



UnB



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia - PROFBIO

**ESTUDO DA CARACTERÍSTICA “SENSIBILIDADE GUSTATIVA À
FENILTIOCARBAMIDA (PTC)” NO ENSINO DE GENÉTICA**

FERNANDA MARTINS DA FONSECA.

Brasília
2024



UnB



FERNANDA MARTINS DA FONSECA

**ESTUDO DA CARACTERÍSTICA “SENSIBILIDADE GUSTATIVA À
FENILTIOCARBAMIDA (PTC)” NO ENSINO DE GENÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional-PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Orientador(a): Dra. Maria de Nazaré Klautau Guimarães

Brasília

2024

AGRADECIMENTOS

É com grande alegria que finalizo este Trabalho de Conclusão de Mestrado, um marco em minha vida acadêmica, profissional e pessoal. Foi uma longa caminhada, repleta de desafios e aprendizados e que se tornou possível com o apoio, colaboração e carinho de muitas pessoas.

Primeiramente, agradeço a Deus pela força, saúde e sabedoria que me permitiram chegar até aqui. Aos meus pais, Hélio e Iolanda, meu alicerce, minha fonte de amor incondicional, incentivo e apoio, dedico este trabalho a vocês. Minha eterna gratidão por acreditarem em meu potencial, mesmo nos momentos mais difíceis, sem vocês, esta conquista não seria possível. Aos meus irmãos, Amanda e Miguel, agradeço pelo carinho, compreensão e pelo apoio em todos os momentos. Vocês foram fundamentais para minha motivação e equilíbrio emocional durante toda a jornada. Saber que podia contar com vocês fez toda a diferença.

Aos meus colegas de mestrado, pela troca de conhecimentos, pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio incondicional. A convivência e a colaboração de vocês tornaram esta caminhada muito mais leve e significativa. Agradeço em especial à querida Cristina Torres (Cris), por me acolher desde o primeiro dia de aula, oferecendo carona todas as sextas feiras até a UnB, saber que, após viajar a noite toda, você estaria lá me esperando, sempre com um sorriso no rosto e o coração cheio de amor, me deu muita segurança e tranquilidade, sua generosidade e disposição facilitaram muito minha rotina e foram essenciais para que eu pudesse concluir este curso com sucesso. Não poderia deixar de mencionar meus professores, e de forma muito especial minha orientadora, Dra. Maria de Nazaré Klautau Guimarães, sua orientação, conhecimento, paciência, cuidado e carinho foram fundamentais para que eu concluísse o mestrado. Seu compromisso com a educação e seu entusiasmo em transformar o Ensino de Genética me inspiram. Sempre digo que todos deveriam ter uma Nazaré como orientadora, você vai muito além das suas funções, é um exemplo e inspiração de profissional e de ser humano, eu não poderia ter escolhido alguém melhor.

Agradeço, ainda, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro na realização do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional e a todos os profissionais da UnB.

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

RELATO DO MESTRANDO

Instituição: Universidade de Brasília (UnB)
Mestranda: Fernanda Martins da Fonseca.
Título do TCM: Estudo da Característica “Sensibilidade Gustativa à Feniltiocarbamida (PTC)” no Ensino de Genética
Data da defesa: 05/07/2024
<p>O PROFBIO para mim foi a oportunidade de realizar um sonho. Desde que terminei a graduação em 2007, desejava ingressar em um programa de mestrado, e, após 15 anos em sala de aula a oportunidade surgiu, no momento exato. Agora já existia a experiência profissional e com ela, o desejo de aprimoração e mudança. Cursar o PROFBIO, foi desafiador e ao mesmo tempo uma oportunidade ímpar, de rever conteúdos e principalmente de atualização de conhecimentos. Essa atualização me permitiu transformar minhas aulas, a forma que ensino e a forma de enxergar a educação pública. Sempre tive um anseio muito grande em tornar as aulas de Biologia mais fáceis de compreender e mostrar que a Genética não é um “bicho de sete cabeças”, porém não sabia como fazer isso. Hoje, com os conhecimentos adquiridos no mestrado e durante o desenvolvimento do TCM vejo que isso é possível. Ao utilizar as metodologias e conhecimentos adquiridos, percebi que é possível despertar o interesse dos estudantes apresentando o conhecimento científico atualizado e contextualizado e como relato de experiência, quero deixar registrado que, a partir do momento em que passei a explicar os conceitos básicos de genética, apresentando a base molecular e utilizando como exemplo características humanas, percebi que a compreensão se tornou mais fácil e significativa e que, as dificuldades que sempre surgiam no momento de associar esses conceitos não existem mais. Foi transformador.</p> <p>Agradeço a oportunidade de cursar o PROFBIO e a oportunidade de aprender com os professores incríveis que fazem parte do programa, cada um desses professores é para mim fonte de inspiração e admiração.</p>

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MF676e

MARTINS DA FONSECA, FERNANDA

ESTUDO DA CARACTERÍSTICA "SENSIBILIDADE GUSTATIVA À FENILTIOCARBAMIDA (PTC)" NO ENSINO DE GENÉTICA / FERNANDA MARTINS DA FONSECA; orientador Maria de Nazaré Klautau Guimarães. -- Brasília, 2024.

108 p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Biologia)
-- Universidade de Brasília, 2024.

1. Ensino de genética. 2. Sensibilidade Gustativa à Feniltiocarbamida. 3. Gene TAS2R38. 4. Sabor Amargo. 5. Estudo de Caso. I. Klautau Guimarães, Maria de Nazaré, orient. II. Título.

RESUMO

A educação deve capacitar os cidadãos para o desenvolvimento de diversas competências e habilidades essenciais. No contexto do Ensino de Biologia, é crucial que os estudantes sejam instruídos de modo a serem capazes de relacionar os conteúdos aprendidos com situações da vida cotidiana e utilizar esse conhecimento de maneira eficaz na resolução de problemas do mundo real. Entretanto, o ensino de conceitos científicos, especialmente na área da Genética, enfrenta inúmeros desafios, uma vez que abrange um conjunto complexo de conhecimentos abstratos, frequentemente difíceis de compreender. Para facilitar o processo de ensino e aprendizagem é necessário adotar práticas que permitam a compreensão dos princípios básicos da hereditariedade. Utilizar características humanas torna o conteúdo mais atrativo e contextualizado. O presente trabalho aborda a sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida (PTC) no Ensino de Genética, por meio de conhecimentos científicos da variação na sensibilidade gustativa individual e sua relação com os aspectos de nutrição e saúde. O estudo dessa característica ocorreu por meio de uma revisão bibliográfica para conhecer como ela é trabalhada no Ensino de Genética. A partir desse levantamento, os documentos foram selecionados conforme suas adequações ao conhecimento científico atual sobre as bases genéticas que explicam parte da variação da sensibilidade gustativa e analisados quanto suas adequações às competências e habilidades previstas na BNCC. Diante do panorama geral, foi elaborado como produto do TCM (Trabalho de Conclusão do Mestrado), um material didático, na forma de Estudo de Caso com abordagem investigativa. A elaboração desse material teve como principal característica permitir aos estudantes compreenderem os conceitos básicos de Genética e suas relações com os aspectos biotecnológicos e aplicações na sociedade, quanto aos aspectos da percepção gustativa na nutrição e saúde. Um ponto importante do Estudo de Caso é a possibilidade de se trabalhar os conhecimentos da Genética e da Epigenética de forma integrada. Um segundo produto do TCM foi um artigo de revisão sobre como a característica da “Sensibilidade gustativa à PTC” é trabalhada no Ensino de Genética, escrito a partir do panorama obtido das análises de documentos, (Anais do IX Encontro Nacional de Ensino de Biologia / VII Encontro Regional de Ensino de Biologia MG/GO/TO/DF 2024). A partir desse levantamento, constatou-se que a maioria dos documentos explicam a variação na sensibilidade gustativa como uma característica complexa, de herança multifatorial e as atividades propostas estimulam a curiosidade e participação dos estudantes, estando adequadas às BNCC.

Palavras-chave: Genótipo. Fenótipo. Estratégia de Ensino. Sabor Amargo.

ABSTRACT

Education should empower citizens to develop a wide range of essential competencies and skills. In the context of Biology education, it is crucial that students are taught in a way that enables them to relate the content learned to everyday situations and use this knowledge effectively to solve real-world problems. However, teaching scientific concepts, particularly in the area of Genetics, faces numerous challenges, as it encompasses a complex set of abstract knowledge that is often difficult to understand. To facilitate the teaching and learning process, it is necessary to adopt practices that enable the comprehension of the basic principles of heredity. Using human characteristics makes the content more engaging and contextualized. This study addresses gustatory sensitivity to Phenylthiocarbamide (PTC) in Genetics education, through scientific knowledge of the variation in individual taste sensitivity and its relation to aspects of nutrition and health. The study of this characteristic was conducted through a literature review to understand how it is approached in Genetics education. Based on this survey, documents were selected according to their alignment with current scientific knowledge about the genetic bases that explain part of the variation in taste sensitivity and were analyzed for their alignment with the competencies and skills outlined in the BNCC. Given the overall panorama, didactic material was developed as the product of the Master's Thesis (TCM), in the form of a Case Study with an investigative approach. The main feature of this material is to enable students to understand the basic concepts of Genetics and their relations with biotechnological aspects and applications in society, regarding taste perception in nutrition and health. An important aspect of the Case Study is the possibility of integrating knowledge of Genetics and Epigenetics. A second product of the TCM was a review article on how the characteristic of "PTC Taste Sensitivity" is addressed in Genetics education, written based on the analysis of documents (Proceedings of the IX National Meeting of Biology Teaching / VII Regional Meeting of Biology Teaching MG/GO/TO/DF 2024). From this survey, it was found that the majority of documents explain the variation in taste sensitivity as a complex characteristic, with multifactorial inheritance, and that the proposed activities stimulate students' curiosity and participation, being appropriate to the BNCC.

Keywords: Genotype, Phenotype, Teaching Strategy, Bitter Taste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Percepção do sabor amargo	22
Figura 1: Organização dos artigos selecionados	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC – BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR

DNA – ÁCIDO DESOXIRRIBONUCLEICO

EC – ESTUDO DE CASO

PTC – FENILTIOCARBAMIDA

SNP - POLIMORFISMO DE UM ÚNICO NUCLEOTÍDEO

STEM²D – “SCIENCE, TECHNOLOGY, MATHEMATICS, DESIGN” - SISTEMA DE APRENDIZADO CIENTÍFICO, NAS DISCIPLINAS EDUCACIONAIS CIÊNCIA, TECNOLOGIA, ENGENHARIA, MATEMÁTICA E DESIGN

TCM – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE MESTRADO

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Polimorfismos do gene TAS2R38	21
Tabela 1: Distribuição dos haplotipos TAS2R38 nas populações estudadas.....	21
Tabela 2: Resultados da busca pelo descritor “Teaching Genetics Ptc Tasting”	31
Tabela 3: Resultados da busca pelo descritor “PTC Tasting Genetics”	31
Quadro 2: “Identificação dos materiais analisados”	33
Quadro 3: “Síntese dos resultados obtidos”	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 A Genética no Ensino Médio	14
2.2 O uso da característica sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida (PTC) no Ensino de Genética.....	17
2.3 O conhecimento científico atualizado sobre a sensibilidade gustativa à PTC	20
2.4 A sensibilidade gustativa à PTC e sua relação com as escolhas alimentares.....	24
3 OBJETIVOS	26
3.1 Objetivo geral	26
3.2 Objetivos específicos	27
4 METODOLOGIA	27
4.1 Pesquisa bibliográfica	27
4.2 Análise dos documentos	28
4.3 Elaboração do Recurso Didático – O Estudo de Caso (EC).....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Tratamento dos resultados: apresentação das análises dos documentos em categorias	36
5.1.1 Genotipagem por meio de técnicas de Biologia molecular	36
5.1.2 – Estudo do fenótipo por meio de fitas com PTC	37
5.1.3 – Explica variação gustativa como herança multifatorial	38
5.1.4 – Promove participação ativa do estudante	39
5.1.5 – Atende a competência específica 3 da BNCC para Ciências da Natureza.....	40
5.1.6 Foco da atividade é o Ensino de Genética	40
5.1.7 Apresenta relação da variação na sensibilidade gustativa com outras características humanas.....	40
5.1.8 Apresenta atividades extras com o uso da característica.	41
5.1.9 Considerações sobre os documentos analisados	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
8 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA	50
APÊNDICE A	51
APÊNDICE B	99

1 INTRODUÇÃO

A educação tem como objetivo o desenvolvimento do ser humano, suas potencialidades, habilidades e competências. De acordo com Mantovani, Dias e Liesenberg (2006), o sistema educacional deveria permitir ao cidadão construir e desenvolver habilidades e conhecimentos para promover tanto um crescimento individual como o desenvolvimento social.

Na atualidade, a Ciência e a Tecnologia estão presentes e influenciam no modo como vivemos, pensamos e agimos. As questões relacionadas a elas passaram a incorporar as preocupações de muitos brasileiros e tendem a ser encaradas como ferramentas capazes de solucionar problemas, porém, nem sempre as pessoas aplicam os conhecimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos. Esse aspecto torna clara a importância da Educação Básica, em especial, a área de Ciências da Natureza, em se comprometer com a educação científica da população (Brasil, 2018).

Entretanto, em um levantamento realizado por Oliveira, Silva e Zanetti (2011), foram reveladas algumas dificuldades no ensino, que precisam ser levados em consideração, tais como a fragmentação dos conceitos biológicos e genéticos em livros didáticos e currículos, presença de erros conceituais e falta de atualização dos conteúdos genéticos, dentre outros. Em artigo publicado sobre mitos da genética humana, McDonald (2011), apresenta vários exemplos dessa falta de atualização de conteúdos, o que resulta em conceitos errôneos.

Para Cid e Neto (2005), as dificuldades no ensino de conteúdos científicos estão nos próprios conceitos, o fato de não serem algo palpável, visível e que pode ser percebido pelos sentidos dos alunos, como é o caso dos conceitos DNA, proteína e gene por exemplo, o que dificulta a aprendizagem e pode contribuir para uma aprendizagem fragmentada e com desvios em relação ao conhecimento científico.

De acordo com Hermann e Araújo (2013), o uso de atividades e práticas mais dinâmicas, como jogos e atividades lúdicas, pode facilitar a compreensão da Genética e o entendimento desses conceitos abstratos, pois ajudam a despertar o interesse dos estudantes, facilitando o estabelecimento de relações entre o conhecimento científico e o cotidiano. Além disso, o uso de questões problemas podem promover um maior envolvimento dos estudantes na busca de soluções, consolidando seu conhecimento. Um estudo realizado por Temp e Bartholomei-Santos (2018), verificou que o uso de metodologias diferenciais e contextualização facilitam a aprendizagem de conceitos e promovem a motivação dos estudantes.

Em vista da dificuldade dos estudantes em compreender os vários conceitos abstratos relacionados à Biologia, de modo especial na área de Genética, e também da importância da

atualização do conhecimento científico, o presente trabalho foi desenvolvido com o estudo de uma característica do ser humano, a variação na sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida (PTC), que desperta muito interesse e se aproxima do cotidiano dos estudantes. A partir dessa característica foi criado um Estudo de Caso, para ser usado como recurso didático, no ensino de conceitos básicos de Genética.

A Feniltiocarbamida ($C_7H_8N_2S$), é encontrada naturalmente em muitos alimentos e bebidas que fazem parte da nossa alimentação, tais como brócolis e couve, é uma substância química que pode parecer muito amarga para algumas pessoas ou sem sabor para outras. A capacidade de sentir o amargo da PTC é uma característica hereditária, relacionada às informações genéticas de cada indivíduo e a variação na capacidade de sentir o amargo da PTC é uma característica que envolve fatores genéticos e ambientais (Kim e Drayna, 2004; Mcdonald, 2011).

O estudo dessa característica permite compreender a relação entre genótipo e fenótipo, suas interações com fatores ambientais, como os hábitos culturais por exemplo, possibilitando relacionar escolhas alimentares à genética humana e a aplicação dos conhecimentos adquiridos na construção de hábitos alimentares mais saudáveis. Apesar de ter sido descoberto em 1932, o teste de sensibilidade à PTC ainda continua sendo o mais utilizado para a determinação e classificação da variação na sensibilidade gustativa, sendo relacionado até mesmo à estudos de genética populacional (Schimit et al., 2018).

É importante ressaltar que o uso da PTC em testes de sensibilidade gustativa é uma atividade segura, que não oferece riscos à saúde, uma vez que a concentração da substância nos papéis de teste ou nas soluções de diluição é extremamente baixa, portanto, não há razões para preocupação com toxicidade (Merritt et al., 2008).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Genética no Ensino Médio

Ao definir as competências e as habilidades para o ensino de Ciências da Natureza, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) propõe o aprofundamento nas temáticas Matéria e Energia, Vida e Evolução, Terra e Universo e afirma que:

“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).

Rosa e Almeida (2021) consideram “a relevância de se estender o que se aprende na escola para diferentes contextos da vida cotidiana e vice-versa”. Para que isso seja alcançado as autoras propõem a necessidade de práticas pedagógicas promoverem uma formação integral dos estudantes.

A BNCC confirma que a Educação Básica deve ter como meta a formação e o desenvolvimento pleno do ser humano, a escola deve se configurar como um ambiente de aprendizado e de democracia inclusiva, reforçando práticas que não toleram discriminação, preconceito e que valorizam as diferenças e diversidades. Defende a superação da fragmentação do conhecimento, promovendo a integração das disciplinas, incentivando sua aplicação no mundo real, destacando a relevância da contextualização para conferir significado ao aprendizado, e colocando o estudante como protagonista ativo em sua própria jornada de aprendizagem (Brasil, 2018).

A Biologia, como componente da área de Ciências da Natureza, faz parte do cotidiano e influencia diretamente a sociedade. É dividida em várias áreas e, por sua importância, assume uma posição de destaque como ciência fundamental, cujo entendimento e compreensão de suas diversas áreas se tornam cada vez mais cruciais. Através desse conhecimento, é possível desvendar os intrincados processos biológicos da vida e seus fenômenos e a construção de uma identidade social. Apesar de toda essa relevância, o Ensino de Biologia nas escolas tem seguido uma abordagem conteudista e padronizada, muitas vezes baseada exclusivamente nos livros

didáticos, negligenciando a conexão entre os conceitos biológicos à realidade dos alunos e da escola, resultando em aulas previsíveis e desinteressantes (Leite et al., 2017).

Para Silva, Cabral e Castro (2019), o avanço do conhecimento científico impôs à disciplina de Biologia, especialmente à Genética, um grande desafio pois, para compreensão do papel da Ciência e do ser humano no mundo, o domínio desses conhecimentos é essencial. Segundo esses autores, o panorama atual nas escolas de Ensino Médio revela uma abordagem superficial dos conteúdos ligados à Genética, embora sua importância seja inegável. Para eles, isso se deve, em parte, às dificuldades enfrentadas pelos professores, já que esses temas são relativamente recentes e muitas vezes não foram abordados em suas formações acadêmicas.

Bertocchi et al. (2016) afirmam que a aprendizagem da Genética proporciona uma compreensão mais aprofundada de nós mesmos e do ambiente que nos cerca, permite desvendar relações fundamentais para a existência dos seres vivos, como a hereditariedade e expressão gênica e está sempre em evolução, com novas descobertas e curiosidades, porém ainda enfrenta certa resistência dos estudantes, que a consideram difícil de aprender por ser um conteúdo muito complexo.

Nesse contexto, Hermann e Araújo (2013), sugerem que o Ensino de Genética deve possibilitar que estudantes desenvolvam pensamento crítico, capacidade de opinar e se posicionar diante de temas relacionados à Genética, sendo capazes de associar o conhecimento adquirido a situações do cotidiano. Porém, segundo as autoras, dificuldades são encontradas no ensino de Genética, como suscitar no aluno a capacidade de relacionar conhecimentos científicos a situações reais que ocorrem no cotidiano, estimular seu interesse e promover a compreensão dos conceitos abstratos.

Apesar de ser considerada uma área muito importante da Biologia, a Genética é indicada pelos alunos como o tema mais difícil de aprender, pois além de possuir vários conceitos abstratos, demanda compreensão de fatos históricos e de conceitos de matemática (Carmazini; Freitas; Faria, 2014). Outro problema verificado em pesquisa realizada por Oliveira, Silva e Zanetti (2011), foi a falta de atualização dos conteúdos genéticos, uma vez que essa área de pesquisa sempre apresenta novidades.

Como visto, ensinar genética tem sido uma tarefa desafiadora. A complexidade dos conceitos causa insegurança, configurando o primeiro obstáculo. Além disso, a abordagem frequentemente monótona do tema tende a gerar desinteresse, prejudicando uma aprendizagem significativa. A compreensão dos conceitos genéticos no ensino médio permite um engajamento crítico, já que a genética, como ciência, está intrinsecamente ligada à ética, à sociedade, à saúde

e à organização dos espaços. Esse contexto destaca a importância do papel do professor de Biologia no ensino médio (Lopes, 2023).

Para Temp e Bartholomei-Santos (2018) a compreensão desses conceitos abstratos exige a capacidade de torná-los significativos e de conseguir estabelecer relações entre diferentes conteúdos, aliando-os a situações do cotidiano, para isso, o professor deve usar diferentes metodologias que facilitem a aprendizagem e permitam ao estudante analisar de forma científica questões apresentadas na mídia e no contexto escolar.

Assim, é responsabilidade do professor, por meio de sua prática, utilizar materiais e métodos pedagógicos que tornem as aulas mais dinâmicas e atrativas. É crucial que o ensino esteja conectado à realidade local dos alunos. Além disso, sempre que possível, é benéfico incluir aulas práticas e outros recursos para complementar a parte teórica do ensino (Leite et al., 2017).

Uma alternativa que vem sendo utilizada para contextualizar, tornar o ensino interessante e motivador, é a inclusão de variações nas características humanas no Ensino de Genética. As características hereditárias, por exemplo, estão sendo incluídas nos livros didáticos mais recentes (Baiotto e da Silva Loreto, 2018). Porém, segundo os autores, essa inclusão apresenta informações simplificadas, com erros em conceitos e em relação ao padrão de herança das características humanas, o que afeta o ensino e pode resultar em perda de credibilidade da disciplina.

McDonald (2011), em seu artigo sobre Mitos da Genética Humana, relata situações em que a falta de atualização de conhecimentos gera erros conceituais. Segundo o autor, o ensino de padrões de herança em humanos utiliza características facilmente observáveis, como capacidade de enrolar a língua ou o tipo do lobo da orelha. Porém, ainda é ensinado de forma desatualizada, tendo em conta que a literatura apresenta dados que revelam que a maioria dessas características humanas não se encaixa no modelo de Herança Genética simples e a maneira como essas características são apresentadas em livros didáticos ou manuais está equivocada.

Em levantamento sobre o uso de caracteres humanos para ensinar Herança Genética em livros de Biologia do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) de 2012, realizado por Baiotto e da Silva Loreto (2018), também foi verificado que existe essa preferência por caracteres facilmente identificáveis, uma vez que podem ser observados no próprio estudante e em seus familiares. Entre esses caracteres se destacam o lóbulo da orelha, o albinismo, a fibrose cística, a fenilcetonúria, o daltonismo, a hemofilia e a produção de aglutinogênios A e B e o fator Rh. Podem ainda ser citados a acondroplasia, a sensibilidade à

PTC (feniltiocarbamida), a polidactilia, a habilidade para destro ou canhoto, o gene para Alzheimer precoce, a galactosemia, genes para altura, cor do olho e cor da pele.

Franzolin et al. (2020) ao analisarem livros didáticos brasileiros e portugueses, constataram que as características humanas como cor da pele, cor dos olhos e estatura humana, estão entre as mais mencionadas. Na maioria dos livros analisados pelas autoras, essas características são apresentadas como exemplos de herança poligênica, e mais da metade dos livros, menciona a influência do ambiente na determinação dessas características. As autoras reforçam a importância de sempre esclarecer para os estudantes que as características humanas nem sempre são determinadas apenas por um par de genes e que o efeito do ambiente é relevante na expressão dessas características.

