiais.

As situações-problema foram desenvolvidas visando a sua aplicação em grupos de alunos, possibilitando o debate de ideias. Este modelo de atividades desenvolvidas em grupo baseia-se nas ideias de Piaget e Vigotski, que abordam em suas obras a importância da interação social na aprendizagem, sendo para Piaget uma possível cooperação entre os alunos e para Vigotski a possibilidade de explorar a zona de desenvolvimento proximal do aluno. Além disso, a importância da resolução de problemas para uma aprendizagem significativa, abordada na obra de David Ausubel (2002), foi um dos pilares do desenvolvimento da atividade.

A interdisciplinaridade das situações-problema fundamenta-se na obra de Ivani Fazenda (2008), e busca integração entre áreas do conhecimento, como a biologia, tendo em vista que o processo de liofilização é um método de secagem que permite manter as características nutricionais dos alimentos, e a química, no estudo de processos endotérmicos e exotérmicos, além das interações intermoleculares.

A atividade está estruturada em um conjunto de três situações-problema que abordam conceitos termodinâmicos no contexto do processo de liofilização. Cada situação-problema é composta por um pequeno texto, que contextualiza o processo de liofilização, um desafio que deve ser resolvido pelos alunos utilizando seus conhecimentos sobre conceitos termodinâmicos, e as alternativas que devem ser analisadas e justificadas. O Quadro 1, indica o título da situação-problema, o conceito principal abordado, a relação com o processo de liofilização e os conhecimentos prévios de cada uma das situações.

Quadro 1 – Divisão da atividade de ensino em situações-problema

Título da situação-problema	Conceito principal	Etapa da liofilização correspondente	Conhecimentos pré-requisitos
Explorando o congelamento através da liofilização do café	Solidificação	Congelamento	Mudanças de fases e taxa de resfriamento.
Explorando a sublimação através da liofilização de alimentos	Sublimação	Secagem primária	Mudanças de fase, diagrama de fases e ponto triplo da água.
Explorando a evaporação através da liofilização de um material biopolimérico	Evaporação	Secagem secundária	Mudanças de fase, transferência de calor e processos endotérmicos e exotérmicos

Fonte: Autoria própria

As três situações-problema correspondem a competência específica 1 da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, nas seguintes habilidades:

(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 (Brasil, 2018, p.555).

E na competência específica 3 da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias nas seguintes habilidades:

(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.

(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 (Brasil, 2018, p.559).

Além das situações-problema foram desenvolvidas análises de cada alternativa presente nos desafios, que podem ser utilizadas para gerar um debate entre o professor e os alunos após a realização da atividade.

6.1.1 Explorando o congelamento através da liofilização do café

A primeira situação problema, denominada “Explorando o congelamento através da liofilização do café” está disponível no Apêndice A e aborda a primeira etapa do processo de liofilização, o congelamento. Para a realização dessa atividade o aluno deverá ter conhecimento prévio sobre mudanças de fases e taxa de resfriamento.

O contexto, em que o processo de liofilização é situado na realidade do aluno, se dá através da liofilização do café. Alguns tipos de café solúvel são liofilizados, para isso, o café deve primeiro ser congelado para depois ser submetido as próximas etapas do processo de liofilização.

O desafio proposto ao aluno é encontrar as condições de temperatura e taxa de resfriamento adequadas para um congelamento eficiente. Este desafio busca relacionar os conceitos de termodinâmica estudados dentro de sala de aula com as condições necessárias para promover um processo de liofilização. Para isso devem analisar e justificar as alternativas disponíveis, tendo em vista os conceitos termodinâmicos estudados.

Tal situação-problema aborda o congelamento da amostra durante o processo de liofilização, portanto, deve-se ter conhecimento sobre mudanças de fases, mais especificamente sobre a solidificação.

Além da situação-problema, temos a análise de cada uma das alternativas do desafio, disponível no Apêndice B, acompanhadas de justificativas pela qual cada uma das alternativas está correta ou incorreta.

6.1.2 Explorando a sublimação através da liofilização de alimentos

A segunda situação-problema, denominada “Explorando a sublimação através da liofilização de alimentos” está disponível no Apêndice C e aborda a secagem primária, que é a segunda etapa do processo de liofilização. Para o desenvolvimento desta situação-problema o aluno deve possuir conhecimentos prévios acerca de mudanças de estado, diagrama de fases e ponto triplo da água.

O contexto dessa situação-problema é uma viagem de acampamento. Para essa viagem são necessários alimentos que sejam de fácil armazenamento e com boa qualidade nutricional. Esse contexto busca mostrar que o processo de liofilização pode ser utilizado com diferentes finalidades, sendo uma delas manter a qualidade nutricional e a vida útil dos alimentos por um período de tempo maior.