Ainda no contexto do uso de variações nas características humanas para o Ensino de Genética, Freire e Lima (2009), apontam que as características que envolvem o paladar também podem ser utilizadas no ensino a fim de despertar o interesse para as Bases Genéticas, uma vez que a percepção do paladar, para algumas substâncias, está associada a fatores genéticos de cada indivíduo, e que as variações alélicas podem proporcionar diferentes percepções para o sabor. No estudo realizado pelas autoras, foi possível identificar que a prática pedagógica sobre sensibilidade gustativa à PTC promoveu a interação entre os estudantes, despertou o interesse, promoveu o entendimento das bases conceituais e facilitou a percepção da relação com o cotidiano.

2.2 O uso da característica sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida (PTC) no Ensino de Genética

Para Lopes (2023), a compreensão dos conceitos genéticos no ensino médio permite um engajamento crítico, já que a Genética, como ciência, está intrinsecamente ligada à ética, à sociedade e suas manifestações identitárias, à saúde e à organização dos espaços. Assim, ensinar Genética, exige que exista uma conexão entre a teoria e a aplicação prática dos conceitos aprendidos.

Nas escolas, a realização de aulas práticas desempenha um papel crucial na complementação das aulas teóricas, pois os estudantes têm a oportunidade de observar como a teoria se aplica. Práticas como a da sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida abordam diversos conceitos de Genética, permitindo a demonstração do tipo de herança envolvida, a realização de cálculos de probabilidade e a formulação de hipóteses sobre como os fatores de

seleção natural e evolutiva afetam diferentes populações ao longo do tempo (Freire e Lima, 2009).

A característica da sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida (PTC) é uma interessante ferramenta didática frequentemente utilizada em aulas de Genética nas escolas, normalmente para explicar conceitos de Genética Mendeliana, a seguir temos alguns exemplos de como ela é abordada:

Em atividade proposta pela USP (2021), a característica é ensinada realizando-se o teste de sensibilidade à PTC, com o uso de Tira de papel controle e Tira de papel com PTC (são tiras de papel filtro impregnadas com 30 microgramas de PTC em cada tira - seguro para testes de sabor, são comumente usadas em ambientes educacionais para demonstrar os princípios da genética e são adquiridas prontas de laboratórios fabricantes, em frascos contendo 100 tiras). Nessa atividade, os indivíduos testam as tiras de papel, colocando-as na boca e classificando qual o gosto desse papel. O grupo pode então ser classificado em duas categorias, sensíveis e não sensíveis à PTC. Um dos objetivos da atividade proposta pela USP (2021), é conhecer o modo de herança e as bases moleculares de uma característica com herança Mendeliana em humanos: a variação na habilidade de sentir o gosto amargo, prevendo genótipos dos participantes e genótipos e fenótipos dos seus pais.

O teste de fenótipos da sensibilidade gustativa à PTC usando tiras de papel é proposto também em atividade do STEM²D (Science, Technology, Mathematics, Design - sistema de aprendizado científico, que agrupa disciplinas educacionais em ciência, tecnologia, engenharia, matemática e design), é realizado o teste com a tira de papel controle e depois o teste com o papel embebido em PTC, além disso a atividade propõe uma pesquisa de gosto, onde os participantes devem indicar suas preferências alimentares e a partir das indicações associarem a capacidade de sentir o amargo da PTC às escolhas alimentares, é possível ainda investigar a hereditariedade da característica, caso pais, avós e bisavós aceitem fazer o teste. A característica, nesse caso, é tratada como de herança mendeliana, considerando os homocigotos dominantes como provadores fortes, heterocigotos como provadores suaves e homocigotos recessivos como não provadores (National, 2019).

Freire e Lima (2009), também apresentam uma proposta de atividade para teste de fenótipos da sensibilidade à PTC, nesse caso o teste é realizado experimentando soluções de feniltiocarbamida diluída em água, identificando em qual solução um indivíduo consegue perceber o amargo da PTC, permitindo identificar a frequência de sensíveis e insensíveis a esse sabor. A atividade proposta pelas autoras ainda sugere que se estabeleça uma relação entre a sensibilidade ao amargo da PTC e outras características e hábitos, como o tabagismo. Para o

teste de sensibilidade com diferentes soluções de PTC, é preciso realizar diluições em série (prepara-se uma solução de PTC com uma concentração alta, como 1000 ppm (partes por milhão), dissolvendo 1 grama de PTC em 1 litro de água destilada, em seguida são realizadas diluições em série para obter concentrações mais baixas, apropriadas para testes de sabor). A feniltiocarbamida pode ser adquirida em lojas de materiais de biologia ou fornecedoras de produtos químicos para laboratórios, como a Sigma-Aldrich, por exemplo.

Em artigo publicado na Revista Genética na Escola, Antônio, Freitas e Peripato (2023), também propõe um recurso didático para explorar a característica da sensibilidade gustativa à PTC, a proposta é a construção de um modelo 3D para representar a célula gustativa e como ela se conecta às substâncias químicas presentes em alimentos para detectar o sabor amargo, podendo ser realizados os testes de fenótipos da PTC para identificar estudantes sensíveis e insensíveis.

A sensibilidade gustativa à PTC também é utilizada em livros didáticos, Baiotto e da Silva Loreto (2018), ao realizarem levantamento sobre o uso de características humanas para ensinar Genética relatam que a característica foi citada nos livros do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLD) de 2012, sendo tratada como uma característica de herança monogênica, atribuída a um único par de alelos, com interação alélica de dominância completa.

Esse levantamento realizado por Baiotto e da Silva Loreto (2018), verificou que mesmo com o conhecimento atual sobre as características humanas e com todas as possibilidades de atualizações, os livros didáticos ainda apresentam erros conceituais, desvios em relação à descrição e simplificações das heranças o que leva à disseminação de informações errôneas ou inverídicas. A Genética ensinada na escola não deve ser somente uma simplificação do conhecimento produzido pela Ciência, livros didáticos que se desviam da literatura de referência podem ser uma barreira na compreensão do conteúdo (Franzolin et al, 2020; Franzolin et al, 2017).

No caso da característica da sensibilidade gustativa à PTC, é possível perceber nos exemplos apresentados, que ela vem sendo utilizada para ensinar Genética, porém, de forma simplificada, tratada como uma herança mendeliana simples, um único gene com dois alelos e dominância completa, sendo a sensibilidade gustativa de expressão dominante. No entanto, estudos moleculares apresentam outros genes e fatores ambientais que influenciam a sensibilidade gustativa da PTC, resultando em uma gama contínua de fenótipos da sensibilidade e não uma separação dicotômica absoluta de provadores (sensíveis) e não provadores (insensíveis) (Mcdonald, 2011).

2.3 O conhecimento científico atualizado sobre a sensibilidade gustativa à PTC

A descoberta de que há uma variação em relação à percepção ao sabor amargo ocorreu quando Fox estava trabalhando com a feniltiocarbamida (PTC) em seu laboratório e um dos colegas reclamou que o pó que estava sendo espalhado tinha sabor muito amargo. Fox afirmou que a substância não tinha gosto e pediu a outras pessoas que também provassem o PTC. Ele identificou que existem variações individuais na percepção desse sabor, enquanto para algumas pessoas pequenas quantidades de PTC apresentava sabor extremamente amargo, para outras era destituído de qualquer sabor (Fox, 1932).

A partir da descoberta de Fox, vários estudos foram realizados e a variação na sensibilidade gustativa à PTC passou a ser utilizada no ensino. O uso dessa característica é um bom modelo para ensinar Genética pois é uma característica humana fácil de ser observada, que desperta curiosidade e permite ao estudante aprender algo de si mesmo (Merritt et al., 2008). É normalmente ensinada como um padrão de herança simples, um gene, dois alelos e interação de dominância completa, porém, atualmente, essa variação é explicada como uma característica complexa, de herança multifatorial, com distribuição contínua de fenótipos (Smail, 2019; McDonald, 2011; Kim e Drayna, 2004).

A sensibilidade ou não ao amargo da PTC, apresenta fatores genéticos, entre eles o gene de receptores gustativos, TAS2R38, localizado no cromossomo 7, identificado como codificador dos receptores de sabor. Esse gene consiste em 1002 pb. (pares de base), em um único éxon, codificando um domínio transmembrana, ligado à proteína G - as proteínas G são expressas em todas as células do corpo e sua principal função é transduzir sinais da superfície celular em uma resposta celular (Kim et al, 2003; Kim e Drayna, 2004).

Neste gene são identificadas três variações do tipo polimorfismo de um único nucleotídeo (SNPs), que resultam de alterações de aminoácidos na proteína. Na posição 49 da proteína, pode ocorrer a troca da alanina pela prolina (A/P), na posição 262 da valina pela alanina (V/A) e na posição 296 da isoleucina pela valina. Essas substituições de aminoácidos modificam a função bioquímica da proteína, resultando nas diferentes percepções de sabor da feniltiocarbamida (Kim et al, 2003). O Quadro 1 apresenta as variações polimórficas do gene TAS2R38:

Quadro 2: Polimorfismos do gene TAS2R38

PAR DE BASE (gene)	POSIÇÃO DO AMINOÁCIDO (proteína)	TROCA DE BASES	TROCA DE AMINOÁCIDO CODIFICADO	REPRESENTAÇÃO
145	49	C/G	PROLINA/ ALANINA	Ala49Pro
785	262	C/T	ALANINA/ VALINA	Val262Ala
886	296	G/A	VALINA/ ISOLEUCINA	Ile296Val

Fonte: Adaptado de Kim et al, (2003)

As análises populacionais realizadas por Kim et al. (2003) e Risso et al. (2016) demonstraram a existência de haplótipos do gene TAS2R38, eles foram nomeados a partir dos SNP resultantes da alteração dos aminoácidos presentes na proteína gerada. Os haplótipos PAV (prolina, alanina, valina) e AVI (alanina, valina e isoleucina) são os mais frequentes nas populações, e na maioria dos casos, o PAV está associado à percepção do sabor amargo da PTC (sensibilidade) e o AVI associado à insensibilidade ao amargo da PTC. Há ainda, em frequências menores, os haplótipos AAV, AAI, PAI, PVI, AVV e PVV. As variações no gene do TAS2R38 explicam cerca de 70% da variação fenotípica na percepção do sabor amargo (Risso et al. 2016). A Tabela 1, apresenta uma distribuição detalhada dos haplótipos TAS2R38 nas populações estudadas.

Tabela 1 Distribuição dos haplótipos TAS2R38 nas populações estudadas.

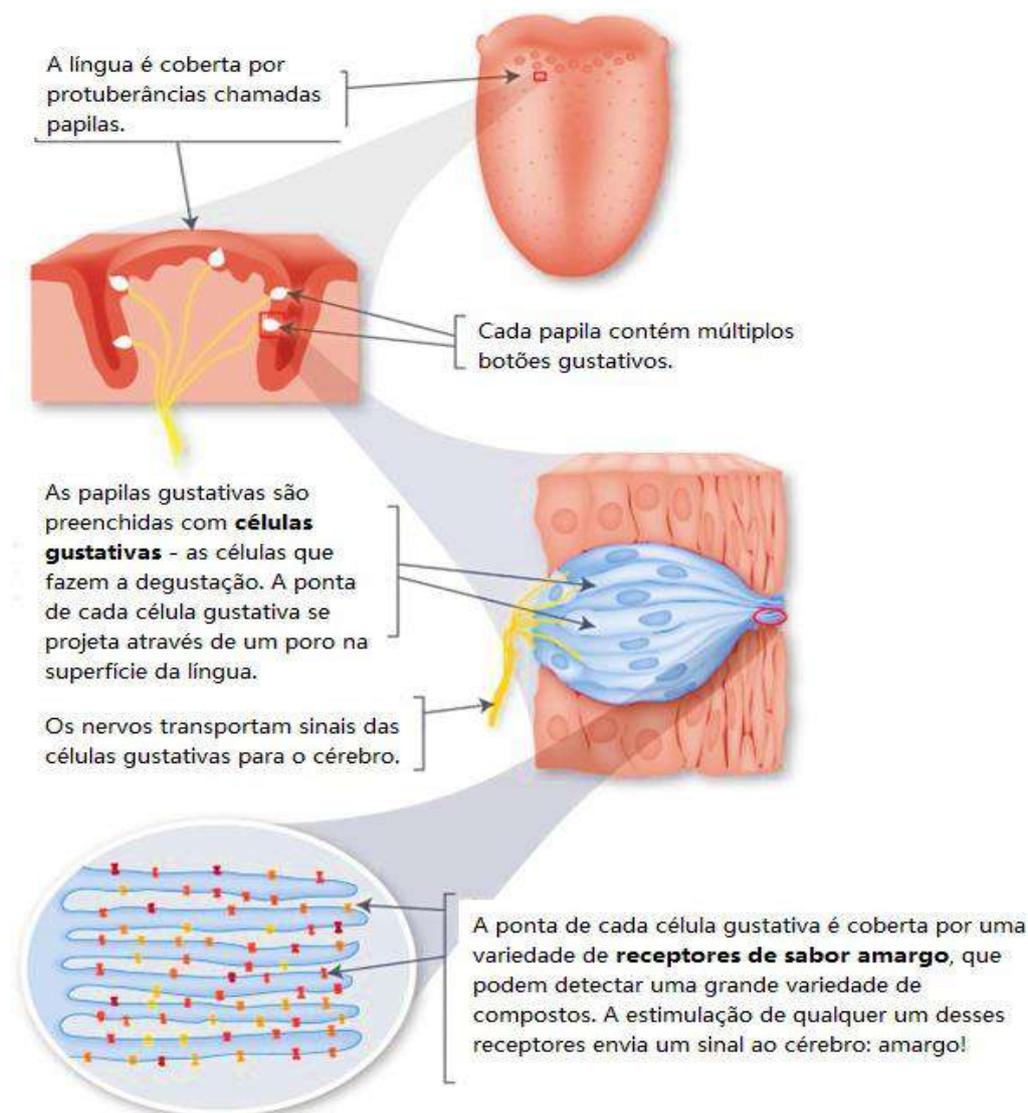
População	PAV	AVI	AAV	AVV	PAI	PVI	AAI	PVV
Mundial	50,76%	42,70%	2,48%	0,32%	0,18%	0,07%	3,39%	0,10%
Africanos	50,76%	35,18%	0,61%	0,08%	0,00%	0,15%	13,22%	0,00%
Asiáticos	64,51%	35,31%	0,00%	0,17%	0,000%	0,00%	0,0%	0,00%
Europeus	45,66%	49,22%	3,56%	0,49%	0,32%	0,03%	0,55%	0,17%
Americanos	68,61%	26,69%	2,26%	0,00%	0,00%	0,19%	2,26%	0,00%

Fonte: Adaptada de Risso et al. (2016)

De acordo com o banco de dados Online Mendelian Inheritance in Man (OMIM), o gene TAS2R38 pertence aos receptores TAS2R (receptores acoplados à proteína G e que são especificamente expressos em células receptoras de sabor), um grupo de genes sem íntrons, que codificam receptores envolvidos na percepção de sabor amargo intimamente relacionados e se expressam na superfície das células gustativas. Esses receptores associados ao sabor amargo na superfície das papilas gustativas monitoram o conteúdo de alimentos, bebidas e outras substâncias à medida que são ingeridos. Quando compostos amargos são encontrados, os receptores TAS2Rs respondem desencadeando duas vias neurais paralelas que, juntas, levam a despolarização da célula receptora, produzindo um sinal transmitido ao sistema nervoso central,

levando à percepção desse sabor (Wooding; Ramirez; Behrens, 2021). A Figura 1 demonstra como ocorre a percepção do amargo, na superfície da língua.

Figura 2: Percepção do sabor amargo



Fonte: Adaptado de Genetics Science Learning Center, 2023.

Cada pessoa percebe o mundo de uma maneira diferente da outra, essas diferenças se estendem aos órgãos de sentido, o paladar humano por exemplo, resulta de uma interação entre substâncias presentes em alimentos, receptores na boca e nariz e o processamento de sinais pelo cérebro. A língua é coberta por papilas gustativas, onde estão as células gustativas que possuem proteínas com formas especializadas para se ligarem a substâncias químicas associadas a diferentes sabores. Essas substâncias ao se ligarem ao seu receptor na superfície de uma célula gustativa desencadeiam uma resposta de transdução de sinal, ativando uma proteína G, levando à liberação de íons cálcio dentro da célula, criando um sinal elétrico que é transmitido através

de nervos cranianos até o cérebro onde é processada a percepção do sabor (The Minione, 2022; Palheta Neto et al., 2011).

Um fator que influencia a percepção do sabor amargo da PTC é a quantidade de papilas gustativas existentes na língua. Entre os diferentes tipos de papilas gustativas, as papilas fungiformes estão em maior número na língua e são usadas para inferir a função gustativa, sendo que o número de papilas fungiformes pode ser usado como um indicador para avaliar a percepção do paladar (Sanyal, 2016). Ao estudar a relação entre a capacidade de saborear o amargo da PTC, contagem de papilas e índice de massa corporal em fumantes e não fumantes da Província Oriental, Arábia Saudita, Khan et al. (2020) verificaram que a capacidade de sentir o amargo da PTC diminui com a redução do número de papilas fungiformes, comprovando que existe relação entre contagem de papilas e percepção de sabor amargo, o mesmo estudo mostrou que fumar não interfere na capacidade de sentir o amargo da PTC, porém afeta o número de papilas fungiformes.

O gene TAS2R38 explica a maior parte da variação na percepção do sabor amargo, mas o fenótipo da sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida de um indivíduo também pode ser influenciado por outros fatores, como a idade e costumes alimentares, por exemplo (Smail, 2019).

Negri et al. (2015), ao realizarem um estudo para explorar a percepção do paladar em relação aos genótipos TAS2R38 em crianças e adultos de uma população ao sul da Itália, verificaram que as crianças conseguiam identificar o sabor fortemente amargo da PTC em frequência muito maior que os adultos, e que a frequência de não provadores era maior entre os adultos. Nessa população, 75% dos indivíduos com o genótipo AVI/AVI eram insensíveis ao amargo da PTC e 83,7% dos indivíduos portadores do haplótipo PAV (homozigotos ou heterozigotos) eram sensíveis ou super sensíveis a esse sabor. As crianças PAV, apresentaram mesma sensibilidade que adultos portadores deste haplotipo, porém crianças com AVI, apresentaram variação em relação aos adultos, enquanto 84,1% dos adultos AVI/AVI eram insensíveis ao amargo, apenas 64,5% das crianças AVI /AVI apresentaram esse fenótipo. A diferença de fenótipos pôde ser percebida em mães e filhos portadores do mesmo haplótipo e diminuiu à medida que os filhos chegavam à adolescência, demonstrando que além do gene, a idade pode interferir na percepção do amargo (Negri et al., 2015).

Nesse estudo, a análise da preferência por vegetais amargos ou não, também revelou diferenças marcantes entre mães e filhos, no entanto, as diferenças diminuíram conforme os filhos se tornavam adolescentes, apresentando preferências alimentares mais compatíveis com as suas mães. Tanto a aceitação quanto o consumo de ambos os tipos de verduras aumentaram

com a idade, independentemente de serem sensíveis ou insensíveis ao sabor amargo. Isso demonstra que os hábitos alimentares são construídos ao longo da vida, e, juntamente com o genótipo, influenciam nas escolhas alimentares, portanto, a relação entre genótipo e escolha alimentar deve ser explorada em relação à idade e ao ambiente familiar, para se desenvolver hábitos mais saudáveis (Negri et al., 2015).

Outro estudo, realizado por Jilani et al. (2022), dessa vez, analisando a percepção gustativa de crianças de 7 a 11 anos de idade de oito países europeus, encontrou a mesma relação, crianças mais velhas apresentaram menor sensibilidade ao amargo que crianças mais jovens, ou seja, à medida que a idade avança a sensibilidade à PTC diminui. Segundo os autores, isso pode ser explicado pelo fato de a percepção do sabor amargo mudar ao longo da vida devido à exposição repetida a alimentos com sabor amargo. Desse modo, a sensibilidade ao sabor amargo pode diminuir como resultado de processos de aprendizagem e adaptação.

Como pode ser percebido, a relação entre o mecanismo de percepção do sabor amargo dos alimentos e os haplótipos do gene TAS2R38 até agora não estão bem compreendidos, porém existem muitos fatores que afetam o sabor amargo, como idade, tabagismo e alimentos (Smail, 2019).

2.4 A sensibilidade gustativa à PTC e sua relação com as escolhas alimentares

O paladar é um sentido químico. A percepção de sabores ocorre por meio de células gustativas presentes na língua, palato, faringe, epiglote e terço superior do esôfago. Essas células são capazes de detectar alguns tipos de moléculas presentes nos alimentos e as sensações surgem pela interação dessas moléculas com os receptores gustativos (Palheta Neto et al., 2011).

O sistema gustativo é capaz de identificar os estímulos básicos dos sabores amargo, salgado, azedo, doce e umami (identificado em alimentos que possuem o aminoácido glutamato). As papilas abrigam uma coleção de células receptoras gustativas que convertem os estímulos químicos em sinais eletroquímicos transmitidos via neurônios sensoriais para o cérebro (Palheta Neto et al., 2011).

Os hábitos e preferências alimentares são influenciadas pela percepção de paladar, desse modo, diferenças genéticas relacionadas à capacidade de identificar os sabores podem afetar o comportamento alimentar e nutricional de uma pessoa. Por exemplo, pessoas mais sensíveis ao sabor amargo tendem a não consumir vegetais amargos, que são ricos em compostos antitumorais e antioxidantes e, conseqüentemente, consomem mais alimentos doces e

gordurosos, aumentando o risco de doenças cardiovasculares, obesidade e câncer (Chamoun et al., 2018).

A percepção do sabor amargo também desempenha papéis vitais no comportamento, pois gostos amargos alertam aos animais sobre substâncias nocivas no ambiente, especialmente toxinas encontradas em plantas, permitindo que eles evitem a exposição a esses compostos (Wooding; Ramirez; Behrens, 2021).

Chamoun et al. (2018), demonstraram que polimorfismos no receptor do sabor amargo TAS2R38 interferem no sabor de vegetais brássica como a couve, couve-flor, brócolis e que, pessoas capazes de provar intensamente o sabor amargo das brássicas, chamados de “supertasters” ou superprovadores, podem evitar o consumo desses vegetais.

Isso ocorre porque esses vegetais possuem compostos químicos conhecidos como glucosinolatos, em sua composição possuem a molécula de tiocianato, também presente na Feniltiocarbamida (PTC) e responsável pelo seu sabor amargo. Por esse motivo, foi sugerido a existência de relação entre a capacidade de sentir o amargo da PTC e as escolhas alimentares, o que pode ter importantes consequências evolutivas (Antônio, Freitas e Peripato, 2023; Riso et al, 2016).

Em revisão realizada por Smail (2019), foi verificado que os receptores para o gosto amargo humano são codificados pela família de genes TAS2R, que contém vinte e cinco genes úteis e onze pseudogenes que estão sujeitos a forças de processos biológicos. O gene mais estudado nesta família é o TAS2R38 e os diferentes polimorfismos desse gene são os responsáveis pela detecção do sabor amargo. A capacidade de perceber sabor amargo em muitos alimentos está relacionada às preferências alimentares em adultos e crianças e é elemento determinante na interação entre os organismos e o ambiente.

Para Chamoun et al. (2018) e Wooding, Ramirez e Behrens (2021), os hábitos alimentares e a ingestão de nutrientes são influenciados pelas diferenças genéticas relacionadas à capacidade de perceber os sabores e a percepção do sabor amargo pode influenciar a saúde por meio de escolhas orientadas pela preferência alimentar como uso de bebidas alcólicas, tabaco e até mesmo as escolhas da dieta.

Dados obtidos por Schimidt et al. (2018) confirmaram que as preferências alimentares estão diretamente relacionadas a fatores genéticos e culturais. Indivíduos sensíveis ao amargo da PTC costumam rejeitar legumes e verduras que apresentam o sabor amargo, o fator cultural também teve influência sobre o hábito alimentar, mostrando que o hábito alimentar individual e suas preferências podem estar diretamente relacionados a fatores genéticos, bem como culturais.

Evidências de que os hábitos alimentares sofrem influência de fatores genéticos e também de fatores culturais como os hábitos alimentares da família foram obtidas por Nor et al. (2021). Essas autoras, ao avaliarem os efeitos da sensibilidade gustativa e da exposição repetida de alimentos de sabor amargo em crianças, usando o vegetal nabo - *Brassica rapa*, verificaram que houve um aumento significativo na ingestão e no gosto por purê de nabo após a exposição repetida ao sabor, o que mostra que gostar de sabores amargos pode ser aprendido caso esse sabor possa ser experimentado repetidamente, mesmo que o indivíduo tenha tendência a não gostar desse sabor.

As variações genéticas influenciam as preferências alimentares de um indivíduo, porém não atuam de forma independente. Devido a melhor compreensão dos mecanismos genéticos, fisiológicos e os fatores ambientais envolvidos nas escolhas alimentares é possível criar intervenções alimentares que se alinhem com as predisposições genéticas, melhorando a saúde e o bem-estar, incluindo alimentos mais saudáveis (Medori et al. 2023).

Como pode ser percebido, as escolhas nutricionais são extremamente importantes para a saúde humana e o conhecimento atual sobre a interação entre a alimentação cotidiana e os fatores genéticos podem auxiliar a compreensão e impacto ao longo da vida. A epigenética revela como o ambiente, incluindo a alimentação e a nutrição influenciam constantemente na expressão do genoma de um indivíduo, assim, adaptar dietas e composições de nutrientes às necessidades individuais seria uma boa forma de garantir saúde e qualidade de vida (Kusmann et al. s.d).

Em vista da necessidade de tornar o Ensino de Genética mais atraente, contextualizado e atualizado, faz-se necessário o desenvolvimento de recursos didáticos que possam explorar a base molecular de diferentes características hereditárias, levando em consideração os efeitos do genótipo e do ambiente na expressão dos fenótipos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Identificar como a característica da “Sensibilidade gustativa à PTC” é trabalhada no Ensino de Genética e elaborar, como produto do TCM, um recurso didático com abordagem investigativa, considerando o conhecimento científico atual e suas relações com a sociedade contemporânea.

3.2 Objetivos específicos

- 1 – Realizar levantamento bibliográfico de materiais de ensino/aprendizagem que utilizam a característica “Sensibilidade gustativa ao PTC”, no Ensino de Genética.
- 2 – Analisar e selecionar os materiais de ensino/aprendizagem provenientes do levantamento, quanto à atualização do conhecimento científico e com os fundamentos da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), para uma sistematização dos dados e organização de um panorama geral.
- 3 – Com base no panorama geral, elaborar um recurso didático com abordagem investigativa (Estudo de Caso) sobre a sensibilidade gustativa à PTC, para estudantes do Ensino Médio.

4 METODOLOGIA

4.1 Pesquisa bibliográfica

Segundo Fontelles et al. (2009), a pesquisa qualitativa é adequada para entendimento de fenômenos específicos, diante de descrições, interpretações e comparações, sem considerar aspectos matemáticos e estatísticas. Pesquisas qualitativas se caracterizam por não usarem a análise matemática priorizando a interpretação subjetiva dos registros por parte do pesquisador (Rosa, 2013).

A pesquisa de caráter documental se baseia no levantamento de documentos. É uma relevante técnica de coleta de dados qualitativos (Fontelles et al., 2009). É semelhante à pesquisa bibliográfica, porém, enquanto na pesquisa bibliográfica as fontes são constituídas sobretudo por material já publicado, na pesquisa documental, as fontes são muito mais diversificadas podendo incluir por exemplo cartas, diários, fotografias, gravações, memorandos, regulamentos e relatórios de pesquisa (Gil, 2002).

No presente estudo, a pesquisa qualitativa de caráter documental, foi realizada analisando documentos publicados em um período de 8 anos, de 2015 a 2022, na busca de documentos (planos de aulas, vídeos, planos de cursos) e/ou artigos que tratam sobre a aplicação da variação da característica “Sensibilidade gustativa à PTC” no ensino de genética.

A pesquisa pelos documentos ocorreu por meio de busca online nas bases de dados eletrônicas PubMed e Google Acadêmico, que possibilitam a localização de artigos, teses, dissertações e outras publicações úteis para pesquisadores. A escolha da busca nessas bases de

dados foi pelo fato que nelas foi encontrado o maior número de documentos que tratavam da característica da variação da sensibilidade gustativa à PTC. Repositórios de práticas pedagógicas ou de educação apresentaram poucos trabalhos e, quando apareciam, não utilizavam o conhecimento científico atualizado sobre a forma de herança da característica. Livros didáticos também foram excluídos pelo mesmo motivo. Os descritores utilizados na busca foram “PTC TASTING GENETICS” e “TEACHING GENETICS PTC TASTING”, em inglês e português, em pesquisas independentes, em cada uma das bases de dados citada.

4.2 Análise dos documentos

A análise do material selecionado foi realizada de acordo com a análise de conteúdo de Bardin, que é composta por três fases: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. Na etapa de pré-análise é realizada a leitura flutuante, onde se estabeleceu contato com os documentos, identificando quais deles atendem aos objetivos da pesquisa (Bardin, 2016). Com essa identificação, foram escolhidos o conjunto de documentos que formam o “corpus” da pesquisa, que são os documentos submetidos à análise. São realizadas reformulações de objetivos e hipóteses e a formulação de indicadores (Bardin, 2016).

Em seguida, procedeu-se à exploração do material, definindo as categorias. A análise categorial envolve o desmembramento e o subsequente agrupamento das unidades de registro do texto. A terceira fase consistiu no tratamento dos resultados, visando interpretar as mensagens para captar os conteúdos presentes em todo o material coletado (Bardin, 2016).

4.3 Elaboração do Recurso Didático – O Estudo de Caso (EC)

A elaboração do recurso didático, ocorreu com base no panorama geral encontrado, que possibilitou o conhecimento do que já existe na literatura e a reflexão sobre novas ideias. A ideia principal do recurso didático envolve atividades investigativas, do tipo Estudo de Caso, que permitirão compreender a base genética da sensibilidade gustativa à PTC e suas relações com alimentação e saúde. Herreid (1994), afirma que Estudos de Caso são um método de ensino flexível, dessa forma, podem ser incorporados outros materiais como vídeos e reportagens da mídia cotidiana, que permitirão o desenvolvimento de diferentes habilidades e competências.

De acordo com Major e Viswanathan (2019), o Método de Estudo de Caso é uma estratégia que envolve o professor fornecendo um ou mais Estudos de Caso que podem ser reais ou simulações, aos quais estudantes devem resolver. O professor pode fornecer informações, tabelas e gráficos, com o objetivo de ajudar os alunos a analisarem o problema e encontrar as possíveis soluções (Herreid, 1994).

Francisco (2022), afirma que os Casos não apresentam um final, isso motiva os estudantes a realizarem investigações em busca de soluções, para propor um final, possibilitando o desenvolvimento de raciocínio crítico. É uma atividade com enfoque investigativo, pois a atividade investigativa sempre envolve um problema que o aluno terá que resolver, permitindo que ele seja sujeito ativo na construção do conhecimento, com base nos conhecimentos que já tem, deixando de ser um sujeito passivo que apenas recebe o conhecimento transmitido pelo professor (Scarpa e Campos, 2018).

Para escrever um bom caso, Francisco (2022), propõem o seguinte passo a passo:

“Inicia-se com a característica “ser relevante” e em seguida, transforme o tema (ou evento) relevante em uma história com um/a personagem central; Para complementar essa história, crie empatia e desperte o interesse a partir de uma história curta; No meio da história “provoque um conflito”, inserindo diálogos entre personagens e/ou citações com informações recentes sobre o assunto; Finalize o caso com um problema a ser resolvido, de modo que os conhecimentos científicos possam ser aprendidos e forcem uma tomada de decisão para serem usados para resolver o problema apresentado”.

Segundo Styer (2009), ao construir um Estudo de Caso, os objetivos e necessidades de aprendizagem devem ser considerados para que os alunos formem hipóteses e apliquem seus conhecimentos para analisar as informações e embasar suas conclusões com base nos dados.

Ainda de acordo com Styer (2009), o uso de características hereditárias nos Estudos de Caso pode ser usado para ensinar Genética nas aulas de Biologia. Estudos de Caso permitem aos alunos desenvolverem o pensamento crítico, importante para a aprendizagem em ciência. Baseando-se nessas características, o Estudo de Caso é adequado ao Ensino de Genética, atendendo ao que é determinado nas competências específicas da BNCC na área de Ciências da Natureza e suas tecnologias que determina que o estudante seja capaz de investigar situações-problema e utilizar os conhecimentos científicos para propor as soluções (Brasil, 2018).

O Estudo de Caso apresentado é do Tipo Estudo de Caso Investigativo (CI) e foi escrito a partir do que é proposto por Francisco (2022), é uma narrativa de problemas vividos por determinados personagens e não apresenta um final. Os estudantes devem analisar a situação,

pensar em soluções e tomar decisão para resolvê-lo a partir das informações fornecidas ou pesquisadas. O final do CI é proposto pelos estudantes.

O Estudo de Caso aprestado é do tipo de CI = Decisão x Progressivo onde é narrada uma história vivida por uma comunidade diante de um problema a ser resolvido. A história inicia com um problema e quem irá tomar a decisão. Em seguida, as informações são apresentadas para entender a situação, com uma narrativa descrevendo os desenvolvimentos recentes. Para ajudar na solução foram inseridos diferentes tipos e formatos de dados e documentos pesquisados, de forma progressiva. Este formato permite que os estudantes pratiquem o método científico, com formulação de perguntas, hipóteses, projeto experimental, análise e interpretação de dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na base de dados PubMed foram realizadas duas buscas, primeiro usando o termo “PTC TASTING GENETICS” e, em seguida, usando o descritor “TEACHING GENETICS PTC TASTING”, na aba filtros/ data de publicação, o intervalo foi personalizado para o período de 2015 a 2022. Essa busca retornou 38 resultados, desses, 09 foram excluídos pelo título, 11 descartados após a leitura do resumo e 01 por não ser possível o acesso ao arquivo completo. Foram excluídos todos os artigos que não faziam referência direta ao estudo da variação com a PTC em humanos e estudos de associação da PTC com doenças, por não ser esse o foco da pesquisa.

As pesquisas no Google Acadêmico foram realizadas usando os mesmos termos de busca: “PTC TASTING GENETICS” e “TEACHING GENETICS PTC TASTING”. Nessa plataforma o volume de dados é muito grande, pois apresenta qualquer artigo/ material que tenha pelo menos uma das palavras usadas na busca. Devido a isso, os resultados foram filtrados ano a ano, começando por 2022 até 2015. Além disso, foram selecionados resultados em qualquer idioma.

A primeira busca no Google Acadêmico ocorreu usando “TEACHING GENETICS PTC TASTING”, quando a busca é realizada, nos resultados aparecem prévias do conteúdo, permitindo verificar se aquele resultado é relevante para a pesquisa, facilitando a busca. Muitos resultados foram excluídos a partir do título e da leitura prévia. A tabela 2, apresenta os resultados dessa busca.

Tabela 2: Resultados da busca pelo descritor “TEACHING GENETICS PTC TASTING” no Google Acadêmico

Ano	Resultados	Descartados pelo título/ prévia	Descartados pelo resumo	Selecionados
2022	45	34	07	4
2021	81	68	11	2
2020	85	81	2	2
2019	135	124	10	1
2018	73	68	3	2
2017	84	82	2	0
2016	65	61	2	2
2015	76	71	4	1

Fonte: Autoria própria

Uma nova busca foi realizada no Google Acadêmico com o termo de busca “PTC TASTING GENETICS”, os filtros e critérios foram os mesmos da busca anterior. A seleção dos documentos foi realizada da mesma forma que ocorreu na pesquisa do PubMed. A tabela 3 traz os resultados da busca realizada.

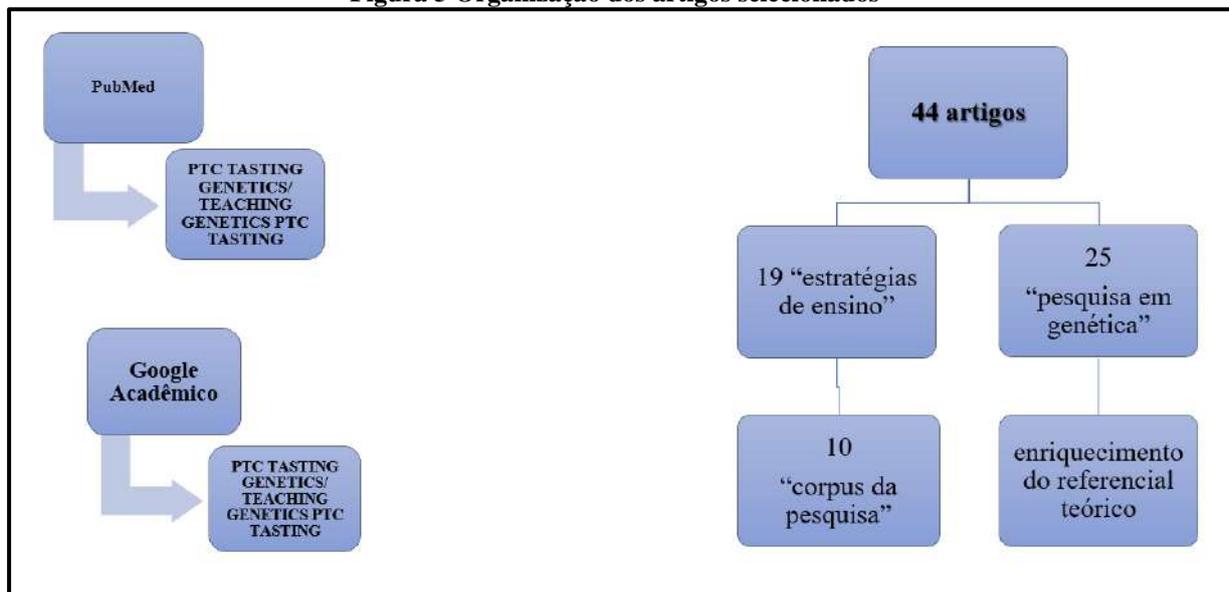
Tabela 3 Resultados da busca pelo descritor “PTC TASTING GENETICS” no Google Acadêmico

Ano	Resultados	Descartados pelo título/ prévia	Descartados pelo resumo	Selecionados
2022	370	355	10	05
2021	467	455	08	04
2020	420	409	09	02
2019	482	468	11	03
2018	402	382	15	05
2017	397	386	7	04
2016	375	359	12	04
2015	377	372	04	01

Fonte: Autoria própria

Finalizando a etapa de buscas, todos os trabalhos selecionados foram reunidos em uma única planilha, com isso foi possível identificar trabalhos que estavam duplicados e assim removê-los, restando para serem analisados um total de 44 artigos (figura 2). Esses documentos foram analisados com mais detalhes (resumos e objetivos) para a divisão em duas categorias: na categoria de “estratégias de ensino” foram selecionados 19 documentos que relatavam a aplicação da variação da sensibilidade à PTC na sala de aula, e, para a categoria “pesquisa em genética” foram selecionados 25 artigos que analisam a variação gustativa à PTC em análises populacionais e análises de associação com outras variáveis biológicas em seres humanos.

Figura 3 Organização dos artigos selecionados



Fonte: Autoria própria

Os trabalhos classificados na categoria **“pesquisa em genética”**, foram submetidos à leitura flutuante e foram identificados vários trabalhos com informações relevantes sobre a característica sensibilidade gustativa à PTC, esses trabalhos foram utilizados para enriquecer o referencial teórico do trabalho e a escrita das discussões.

A partir do material classificado na categoria **“estratégias de ensino”**, foi realizada a pré-análise; a leitura flutuante permitiu conhecer o material para a escolha dos documentos. Para compor o “corpus da pesquisa” foram incluídos 10 documentos que utilizam a aplicação da variação da característica “Sensibilidade gustativa à PTC” no ensino de genética, utilizando o conhecimento científico atualizado, que considera a característica como herança multifatorial e trabalha a base molecular, abordando a existência dos haplotipos do gene TAS2R38. Os outros 09 documentos classificados nessa categoria foram excluídos da análise por não atenderem ao critério de conhecimento científico atualizado. Os 10 documentos incluídos na pesquisa são apresentados no Quadro 2, que contém a chave de identificação dos materiais analisados. Eles estão identificados por números (01, 02, 03...), precedidos da abreviação AE (artigos de ensino).

Quadro 2: “Identificação dos materiais analisados”

Código	Ano de publicação	Referência
AE01	2022	JEYE, Brittany. Build-Your-Own Sensation & Perception Lab Kits. 2022.
AE02	2021	BRENNER, Eric D. et al. Using the Integrated Genome Viewer to reveal amplicon-derived polymorphism enriched at the phenylthiocarbamide locus in the teaching lab. Biochemistry and Molecular Biology Education , v. 49, n. 3, p. 361-371, 2021.
AE03	2020	NEWMAN, Dina L.; CARDINALE, Jean; WRIGHT, L. Kate. Interactive video vignettes (IVVs) to help students learn genetics concepts. CourseSource , v. 7, 2020.
AE04	2020	SHANLE, Erin K.; TRUBITSYN, Denis. A Student-Focused Lab Module To Investigate Single-Nucleotide Polymorphisms of Common Heritable Traits. Journal of Microbiology & Biology Education , v. 21, n. 3, p. 70, 2020.
AE05	2018	BLAIR, Christopher. BIO2450L Genetics Laboratory Manual. 2018.
AE06	2016	BERNDSSEN, Christopher E. et al. Connecting common genetic polymorphisms to protein function: A modular project sequence for lecture or lab. Biochemistry and Molecular Biology Education , v. 44, n. 6, p. 526-536, 2016.
AE07	2016	MURRAY, J. M.; PIVARSKI, K.; HUNTER, T. Two complementary methods for genotyping taste receptor TAS2R38 in humans. Genetics Society of America Peer-Reviewed Education Portal , 2016
AE08	*	Bioted. Protocolo EXPLORANDO LA GENÉTICA DEL GUSTO: Análisis del SNP del gen PTC por PCR Ref.PCRPTC https://www.bioted.es/protocolos/EXPLORANDO-GENETICA-DEL-GUSTO.pdf
AE09	*	The Genetics of Taste A High School Activity for Teaching Genetics and the Scientific Method (High School Level) Developed by: Megan Brown, Ph.D., University of Washington . Provided by: Department of Genome Sciences . Education Outreach . University of Washington . http://gsoutreach.gs.washington.edu . Contents: • Genetics of Taste https://gsoutreach.gs.washington.edu/files/genetics_of_taste.pdf
AE10	*	BURKHART, Nancy W.; CAROL PERKINS, R. D. H. Are You A Supertaster? https://www.dentalcare.com/en-us/archived-course-pdf

Fonte: Autoria própria

*páginas da internet, não apresentam o ano de publicação.

A segunda fase da análise de conteúdo corresponde à exploração do material, que de acordo com Bardin (2016), consiste em codificar, classificar e categorizar os dados. Nessa etapa são feitos recortes que permitem uma representação do conteúdo. Para que sejam realizados os recortes é preciso escolher uma unidade de registro, que pode ser uma palavra ou tema, que corresponde ao segmento de conteúdo a ser considerado como unidade de base, visando à categorização.

O conteúdo dos documentos foi, portanto, analisado de acordo com o problema de pesquisa que é: Como a característica da “Sensibilidade gustativa à PTC” é trabalhada no Ensino de Genética. Essa foi a unidade de registro.

Os elementos recortados foram agrupados conforme elementos em comum (a forma como a característica da “Sensibilidade gustativa à PTC” vem sendo utilizada no Ensino de Genética) e, foram criadas, a posteriori, oito categorias: 1 – Genotipagem por meio de técnicas de Biologia molecular; 2 – Estudo do fenótipo por meio de fitas com PTC; 3- Explica variação gustativa como herança multifatorial; 4 – Promove participação ativa do estudante; 5 – Atende

a competência específica 3 da BNCC para Ciências da Natureza; 6 – Foco da atividade é o Ensino de Genética; 7 – Apresenta relação da variação na sensibilidade gustativa com outras características humanas; 8 – Apresenta atividades extras com o uso da característica.

A regra de contagem usada foi “presença ou ausência”, segundo Bardin (2016), essa regra de contagem verifica se determinado elemento está ou não presente em um texto, portanto em cada categoria foi analisado se os elementos citados estavam presentes ou não.

Na primeira categoria, foi analisado como os genótipos são identificados, se usa ou não genotipagem por meio de técnicas de Biologia molecular.

Na categoria 2, foi analisado como são identificados os fenótipos, se com o uso de fitas de papel impregnadas de PTC ou não. Já na categoria 3, os documentos foram analisados quanto à forma que explicam a herança da variação gustativa, se é tratada como herança multifatorial ou não.

Na categoria 4 foi verificado se a atividade proposta promovia ou não a participação ativa do estudante, e, na categoria 5, se a atividade atendia a competência específica 3 da BNCC para Ciências da Natureza, permitindo ao estudante analisar situações-problema e utilizar o conhecimento científico e tecnológico para solucioná-las e comunicar suas descobertas para diferentes públicos.

A categoria 6 verificou se o foco principal da atividade era para o Ensino de Genética; na 7 se relacionava a variação na sensibilidade gustativa com outras características humanas e na categoria 8 se apresentava alguma atividade extra, além da identificação de genótipos e fenótipos, usando a característica da variação na sensibilidade gustativa à PTC. O Quadro 3 apresenta a síntese dos resultados obtidos após as análises de todos os documentos.

Quadro 3: “Síntese dos resultados obtidos em categorias”

Artigo	1- Genotipagem por meio de técnicas de Biologia molecular	2- Estudo do fenótipo por meio de fitas com PTC	3- Explica variação gustativa como herança multifatorial	4- Promove participação ativa do estudante	5- Atende a competência da BNCC	6- Foco da atividade é o Ensino de Genética	7- Apresenta relação da variação na sensibilidade gustativa com outras características humanas	8- Apresenta atividades extras com o uso da característica
AE01		X				X		
AE02	X	X	X	X	X	X	X	X
AE03		X		X	X	X		X
AE04	X		X	X	X	X		X
AE05	X	X	X	X	X			
AE06	X	X	X	X	X	X	X	X
AE07	X	X	X	X	X		X	X
AE08	X	X		X				
AE09		X	X	X	X	X	X	X
AE10			X				X	X

Fonte: Autoria própria

5.1 Tratamento dos resultados: apresentação das análises dos documentos em categorias

Na sequência, são apresentados os resultados encontrados em cada documento por categoria analisada:

5.1.1 Genotipagem por meio de técnicas de Biologia molecular

Durante as análises dos documentos foi verificado que a maioria deles (07 em 10), propõe atividades de ensino usando técnicas de Biologia molecular que permitem identificar a variação genética a nível molecular. Apenas os documentos AE01, AE09 e AE10, não fazem menção à variação genética e também não apresentam técnicas para identificação de genótipos.

Já o documento AE03, apesar de não propor uma técnica para sequenciar o gene TAS2R38, apresenta as sequências de DNA e proteínas das versões que ele chama de T e t do gene, e após a análise dessas sequências, o estudante deve comparar e responder sobre as consequências dessa alteração, verificando quantos nucleotídeos e quantos aminoácidos serão diferentes. É uma atividade relevante porque faz uma reflexão de como os polimorfismos do gene podem resultar na produção de proteínas com diferentes sequências de aminoácidos, podendo alterar a estrutura final, a expressão, bem como a função/atividade da proteína, cuja consequência pode ser a existência de variação na sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida. É uma proposta viável principalmente quando não é possível a realização de análises moleculares.