O desafio dessa situação-problema é que os alunos encontrem as condições necessárias para a realização de uma secagem primária eficiente, para isso, eles devem utilizar de conhecimentos sobre a sublimação, diagrama de fases e ponto triplo da água para analisar e justificar as alternativas disponíveis.

Além da situação-problema, temos a análise de cada uma das alternativas do desafio, disponível no Apêndice D, onde são abordadas as justificativas pela qual cada uma das alternativas está correta ou incorreta.

6.1.3 Explorando a evaporação através da liofilização de um material biopolimérico

A terceira e última situação-problema é denominada “Explorando a evaporação através da liofilização de um material biopolimérico”, e está disponível no Apêndice E. Nela é abordada a última etapa do processo de liofilização, que é a secagem secundária. Para o desenvolvimento desta situação-problema o aluno deve possuir

conhecimentos prévios acerca de mudanças de estado, transferência de calor, velocidade de evaporação e processos endotérmico e exotérmicos.

O contexto que mostra a necessidade do processo de liofilização é dado através de uma situação em que os alunos participam de um programa de desenvolvimento de materiais de uma agência espacial, que pretende enviar um novo material em sua próxima missão. A agência expõe duas exigências que devem ser seguidas, o material deve ser a base de um biopolímero, e deve conter a menor taxa de umidade possível.

Portanto, o desafio proposto aos alunos é utilizar o processo de liofilização para produzir esse material. Para isso, devem encontrar as melhores condições de pressão e temperatura para a realização da última etapa do processo de liofilização, a secagem secundária. Para realizar essa tarefa devem analisar as alternativas propostas, e justificar suas afirmações corretas ou incorretas, utilizando seu conhecimento sobre mudanças de fase, mais especificamente evaporação, transferência de calor e realização de processos endotérmicos e exotérmicos.

Além da situação-problema, temos a análise de cada uma das alternativas do desafio, disponível no Apêndice F, com as justificativas pela qual cada uma das alternativas está correta ou incorreta.

6.1.4 Material de apoio para o professor

Além das situações-problema foi desenvolvido também um pequeno manual de instruções para a aplicação da atividade. Este manual, está disponível no Apêndice G e possui orientações como tempo de aplicação das situações-problema e sugestões de vídeo para explicação do processo de liofilização.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, os objetivos propostos foram alcançados. A realização de uma revisão da literatura do tipo narrativa, possibilitou uma melhor compreensão acerca do processo de liofilização e das características e propriedades do amido.

Já a realização da sistematização dos conceitos termodinâmicos envolvidos no processo de liofilização, possibilitou a identificação e entendimento desses conceitos e sua abordagem no ensino médio.

A realização destes dois objetivos, corroborou com o cumprimento do objetivo de planejamento e elaboração de uma proposta de atividade de ensino de termodinâmica no contexto do processo de liofilização para o ensino médio. Na elaboração desta proposta de atividade foram utilizados diferentes autores para fundamentar a proposta de ensino contextualizado, e como esta abordagem colabora com a construção do conhecimento, fornecendo as condições necessárias para uma aprendizagem significativa.

A proposta de atividade de ensino de conceitos de termodinâmica no contexto do processo de liofilização de biopolímeros, além de ser um produto educacional que utiliza a abordagem do ensino em contexto, também é um exemplo de como promover um ensino interdisciplinar, uma vez que, a própria BNCC expõe sua importância e aponta para a necessidade de os docentes a promoverem, contudo não exemplifica ou direciona como deve ser feito.

REFERÊNCIAS

- ADEWALE, Peter; YANCHESHMEH, Marziehossadat Shokrollahi; LAM, Edmond. Starch modification for non-food, industrial applications: market intelligence and critical review. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 291, p. 1-12, maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119590>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861722004957?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- ASSEGEHEGN, Getachew Weldeabezgi. **Freeze drying process design of pharmaceutical dispersions**. 2020. Tese (Doctoral Program in Industrial and Environmental Science and Technology) – Universidad de Huelva, Doctoral Program in Industrial and Environmental Science and Technology, Huelva, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10272/18977>. Acesso em: 27 mai. 2025
- AUSUBEL, David P. **Adquisición y retención del conocimiento**: Una perspectiva cognitiva. Barcelona: Paidós, 2002.
- BAUDRON, Victor; GURIKOV, Pavel; SMIRNOVA, Irina; WHITEHOUSE, Steve. Porous starch materials via supercritical- and freeze-drying. **Gels**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 1-12, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels5010012>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2310-2861/5/1/12>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC): educação é a base**. Brasília, DF: MEC/CONSED/UNDIME, 2018. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_siete.pdf. Acesso em: 24 maio 2025.
- BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S.. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.] v. 23, p. 85-112, ago. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(98\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(98)00040-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813098000403?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Lella Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945 – 954, maio/jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FSP37sVnbZjVK9zLLSSsX5h/?lang=pt>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- FAZENDA, Ivani C. A. **Interdisciplinaridade**: história, teoria e pesquisa. 15. ed. Campinas: Papyrus, 2008.
- FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário aurélio da língua portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2010.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 46. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

GELHARDT, Geisa Heidy; ECCO, Idanir. **Contextualização e aprendizagem significativa**: proposição de estratégias didático-metodológicas. Erechim, RS: EdiFAPES, 2022.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

KASPER, Julia Christina; FRIESS, Wolfgang. The freezing step in lyophilization: Physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, [s. l.], v. 78, n. 2, p. 248-263, jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2011.03.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0939641111001111?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2025.