Os demais documentos (AE02, AE04, AE05, AE06, AE07 E AE08) utilizaram técnicas de Biologia molecular para identificação de genótipos. A Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), digestão com enzimas de restrição e eletroforese foram utilizadas em todos eles, usando amostras de DNA de células bucais, coletadas dos próprios estudantes. Além das células bucais, AE06 também propõe extração de DNA a partir do cabelo.

Em AE02, foram usadas duas técnicas, realizaram PCR de alta fidelidade para preparar amplicons individuais (segmentos de DNA obtidos após a amplificação). Os alunos isolaram o próprio DNA e realizaram PCR com primers que amplificaram um fragmento de 303 pb (pares de base) do gene e usaram enzimas de restrição para revelar o polimorfismo do nucleotídeo 785, responsável pela sensibilidade ao PTC.

AE04 apresenta um módulo de 04 laboratórios, que envolvem uso de bancos de dados públicos para conhecimento de exemplos de características humanas associadas a SNP's (polimorfismos de nucleotídeo único), design de primers e registro de fenótipos para as

características aprendidas, prevendo genótipos. São realizadas análises de SNP's de algumas características humanas, dentre elas a sensibilidade à PTC (SNP rs713598). São analisadas as sequências de todas as amostras do grupo, permitindo investigar genótipos homocigotos e heterocigotos.

O documento AE06 inicia as atividades com palestras de revisão dos conceitos de DNA, estrutura, função, variações nos genomas e amplificação de DNA. Em seguida os alunos extraem seus próprios DNA, para análise de um fragmento de restrição para PCR. Realizam comparação com outros primatas o que permite a construção de hipóteses sobre a evolução da sensibilidade gustativa à PTC e a evolução da percepção do sabor amargo em diferentes grupos de animais.

Conforme foi observado, em todos os documentos analisados que propõe a identificação de genótipos, é utilizada a técnica de PCR. Em todos os trabalhos foi analisado apenas um dos três SNP do gene TAS2R38, isso foi justificado nos trabalhos AE02 e AE07, pois as técnicas realizadas são de alto custo.

5.1.2 – Estudo do fenótipo por meio de fitas com PTC

Entre os documentos analisados o AE04, apesar de propor o preenchimento de uma tabela onde o estudante deve identificar seu fenótipo respondendo sim ou não para a degustação de PTC e em seguida prever seu genótipo, não cita de que maneira o fenótipo será identificado e não propõe nenhuma técnica para fazê-lo. Já em AE10, não utiliza os testes diretamente com PTC, portanto não faz uso das fitas para identificar os fenótipos.

Em AE03, em um dos vídeos explicativos, os personagens realizam testes usando as fitas com PTC para investigar os fenótipos, as pessoas são convidadas a experimentarem um papel controle, sem nenhuma substância e, em seguida, provam o papel impregnado com PTC, assim é possível registrar a frequência de provadores e não provadores presentes em uma feira de ciências realizada na escola.

Nos demais documentos (AE01, AE02, AE05, AE06, AE07, AE08 e AE09) o estudo dos fenótipos é realizado através dos testes com o papel de PTC. Em AE01, AE05, AE08 e AE09, é realizado o teste negativo, com a fita controle e só após esse primeiro teste é usada a fita com PTC. AE02, AE06, AE07, utilizam apenas a fita com PTC. Ao contrário dos demais documentos que realizam apenas uma análise dicotômica, provador ou não provador, AE05, propõe uma classificação de degustador forte, degustador fraco e não provador. Essa

classificação é importante pois faz referência à existência de um espectro de fenótipos quanto à sensibilidade gustativa à PTC.

5.1.3 – Explica variação gustativa como herança multifatorial

Os documentos AE02, AE04, AE05, AE06, AE07, AE09 e AE10 estabelecem relação entre o genótipo e outros fatores para expressão de fenótipos para a variação na sensibilidade gustativa à PTC, tratando a característica como multifatorial.

AE02 sugere que a capacidade de degustação de PTC é um espectro de sensibilidade, influenciado pelos polimorfismos do gene e implica em várias escolhas que influenciam a saúde, uma vez que pessoas com sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida podem ter aversão ao sabor amargo de vegetais como brócolis e couve e são mais sensíveis ao sabor amargo do tabaco, evitando o consumo. Provadores de PTC também são mais sensíveis ao amargo do café e adoçantes de sacarina. Crianças sensíveis ao sabor amargo tem maior propensão ao consumo de açúcar, o que impacta diretamente na saúde.

Em AE04 relata que apesar de a herança mendeliana ser usada para ensinar a relação genótipo e fenótipo, uma visão determinista não é precisa na maioria dos casos, contribuindo para que ocorram equívocos. A partir da realização da atividade os alunos descobriram que os genótipos de SNP nem sempre correspondem aos fenótipos esperados pois outros fatores também estão envolvidos, como ambiente, interação com outros fatores genéticos e variação nos fenótipos autorrelatados.

AE05 apresenta a sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida como uma característica provavelmente de herança poligênica, e que, mesmo considerando ao nível de um único gene, o TAS2R38 não há um consenso se a dominância é completa ou incompleta. Considera a herança como multifatorial, pois além do componente genético inclui a existência do fator ambiental.

AE06 e AE07 reforça que a variação em um único nucleotídeo pode levar à alteração na estrutura da proteína, afetando sua função e também considera a herança como multifatorial, associando a sensibilidade gustativa à PTC com as escolhas alimentares. AE07 considera que até mesmo variações de humor podem influenciar nessas escolhas, o que torna difícil a identificação de um fenótipo preciso.

AE10, além de estabelecer relação entre a informação genética e preferências alimentares para expressão do fenótipo, associa também o número e tamanho das papilas gustativas com a capacidade de percepção do paladar.

AE09 apesar de não trabalhar a base genética da característica associa a percepção do sabor amargo com densidade de papilas gustativas e a preferências alimentares.

Já AE01, AE03 e AE08 não tratam a característica como multifatorial. AE01 não faz nenhuma referência ao tipo de herança. AE03 e AE08 consideram como herança mendeliana simples, e, apesar de mostrar a existência de SNP do gene, estabelece a relação genótipo versus fenótipo, associando um alelo dominante à condição de provador, o alelo recessivo não provador e não estabelecem relação com nenhum outro fator na expressão do fenótipo.

5.1.4 – Promove participação ativa do estudante

Em AE01 e AE10, as atividades propostas não promovem a participação ativa do estudante. AE01 é uma atividade expositiva onde os estudantes apenas respondem aos questionamentos do professor. AE10 também apresenta conteúdo teórico, explicando a realização das práticas, porém não sugere um momento para que as atividades sejam realizadas.

Nos demais documentos, os estudantes participam de todas as etapas. Em AE02, AE04, AE05, AE06, AE07, AE08, os estudantes extraem os próprios DNA e realizam as análises de Biologia molecular.

Em AE03, utiliza o princípio de aprendizagem ativa, a cada vinheta tem uma questão a ser resolvida, em seguida o estudante assiste ao vídeo explicativo correspondente e responde a questões conceituais, recebe feedback e pode comparar as respostas. O conhecimento é construído a cada etapa para avançar à etapa seguinte e é possível revisar e corrigir erros.

AE05 possui questões de revisão que estimulam o raciocínio, contribuindo para construção do conhecimento. AE07 começa com uma etapa de geração de hipóteses e a partir delas os estudantes podem prever seus genótipos e fenótipos, que serão confirmados ou não a partir da realização da atividade. AE09 os testes de fenótipo são realizados pelos próprios estudantes, seguindo orientações, também propõe questões de raciocínio crítico, questões problema e desafios como a construção de gráficos e escalas a partir dos dados obtidos na turma.

Ao final da atividade, cada grupo deve escolher e investigar uma situação problema entre as propostas apresentadas e planejar um experimento para responder à sua pergunta de pesquisa.

AE06 propõe um momento em que grupos de alunos se reúnam fora da sala para preparar uma proposta de experimento genótipo/ fenótipo, realizam comparações filogenéticas para compreender a evolução e realizam atividades de modelagem de proteínas, essas etapas não recebem orientações explícitas, estudantes ficam livres para escolher entre a variedade de

programas e bancos de dados disponíveis, dessa forma a aprendizagem ocorre de forma dinâmica.

5.1.5 – Atende a competência específica 3 da BNCC para Ciências da Natureza

Os documentos AE02, AE03, AE04, AE05, AE06, AE07 e AE09 estão em conformidade com a competência 3 da BNCC para Ciências da Natureza, as atividades promovem a investigação de situações problema e estimulam a curiosidade, relacionam conhecimentos prévios e conceitos científicos para proposição de hipóteses e solução dos problemas. Promovem também o desenvolvimento da linguagem científica e a capacidade de comunicação do conhecimento adquirido. As atividades apresentadas nesses documentos por estarem de acordo com a BNCC são relevantes para a elaboração do recurso didático para Ensino de Genética

AE01, AE08 e AE10 não atendem aos requisitos da competência 3 da BNCC, uma vez que são atividades que não envolvem a solução de problemas ou investigação científica, nem a comunicação dos resultados, apenas indicam como a atividade deve ser realizada, sem exigir mobilização de conhecimentos prévios.

5.1.6 Foco da atividade é o Ensino de Genética

As atividades apresentadas nos documentos AE01, AE02, AE03, AE04, AE06, AE09 têm como foco o Ensino de Genética. AE01 e AE09 trabalham principalmente a identificação de fenótipos. Em AE03 o objetivo é aprender vários conceitos de genética, descrever a relação entre genes, alelos, proteínas e características, conceituar a relação genótipo fenótipo e conceituar corretamente os termos dominante e recessivo. Já em AE02, AE04 e AE06, além de trabalhar os conceitos básicos da genética, associam esses conceitos a técnicas de Biologia molecular, demonstrando na prática a relação entre genótipo e fenótipo.

AE05, AE07 e AE08 têm como foco as técnicas de Biologia molecular e usam o gene TAS2R38 para realização das técnicas, enquanto AE10 é focado na especialização de profissionais de saúde bucal, preparando-os para classificação dos tipos de provadores, com base na percepção ou não do sabor amargo.

5.1.7 Apresenta relação da variação na sensibilidade gustativa com outras características humanas

AE01, AE03, AE04, AE05 e AE08 não realizam nenhuma associação da característica à outras características humanas, sendo trabalhada de forma isolada.

A variação na sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida está associada às escolhas alimentares nos documentos AE02, AE06, AE07, AE09 e AE10. Esses documentos consideram que pessoas que conseguem perceber o sabor amargo da PTC normalmente têm uma recusa por alimentos de sabor amargo e também têm maior aversão ao tabaco.

AE09 e AE10 também associam a característica com a quantidade de papilas gustativas. Quanto maior a densidade de papilas, maior será a capacidade de degustação.

O uso de outras características humanas torna o estudo mais interessante e contextualizado, visto que demonstra a existência de relação entre a sensibilidade gustativa com escolhas de estilo de vida, como uso de tabaco e hábitos alimentares, que tem impacto direto na saúde.

5.1.8 Apresenta atividades extras com o uso da característica.

Alguns dos documentos analisados apresentam, além das atividades analisadas nas categorias anteriores, novas abordagens para uso da característica sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida como estratégia de ensino, essas abordagens são relevantes e serão apresentadas a seguir.

Análises de bioinformática com pesquisa em Banco de Dados, que permitem obter informações sobre o gene, seus polimorfismos e realizar comparação entre diferentes sequências são atividades sugeridas nos documentos AE02, AE04, AE06 e AE07. Os resultados obtidos a partir das análises moleculares em AE07, por exemplo, são comparadas com um banco de dados de referência usando o BLAST que identifica similaridade entre sequências e realiza análises estatísticas.

Outra novidade que aparece em AE06 é a modelagem da proteína a partir do polimorfismo do gene, usando softwares gratuitos. O uso do computador permite conectar o genótipo, identificado na análise molecular, ao fenótipo, permitindo que os estudantes compreendam como uma pequena variação na sequência do gene, como a substituição de um nucleotídeo por outro pode resultar em uma mudança estrutural da proteína, afetando sua função, sendo notada nas diferentes formas de percepção do sabor amargo encontradas na população. A técnica seria útil também para compreensão de outras características, facilitando a aprendizagem, pois permite a conexão entre um conceito abstrato de gene com algo visível,

essa conexão é uma das maiores dificuldades no Ensino de Genética, relatada em vários artigos pesquisados durante a realização dessa revisão.

Os documentos AE02, AE07 e AE09 sugerem a realização análise de Hardy-Weinberg para verificar a frequência dos alelos na população de estudantes que estão desenvolvendo a atividade sem estabelecer comparações com outras populações, apesar se usar os dados coletados nas turmas que realizam a atividade, tornando-a contextualizada, essa análise considera apenas a existência de dois alelos, um dominante e outro recessivo, o que não corresponde à realidade da característica.

AE03 utiliza como metodologia de ensino as vinhetas de vídeo interativas, que são uma alternativa para realização da atividade em situações onde não existam laboratórios de análise genética e onde não seja possível realizar a identificação de fenótipos pelas fitas ou soluções de PTC.

AE07 e AE09 complementam a identificação de fenótipo pelas fitas com a realização da pesquisa de preferências alimentares, estabelecendo uma relação entre a característica sensibilidade gustativa e outras características humanas. AE09 ainda sugere a construção de gráficos de degustação à medida que os testes vão sendo realizados, assim já é possível visualizar a quantidade de provadores e não provadores entre as pessoas testadas. Um outro gráfico sugerido é a realização de uma escala hedônica, para revelar o grau de sensação do provador em relação à PTC, com números variando de a 1 a 9, onde 1 significa nada amargo e 9 extremamente amargo, esse gráfico torna a atividade mais interessante pois demonstra a variabilidade na sensibilidade gustativa à PTC.

AE09 e AE10 usam a medida da densidade de papilas para identificação de fenótipos, a quantidade de papilas varia de pessoa para pessoa e pessoas com maior densidade dessas papilas podem ser mais sensíveis a certos sabores, sendo essa uma forma complementar para identificação da sensibilidade à feniltiocarbamida. Além de ser uma atividade de fácil realização, é interessante pois usa uma característica humana facilmente observável.

5.1.9 Considerações sobre os documentos analisados

As abordagens encontradas nos documentos ajudam na melhor compreensão da característica em estudo e foram usadas na construção do Estudo de Caso, produto desse TCM (Apêndice A).

É possível perceber a partir das análises nas categorias que existem diferentes formas de se utilizar a característica da “Variação na Sensibilidade Gustativa à PTC” no Ensino de

Genética, porém também é possível perceber que a maioria das atividades foi preparada para serem aplicadas em cursos universitários. Apenas a atividade proposta no AE09 foi elaborada para ser utilizada no Ensino Médio, demonstrando a necessidade de novas propostas de ensino com o uso dessa característica, pois, apesar de algumas delas poderem ser adaptadas, não foram criadas com esse objetivo.

Por serem voltadas ao Ensino Superior, algumas das atividades propostas se tornam inviáveis de serem reproduzidas na realidade brasileira, até mesmo em Universidades. O estudo dos genótipos, por exemplo, é proposto por meio de análises moleculares. Apesar de serem técnicas extremamente interessantes, pois utilizam o material genético dos próprios estudantes, tornando o ensino contextualizado e atrativo, despertando o interesse, são de difícil execução devido ao alto custo e requererem laboratórios com equipamentos especializados, com infraestrutura específica e cara.

As análises de fenótipos também são importantes para a contextualização e compreensão da relação genótipo x fenótipo, porém, ao se fazer a identificação com as fitas de PTC não é possível perceber a variação de sensibilidade, obtendo apenas um resultado de sim ou não, o que não corresponde à variedade de fenótipos que existem na população.

Apesar de não ter sido relatado em nenhum dos documentos analisados, a identificação dos fenótipos pode ser realizada com o uso de soluções com diferentes concentrações de PTC, que apresenta um resultado mais completo, uma vez que cada pessoa tem um limiar de sensibilidade à PTC, que não pode ser identificado no teste que usa somente as fitas. Kim e Drayna (2004), afirmam que, apesar de ser muito utilizado o teste com o papel impregnado de PTC, quando são utilizadas medições com uma série de diluição PTC é possível verificar o nível de sensibilidade ao amargo da PTC de um indivíduo e que estudos mostram que entre os indivíduos mais sensíveis e os menos sensíveis, a capacidade de discriminar PTC em solução variava conforme a concentração de PTC.

O ensino utilizando a característica da “Variação na Sensibilidade Gustativa à PTC” também deve ser feito considerando o conhecimento atualizado e estabelecendo relação com outras características humanas, como ocorre na realidade, e não como uma característica isolada.

Nota-se a carência de materiais didáticos brasileiros, que utilizam a característica no ensino, de forma atualizada, visto que todos os documentos analisados são publicações internacionais. Durante a etapa de levantamento bibliográfico, para o período pesquisado (2015 a 2022), foram encontradas atividades realizadas em escolas brasileiras, que utilizavam a

variação na sensibilidade gustativa à PTC no Ensino de Genética, porém foram descartadas por não utilizarem o conhecimento científico atualizado.

Esses resultados confirmam o que já foi proposto por Baiotto e da Silva Loreto (2018); McDonald (2011), Oliveira, Silva e Zanetti (2011), Franzolin et al. (2020) e Franzolin et al. (2017) e apresentado nesse referencial teórico. Há a necessidade de atualização do conhecimento nos materiais de ensino, sem que sejam feitas fragmentações ou simplificações exageradas dos conhecimentos científicos, é importante mostrar ao estudante que o fator genético é importante, mas também que há outros fatores envolvidos na expressão das características e que nem todas as características humanas se enquadram no modelo de herança mendeliana simples.

Em relação à característica da variação na sensibilidade gustativa à PTC, é preciso que seja utilizada no ensino, considerando a existência dos SNP's, a variação gradativa nos fenótipos, os efeitos dos hábitos alimentares na sua expressão e sua influência nas escolhas alimentares, além da relação com outras características e escolhas que podem impactar na saúde.

É preciso propor atividades que explorem todo o potencial que a característica apresenta e que permitam ao estudante construir seu conhecimento de forma ativa e prazerosa. Verifica-se a necessidade da construção de propostas de ensino que apresentem alternativas possíveis de serem executadas, porém, que não percam a ideia central de mostrar a sequência da molécula de DNA, com a ocorrência dos polimorfismos e seus efeitos na estrutura proteica e no fenótipo do indivíduo. É essencial que atividade proposta consiga mostrar a relação entre variação de DNA com a proteína associada e com fenótipo observado.

O panorama obtido nas análises dos documentos resultou em um artigo de revisão “A SENSIBILIDADE GUSTATIVA À FENILTIOCARBAMIDA (PTC) NO ENSINO DE GENÉTICA” (Apêndice B), publicado nos Anais do IX Encontro Nacional de Ensino de Biologia / VII Encontro Regional de Ensino de Biologia MG/GO/TO/DF 2024.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos é possível perceber o quanto é fundamental a atualização de professores e de materiais didáticos para o Ensino no geral e em particular para o Ensino de Genética. É importante que, o que se ensina, esteja contextualizado com a realidade do

estudante, para motivá-lo e tornar a aprendizagem mais prazerosa e significativa, de forma que os conhecimentos adquiridos possam ser utilizados além da sala de aula.

O uso das características hereditárias humanas no ensino é uma excelente alternativa para atrair a atenção dos estudantes, pois desperta neles muita curiosidade sobre a forma como essas características são herdadas e como se manifestam. Essa contextualização aumenta a interação com o conteúdo, permitindo que o estudante assuma o papel de protagonista de sua aprendizagem.

A característica da “variação na sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida” aparece como uma ótima alternativa para ser incluída nos materiais de ensino, uma vez que pode ser facilmente identificada com os testes de fenótipo e não oferece nenhum risco à saúde dos estudantes. Além disso, apresenta alto potencial para ser explorada, podendo ser usada para compreender dos conceitos básicos da Genética, incluindo até conceitos mais complexos.

O Estudo de Caso apresentado neste Trabalho de Conclusão de Mestrado, aborda a característica da “variação na sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida” de forma investigativa e inovadora, apresentando os aspectos genéticos da característica, à medida que os estudantes vão resolvendo o dilema apresentado no Estudo de Caso.

Dessa forma, é possível utilizar conhecimentos prévios para formular hipóteses e depois investigá-las, o que permite a construção do conhecimento e compreensão dos conceitos básicos de Genética. A proposta apresentada utiliza o conhecimento científico atualizado, com linguagem acessível e é contextualizado com a realidade, uma vez que a história se passa em uma escola, que precisa decidir sobre a manutenção ou não de um cardápio com opções de alimentos saudáveis. Permite que o conhecimento adquirido a partir dele, seja posteriormente aplicado no cotidiano dos estudantes, utilizando os aspectos da percepção gustativa na nutrição, escolhas alimentares e saúde.

Um ponto importante, que está contemplado no Estudo de Caso, é a inclusão dos fatores ambientais que influenciam a variação fenotípica da característica em estudo. Atualmente, sabe-se que mecanismos epigenéticos estão envolvidos na relação entre a alimentação saudável e o desenvolvimento normal dos indivíduos. Gericke e Mc Ewen (2023) recomendam a integração dos saberes da área da epigenética no currículo de Ensino de Biologia, o que levaria aos estudantes maior compreensão e responsabilidade pelas suas escolhas alimentares no sentido de reduzir os riscos para o desenvolvimento de doenças. Os autores apontam que os temas da Epigenética devem ser ensinados como parte do Letramento de Genética por meio de Estudos de Caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTÔNIO, Bárbara Cunha Padilha; FREITAS, Denise de; PERIPATO, Andréa Cristina. Os brócolis são amargos? Um modelo didático para abordar sensibilidade ao PTC. **Genética na Escola**, v. 18, n. 2, p. 122-132, 2023.
- BAIOTTO, Cléia Rosani; DA SILVA LORETO, Élgion Lucio. Caracteres Humanos Herdados utilizados no Ensino de Genética em Livros Didáticos. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 4, 2018.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016, 229 p.
- BERTOCCHI, N. A. et al. Jogo da velha mendeliano: uma atividade lúdica para o ensino de Genética. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n.3, 2016.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.
- CARMAZINI, Valéria Cristina Barbosa; FREITAS, Janaína Laira.; FARIA, Rafael César Bolleli. Levantamento e análise dos objetos de aprendizagem de conteúdos de biologia no RIVED. **Congresso Ibero-americano de Ciência, Tecnologia, Inovação e Educação**. Buenos Aires, novembro de 2014.
- CHAMOUN, Elie et al. A review of the associations between single nucleotide polymorphisms in taste receptors, eating behaviors, and health. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 58, n. 2, pág. 194-207, 2018.
- CID, Marília; NETO, António J. Dificuldades de aprendizagem e conhecimento pedagógico do conteúdo: o caso da genética. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1-5, 2005.
- FONTELLES, Mauro José et al. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista paraense de medicina**, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.
- FOX, Arthur L. The relationship between chemical constitution and taste. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 18, p. 115-120, 1932.
- FRANCISCO, Welington. Uma Releitura das Características para um “Bom” Caso: Tecendo Aproximações com as Crônicas Narrativas. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 8, n. 1, p. 183-201, 2022.
- FRANZOLIN, Fernanda et al. Human genetics and didactic transposition: the expression of skin color, eye color, and height in Brazilian and Portuguese textbooks. **Conexão Ci**, v. 12, n. esp. 2, p. 185-192, 2017.
- FRANZOLIN, Fernanda et al. Complexidade genética e a expressão da cor da pele, cor dos olhos e estatura humana: transposição didática. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.25, n.1, p. 239 – 261, 2020.

FREIRE, Ingrid Souza; LIMA, Fernanda Costa Vinhaes. O teste de sensibilidade à feniltiocarbamida (PTC) usado como prática lúdica no ensino de genética. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 7, n. 1, p. 45-56, 2009.

Genetics Science Learning Center. "PTC The Genetics of Bitter Taste." **Learn Genetics, University of Utah**, <https://learn.genetics.utah.edu/content/basics/ptc/>. Acesso em 21 Jul. 2023.

GERICKE, Niklas; MC EWEN, Birgitta. Defining epigenetic literacy: How to integrate epigenetics into the biology curriculum. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 60, n. 10, p. 2216-2254, 2023.

GIL, Antônio Carlos et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

HERMANN, Fabiana Barrichello; ARAÚJO, Maria Cristina Pansera de. Os Jogos Didáticos no Ensino de Genética como estratégias compartilhadas nos artigos da Revista Genética na Escola. **Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia (EREBIO-SUL)**, Rio Grande do Sul, v. 6, 2013.

HERREID, Clyde Freeman. Case studies in Science - A novel method of science education. **Journal of college science teaching**, v. 23, p. 221-221, 1994.

JILANI, Hannah et al. Correlates of bitter, sweet, salty and umami taste sensitivity in European children: Role of sex, age and weight status-The IDEFICS study. **Appetite**, v. 175, p. 106088, 2022.

KHAN, Asim Mustafa et al. Correlation of PTC taste status with fungiform papillae count and body mass index in smokers and non-smokers of Eastern Province, Saudi Arabia. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 16, p. 5792, 2020.

KIM, Un-kyung; DRAYNA, Dennis. Genetics of individual differences in bitter taste perception: lessons from the PTC gene. **Clinical genetics**, v. 67, n. 4, p. 275-280, 2004.

KIM, Un-kyung et al. Positional cloning of the human quantitative trait locus underlying taste sensitivity to phenylthiocarbamide. **Science**, v. 299, n. 5610, p. 1221-1225, 2003.

KUSSMANN, Martin et al. **Nestlé Research: Harnessing the Power of Epigenetics for Targeted Nutrition**. Vevey, Suíça: Nestlé, [s.d.]. Disponível em: https://www.nestle.com/sites/default/files/asset-library/documents/library/documents/fact_sheets/nestle-white-paper-nutri-genomics.pdf. Acesso em: 12 mai. 2024.

LEITE, Paula Rayanny Mendonça et al. O ensino da biologia como uma ferramenta social, crítica e educacional. **RECH- Revista Ensino de Ciências e Humanidades**, v. 1, n. 1, p. 400-413, 2017.

LOPES, Sâmia Marília Câmara. Ensino de Genética no Ensino Médio: desafios e novas perspectivas para qualidade da aprendizagem. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e7912139422, 2023.

MAJOR, Amanda, Viswanathan, Revathi. Create a case method group activity to engage students in critical thinking. In A. de Noyelles, A. Albrecht, S. Bauer, & S. Wyatt (Eds.), *Teaching Online Pedagogical Repository*. 2019. University of Central Florida Center for Distributed Learning. Disponível em: <https://topr.online.ucf.edu/create-case-method-group-activity-engage-students-critical-thinking/>. Acessado em 06/01/2023.

MANTOVANI, Osmar; DIAS, Maria Helena Pereira; LIESENBERG, Hans. Conteúdos abertos e compartilhados: novas perspectivas para a educação. *Educação & Sociedade*, v. 27, n. 94, p. 257-276, 2006.

MCDONALD, John H. Myths of Human Genetics. **Baltimore: Sparky House Publishing**, 2011. University of Delaware. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.711.5109&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em 23/05/2022.

MEDORI, M. C. et al. Nutrigenomics: SNPs correlated to Food Preferences and Susceptibilities. *La Clinica Terapeutica*, v. 174, n. 6, 2023.

MERRITT, Robert B. et al. Tasting phenylthiocarbamide (PTC): a new integrative genetics lab with an old flavor. *The American Biology Teacher*, v. 70, n. 5, 2008.

NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY. **Yuck! That Tastes Terrible!**

Washington, D.C.: Smithsonian Science Education Center. Disponível em: <https://ssec.si.edu/yuck-that-tastes-terrible>. Acesso em: 20 de abril 2023.

NEGRI, Rossella et al. Age variation in bitter taste perception in relation to the TAS2R38 taste receptor phenotype. *International Journal of Nutrition*, v. 1, n. 2, p. 87-98, 2015.

NOR, Nurfarhana Diana Mohd et al. The effects of taste sensitivity and repeated taste exposure on children's intake and liking of turnip (*Brassica rapa* subsp. *rapa*); a bitter Brassica vegetable. *Appetite*, v. 157, p. 104991, 2021.

OLIVEIRA, Thais Benetti; SILVA, Caio Samuel Franciscati da; ZANETTI, Josiane de Cássia. Pesquisas em Ensino de Genética (2004-2010). **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Campinas, 2011.

OMIM, Online Mendelian Inheritance in Man. 607751 TASTE RECEPTOR, TYPE 2, MEMBER 38; TAS2R38. Disponível em: <https://www.omim.org/entry/607751>. Acesso em: 13 jan. 2023.

PALHETA NETO, Francisco Xavier et al. Anormalidades sensoriais: olfato e paladar. *Arquivos Internacionais de Otorrinolaringologia*, v. 15, p. 350-358, 2011.

RISSO, Davide S. et al. Global diversity in the TAS2R38 bitter taste receptor: revisiting a classic evolutionary PROPosal. *Scientific reports*, v. 6, n. 1, p. 25506, 2016.

ROSA, Isabela Santos Correia; ALMEIDA, Rosiléia Oliveira de. O conteúdo de genética e as experiências didáticas relatadas na literatura: uma revisão sistemática dos trabalhos do ENPEC. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v.14, n.2, p. 245-270, nov. 2021.

- ROSA, Paulo Ricardo da Silva. Uma introdução à pesquisa qualitativa em ensino de ciências. **Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**, 2013.
- SANYAL, Shourjya et al. TongueSim: development of an automated method for rapid assessment of fungiform papillae density for taste research. **Chemical senses**, v. 41, n. 4, p. 357-365, 2016.
- SCARPA, Daniela Lopes; CAMPOS, Natália Ferreira. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação. **Estudos avançados**, v. 32, p. 25-41, 2018.
- SCHIMIDT, Isabelly Lima et al. Sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida. **Revista Brasileira de Pesquisa em Saúde**, v. 1, pág. 148-156, 2018.
- SILVA, Cirlande Cabral da; CABRAL, Hiléia Monteiro Maciel; CASTRO, Patrícia Macêdo de. Investigando os obstáculos da aprendizagem de genética básica em alunos do ensino médio. **ETD-Educação Temática Digital**, v. 21, n. 3, p. 718-737, 2019.
- SMAIL, Harém Othman. The roles of genes in the bitter taste. **AIMS genetics**, v. 6, n. 04, pág. 088-097, 2019.
- STYER, Susan. Constructing & using case studies in genetics to engage students in active learning. **American Biology Teacher**, v. 71, n. 3, p. 142-143, 2009.
- TEMP, Daiana Sonogo; BARTHOLOMEI-SANTOS, Marlise Ladvoat. O ensino de Genética: a visão de professores de Biologia. **Rev. Cient. Schola**, v. 2, n. 1, p. 83-95, 2018.
- THE MINIONE. *Taste of Genetics: Student Guide*. Disponível em: https://theminione.com/wp-content/uploads/2022/03/M6010-Taste-of-Genetics-Student-Guide-031622_compressed.pdf. Acesso em: 26 maio 2023.
- UNIVERSITY OF UTAH. PTC: The Genetics of Bitter Taste. Learn Genetics. Disponível em: <https://learn.genetics.utah.edu/content/basics/ptc/>. Acesso em: 22 jun. 2022.
- USP. Atividade sobre a sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida (PTC). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2021. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7774320/course/section/6500063/Atividade_2023_PTC.pdf?time=1691780336003. Acesso em: 20 maio 2023.
- WOODING, Stephen P.; RAMIREZ, Vicente A.; BEHRENS, Maik. Bitter taste receptors: Genes, evolution and health. **Evolution, Medicine, and Public Health**, v. 9, n. 1, p. 431-447, 2021.

8 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA

Brasília, 21 de setembro de 2022.

Para: Comissão de Pós-Graduação PROFBIO-UnB

Assunto: Justificativa de não submissão de projeto para o Comitê de Ética em Pesquisa

Prezados membros da Comissão do PROFBIO-UnB,

A dissertação intitulada Estudo da Característica “Sensibilidade Gustativa à Feniltiocarbamida (PTC)” no Ensino De Genética, da aluna Fernanda Martins da Fonseca, matrícula 210039434, não foi submetida ao CEPFS. Esta pesquisa com abordagem qualitativa de caráter documental tem como objetivo conhecer como a característica da sensibilidade gustativa ao PTC é trabalhada na prática do Ensino de Genética e elaborar um recurso didático, com abordagem investigativa, considerando o conhecimento científico atual e suas relações com a sociedade contemporânea. Para atingir este objetivo serão realizadas as seguintes ações:

- 1 - Pesquisas sobre as abordagens e materiais de ensino/aprendizagem que utilizam a sensibilidade gustativa ao PTC, no Ensino de Genética.
- 2 – Análise dos materiais de ensino/aprendizagem proveniente da pesquisa, quanto à atualização do conhecimento científico e com os fundamentos da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), para uma sistematização dos dados e
- 3 – Elaboração de um material didático com abordagem investigativa, tipo estudo de caso, sobre a sensibilidade gustativa ao PTC, para estudantes do Ensino Médio.

As discussões dos dados gerados nesse processo de construção científica e pedagógica serão tratadas de forma narrativa na dissertação. É importante ressaltar, que esta pesquisa não envolve informações oriundas de entrevistas ou aplicação de questionários com os estudantes e/ou professores e se concentra na análise de documentos/ artigos e nas ideias e reflexões das experiências vivenciadas pela professora-pesquisadora.

Este tipo de pesquisa ação está fundamentada na Resolução 510/2016 do CONEP, que em seu Art 1º, Parágrafo único, Incisos VI e VII, que afirmam que não serão registradas nem avaliadas pelo sistema CEP/CONEP pesquisa que: for realizada exclusivamente com textos científicos para revisão da literatura científica e que objetiva o aprofundamento teórico de situações que emergem espontânea e contingencialmente na prática profissional, desde que não revelem dados que possam identificar o sujeito.

APÊNDICE A



**EXPLORANDO A VARIAÇÃO NA PERCEPÇÃO GUSTATIVA:
DA GENÉTICA À EXPERIÊNCIA SENSORIAL**

Fernanda Martins da Fonseca
Maria de Nazaré Klautau Guimarães





Univesidade de Brasília - UnB
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia - ProfBio

**EXPLORANDO A VARIAÇÃO NA PERCEPÇÃO GUSTATIVA:
DA GENÉTICA À EXPERIÊNCIA SENSORIAL**

Estudo de Caso Investigativo

Autores:

**Fernanda Martins da Fonseca
Maria de Nazaré Klautau Guimarães**

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

Brasília - DF

2024



APRESENTAÇÃO

EXPLORANDO A VARIAÇÃO NA PERCEPÇÃO GUSTATIVA: DA GENÉTICA À EXPERIÊNCIA SENSORIAL

Estudo de Caso Investigativo

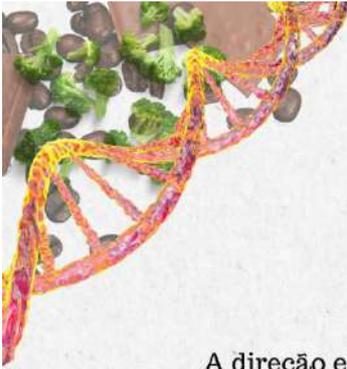
Baseando-se nos dados obtidos das análises dos documentos selecionados foi possível ter um panorama geral de como a característica variabilidade na sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida vem sendo trabalhada no Ensino de Genética. Assim, foi possível elaborar o Estudo de Caso que aborda conceitos importantes para a aprendizagem de Genética, no Ensino Médio.

O Estudo de Caso está alinhado à competência específica 03 da BNCC para Ciências da Natureza, permitindo ao estudante investigar uma situação problema, associando conhecimentos prévios ao conhecimento científico para propor soluções, apresentando participação ativa na construção do conhecimento. Também é possível trabalhar de maneira interdisciplinar com a Matemática, para análises dos dados e construção de gráficos como também com a Química, na análise da estrutura molecular da feniltiocarbamida e a presença de moléculas químicas semelhantes que se encontram nos alimentos do nosso cotidiano.

O Estudo de Caso permitirá estudar uma característica de herança multifatorial e auxiliar na compreensão da relação complexa do genótipo com o fenótipo, no caso de uma característica com variação contínua. Para atingir esse objetivo, o estudo de caso está organizado em três atividades investigativas específicas em uma amostra de estudantes: 1- levantamento de dados da percepção gustativa por meio da preferência alimentar para alguns alimentos amargos, 2- obtenção dos dados da percepção e sensibilidade gustativa (fenótipo) realizada com teste de soluções de PTC, com diferentes concentrações e 3- obtenção dos dados genotípicos por meio da interpretação dos resultados dos testes moleculares da variação no gene $TAS2R38$.

A proposta do Estudo de Caso é de conhecer a situação e analisar os dados apresentados, que foram elaborados para uma população fictícia. Ressalta-se que os dados foram baseados nas experiências da autora após aplicação prática em sala de aula. Entretanto enfatiza-se que é possível realizar parte das atividades em uma situação real de sala de aula, e para enriquecer a investigação, fazer comparação com dados deste Estudo de Caso.

A resolução desse Estudo de Caso permitirá facilitar a compreensão da variação na percepção e sensibilidade gustativa, exemplificando que além das variações genéticas, existem outros fatores ambientais (não genéticos) que podem modular a expressão fenotípica dessa característica em humanos. Além disso, o tema poderá ser expandido para a área da nutrição, para trabalhar as escolhas alimentares e a conscientização no consumo de alimentos saudáveis. É importante ressaltar que o uso da PTC em testes de sensibilidade gustativa é uma atividade segura e que não oferece riscos à saúde.



A SITUAÇÃO PROBLEMA



A direção e professores de uma Escola de Ensino Médio, do programa de Educação em Tempo Integral, cientes da importância da alimentação escolar e preocupados com os altos índices de obesidade e problemas de saúde dos seus estudantes, lançaram um desafio de criar um programa de merenda escolar que fosse nutritivo, saboroso e economicamente viável, usando alimentos produzidos na região, sempre que possível. A equipe multidisciplinar, formada por nutricionista, agricultores locais, educadores, estudantes e demais funcionários da escola, elaborou um novo cardápio para garantir uma dieta equilibrada e variada que se baseava em alimentos frescos, integrais e locais, incluindo frutas, verduras, legumes e proteínas magras.

A nova merenda teve uma boa aceitação geral, porém parte dos estudantes observaram que alguns dos alimentos servidos tinham o sabor muito amargo, o que não foi percebido por outros colegas. Essa observação da variação no sabor dos alimentos se repetia todos os dias, principalmente em algumas verduras. O fato despertou a curiosidade de toda a equipe com o seguinte questionamento: por que motivo o sabor era diferente para alguns, se todos estavam ingerindo o mesmo alimento, preparado da mesma forma?

O fato gerou um grande dilema nessa comunidade escolar: o novo cardápio deve ser mantido ou cancelado?



PROCEDIMENTOS OU ESTRATÉGIAS PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

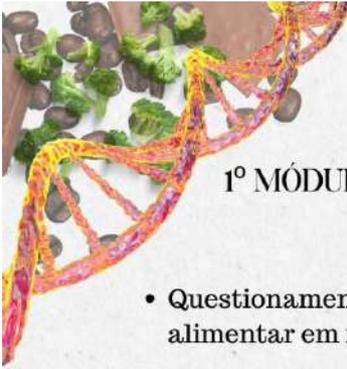
A professora de Biologia, ao ouvir as indagações e perceber o quanto a comunidade da escola estava interessada na variação da percepção gustativa, buscou a literatura científica sobre o tema e criou uma disciplina eletiva chamada: "Explorando a Variação na Percepção Gustativa: da Genética à Experiência Sensorial". Um grupo de 15 estudantes foi selecionado para cursar a disciplina, que tinha o compromisso de estudar o fato e, ao final, comunicar à comunidade escolar. Após isso, a comunidade escolar teria condições de resolver o dilema.

O objetivo da disciplina foi abordar os aspectos biológicos e ambientais que influenciam a percepção gustativa, proporcionando aos estudantes experiência prática e uma compreensão mais abrangente do tema. Para atingir esses objetivos, a professora resolveu trabalhar a variação na percepção e sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida (PTC), que é conhecida na literatura científica por apresentar variação individual ao sabor amargo.

De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada, a disciplina foi organizada em três módulos, com orientação constante da professora:

- 1º- Investigação das preferências alimentares;
- 2º- Verificação da variação fenotípica (sabor amargo) utilizando soluções de PTC em diferentes concentrações;
- 3º- Estudo e verificação da variação genotípica do gene do receptor gustativo TAS2R38.

Para iniciar as investigações, foram selecionados 40 estudantes da escola por meio de amostragem por sorteio. Esse grupo é a "amostra de estudo" da disciplina. A seguir, serão relatados todos os passos realizados em cada etapa da disciplina eletiva, descrevendo as atividades realizadas, resultados obtidos e análise desses resultados. Ao final, os estudantes da disciplina elaboraram uma comunicação dos resultados para discussão com a comunidade escolar. Acredita-se que, com base nesses resultados, o dilema possa ser resolvido.



1º MÓDULO - INVESTIGAÇÃO DAS PREFERÊNCIAS ALIMENTARES

- **Questionamento:** Como se pode descrever ou avaliar a preferência alimentar em relação ao sabor amargo?
- **Metodologia:** Exibição do vídeo: Como o café te manipula, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pd28XMTgQys>. O vídeo explica como substâncias presentes em algumas plantas influenciam o paladar, tanto de humanos quanto de outros animais, interferindo nas escolhas alimentares de quem as prova; aplicação de questionário específico elaborado pela professora.
- **Estratégia de aplicação:** O vídeo será exibido no início da primeira aula da disciplina eletiva, seguido de uma breve discussão sobre ele. Em seguida, os estudantes da disciplina serão responsáveis pela coleta dos dados das preferências alimentares na amostra de estudo, por meio de questionário específico (Quadro 1).

Quadro1: Questionário de investigação das preferências alimentares.

INVESTIGANDO AS PREFERENCIAS ALIMENTARES		
1.Nome: _____		
2. Quais dos alimentos seguintes você gosta ou não gosta? Responda assinalando a opção que corresponde à sua preferência, pensando no alimento em sua versão individual, sem mistura com outros alimentos e condimentos.		
ALIMENTO	GOSTO	NÃO GOSTO
COUVE		
BRÓCOLIS		
COUVE - FLOR		
CAFÉ		
CHOCOLATE AMARGO		
RÚCULA		

- **Discussão e Hipótese:** Espera-se encontrar variação nas preferências dos alimentos apresentados no questionário.
- **Organização dos dados:** os dados deverão ser organizados em forma de tabela pelos estudantes da disciplina. Os indivíduos da “amostra de estudo” foram codificados para garantir anonimato e confidencialidade de seus dados, como E (estudante) e um número sequencial, como Eo1, Eo2, etc.
- **Análise dos dados:** observação atenta dos dados da tabela, construção de gráficos representativos e análise estatística dos dados. Poderão ser utilizados softwares, como o Microsoft Excel, para criar gráficos que visualizem os dados de forma clara e informativa.

Apresentação dos resultados: 1º Módulo - Investigação das preferências alimentares

Os dados coletados sobre as preferências alimentares estão apresentados na Tabela 1. A observação atenta dos dados foi realizada com discussão sobre as possíveis informações que poderiam ser deduzidas e apresentadas em forma de gráficos. Na discussão anterior à observação dos dados, os estudantes da disciplina elaboraram os seguintes questionamentos:

- 1- Qual a frequência das categorias gosto/ não gosto de cada alimento?
- 2- Qual o alimento que houve maior aceite (gosto)?
- 3- Qual o alimento em que houve menor aceite (não gosto)?
- 4- Qual a porcentagem de estudantes que apresentaram aceite para todos os alimentos (categoria gosto)?
- 5- Qual a porcentagem de estudantes apresentou nenhum aceite para todos os alimentos (categoria não gosto)?
- 6- Qual o número médio de alimentos que teve aceite pelos estudantes (categoria gosto)?

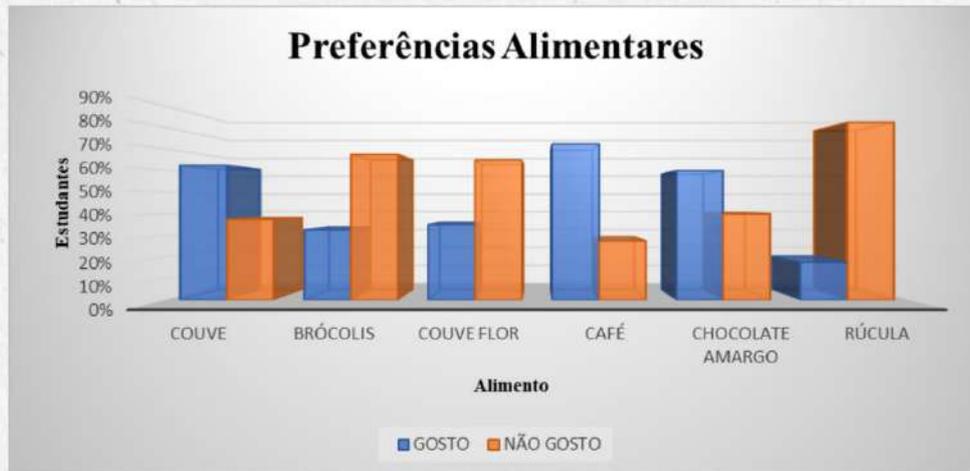
Tabela 1: Preferências alimentares

Estudante	Couve	Brócolis	Couve Flor	Café	Chocolate Amargo	Rúcula
E01	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E02	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E03	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E04	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E05	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E06	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E07	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E08	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E09	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E10	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto
E11	Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E12	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E13	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E14	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E15	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E16	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E17	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E18	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E19	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E20	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E21	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E22	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E23	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E24	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E25	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E26	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E27	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E28	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E29	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E30	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E31	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E32	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E33	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E34	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E35	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E36	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E37	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E38	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E39	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Gosto
E40	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto

Fonte: Autoria própria (2024)

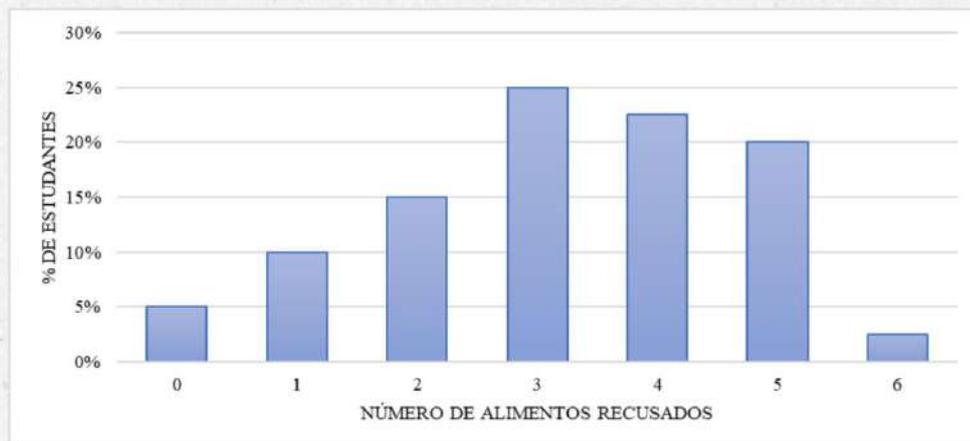
A partir dos dados da Tabela 1, os estudantes calcularam as porcentagens referentes aos questionamentos e elaboraram os seguintes gráficos: gráfico 1, sobre as preferências alimentares (questionamentos 1,2 e 3); gráfico 2 sobre a quantidade de alimentos recusados (questionamento 5), gráfico 3 sobre quantidade de alimentos aceitos (questionamentos 4 e 6).