KUNAL, A. Gaidhani; MALLINATH, Harwalkar; DEEPAK, Bhambere; PALLAVI, S. Nirgude. Lyophilization / freeze drying - a review. **World Journal of Pharmaceutical Research**, [s. l.], v. 4, n. 8, p. 516-543, 2015. Disponível em: https://wjpr.net/abstract_show/3298. Acesso em: 19 jun. 2025.

LA TAILLE, Yves de. O lugar da interação social na concepção de Jean Piaget. *In*: LA TAILLE, Yves de; OLIVEIRA, Marta Kohl de; DANTAS, Heloysa. **Piaget, Vygotsky, Wallon**: teorias psicogenéticas em discussão. 29. ed. São Paulo: Summus, 2019.

LE CORRE, Déborah. **Starch nanocrystals**: preparation and application to bio-based flexible packaging. 2011. Tese (Doctorale Ingénierie – Matériaux, Mécanique, Energétique, Environnement, Procédés de Production) – Université de Grenoble, l'École Doctorale Ingénierie – Matériaux, Mécanique, Energétique, Environnement, Procédés de Production, Grenoble, 2011. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00721830>. Acesso em: 19 jun. 2025.

LISBOA, Julio Cezar Foschini; BRUNI, Aline Thaís; NERY, Ana Luiza Petillo; BIANCO, Paulo A. G.; LIEGEL, Rodrigo Marchiori; ÁVILA, Simone Garcia de; YDI, Simone Jaconetti; LOCATELLI, Solange Wagner; AOKI, Vera Lúcia Mitiko. **Ser protagonista**: química, 2º ano: ensino médio. 3. ed. São Paulo: 2016.

LIU, Yang; ZHANG, Zhengyu; HU, Liandong. High efficient freeze-drying technology in food industry. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 62, n. 12, p. 3370-3388, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865261>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2020.1865261>. Acesso em: 19 jun. 2025.

LUZ, Antônio Máximo Ribeira da; Álvares, Beatriz Alvarenga. **Física**: volume 2. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2009.

MI, Sha; LIU, Zhiqiang; LUO, Chun; CAI, Lingling; ZHANG, Zezong; LI, Longquan. A review on preparing new energy ultrafine powder materials by freeze-drying. **Drying Technology**, [s. l.], v. 38, n. 12, p. 1544-1564, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1651733>. Disponível em:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2019.1651733>. Acesso em:
19 jun. 2025.

MOREIRA, Marco Antônio. ¿Al final, que és aprendizaje significativo?. **Qurriculum**, La Laguna, v. 25, p. 29-56, 2012.

PALANGANA, Isilda Campaner. **Desenvolvimento e aprendizagem em Piaget e Vigotski: A relevância do social**. 6. ed. São Paulo: Summus, 2015.

PIKAL, M. J.; SHAH, S.; ROY, M. L.; PUTMAN, R.. The secondary drying stage of freeze drying: drying kinetics as a function of temperature and chamber pressure. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 60 n. 3, p. 203-217, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-5173\(90\)90074-E](https://doi.org/10.1016/0378-5173(90)90074-E). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037851739090074E?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática x revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. v–vi, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-21002007000200001>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ape/a/z7zZ4Z4GwYV6FR7S9FHTByr/?lang=pt>. Acesso em:
19 jun. 2025.

APÊNDICE A – SITUAÇÃO-PROBLEMA 1: Explorando o congelamento através da liofilização do café

Conhecimentos pré-requisitos:

Para o desenvolvimento desta situação, o aluno deve ter conhecimento sobre os seguintes conceitos: mudanças de fase, transferência de calor e taxa de resfriamento.

Objetivos de aprendizagem:

1. Reconhecer os conceitos de solidificação, taxa de resfriamento e taxa de congelamento.
2. Explicar como a temperatura e a taxa de resfriamento interferem no processo de congelamento.
3. Utilizar conceitos termodinâmicos para compreender o problema exposto.
4. Avaliar cada alternativa, identificando pontos fortes e limitações.
5. Julgar a eficiência e a viabilidade das condições propostas para o processo.

Competências e habilidades da BNCC:

1. Competência específica 1 da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:
 - a. (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.
 - b. (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.