Gráfico 1-Preferências alimentares



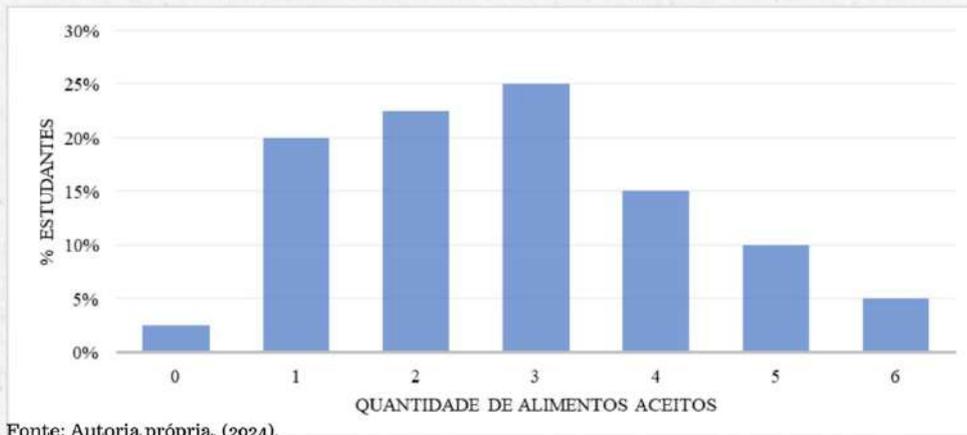
Fonte: Autoria própria. (2024).

Gráfico 2- Porcentagem de estudantes e o número de alimentos recusados, de 0 a 6, onde zero (0) significa nenhum alimento recusado e seis (6) todos os alimentos recusados



Fonte: Autoria própria. (2024).

Gráfico 3- Porcentagem de Estudantes e número de alimentos aceitos, de 0 a 6, onde zero (0) significa nenhum alimento aceito e seis (6) todos os alimentos aceitos



Fonte: Autoria própria. (2024).

Para finalizar o primeiro módulo da disciplina, a professora pediu que os estudantes apresentassem uma síntese das análises realizadas. A seguir, está apresentado o texto elaborado por eles.

Relatório do 1º Módulo

"O sabor amargo, é muitas vezes, associado a compostos químicos presentes em certos alimentos, como vegetais de folhas verdes (chás), café e chocolate amargo. Esse sabor não é uma preferência, mas sim, um gosto aprendido e moldado pelos nossos costumes alimentares. Para avaliar a preferência alimentar em relação a esse sabor, foram realizados questionamentos sobre preferências alimentares, onde os participantes responderam se gostavam ou não dos seguintes alimentos: couve, brócolis, couve-flor, café, chocolate amargo e rúcula. A partir das respostas, foi possível verificar variação nas preferências alimentares na amostra de estudo. O alimento de maior aceitação entre os participantes foi o café, aceito por 72,5% dos participantes, seguido pela couve e chocolate amargo, aceitos por 62,5% e 60% dos participantes, respectivamente. O alimento que teve maior índice de rejeição foi a rúcula, sendo recusada por 82,5% dos estudantes. Entre os participantes, apenas 5%, (E02 e E29), aceitaram todos os alimentos e 2,5%, (E05), recusou todos os alimentos mencionados. Na amostra de estudo, 70% gostam/consomem entre 0 a 3 dos alimentos, enquanto que 30% dos participantes, afirmaram gostar/ consumir entre 4 a 6 dos alimentos. Desse modo, se nota que os alimentos amargos não fazem parte da preferência alimentar da maioria dos estudantes. Em nossa discussão foram levantados os fatores que podem explicar esses dados, como: cultura alimentar da região, as experiências alimentares anteriores de cada indivíduo e os hábitos alimentares das famílias. Ao final, a professora fez um questionamento para reflexão: será que essa variação na sensibilidade gustativa a esses alimentos pode ser devido à fatores genéticos?"

2º MÓDULO - VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO FENOTÍPICA (SABOR AMARGO)
UTILIZANDO SOLUÇÕES DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE PTC

- **Questionamento:** Existe relação entre as preferências alimentares e a sensibilidade ao sabor amargo?
- **Metodologia:** Experimentar solução de feniltiocarbamida (PTC) diluída em água. São soluções com gradientes decrescentes de concentração (solução 1 de maior concentração e solução 6, de menor concentração).
- **Estratégia de aplicação:** Leitura conjunta do “Texto informativo 1: Sensibilidade à Feniltiocarbamida” sobre alguns aspectos da PTC e do teste da sensibilidade gustativa (fenótipos), elaborado pela professora.
- **Para o teste dos fenótipos,** a coleta dos dados na amostra de estudo deve seguir os seguintes passos: pingar duas gotas de água pura na língua de cada indivíduo, como solução controle. Em seguida, pingar duas gotas da solução de PTC, começando pela de menor concentração (solução de concentração 6), seguir às soluções de maiores concentrações, até a solução em que o indivíduo perceba o gosto amargo da PTC. Registrar o número da solução de PTC em que cada indivíduo sentiu o gosto amargo.
- **Discussão e Hipótese:** é esperado encontrar variação na sensibilidade ao amargo da PTC e que, os indivíduos que tiveram maior recusa pelos alimentos amargos apresentem maior sensibilidade ao amargo da PTC, ou seja, que consigam perceber o amargo nas soluções de menor concentração.
- **Organização dos dados:** organizar os dados de percepção do amargo da PTC em uma tabela.
- **Análise dos dados:** observação atenta dos dados da tabela, construção de gráficos e análises estatísticas. Poderão ser utilizados softwares, como o Microsoft Excel, para criar gráficos que visualizem os dados de forma clara e informativa.

Texto Informativo 1: Sensibilidade à Feniltiocarbamida (PTC)

"Alguns vegetais, como brócolis e rúcula, podem causar certa aversão em algumas pessoas por apresentarem um sabor amargo. Isso ocorre porque esses vegetais apresentam em sua composição a molécula de tiocianato, a mesma presente no composto químico da Feniltiocarbamida-PTC (C₇H₈N₂S). Essa substância pode ser percebida como extremamente amarga para algumas pessoas, e totalmente sem sabor para outras. A existência de variação na sensibilidade ao amargo da PTC foi descoberta acidentalmente na década de 30, quando Arthur Fox, ao trabalhar no laboratório, deixou escapar um pouco do pó de PTC que se espalhou no ar. Um dos colegas reclamou que a substância era muito amarga, enquanto Fox não sentiu sabor algum. Em seguida, vários testes foram realizados e a PTC ficou conhecida por sua capacidade de desencadear respostas gustativas distintas, em diferentes indivíduos. Atualmente, sabe-se que a variação na sensibilidade à PTC está relacionada a diferenças genéticas na proteína receptora do sabor amargo, presente nas nossas papilas gustativas. Os testes de percepção do sabor amargo com PTC são comumente empregados em estudos genéticos para investigar a sensibilidade ao amargo. Aqueles que são "sensíveis" percebem um sabor amargo, enquanto os "insensíveis" não conseguem detectar o sabor amargo. Além de seu uso em pesquisas científicas, os testes com PTC também são empregados em contextos educacionais para ilustrar a variabilidade na percepção do sabor entre os indivíduos. Esses experimentos destacam a influência dos fatores genéticos e fatores ambientais (não genéticos) na experiência gustativa e nas escolhas alimentares, vinculando-as a uma vida saudável".

A verificação da percepção ao amargo da PTC foi testada na amostra de estudo e os dados estão apresentados na Tabela 2. A classificação dos fenótipos foram: a) percepção ao gosto amargo como "sensível" mais o número da solução em que houve a percepção do amargo e b) a não percepção do gosto amargo em nenhuma das soluções como "insensível".

Tabela 2: Dados da sensibilidade ao amargo da feniltiocarbamida

ESTUDANTE	Solução em que conseguiu detectar o amargo da PTC
E01	Sensível na solução 5
E02	Insensível
E03	Sensível na solução 6
E04	Sensível na solução 4
E05	Sensível na solução 3
E06	Sensível na solução 5
E07	Sensível na solução 4
E08	Sensível na solução 1
E09	Insensível
E10	Sensível na solução 4
E11	Sensível na solução 3
E12	Sensível na solução 5
E13	Sensível na solução 6
E14	Sensível na solução 2
E15	Sensível na solução 3
E16	Sensível na solução 5
E17	Sensível na solução 3
E18	Sensível na solução 6
E19	Sensível na solução 4
E20	Sensível na solução 4
E21	Sensível na solução 4
E22	Sensível na solução 4
E23	Sensível na solução 2
E24	Sensível na solução 4
E25	Insensível
E26	Insensível
E27	Insensível
E28	Sensível na solução 1
E29	Sensível na solução 1
E30	Sensível na solução 4
E31	Sensível na solução 2
E32	Sensível na solução 5
E33	Sensível na solução 5
E34	Sensível na solução 2
E35	Sensível na solução 2
E36	Sensível na solução 4
E37	Sensível na solução 4
E38	Sensível na solução 3
E39	Sensível na solução 3
E40	Sensível na solução 3

Fonte: Autoria própria (2024)

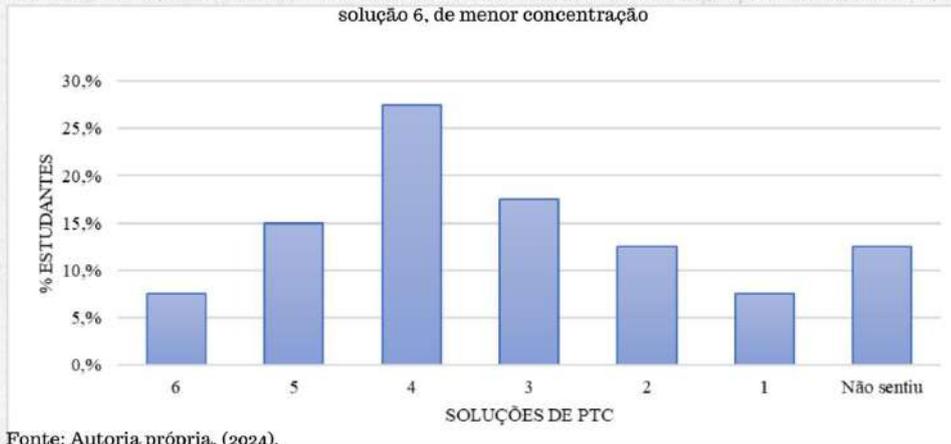
Com as informações da Tabela 2, os estudantes da disciplina discutiram os dados e organizaram os seguintes questionamentos:

- 1- Qual a frequência dos fenótipos sensíveis e insensíveis à PTC?
- 2- É possível classificar os indivíduos sensíveis em categorias: sensibilidade alta, sensibilidade média e baixa sensibilidade?
- 3- Existe associação entre “sensibilidade gustativa à PTC” e as “preferências alimentares”, observadas no módulo 1?

Para responder a esses questionamentos, os estudantes elaboraram e analisaram os seguintes gráficos:

O gráfico 4 apresenta a variação na sensibilidade ao gosto amargo da PTC detectada na amostra de estudo.

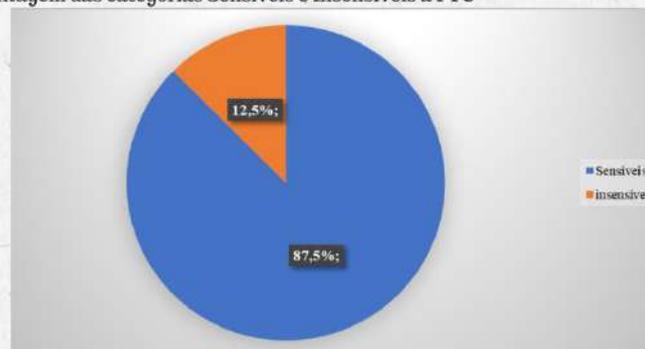
Gráfico 4- Variação na sensibilidade à PTC na amostra de estudo, sendo solução 1 de maior concentração e solução 6, de menor concentração



Fonte: Autoria própria. (2024).

A partir da Tabela 2, foram contabilizados os indivíduos da categoria de “insensíveis” e “sensíveis” (sem considerar a concentração). Esses dados podem ser observados no gráfico 5.

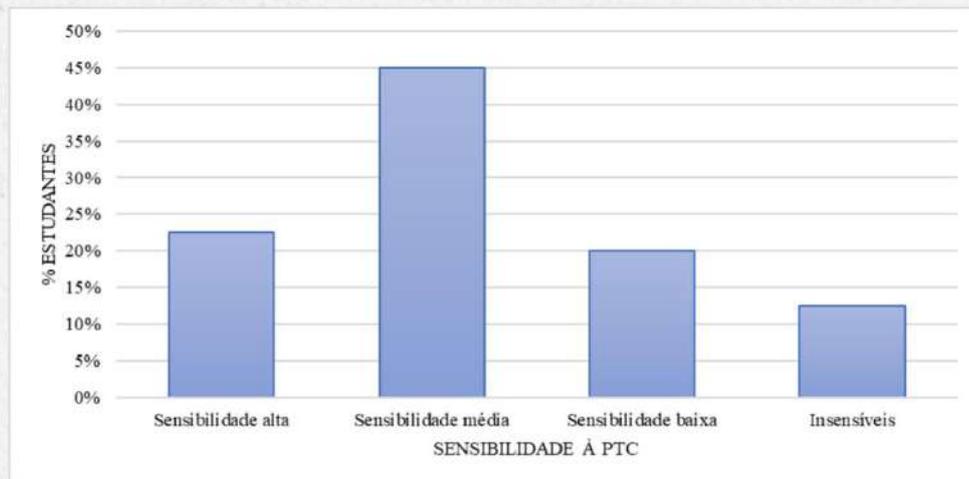
Gráfico 5 - Porcentagem das categorias Sensíveis e Insensíveis à PTC



Fonte: Autoria própria. (2024).

Para a percepção sobre os níveis de sensibilidade ao amargo da PTC, os indivíduos foram classificados conforme a solução em que conseguiram identificar o sabor amargo da PTC: a) soluções de concentração 5 e 6, “sensibilidade alta”; b) soluções de concentração 3 e 4, “sensibilidade média”; c) soluções de concentração 1 e 2, “sensibilidade baixa”. Os indivíduos que não conseguiram identificar o sabor amargo da PTC foram classificados como “insensíveis”. Os dados estão apresentados no gráfico 6.

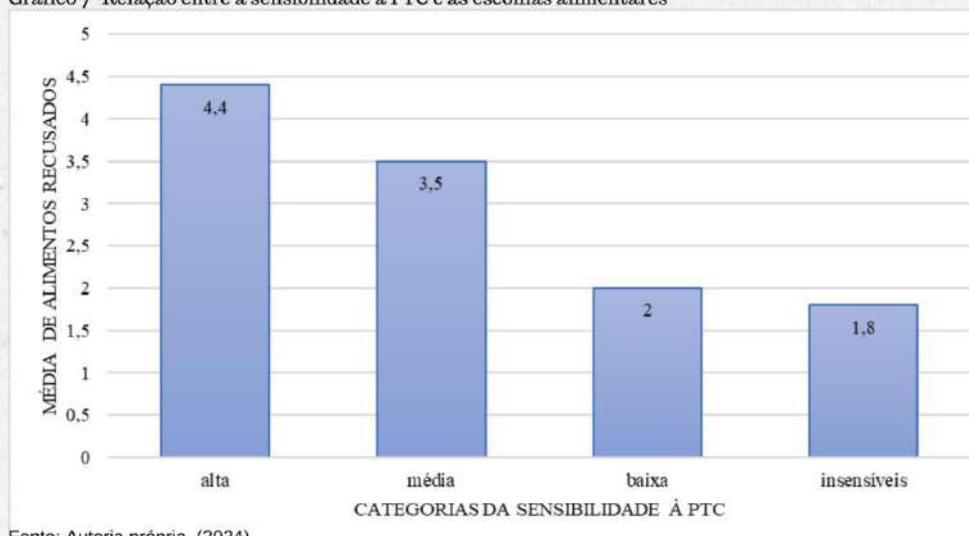
Gráfico 6- Classificação dos indivíduos de acordo com o nível de sensibilidade à PTC



Fonte: Autoria própria. (2024).

A avaliação da associação entre a sensibilidade gustativa à PTC e as preferências alimentares foi realizada com os dados dos níveis da sensibilidade gustativa à PTC, obtidos nos testes de fenótipos do módulo 2 e os dados de preferências alimentares, obtidos a partir do questionário aplicado no módulo 1. O gráfico 7 apresenta esses resultados.

Gráfico 7 -Relação entre a sensibilidade à PTC e as escolhas alimentares



Fonte: Autoria própria. (2024).

Após as análises dos gráficos e em resposta aos questionamentos iniciais, a turma elaborou um novo texto, abordando as conclusões do módulo 2, apresentado a seguir:

Relatório do 2º Módulo

"Ao realizar os testes de fenótipo da sensibilidade gustativa à PTC na amostra de estudo, foi verificada uma ampla variação na percepção do sabor amargo. Da amostra testada, 87,5% são sensíveis ao amargo da PTC, sendo que, entre eles, existe uma variação dessa sensibilidade, onde 25,7% possuem sensibilidade alta, 51,4% sensibilidade média e 22,9% sensibilidade baixa. Esses resultados, demonstram que não existe apenas uma separação entre sentir e não sentir o amargo da PTC, na verdade, existe uma gradação da sensibilidade. Os resultados dos testes, também mostraram a existência da relação entre a sensibilidade ao sabor amargo da PTC e as escolhas alimentares. É interessante notar que indivíduos classificados como alta sensibilidade ao amargo da PTC recusaram em média, 4,4 dos 6 alimentos apontados. Os indivíduos com sensibilidade média, recusaram 3,5 dos alimentos e os de sensibilidade baixa, recusaram 2. Os indivíduos classificados como insensíveis apresentaram o menor nível de recusa alimentar, declarando não gostar, em média, de 1,8 dos alimentos apresentados no questionário. A rúcula, por exemplo, que foi o alimento mais recusado, foi aceita por apenas 6 indivíduos classificados como sensíveis. Esses dados de sensibilidade ao sabor amargo, percebida pelos indivíduos, pode influenciar parte das escolhas dos alimentos, além dos costumes alimentares comuns da nossa sociedade. De acordo com o vídeo exibido, no caso da cafeína, também foi observado variação na sensibilidade gustativa e influência dos hábitos alimentares. Na amostra de estudo, 72,5% dos indivíduos relataram gostar do café, onde a maioria foi classificada com sensibilidade média e baixa. O costume tradicional do "cafezinho" da nossa sociedade pode explicar esses dados, como também a presença de indivíduos com alta sensibilidade nesse grupo.

3º MÓDULO - ESTUDO E VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO GENOTÍPICA DO GENE DO RECEPTOR GUSTATIVO TAS2R38.

- **Questionamento:** Existe diferença genética que influencia na variação da capacidade de perceber o sabor amargo dos alimentos?
- **Metodologia:** Coleta de uma amostra das células bucais de cada indivíduo e envio ao laboratório parceiro, para realização de testes moleculares da variação do gene TAS2R38.
- **Estratégia de aplicação:** Leitura atenta do “Texto informativo 2” sobre variação do gene TAS2R38 e análise dos genótipos na amostra de estudo.
- **Discussão e Hipótese:** é esperado que as diferenças da percepção do sabor amargo da PTC sejam influenciadas pelo genótipo do gene TAS2R38.
- **Organização dos dados:** Os dados dos testes moleculares da variação do gene TAS2R38 devem ser organizados em uma tabela, para análise da associação dos genótipos e dos fenótipos da sensibilidade gustativa à PTC.
- **Análise dos dados:** observação atenta aos dados da tabela e análises estatísticas. Elaboração do relatório sobre o gene TAS2R38, a sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida e o consumo de alimentos amargos.
- Após a observação atenta dos testes moleculares da variação do gene TAS2R38, surgiram os seguintes questionamentos:
- Qual a frequência dos diferentes genótipos na amostra: indivíduos homocigotos PAV/PAV, heterocigotos PAV/AVI e homocigotos AVI/AVI?
- Qual a relação entre os genótipos e os fenótipos?
- Existe variação da sensibilidade gustativa (fenótipo) em indivíduos portadores de um mesmo genótipo?

Texto informativo 2: O gene TAS2R38 e a percepção do gosto amargo da PTC

“O gene TAS2R38, localizado no cromossomo 7, é um dos fatores genéticos que influenciam na sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida (PTC). Esse gene possui 1002 pares de base, em um único éxon. Dentro do éxon, foram detectadas três variações de nucleotídeos, em três locais diferentes. Cada uma dessas variações ocorre devido à substituição de um único par de bases, que resultam na substituição de um aminoácido na proteína, alterando seu formato final e sua função. As variações são nas seguintes posições de aminoácidos da proteína: posição 49 houve troca da alanina pela prolina (A/P), na posição 262 houve troca da valina pela alanina (V/A) e na posição 296 houve troca da isoleucina pela valina (I/V). Essas três variações, levam a oito possíveis combinações que se conceitua como haplotipos. Os estudos desses haplotipos em populações, observaram que somente dois deles são os mais frequentes, são os haplotipos AVI (Alanina, Valina e Isoleucina) e PAV (Prolina, Alanina e Valina). Alguns trabalhos realizaram a avaliação da relação dos diferentes haplotipos com a sensibilidade ao gosto amargo da PTC e os resultados indicaram que a maioria dos indivíduos de genótipo homocigoto AVI/AVI são insensíveis à PTC, enquanto os indivíduos de genótipos heterocigotos AVI/PAV e homocigotos PAV/PAV são, em sua maioria, sensíveis ao sabor amargo da PTC. É importante lembrar que cada haplotipo codifica uma proteína receptora de sabor amargo que se expressa na superfície das papilas gustativas, ou seja, são quimiorreceptores encontrados na superfície da língua, que são estimulados por substâncias presentes nos alimentos. Os receptores traduzem estímulos gustativos químicos em sinais elétricos e os transmitem para as vias nervosas envolvidas no sentido do paladar, que por sua vez, transmitem a informação ao cérebro, onde há a percepção do sabor. Cada um dos haplotipos codifica uma proteína com estrutura ligeiramente diferente, o que influencia na forma de receber os estímulos gustativos. Cada indivíduo possui dois haplotipos para esse gene, desse modo, as diferentes combinações haplotípicas influenciam no grau de percepção, intensamente amargo, pouco amargo ou sem sabor algum. A seguir, o quadro 2, sintetiza as variações específicas no gene TAS2R38 e a sequência dos códons e aminoácidos alterados.

Quadro 2: Relação das variações no gene TAS2R38, os códons e aminoácidos alterados.

Posição do nucleotídeo no gene	Posição do aminoácido na proteína	Alteração do nucleotídeo Insensível/ Sensível	Mudança no códon Insensível/ Sensível	Mudança de aminoácido Insensível/ Sensível
145	49	G/C	GCA/ CCA	Alanina/ Prolina
785	262	T/C	GTT/ GCT	Valina/ Alanina
886	296	A/G	ATC/ GTC	Isoleucina/ Valina

Adaptado de: Explorando la genética del gusto: Análisis del SNP del gen PTC por PCR. Disponível em: <https://www.bioted.es/1-3-tecnicas-de-pcr/>

Após a leitura do Texto Informativo 2 e a revisão dos aspectos genéticos da variação do gene TAS2R38, a professora forneceu a tabela com os dados dos genótipos, recebida do laboratório. Os estudantes acrescentaram os dados dos fenótipos à tabela. Esses dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Relação genótipo do gene TAS2R38 e fenótipo da sensibilidade à PTC

Estudante	Genótipo	Fenótipo
E01	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E02	AVI/ AVI	Insensível
E03	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E04	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E05	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E06	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E07	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E08	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E09	AVI/ AVI	Insensível
E10	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E11	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E12	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E13	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E14	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E15	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E16	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E17	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E18	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E19	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E20	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E21	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E22	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E23	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E24	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E25	AVI/ AVI	Insensível
E26	AVI/ AVI	Insensível
E27	AVI/ AVI	Insensível
E28	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E29	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E30	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E31	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E32	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E33	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E34	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E35	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E36	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E37	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E38	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E39	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E40	PAV/ AVI	Sensibilidade média

Fonte: Autoria própria (2024)

Para compreender as relações entre os genótipos, fenótipos da sensibilidade ao amargo da PTC e as preferências alimentares, os estudantes da disciplina elaboraram a Tabela 4, onde sintetizaram todos os dados obtidos nessa investigação.