2. Competência específica 3 da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:
 - a. (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.
 - b. (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.

Contexto:

Às 9h seu despertador tocou ao lado da sua cama. Prontamente você o desligou, pensando em dormir os famosos 5 minutos a mais do que deveria. Contudo, ao despertar, sua atenção foi direcionada ao cheiro maravilhoso do café da manhã que estava sendo preparado. Ao se aproximar da cozinha você conseguiu distinguir melhor os cheiros... bolo de chocolate, suco de laranja, pão recém asado, mas principalmente, o cheiro do café.

O cheiro e o gosto do café são sempre produto de discussões entre as pessoas. Há quem tome café sem açúcar, outros dizem que o café é amargo demais para não ser adoçado, além da discussão sobre qual café possui um sabor melhor: o café passado, ou o café solúvel.

Você e sua família conhecem a liofilização, técnica utilizada em diversos alimentos para retirada da água de sua estrutura, e sabem que ela é utilizada na fabricação de alguns tipos de café solúvel. Por conhecer a técnica, também sabem que ao ser realizada, a liofilização não altera o sabor e nem as propriedades nutricionais dos alimentos. Portanto, utilizam o café liofilizado em sua rotina matinal diariamente.

Desafio:

Uma das condições necessárias para a liofilização é o congelamento do alimento, que possibilitará a posterior sublimação da água. Você deverá encontrar as condições ideais para o congelamento do café para que ele seja posteriormente liofilizado. Para isso, você deverá compreender qual a condição de temperatura ideal para o congelamento e qual taxa de resfriamento deverá ser respeitada para a efetividade dessa primeira etapa do processo de liofilização. Você deverá lembrar que o congelamento é uma etapa muito importante do processo de liofilização e que seu resultado irá impactar nas próximas etapas, e, portanto, no resultado final do café liofilizado. Para determinar todos esses parâmetros, você deverá utilizar conceitos termodinâmicos aprendidos em sala de aula e avaliar as melhores condições para essa etapa.

Questão:

Pensando no que foi apresentado, responda à questão apresentada abaixo. Para respondê-la, siga as seguintes orientações:

- I. Explique cada alternativa, justificando por que ela é correta ou incorreta.
- II. Utilize conceitos de termodinâmica, como mudanças de fase, transferência de calor e taxa de resfriamento.
- III. Considere aspectos interdisciplinares, relacionando com **Química** (propriedades da água, ligações intermoleculares), **Biologia** (conservação de nutrientes) e **Tecnologia** (aplicações com diferentes objetivos, eficiência energética).

Para garantir que o congelamento do café ocorra de forma eficiente, e que as próximas etapas do processo de liofilização sejam realizadas sem dificuldades, analise as alternativas abaixo e conclua qual delas representa as condições mais adequadas, considerando os princípios termodinâmicos e as condições necessárias para as próximas etapas do processo de liofilização.

- a. Manter a temperatura a 0°C durante todo o processo será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento rápido (taxa de resfriamento maior) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo de secagem primária, pois formará cristais de gelo maiores facilitando o fluxo da interface de sublimação.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() inadequadas

Explique:

- b. Utilizar apenas a temperatura de solidificação da água, 0°C, durante o processo não será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento rápido (taxa de resfriamento maior) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo de secagem primária, pois formará cristais de gelo menores que facilitarão o fluxo da interface de sublimação.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() inadequadas

Explique:

- c. Utilizar apenas a temperatura de solidificação da água, 0°C, durante o processo não será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento lento (taxa de resfriamento menor) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo de secagem primária, pois formará cristais de gelo maiores que facilitarão o fluxo da interface de sublimação.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() inadequadas

Explique:

- d. Manter a temperatura a 0°C durante todo o processo não será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento lento (taxa de resfriamento menor) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo

de secagem primária, pois formará cristais de gelo menores que facilitarão o fluxo da interface de sublimação.

() A alternativa apresenta condições adequadas () inadequadas

Explique:

Conclusão da questão: _____

APÊNDICE B – ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA 1

Situação-problema 1:

Explorando o congelamento através da liofilização do café.

Análise das alternativas:

- a. Manter a temperatura a 0°C durante todo o processo será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento rápido (taxa de resfriamento maior) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo de secagem primária, pois formará cristais de gelo maiores facilitando o fluxo da interface de sublimação.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. Se a temperatura do produto for mantida a 0°C e não for retirado 80 calorias de cada grama de água não teremos a solidificação ocorrendo.
- II. O congelamento rápido ocasiona na formação de cristais de gelo pequenos.
- III. Um dos fatores necessários para reduzir o tempo de secagem primária e gastar menos energia no processo de liofilização é proporcionar um “caminho livre” para a interface de sublimação.

- b. Utilizar apenas a temperatura de solidificação da água, 0°C, durante o processo não será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento rápido (taxa de resfriamento maior) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo de secagem primária, pois formará cristais de gelo menores que facilitarão o fluxo da interface de sublimação.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. Para reduzir o tempo do processo de liofilização é necessário um menor tempo na etapa da secagem primária e para que isso ocorra é necessário haver um “caminho livre” para a interface de sublimação.

- II. O congelamento rápido ocasiona na formação de cristais de gelo pequenos, que dificultam o caminho da interface de sublimação.
- c. Utilizar apenas a temperatura de solidificação da água, 0°C, durante o processo não será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento lento (taxa de resfriamento menor) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo de secagem primária, pois formará cristais de gelo maiores que facilitarão o fluxo da interface de sublimação.

Alternativa correta.

Justificativa:

- I. Manter o produto na temperatura de solidificação da água não garantirá seu congelamento completo.
 - II. Para reduzir o tempo do processo de liofilização é necessário um menor tempo na etapa da secagem primária e para que isso ocorra é necessário haver um “caminho livre” para a interface de sublimação.
 - III. O congelamento lento ocasiona em cristais de gelo maiores que possibilitam que a interface de sublimação percorra um caminho mais livre.
- d. Manter a temperatura a 0°C durante todo o processo não será suficiente para o congelamento total do produto. O congelamento lento (taxa de resfriamento menor) será a melhor alternativa para a diminuição do tempo de secagem primária, pois formará cristais de gelo menores que facilitarão o fluxo da interface de sublimação.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. Manter o produto na temperatura de solidificação da água não garantirá seu congelamento completo.
- II. Para reduzir o tempo do processo de liofilização é necessário um menor tempo na etapa da secagem primária e para que isso ocorra é necessário haver um “caminho livre” para a interface de sublimação.

- III. O congelamento lento não ocasiona em cristais de gelo pequenos.

Conclusão da questão: A alternativa “c” é a mais adequada.

APÊNDICE C – SITUAÇÃO-PROBLEMA 2: Explorando a sublimação através da liofilização de alimentos.

Conhecimentos pré-requisitos:

Para o desenvolvimento desta situação, o aluno deve ter conhecimento sobre os seguintes conceitos: mudanças de fase, diagrama de fases e ponto triplo da água.

Objetivos de aprendizagem:

1. Reconhecer os conceitos de sublimação, diagrama de fases e ponto triplo da água.
2. Explicar como a temperatura e a pressão interferem nas mudanças de estado da matéria.
3. Utilizar conceitos termodinâmicos para compreender o problema exposto.
4. Avaliar cada alternativa, identificando pontos fortes e limitações.
5. Julgar a eficiência e a viabilidade das condições propostas para o processo.

Competências e habilidades da BNCC:

1. Competência específica 1 da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:
 - a. (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.
 - b. (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.

2. Competência específica 3 da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:

- a. (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.
- b. (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.

Contexto:

Você e seu grupo de amigos estão planejando um fim de semana de acampamento, onde vocês ficariam em uma experiência de vários dias passeando pela floresta fazendo diferentes trilhas e conhecendo vários rios e lagos diferentes. Para isso vocês precisam acampar durante vários dias, por esse motivo devem carregar suprimentos suficientes para toda a viagem de ida e de volta.

Pesquisando sobre alimentos para acampamentos vocês perceberam que alimentos como pão e frutas são ótimas opções em virtude de sua praticidade, contudo alimentos mais energéticos e proteicos também são necessários. Como não há um local refrigerado para guardar esses alimentos, vocês optaram por levar em sua viagem alimentos liofilizados, que são alimentos nutritivos, leves de carregar e de fácil preparação.

Desafio:

Uma das condições necessárias para um bom resultado do processo de liofilização de alimentos, ou seja, para obter alimentos com baixo teor de água é a realização da secagem primária, que é a responsável por fazer a retirada de grande parte da água.

Para isso, você e seus colegas devem encontrar as condições necessárias para uma secagem primária bem-sucedida. Vocês devem compreender quais são os parâmetros adequados para promover a sublimação dos cristais de gelo, baseando-se nas curvas do diagrama de fases da água.

Lembrem-se que a secagem primária é o momento que teremos a remoção da maior parte da água e que essa etapa está totalmente relacionada com a quantidade de umidade que o alimento terá ao final do processo, e portanto, também impacta na qualidade final do alimento. Para determinar todos esses parâmetros, você deverá utilizar conceitos termodinâmicos aprendidos em sala de aula e avaliar as melhores condições para essa etapa.

Questão:

Pensando no que foi apresentado, responda à questão apresentada abaixo. Para respondê-la, siga as seguintes orientações:

- I. Explique cada alternativa, justificando por que ela é correta ou incorreta.
- II. Utilize conceitos de termodinâmica, como mudanças de fase, o diagrama de fases da água e o ponto triplo.
- III. Considere aspectos interdisciplinares, relacionando com **Química** (propriedades da água, ligações intermoleculares), **Biologia** (conservação de nutrientes) e **Tecnologia** (aplicações com diferentes objetivos, eficiência energética).