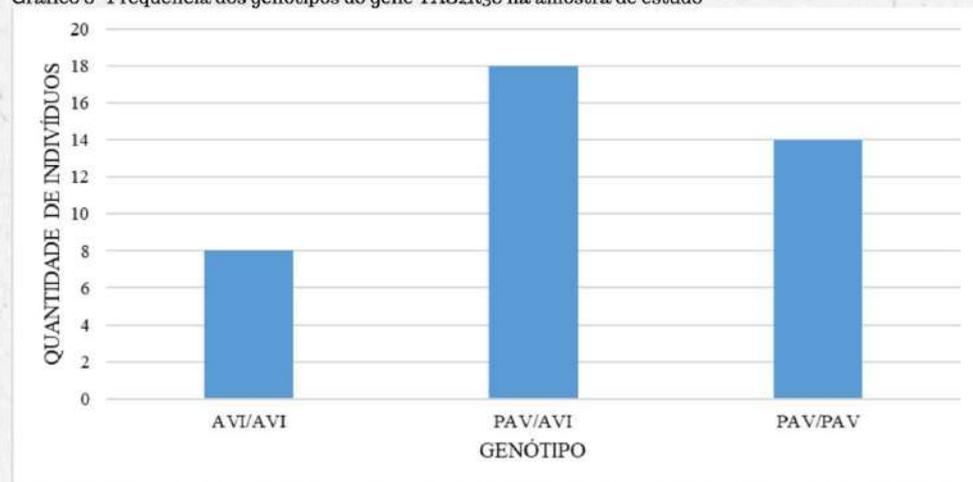
Tabela 4: Dados consolidados da amostra de todo estudo

Estudante	Quantidade de alimentos recusados	Concentração da solução que sentiu amargo da PTC	Genótipo	Fenótipo
E01	2	5	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E02	0	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E03	5	6	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E04	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E05	6	3	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E06	5	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E07	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E08	2	1	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E09	1	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E10	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E11	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E12	4	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E13	5	6	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E14	2	2	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E15	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E16	5	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E17	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E18	5	6	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E19	4	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E20	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E21	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E22	5	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E23	2	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E24	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E25	2	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E26	1	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E27	5	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E28	1	1	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E29	0	1	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E30	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E31	2	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E32	4	5	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E33	5	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E34	3	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E35	4	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E36	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E37	1	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E38	4	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E39	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E40	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média

Fonte: Autoria própria (2024)

Para verificar as frequências dos genótipos do gene TAS2R38 na amostra de estudo, os estudantes da disciplina elaboraram o gráfico 8, apresentado a seguir:

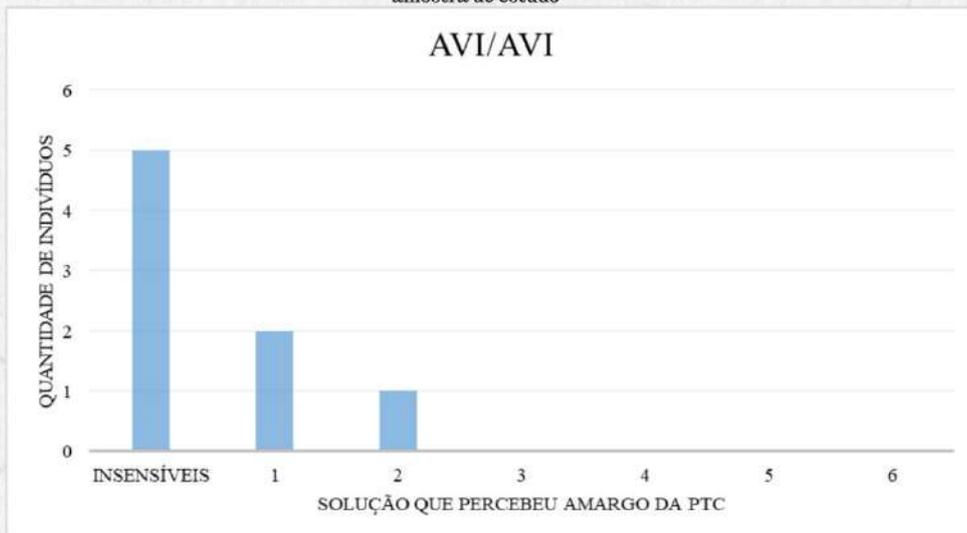
Gráfico 8- Frequência dos genótipos do gene TAS2R38 na amostra de estudo



Fonte: Autoria própria (2024)

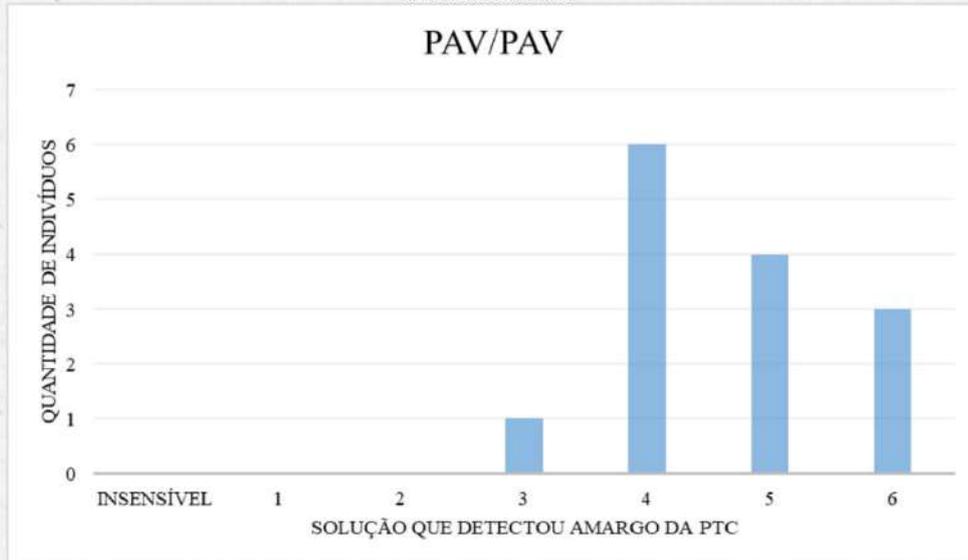
A relação entre genótipos e fenótipos da sensibilidade gustativa à PTC foi demonstrada nos gráficos 9, 10 e 11.

Gráfico 9 - Relação genótipo AVI/AVI do gene TAS2R38 e fenótipo da sensibilidade gustativa à PTC na amostra de estudo



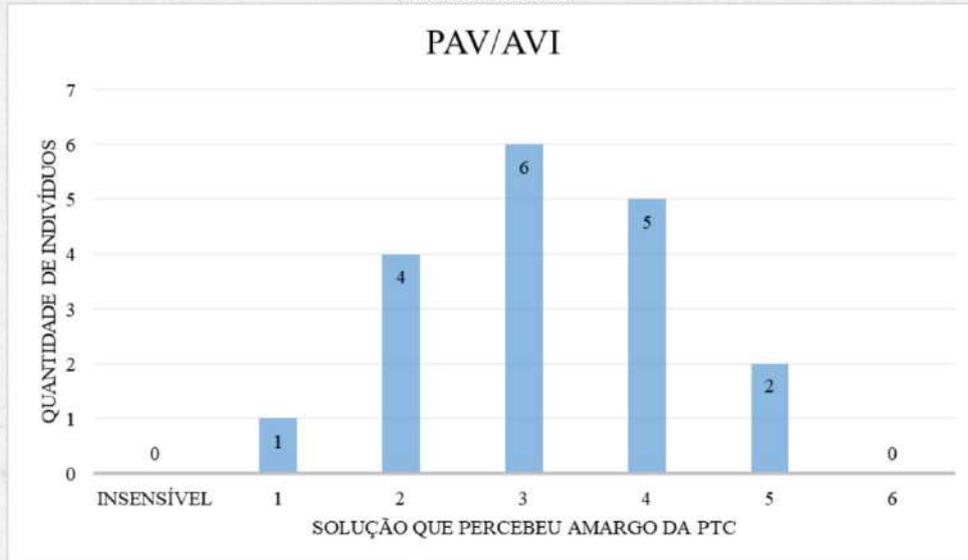
Fonte: Autoria própria (2024)

Gráfico 10 -Relação genótipo PAV/PAV do gene TAS2R38 e fenótipo da sensibilidade gustativa à PTC na amostra de estudo



Fonte: Autoria própria (2024)

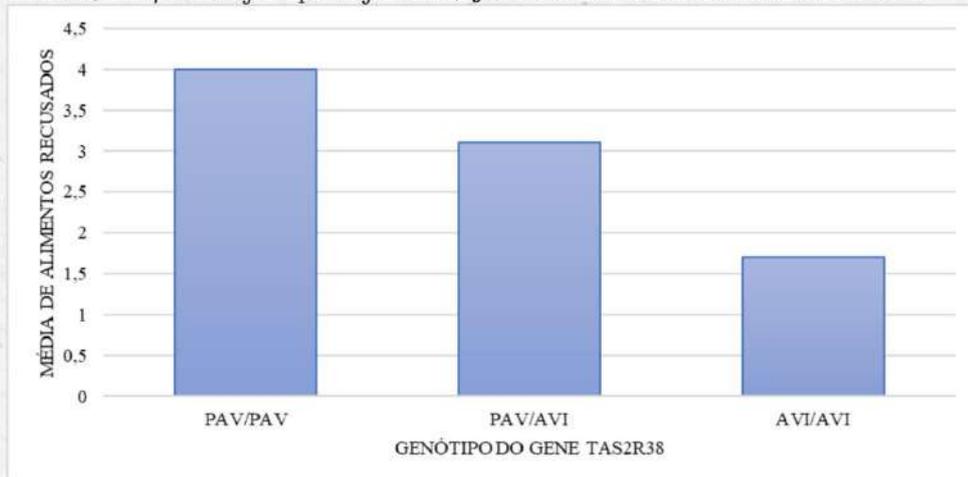
Gráfico 11 -Relação genótipo PAV/AVI do gene TAS2R38 e fenótipo da sensibilidade gustativa à PTC na amostra de estudo



Fonte: Autoria própria (2024)

A análise dos dados consolidados permitiu estabelecer a relação entre os genótipos e as escolhas alimentares, como pode ser percebido no gráfico 12.

Gráfico 12 -Relação entre genótipos do gene TAS2R38 e as escolhas alimentares na amostra de estudo



Fonte: Autoria própria (2024)

O texto final “Amargo é sempre amargo? Realmente, é tão ruim?” produzido pelos estudantes apresenta a síntese das conclusões.

Amargo é sempre amargo? Realmente, é tão ruim?

Alimentos de sabor amargo muitas vezes não fazem parte das preferências alimentares de algumas pessoas, que consideram o sabor extremamente desagradável e, por isso, rejeitam esses alimentos. Essa aversão ao sabor amargo pode ser atribuída a uma combinação de fatores genéticos e culturais como as experiências alimentares anteriores e os hábitos alimentares.

Sabe-se que o gene TAS2R38 é responsável pela codificação de um receptor que capta a percepção do sabor amargo na língua, que é estimulado por substâncias químicas específicas presentes nos alimentos. Essas substâncias químicas estão presentes em alimentos como brócolis, couve, rúcula e na feniltiocarbamida (PTC), o composto químico utilizado em testes de percepção de sabor amargo. Os estudos utilizando o teste da PTC apresentam percepções diferentes do gosto amargo, apresentando pessoas que sentem o sabor extremamente amargo, e outras, que a consideram insípida.

A variação do gene TAS2R38 está relacionada com a variação na sensibilidade à feniltiocarbamida (PTC). Na amostra desse estudo, os haplotipos mais comuns foram AVI e PAV. O haplotipo PAV está relacionado com a sensibilidade, a maioria dos indivíduos que possuem o genótipo homocigoto PAV/PAV ou heterocigotos PAV/AVI, expressam fenótipo sensível ao amargo da PTC, enquanto a maioria dos indivíduos de genótipo homocigoto AVI/AVI apresentam fenótipo de insensibilidade ao amargo da PTC.

Isso ocorre porque esses haplotipos codificam a proteína receptora do sabor amargo, de estrutura variável, que influencia na forma da ligação com as substâncias amargas. A combinação dos haplotipos de um indivíduo influenciará o modo que o sabor amargo será percebido, se intensamente, moderadamente ou sem nenhum sabor.

A sensibilidade à PTC e, conseqüentemente ao sabor amargo está, em parte, relacionada com as preferências alimentares já que muitos alimentos contêm compostos químicos de sabor amargo. Pessoas que são sensíveis ao amargo da PTC, com genótipos PAV/PAV ou PAV/AVI podem ter menor aceitação de alimentos amargos, como vegetais crucíferos (repolho, brócolis) e outros tipos de verduras. Por outro lado, aqueles com o genótipo AVI/AVI, por serem menos sensíveis ao amargo, podem ter uma aceitação maior para esses alimentos.

Na amostra de estudo, foi verificado que a maioria dos indivíduos participantes apresentou essa relação genótipo x fenótipo x escolhas alimentares. Porém, é preciso destacar que alguns dos participantes declararam escolhas alimentares diferentes do que era esperado. O estudante E07, genótipo PAV/PAV, fenótipo sensibilidade alta recusou apenas 3 alimentos, diferente dos demais participantes com esse mesmo genótipo/ fenótipo, que recusaram 5 ou 6 alimentos. Entre os heterocigotos PAV/AVI, também ocorreram algumas variações, E37, sensibilidade média, recusou apenas 1 alimento, enquanto os demais recusaram entre 3 e 5 alimentos. Já os indivíduos E32, E35 e E38, apesar de apresentarem o fenótipo de sensibilidade baixa, recusaram 4 tipos de alimentos, enquanto E29, com mesmo genótipo e fenótipo não recusou nenhum dos alimentos. Mas, o maior destaque entre os participantes do estudo foi o estudante E27, apesar de ter o genótipo AVI/AVI e fenótipo insensível, recusou 5 tipos de alimentos, mesma quantidade que a maioria dos indivíduos identificados como sensibilidade alta.

Esses resultados são muito importantes para o estudo, pois mostram que a variação no gene TAS2R38 explica parte da variação na sensibilidade ao sabor amargo. A característica estudada, percepção do sabor amargo, apresenta variação quantitativa e é classificada como um padrão de herança multifatorial, ou seja, a variação é explicada pela variação do gene principal TAS2R38, possivelmente com interação com outros genes e fatores ambientais, nesse caso, podemos citar as experiências alimentares e os hábitos culturais.

É importante lembrar que comer alimentos amargos, como brócolis e rúcula, pode trazer uma série de benefícios para a saúde, contribuindo para uma dieta equilibrada e promovendo o bem-estar geral. Além de fornecer uma variedade de nutrientes essenciais, esses alimentos contribuem para a diversidade alimentar e o equilíbrio nutricional, auxiliando na prevenção de diversas doenças e promovendo uma vida saudável. Experimentar novas maneiras de preparar e apreciar esses alimentos pode ser uma ótima maneira de aproveitar ao máximo seus benefícios nutricionais. O estímulo constante desse sabor leva a melhor aceitação e amplia a variedade alimentar, o que é saudável.

CULMINÂNCIA DA DISCIPLINA ELETIVA - APRESENTAÇÃO DE DADOS À COMUNIDADE ESCOLAR.

Ao final da disciplina, com todos os módulos concluídos, foi realizada a culminância, com a apresentação dos resultados. Toda comunidade escolar foi convidada a conhecer os resultados e assim resolverem o dilema que se instaurou na escola, a partir da mudança de cardápio, decidindo se o novo cardápio será ou não mantido.

Foi preparado uma mostra científica, com stands onde poderiam ser encontradas informações sobre o gene TAS2R38, sua influência sobre o fenótipo de sensibilidade gustativa à PTC, apresentação de alimentos de sabor amargo e seus benefícios à saúde, bem como dados sobre a importância da alimentação saudável.

Os estudantes que cursaram a disciplina apresentaram os dados obtidos em cada módulo, esclarecendo as dúvidas de todos. Elaboraram também um folder explicativo, para orientar na escolha.

Após a mostra, toda comunidade escolar participou de uma votação, decidindo pela manutenção do novo cardápio.

I- INSTRUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO (EC)

- 1- O Estudo de Caso foi elaborado para ser aplicado com a orientação do professor, que deve fornecer as informações por etapas, um módulo por vez. Conforme cada etapa vai sendo solucionada, novos dados devem ser fornecidos.
2. A turma deve ser dividida em grupos para facilitar a elaboração de hipóteses e permitir que todos participem.
3. Cada grupo deve receber uma cópia do Estudo de Caso e dos dados apresentados em cada módulo, nos momentos em que forem utilizados.
4. A resolução deverá ser a partir da atividade do módulo 01: Investigando as preferências alimentares.
5. As análises dos dados, em cada módulo, deverão ser realizadas pelos estudantes que estão solucionando esse Estudo de Caso. Os gráficos apresentados aqui, são de apoio ao professor aplicador e foram criados a partir dos dados fornecidos nas tabelas apresentadas em cada módulo. Poderão ser utilizados softwares, como o Microsoft Excel, para criar gráficos, esse foi o programa utilizado nesse estudo de Caso.
6. Os relatórios dos módulos 1 e 2 deverão ser escritos pelos estudantes que estão solucionando o E.C. Cada grupo apresenta suas conclusões e, em seguida, o professor aplicador faz a leitura dos relatórios disponibilizados no E.C. para comparação e discussão.
7. O uso da feniltiocarbamida para testes de fenótipos não oferece nenhum risco para a saúde.
8. Ao final das orientações, são apresentadas as páginas que deverão ser impressas e entregues aos estudantes para que possam solucionar esse E.C.

1º MÓDULO - INVESTIGAÇÃO DAS PREFERÊNCIAS ALIMENTARES

1. Iniciar a aplicação do Estudo de Caso exibindo o vídeo a seguir: Como o café te manipula, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pd28XMTgQys> (11:23min.)

O vídeo faz uma introdução ao assunto que será abordado no Estudo de Caso, preparando os estudantes para as discussões que serão realizadas. Após a exibição do vídeo, poderá ocorrer uma breve discussão para sondagem dos conhecimentos prévios dos estudantes e de seus costumes alimentares.

RESENHA DO VÍDEO - COMO O CAFÉ TE MANIPULA - ÁTILA IAMARINO

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pd28XMtgQys>

O vídeo utiliza a cafeína como exemplo para abordar que a sensibilidade gustativa e preferências alimentares podem mudar ao longo da vida. Diversos fatores genéticos e ambientais estão envolvidos na percepção gustativa, o que influencia nas escolhas de consumo na dieta. A cafeína, presente no café, confere o gosto amargo ao "cafezinho" do nosso cotidiano, entretanto, esse fato não impediu a sociedade contemporânea de escolher essa bebida para as mais diversas ocasiões, no trabalho, no estudo e no bate papo com amigos. Mas, o que tem a cafeína, que nos deixa muito acostumados ao seu consumo, tanto na forma de café, chás e outras bebidas? A cafeína é uma substância psicoativa que, dependendo da quantidade, funciona como estímulo da memória e aprendizado. A combinação com o açúcar deixa o "cafezinho" mais palatável, o mesmo se observa com a substância teobromina, do chocolate, que tem estrutura química semelhante. No vídeo, um fato interessante é apresentado: a preferência pela cafeína não se limita a nós, seres humanos. Ela ocorre também na natureza, na relação das plantas com seus polinizadores. Sabe-se que, muitas plantas podem produzir a cafeína nos frutos, nas flores e nas folhas, que podem apresentar função inseticida, na defesa contra os predadores, ou estimulante aos insetos para visitas frequentes, e, conseqüentemente, maiores possibilidades de polinização e dispersão das sementes. O ponto importante para o nosso Estudo de Caso é que os gostos amargos e azedos nos alimentos, na maioria das vezes, indicam a presença de toxinas. Além desse aspecto, esses gostos normalmente não representam as nossas preferências (em relação aos gostos doce, salgado e umami) mas, é possível perceber que, algumas vezes, eles fazem parte do nosso cotidiano, na dieta e nas medicações. Desse modo, a literatura científica apresenta a ideia de que o consumo de alimentos com o gosto amargo é moldado (um aprendizado) pelo nosso consumo e influenciado também, pelo consumo da nossa mãe durante sua vida. O vídeo traz a oportunidade de fazer diversas reflexões sobre a alimentação saudável e nossas escolhas cotidianas dos alimentos.

2- O questionário de preferências alimentares poderá ser aplicado na turma em que o Estudo de Caso será trabalhado, dessa maneira, se permite a oportunidade de realizar uma comparação com os dados do EC. Os alimentos amargos típicos de cada região poderão ser acrescentados ao questionário para que a atividade fique mais contextualizada. Na discussão, levantar as experiências individuais quanto aos alimentos de sabor amargo.

3- Nas situações em que o questionário de preferências alimentares seja realizado na turma de aplicação desse Estudo de Caso, as etapas de construção de tabelas e gráficos deverão ser realizadas, bem como suas análises. Nesse caso, a atividade pode ser interdisciplinar com o professor de matemática.

4- Os estudantes deverão realizar uma análise da Tabela 1 e dos gráficos 1, 2 e 3 e fazer a leitura e discussão do Relatório do 1º Módulo. Comparar os resultados do EC com os resultados na turma de aplicação. Realizar discussão sobre os resultados encontrados nos dois casos.

5- Nas situações em que não foi realizado o questionário de preferências alimentares na turma de aplicação, analisar somente os dados desse Estudo de Caso.

6- Ao final das análises do 1º módulo, a atividade "Agora é sua vez", será realizada. Ela deverá ser respondida pelos grupos, que irão elaborar uma hipótese que será investigada e solucionada no módulo seguinte.

Agora é sua vez - 1º módulo: A partir dos dados levantados pela turma, responda: Existe relação entre as preferências alimentares e a capacidade de sentir o sabor amargo? Discuta com seus colegas de grupo elaborem e registrem suas hipóteses.