Para garantir que a secagem primária ocorra de forma eficiente, e que a próxima etapa do processo de liofilização seja realizada sem dificuldades, analise as alternativas abaixo e conclua qual delas representa as condições mais adequadas, considerando os princípios termodinâmicos e as condições necessárias para as próximas etapas do processo de liofilização.

- a. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado líquido para o estado gasoso, é aumentando a pressão e deixando a temperatura constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser maiores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() Inadequadas

Explique:

- b. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado sólido para o estado gasoso, passando pelo estado líquido, é aumentando a temperatura e deixando a pressão constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser maiores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() inadequadas

Explique:

- c. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido, é diminuindo a temperatura e deixando a pressão constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser menores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() inadequadas

Explique:

d. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido, é diminuir a pressão e deixando a temperatura constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser menores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() inadequadas

Explique:

Conclusão da questão: _____

APÊNDICE D – ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA 2

Situação-problema 2:

Explorando a sublimação através da liofilização de alimentos.

Análise das alternativas:

- a. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado líquido para o estado gasoso, é aumentando a pressão e deixando a temperatura constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser maiores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. A sublimação é a passagem do estado sólido para o estado gasoso.
 - II. Aumentar a pressão e deixar a temperatura constante não irá promover a sublimação.
 - III. Para promover a sublimação no caso da liofilização é necessário que a pressão e a temperatura estejam abaixo do ponto triplo da água.
- b. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado sólido para o estado gasoso, passando pelo estado líquido, é aumentando a temperatura e deixando a pressão constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser maiores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. A sublimação é a passagem direta do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido.

- II. Aumentar a temperatura e deixar a pressão constante não irá promover a sublimação. Como o alimento congelado está no estado sólido e a uma pressão maior que a pressão do ponto triplo da água, ao aumentar a temperatura iremos promover uma fusão, ou seja, a passagem do estado sólido para o estado líquido.
 - III. Para promover a sublimação no caso da liofilização é necessário que a pressão e a temperatura estejam abaixo do ponto triplo da água.
- c. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido, é diminuindo a temperatura e deixando a pressão constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser menores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. Como o alimento já está no estado sólido e a uma pressão acima da pressão do ponto triplo da água, se mantermos a pressão constante apenas diminuindo a temperatura, iremos apenas manter o alimento congelado, ou seja, no estado sólido.
- d. Considere que um alimento congelado está dentro da câmara liofilização a uma pressão superior a pressão do ponto triplo da água e a uma temperatura abaixo do ponto triplo. Uma das maneiras de promover a sublimação, que é a passagem do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido, é diminuir a pressão e deixando a temperatura constante dentro da câmara de liofilização. Tanto a temperatura quanto a pressão dentro da câmara devem ser menores do que a temperatura e pressão do ponto triplo da água.

Alternativa correta.

Justificativa:

- I. A sublimação é a passagem direta do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido.
- II. Se estamos com o alimento congelado (estado sólido) e a uma pressão e maior do que o ponto triplo, devemos diminuir a pressão

da câmara para conseguir promover a passagem do estado sólido para o estado de vapor, ou seja, promover a sublimação.

- III. Para promover a sublimação no caso da liofilização é necessário que a pressão e a temperatura estejam abaixo do ponto triplo da água.

Conclusão da questão: A alternativa “d” é a mais adequada.

APÊNDICE E – SITUAÇÃO-PROBLEMA 3: Explorando a evaporação através da liofilização de um material biopolimérico

Conhecimentos pré-requisitos:

Para o desenvolvimento desta situação, o aluno deve ter conhecimento sobre os seguintes conceitos: mudanças de fase, transferência de calor, velocidade de evaporação e processos endotérmicos e exotérmicos.

Objetivos de aprendizagem:

1. Reconhecer os conceitos de evaporação, transferência de calor e velocidade de evaporação.
2. Utilizar conceitos termodinâmicos para compreender o problema exposto.
3. Avaliar cada alternativa, identificando pontos fortes e limitações.
4. Julgar a eficiência e a viabilidade das condições propostas para o processo.

Competência e habilidades da BNCC:

1. Competência específica 1 Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:
 - a. (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.
 - b. (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.
2. Competência específica 3 da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:
 - a. (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.

- b. (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.

Contexto:

Nos últimos anos muitas pesquisas sobre a implantação de uma base na Lua estão em desenvolvimento. Muitos cientistas afirmam que esse passo seria de grande importância para a possibilidade de posteriores viagens e colonizações em Marte.

Grandes agências espaciais estão diariamente desenvolvendo materiais e equipamentos para melhor aprimorar os veículos e aparelhos que são utilizados nas viagens espaciais. Uma certa agência espacial está procurando cientistas para desenvolver materiais a base de biopolímeros com baixo teor de umidade para serem utilizados em alguns de seus projetos.

Desafio:

Imagine que você e seus colegas foram os cientistas contratados pela agência para desenvolver esse novo material. As exigências impostas pela agência para este material são apenas duas: o material deve ser desenvolvido utilizando um biopolímero como por exemplo, o amido e o material desenvolvido deve ter a menor porcentagem de umidade possível.

Como você e seus colegas estudaram na aula de física, sobre o processo de liofilização, e sabem que neste processo é possível promover a remoção de grande parte da água presente em um material. Vocês se lembram de que este processo utiliza de uma grande quantidade de conceitos termodinâmicos em suas etapas e agora estão dispostos a utiliza-los para conseguir desenvolver o material pedido pela agência, respeitando as suas exigências.

Uma das formas de obter um material liofilizado com o menor teor de umidade possível é promover a realização da secagem secundária. Para isso, você e seus colegas devem encontrar as condições necessárias de temperatura e pressão para promover a evaporação que é a responsável pela secagem secundária.

Para determinar esses parâmetros, você deverá utilizar conceitos termodinâmicos aprendidos em sala de aula e avaliar as melhores condições para essa etapa.

Questão:

Pensando no que foi apresentado, responda à questão apresentada abaixo. Para respondê-la, siga as seguintes orientações:

- I. Explique cada alternativa, justificando por que ela é correta ou incorreta.
- II. Utilize conceitos de termodinâmica, como mudanças de fase, transferência de calor e velocidade de evaporação.
- III. Considere aspectos interdisciplinares, relacionando com **Química** (propriedades da água, ligações intermoleculares), **Biologia** (conservação de nutrientes) e **Tecnologia** (aplicações com diferentes objetivos, eficiência energética).

Para garantir que a secagem secundária ocorra de forma eficiente, analise as alternativas abaixo e conclua qual delas representa as condições mais adequadas, considerando os princípios termodinâmicos e as exigências para o seu material.

- a. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário aumentar a temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação absorve energia e, portanto, é um processo endotérmico. A velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então quanto maior a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() A alternativa apresenta condições inadequadas

Explique:

- b. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário diminuir temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação libera energia e, portanto, é um processo endotérmico. A

velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então quanto menor a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() A alternativa apresenta condições inadequadas

Explique:

- c. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário aumentar a temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação absorve energia e, portanto, é um processo exotérmico. A velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então quanto maior a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() A alternativa apresenta condições inadequadas

Explique:

- d. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário diminuir a temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação libera energia e, portanto, é um processo exotérmico. A velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então quanto maior a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

() A alternativa apresenta condições adequadas

() A alternativa apresenta condições inadequadas

Explique:

Conclusão da questão: _____

APÊNDICE F – ANÁLISE DA SITUAÇÃO-PROBLEMA 3

Situação-problema 3:

Explorando a evaporação através da liofilização de um material biopolimérico.

Análise das alternativas:

- a. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário aumentar a temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação absorve energia e, portanto, é um processo endotérmico. A velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então quanto maior a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

Alternativa correta.

Justificativa:

- I. Para promover a evaporação é necessário fornecer energia ao líquido, para que as moléculas de água tenham energia cinética suficiente para evaporarem, e esse fornecimento de energia pode ser realizado através do aumento de temperatura.
 - II. A evaporação é um processo endotérmico, ou seja, absorve energia.
 - III. Um dos fatores que interfere na velocidade de evaporação é a temperatura, pois quanto maior a temperatura do líquido mais energia cinética as moléculas terão para evaporar, logo mais rápida será a evaporação.
- b. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário diminuir temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação libera energia e, portanto, é um processo endotérmico. A velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então quanto menor a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. Para promover a evaporação é necessário fornecer energia ao líquido, e não retirar, pois as moléculas de água precisam possuir energia cinética suficiente para evaporarem, e esse fornecimento de energia é realizado através do aumento de temperatura.
 - II. A evaporação é um processo endotérmico, ou seja, absorve energia.
 - III. Um dos fatores que interfere na velocidade de evaporação é a temperatura, pois quanto maior a temperatura do líquido mais energia cinética as moléculas terão para evaporar, logo mais rápida será a evaporação.
- c. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário aumentar a temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação absorve energia e, portanto, é um processo exotérmico. A velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então, quanto maior a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. A evaporação é um processo endotérmico, ou seja, absorve energia. Um processo exotérmico é um processo onde ocorre a liberação de energia.
- d. Para promover a evaporação da água de qualquer superfície ou material é necessário diminuir a temperatura do líquido que se pretende evaporar, ou seja, a evaporação libera energia e, portanto, é um processo exotérmico. A velocidade com a qual a evaporação irá acontecer depende da temperatura em que o líquido está, então quanto maior a temperatura, maior a velocidade de evaporação.

Alternativa incorreta.

Justificativa:

- I. Para promover a evaporação é necessário fornecer energia ao líquido, e não retirar, pois as moléculas de água precisam possuir energia cinética suficiente para evaporarem, e esse

fornecimento de energia é realizado através do aumento de temperatura.

- II. A evaporação é um processo endotérmico, ou seja, absorve energia.

Conclusão da questão: A alternativa “a” é a mais adequada.

APÊNDICE G – MATERIAL DE APOIO PARA APLICAÇÃO

Atividade: “Explorando a termodinâmica através do processo de liofilização”

Tempo de aplicação:

O tempo de duração indicado para a aplicação das situações-problema, tendo como parâmetro aulas de 45 a 50 minutos de duração, é de 2 horas aula. Sendo divididos da seguinte forma:

Primeira aula:

- 10 minutos para uma breve explicação e vídeo (disponível na seção “antes da aplicação” deste apêndice) sobre o processo de liofilização;
- 20 minutos para a realização da primeira atividade;
- 15 minutos para correção e demais explicações necessárias.

Segunda aula:

- 15 minutos para aplicação da situação-problema 2;
- 15 minutos para aplicação da situação-problema 3;
- 15 minutos para correção das situações-problema 2 e 3 e considerações finais sobre as atividades.

Sobre a atividade:

A atividade “Explorando a termodinâmica através do processo de liofilização” é formada por um conjunto de três situações-problema, onde cada uma delas se refere a uma etapa do processo de liofilização.

A ideia por trás dessas atividades é mostrar como conceitos de termodinâmica podem ser utilizados em diversas aplicações, com finalidades diferentes. Através da liofilização como contexto, os alunos poderão compreender que os conceitos termodinâmicos aprendidos em sala de aula podem estar presentes em diversas situações. Além disso, as situações-problema serão uma ótima ferramenta para tornar o aluno protagonista da construção do próprio conhecimento.

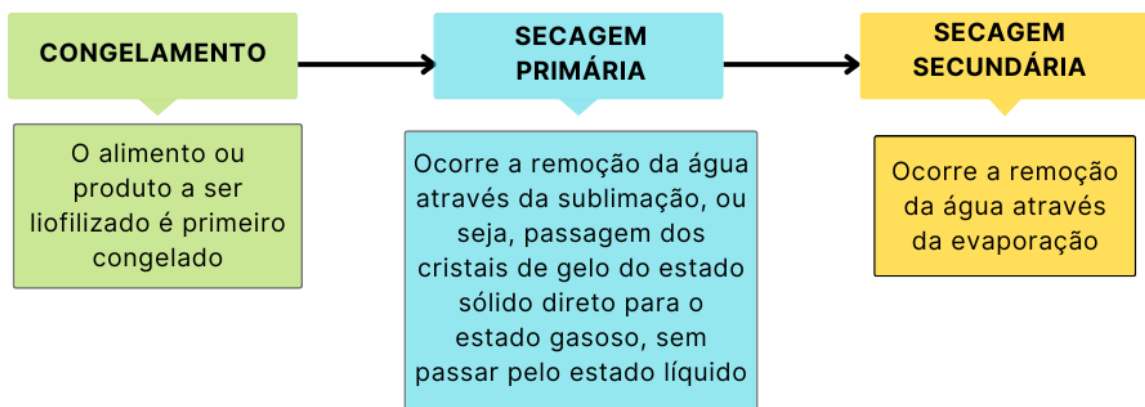
Antes da aplicação:

Salientamos aqui que para o desenvolvimento das situações-problema os alunos deverão ter conhecimentos prévios acerca dos temas: mudanças de fase, transferência de calor, velocidade de evaporação, taxa de resfriamento, diagrama de fases da água e processos endotérmicos e exotérmicos.

Antes da aplicação das atividades indicamos apresentar aos alunos uma síntese do processo de liofilização e exemplos de onde ele é utilizado, para isso deixamos abaixo uma sistematização das etapas do processo de liofilização e indicação de um vídeo que pode ser utilizado nesse momento com os alunos.

Link do vídeo: <https://youtu.be/e8UffTknSZA?si=tPhbEbGlaWZGtspj>

Diagrama de descrição das etapas do processo de liofilização



Fonte: Autoria própria.

Depois da aplicação:

Após a aplicação das atividades aconselhamos que seja realizada as correções das alternativas, debatendo com os alunos cada uma das alternativas presentes nas atividades, enfatizando os motivos para estarem incorretas e quando for o caso, os motivos que as fazem as alternativas corretas.