2º MÓDULO - VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO FENOTÍPICA (SABOR AMARGO) UTILIZANDO
SOLUÇÕES DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE PTC

1. A partir das discussões realizadas na atividade “Agora é sua vez - 1º módulo”, iniciar as discussões do 2º módulo.
2. Em grupos, fazer a leitura do “Texto informativo 1: Sensibilidade à Feniltiocarbamida”.
3. Nas situações de aplicação, que exista a possibilidade de realizar o teste dos fenótipos da sensibilidade gustativa à PTC, seguir os seguintes passos: pingar duas gotas de água pura na língua de cada indivíduo, como solução controle; em seguida, pingar duas gotas da solução de PTC, começando pela de menor concentração (solução de concentração 6), seguir às soluções de maiores concentrações, até a solução em que o indivíduo perceba o gosto bem amargo da PTC (não é sentir algo parecido, e sim, um gosto forte, tipo Novalgina). Registrar o número da solução de PTC em que cada indivíduo sentiu o gosto amargo.
4. Para o teste de sensibilidade com diferentes soluções de PTC, é preciso realizar diluições em série (prepara-se uma solução de PTC com uma concentração alta, como 1000 ppm. (partes por milhão), dissolvendo 1 grama de PTC em 1 litro de água destilada, em seguida são realizadas diluições em série para obter concentrações mais baixas, apropriadas para testes de sabor). A feniltiocarbamida pode ser adquirida em lojas de materiais de biologia ou fornecedoras de produtos químicos para laboratórios, como a Sigma-Aldrich, por exemplo.
5. Nas situações de aplicação em que os testes de fenótipo da sensibilidade gustativa à PTC sejam realizados, os dados deverão ser organizados para as análises estatísticas, classificando os participantes nas categorias “sensibilidade alta”, “sensibilidade média” e “sensibilidade baixa”. É importante ressaltar que o uso da PTC em testes de sensibilidade gustativa é uma atividade segura, que não oferece riscos à saúde, uma vez que a concentração da substância nos papéis de teste ou nas soluções de diluição é extremamente baixa, portanto, não há razões para preocupação com toxicidade (Merritt et al., 2008).
6. Os dados obtidos na turma de aplicação deverão ser comparados com os dados do EC.
7. Em situações de aplicação que não sejam realizados os testes de fenótipo da sensibilidade gustativa à PTC, analisar e discutir somente os dados do EC (Tabela 2 e gráficos 4, 5, 6 e 7).
8. Fazer a leitura do “Relatório do 2º Módulo”.
9. A resolução do 2º módulo do EC poderá ocorrer de forma interdisciplinar com a química, realizando a análise da estrutura molecular da feniltiocarbamida, observando as ligações que ocorrem entre seus átomos e realização de pesquisa sobre a presença de moléculas químicas semelhantes, que se encontram nos alimentos do nosso cotidiano.
10. Ao final das análises do 2º módulo, a atividade “Agora é sua vez”, será realizada. Ela deverá ser respondida pelos grupos, que irão elaborar uma hipótese que será investigada e solucionada no módulo seguinte.

Agora é sua vez - 2º módulo: A partir dos dados levantados pela turma, responda: Existe diferença genética que influencia na variação da capacidade de perceber o sabor amargo dos alimentos? Como esse sabor é percebido em seus familiares? Discuta com seus colegas de grupo elaborem e registrem suas hipóteses.

3º MÓDULO - ESTUDO E VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO GENOTÍPICA DO GENE DO RECEPTOR GUSTATIVO TAS2R38.

1. A partir das discussões realizadas na atividade “Agora é sua vez - 2º módulo”, iniciar as discussões do 3º módulo.
2. Realizar a leitura atenta do “Texto informativo 2: O gene TAS2R38 e a percepção do gosto amargo da PTC”.
3. Explicar que, devido à infraestrutura especializada necessária e os altos custos, os testes moleculares não poderão ser realizados na turma de aplicação.
4. Para resolução do 3º módulo, usar as informações das análises moleculares fornecidas nesse Estudo de Caso.
5. Analisar atentamente as tabelas 4 e 5.
6. Analisar os gráficos 8, 9, 10, 11 e 12.
7. Realizar a leitura atenta do texto final “Amargo é sempre amargo? Realmente, é tão ruim?”
8. Ao final das análises do 3º módulo, a atividade “Agora é sua vez”, será realizada. Ela deverá ser respondida pelos grupos.

Agora é sua vez - 3º módulo: Após a realização das atividades nos três módulos da optativa “Explorando a variação na percepção gustativa: da genética à experiência sensorial”, qual deverá ser a decisão na escola: o novo cardápio deve ser mantido ou cancelado? Responda justificando sua escolha. Para que sua justificativa fique completa, seu texto deverá conter os termos DNA, gene, alelos, genótipo, fenótipo, homocigoto, heterocigoto e variação genética.

SUGESTÕES COMPLEMENTARES

1. Ao estudar as variações na sequência do gene, poderão ser revisados os conceitos de éxon, íntron, mutação, homocigoto, heterocigoto, genótipo, fenótipo, transcrição gênica e tradução gênica.
2. Os estudantes poderão investigar as consequências da substituição dos pares de base do gene TAS2R38. Para isso, deverão consultar a tabela do código genético e verificar quais aminoácidos serão codificados em cada haplotipo. Caso necessário, consultar as referências na bibliografia.
3. A atividade poderá ser encerrada com uma pesquisa sobre a importância da alimentação saudável.
4. Sugerimos que, em cada situação de aplicação, os estudantes que estão solucionando o Estudo de Caso criem o material de apresentação à comunidade escolar, dessa forma poderá ser verificado a aprendizagem e a realização da avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTÔNIO, Bárbara Cunha Padilha; FREITAS, Denise de; PERIPATO, Andréa Cristina. Os brócolis são amargos? Um modelo didático para abordar sensibilidade ao PTC. *Genética na Escola*, v. 18, n. 2, p. 122-132, 2023.

CHAMOUN, Elie et al. A review of the associations between single nucleotide polymorphisms in taste receptors, eating behaviors, and health. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 58, n. 2, pág. 194-207, 2018.

FOX, Arthur L. The relationship between chemical constitution and taste. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, v. 18, p. 115-120, 1932.

FRANZOLIN, Fernanda et al. Human genetics and didactic transposition: the expression of skin color, eye color, and height in Brazilian and Portuguese textbooks. *Conexão Ci*, v. 12, n. esp. 2, p. 185-192, 2017.

FRANZOLIN, Fernanda et al. Complexidade genética e a expressão da cor da pele, cor dos olhos e estatura humana: transposição didática. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.25, n.1, p. 239 - 261, 2020.

FREIRE, Ingrid Souza; LIMA, Fernanda Costa Vinhaes. O teste de sensibilidade à feniltiocarbamida (PTC) usado como prática lúdica no ensino de genética. *Universitas: Ciências da Saúde*, v. 7, n. 1, p. 45-56, 2009.

JILANI, Hannah et al. Correlates of bitter, sweet, salty and umami taste sensitivity in European children: Role of sex, age and weight status-The IDEFICS study. *Appetite*, v. 175, p. 106088, 2022.

KHAN, Asim Mustafa et al. Correlation of PTC taste status with fungiform papillae count and body mass index in smokers and non-smokers of Eastern Province, Saudi Arabia. *International journal of environmental research and public health*, v. 17, n. 16, p. 5792, 2020.

KIM, Un-kyung; DRAYNA, Dennis. Genetics of individual differences in bitter taste perception: lessons from the PTC gene. *Clinical genetics*, v. 67, n. 4, p. 275-280, 2004.

KIM, Un-kyung et al. Positional cloning of the human quantitative trait locus underlying taste sensitivity to phenylthiocarbamide. *Science*, v. 299, n. 5610, p. 1221-1225, 2003.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MCDONALD, John H. Myths of Human Genetics. Baltimore: Sparky House Publishing, 2011. University of Delaware. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.711.5109&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em 23/05/2022.

OMIM, Online Mendelian Inheritance in Man. 607751 TASTE RECEPTOR, TYPE 2, MEMBER 38; TAS2R38. Disponível em: <https://www.omim.org/entry/607751>. Acesso em: 13 jan. 2023.

RISSO, Davide S. et al. Global diversity in the TAS2R38 bitter taste receptor: revisiting a classic evolutionary PROPosal. Scientific reports, v. 6, n. 1, p. 25506, 2016.

SCHIMIDT, Isabelly Lima et al. Sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida. Revista Brasileira de Pesquisa em Saúde, v. 1, pág. 148-156, 2018.

SMAIL, Harém Othman. The roles of genes in the bitter taste. AIMS genetics, v. 6, n. 04, pág. 088-097, 2019.

UNIVERSITY OF UTAH. PTC: The Genetics of Bitter Taste. Learn Genetics. Disponível em: <https://learn.genetics.utah.edu/content/basics/ptc/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MATERIAIS PARA SEREM IMPRESSOS



EXPLORANDO A VARIAÇÃO NA PERCEPÇÃO GUSTATIVA: DA GENÉTICA À EXPERIÊNCIA SENSORIAL

Fernanda Martins da Fonseca
Maria de Nazaré Klautau Guimarães



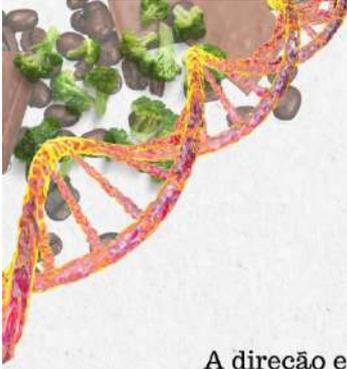
As páginas a seguir deverão ser impressas para os estudantes utilizarem na resolução de cada módulo do Estudo de Caso.



**EXPLORANDO A VARIAÇÃO NA PERCEPÇÃO GUSTATIVA:
DA GENÉTICA À EXPERIÊNCIA SENSORIAL**

Fernanda Martins da Fonseca
Maria de Nazaré Klautau Guimarães





A SITUAÇÃO PROBLEMA



A direção e professores de uma Escola de Ensino Médio, do programa de Educação em Tempo Integral, cientes da importância da alimentação escolar e preocupados com os altos índices de obesidade e problemas de saúde dos seus estudantes, lançaram um desafio de criar um programa de merenda escolar que fosse nutritivo, saboroso e economicamente viável, usando alimentos produzidos na região, sempre que possível. A equipe multidisciplinar, formada por nutricionista, agricultores locais, educadores, estudantes e demais funcionários da escola, elaborou um novo cardápio para garantir uma dieta equilibrada e variada que se baseava em alimentos frescos, integrais e locais, incluindo frutas, verduras, legumes e proteínas magras.

A nova merenda teve uma boa aceitação geral, porém parte dos estudantes observaram que alguns dos alimentos servidos tinham o sabor muito amargo, o que não foi percebido por outros colegas. Essa observação da variação no sabor dos alimentos se repetia todos os dias, principalmente em algumas verduras. O fato despertou a curiosidade de toda a equipe com o seguinte questionamento: por que motivo o sabor era diferente para alguns, se todos estavam ingerindo o mesmo alimento, preparado da mesma forma?

O fato gerou um grande dilema nessa comunidade escolar: o novo cardápio deve ser mantido ou cancelado?

1º MÓDULO - INVESTIGAÇÃO DAS PREFERÊNCIAS ALIMENTARES

INVESTIGANDO AS PREFERENCIAS ALIMENTARES		
1.Nome: _____		
2. Quais dos alimentos seguintes você gosta ou não gosta? Responda assinalando a opção que corresponde à sua preferência, pensando no alimento em sua versão individual, sem mistura com outros alimentos e condimentos.		
ALIMENTO	GOSTO	NÃO GOSTO
COUVE		
BRÓCOLIS		
COUVE - FLOR		
CAFÉ		
CHOCOLATE AMARGO		
RÚCULA		

1º MÓDULO - INVESTIGAÇÃO DAS PREFERÊNCIAS ALIMENTARES

INVESTIGANDO AS PREFERENCIAS ALIMENTARES		
1.Nome: _____		
2. Quais dos alimentos seguintes você gosta ou não gosta? Responda assinalando a opção que corresponde à sua preferência, pensando no alimento em sua versão individual, sem mistura com outros alimentos e condimentos.		
ALIMENTO	GOSTO	NÃO GOSTO
COUVE		
BRÓCOLIS		
COUVE - FLOR		
CAFÉ		
CHOCOLATE AMARGO		
RÚCULA		

1º MÓDULO

Tabela 1: Preferências alimentares

Estudante	Couve	Brócolis	Couve Flor	Café	Chocolate Amargo	Rúcula
E01	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E02	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E03	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E04	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E05	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E06	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E07	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E08	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E09	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E10	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto
E11	Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E12	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E13	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E14	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E15	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E16	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E17	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E18	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E19	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E20	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E21	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E22	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E23	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E24	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E25	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E26	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E27	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E28	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E29	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E30	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E31	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Gosto
E32	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E33	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto
E34	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E35	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E36	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E37	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto
E38	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto
E39	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Gosto	Não Gosto	Gosto
E40	Gosto	Gosto	Não Gosto	Não Gosto	Gosto	Não Gosto

Fonte: Autoria própria (2024)

1º MÓDULO

Questionamentos do 1º módulo

- 1- Qual a frequência das categorias gosto/ não gosto de cada alimento?
- 2- Qual o alimento que houve maior aceite (gosto)?
- 3- Qual o alimento em que houve menor aceite (não gosto)?
- 4- Qual a percentagem de estudantes que apresentaram aceite para todos os alimentos (categoria gosto)?
- 5- Qual a percentagem de estudantes apresentou nenhum aceite para todos os alimentos (categoria não gosto)?
- 6- Qual o número médio de alimentos que teve aceite pelos estudantes (categoria gosto)?

2º MÓDULO

Texto Informativo 1: Sensibilidade à Feniltiocarbamida (PTC)

"Alguns vegetais, como brócolis e rúcula, podem causar certa aversão em algumas pessoas por apresentarem um sabor amargo. Isso ocorre porque esses vegetais apresentam em sua composição a molécula de tiocianato, a mesma presente no composto químico da Feniltiocarbamida-PTC (C₇H₈N₂S). Essa substância pode ser percebida como extremamente amarga para algumas pessoas, e totalmente sem sabor para outras. A existência de variação na sensibilidade ao amargo da PTC foi descoberta acidentalmente na década de 30, quando Arthur Fox, ao trabalhar no laboratório, deixou escapar um pouco do pó de PTC que se espalhou no ar. Um dos colegas reclamou que a substância era muito amarga, enquanto Fox não sentiu sabor algum. Em seguida, vários testes foram realizados e a PTC ficou conhecida por sua capacidade de desencadear respostas gustativas distintas, em diferentes indivíduos. Atualmente, sabe-se que a variação na sensibilidade à PTC está relacionada a diferenças genéticas na proteína receptora do sabor amargo, presente nas nossas papilas gustativas. Os testes de percepção do sabor amargo com PTC são comumente empregados em estudos genéticos para investigar a sensibilidade ao amargo. Aqueles que são "sensíveis" percebem um sabor amargo, enquanto os "insensíveis" não conseguem detectar o sabor amargo. Além de seu uso em pesquisas científicas, os testes com PTC também são empregados em contextos educacionais para ilustrar a variabilidade na percepção do sabor entre os indivíduos. Esses experimentos destacam a influência dos fatores genéticos e fatores ambientais (não genéticos) na experiência gustativa e nas escolhas alimentares, vinculando-as a uma vida saudável".

A verificação da percepção ao amargo da PTC foi testada na amostra de estudo e os dados estão apresentados na Tabela 2. A classificação dos fenótipos foram: a) percepção ao gosto amargo como "sensível" mais o número da solução em que houve a percepção do amargo e b) a não percepção do gosto amargo em nenhuma das soluções como "insensível".

2º MÓDULO

Tabela 2: Dados da sensibilidade ao amargo da feniltiocarbamida

ESTUDANTE	Solução em que conseguiu detectar o amargo da PTC
E01	Sensível na solução 5
E02	Insensível
E03	Sensível na solução 6
E04	Sensível na solução 4
E05	Sensível na solução 3
E06	Sensível na solução 5
E07	Sensível na solução 4
E08	Sensível na solução 1
E09	Insensível
E10	Sensível na solução 4
E11	Sensível na solução 3
E12	Sensível na solução 5
E13	Sensível na solução 6
E14	Sensível na solução 2
E15	Sensível na solução 3
E16	Sensível na solução 5
E17	Sensível na solução 3
E18	Sensível na solução 6
E19	Sensível na solução 4
E20	Sensível na solução 4
E21	Sensível na solução 4
E22	Sensível na solução 4
E23	Sensível na solução 2
E24	Sensível na solução 4
E25	Insensível
E26	Insensível
E27	Insensível
E28	Sensível na solução 1
E29	Sensível na solução 1
E30	Sensível na solução 4
E31	Sensível na solução 2
E32	Sensível na solução 5
E33	Sensível na solução 5
E34	Sensível na solução 2
E35	Sensível na solução 2
E36	Sensível na solução 4
E37	Sensível na solução 4
E38	Sensível na solução 3
E39	Sensível na solução 3
E40	Sensível na solução 3

Fonte: Autoria própria (2024)

2º MÓDULO

QUESTIONAMENTOS DO 2º MÓDULO

- 1- Qual a frequência dos fenótipos sensíveis e insensíveis à PTC?
- 2- É possível classificar os indivíduos sensíveis em categorias: sensibilidade alta, sensibilidade média e baixa sensibilidade?
- 3- Existe associação entre “sensibilidade gustativa à PTC” e as “preferências alimentares”, observadas no módulo 1?

3º MÓDULO - ESTUDO E VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO GENOTÍPICA DO GENE DO RECEPTOR GUSTATIVO TAS2R38.

- **Questionamento:** Existe diferença genética que influencia na variação da capacidade de perceber o sabor amargo dos alimentos?
- **Metodologia:** Coleta de uma amostra das células bucais de cada indivíduo e envio ao laboratório parceiro, para realização de testes moleculares da variação do gene TAS2R38.
- **Estratégia de aplicação:** Leitura atenta do “Texto informativo 2” sobre variação do gene TAS2R38 e análise dos genótipos na amostra de estudo.
- **Discussão e Hipótese:** é esperado que as diferenças da percepção do sabor amargo da PTC sejam influenciadas pelo genótipo do gene TAS2R38.
- **Organização dos dados:** Os dados dos testes moleculares da variação do gene TAS2R38 devem ser organizados em uma tabela, para análise da associação dos genótipos e dos fenótipos da sensibilidade gustativa à PTC.
- **Análise dos dados:** observação atenta aos dados da tabela e análises estatísticas. Elaboração do relatório sobre o gene TAS2R38, a sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida e o consumo de alimentos amargos.
- Após a observação atenta dos testes moleculares da variação do gene TAS2R38, surgiram os seguintes questionamentos:
- Qual a frequência dos diferentes genótipos na amostra: indivíduos homocigotos PAV/PAV, heterocigotos PAV/AVI e homocigotos AVI/AVI?
- Qual a relação entre os genótipos e os fenótipos?
- Existe variação da sensibilidade gustativa (fenótipo) em indivíduos portadores de um mesmo genótipo?

3º MÓDULO

Texto informativo 2: O gene TAS2R38 e a percepção do gosto amargo da PTC

“O gene TAS2R38, localizado no cromossomo 7, é um dos fatores genéticos que influenciam na sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida (PTC). Esse gene possui 1002 pares de base, em um único éxon. Dentro do éxon, foram detectadas três variações de nucleotídeos, em três locais diferentes. Cada uma dessas variações ocorre devido à substituição de um único par de bases, que resultam na substituição de um aminoácido na proteína, alterando seu formato final e sua função. As variações são nas seguintes posições de aminoácidos da proteína: posição 49 houve troca da alanina pela prolina (A/P), na posição 262 houve troca da valina pela alanina (V/A) e na posição 296 houve troca da isoleucina pela valina (I/V). Essas três variações, levam a oito possíveis combinações que se conceitua como haplotipos. Os estudos desses haplotipos em populações, observaram que somente dois deles são os mais frequentes, são os haplotipos AVI (Alanina, Valina e Isoleucina) e PAV (Prolina, Alanina e Valina). Alguns trabalhos realizaram a avaliação da relação dos diferentes haplotipos com a sensibilidade ao gosto amargo da PTC e os resultados indicaram que a maioria dos indivíduos de genótipo homocigoto AVI/AVI são insensíveis à PTC, enquanto os indivíduos de genótipos heterocigotos AVI/PAV e homocigotos PAV/PAV são, em sua maioria, sensíveis ao sabor amargo da PTC. É importante lembrar que cada haplotipo codifica uma proteína receptora de sabor amargo que se expressa na superfície das papilas gustativas, ou seja, são quimiorreceptores encontrados na superfície da língua, que são estimulados por substâncias presentes nos alimentos. Os receptores traduzem estímulos gustativos químicos em sinais elétricos e os transmitem para as vias nervosas envolvidas no sentido do paladar, que por sua vez, transmitem a informação ao cérebro, onde há a percepção do sabor. Cada um dos haplotipos codifica uma proteína com estrutura ligeiramente diferente, o que influencia na forma de receber os estímulos gustativos. Cada indivíduo possui dois haplotipos para esse gene, desse modo, as diferentes combinações haplotípicas influenciam no grau de percepção, intensamente amargo, pouco amargo ou sem sabor algum. A seguir, o quadro 2, sintetiza as variações específicas no gene TAS2R38 e a sequência dos códons e aminoácidos alterados.

Tabela 3: Relação das variações no gene TAS2R38, os códons e aminoácidos alterados.

Posição do nucleotídeo no gene	Posição do aminoácido na proteína	Alteração do nucleotídeo Insensível/ Sensível	Mudança no códon Insensível/ Sensível	Mudança de aminoácido Insensível/ Sensível
145	49	G/C	GCA/ CCA	Alanina/ Prolina
785	262	T/C	GTT/ GCT	Valina/ Alanina
886	296	A/G	ATC/ GTC	Isoleucina/ Valina

Adaptado de: Explorando la genética del gusto: Análisis del SNP del gen PTC por PCR. Disponível em: <https://www.bioted.es/1-3-tecnicas-de-pcr/>

3º MÓDULO

Após a leitura do Texto Informativo 2 e a revisão dos aspectos genéticos da variação do gene TAS2R38, a professora forneceu a tabela com os dados dos genótipos, recebida do laboratório. Os estudantes acrescentaram os dados dos fenótipos à tabela. Esses dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Relação genótipo do gene TAS2R38 e fenótipo da sensibilidade à PTC

Estudante	Genótipo	Fenótipo
E01	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E02	AVI/ AVI	Insensível
E03	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E04	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E05	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E06	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E07	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E08	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E09	AVI/ AVI	Insensível
E10	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E11	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E12	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E13	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E14	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E15	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E16	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E17	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E18	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E19	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E20	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E21	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E22	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E23	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E24	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E25	AVI/ AVI	Insensível
E26	AVI/ AVI	Insensível
E27	AVI/ AVI	Insensível
E28	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E29	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E30	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E31	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E32	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E33	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E34	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E35	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E36	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E37	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E38	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E39	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E40	PAV/ AVI	Sensibilidade média

Fonte: Autoria própria (2024)

3º MÓDULO

Para compreender as relações entre os genótipos, fenótipos da sensibilidade ao amargo da PTC e as preferências alimentares, os estudantes da disciplina elaboraram a Tabela 4, onde sintetizaram todos os dados obtidos nessa investigação.

Tabela 4: Dados consolidados da amostra de todo estudo

Estudante	Quantidade de alimentos recusados	Concentração da solução que sentiu amargo da PTC	Genótipo	Fenótipo
E01	2	5	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E02	0	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E03	5	6	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E04	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E05	6	3	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E06	5	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E07	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E08	2	1	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E09	1	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E10	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E11	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E12	4	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E13	5	6	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E14	2	2	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E15	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E16	5	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E17	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E18	5	6	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E19	4	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E20	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E21	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E22	5	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E23	2	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E24	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E25	2	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E26	1	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E27	5	Insensível	AVI/ AVI	Insensível
E28	1	1	AVI/ AVI	Sensibilidade baixa
E29	0	1	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E30	4	4	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E31	2	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E32	4	5	PAV/ AVI	Sensibilidade alta
E33	5	5	PAV/ PAV	Sensibilidade alta
E34	3	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E35	4	2	PAV/ AVI	Sensibilidade baixa
E36	3	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E37	1	4	PAV/ PAV	Sensibilidade média
E38	4	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E39	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média
E40	3	3	PAV/ AVI	Sensibilidade média

Fonte: Autoria própria (2024)

Amargo é sempre amargo? Realmente, é tão ruim?

Alimentos de sabor amargo muitas vezes não fazem parte das preferências alimentares de algumas pessoas, que consideram o sabor extremamente desagradável e, por isso, rejeitam esses alimentos. Essa aversão ao sabor amargo pode ser atribuída a uma combinação de fatores genéticos e culturais como as experiências alimentares anteriores e os hábitos alimentares.

Sabe-se que o gene TAS2R38 é responsável pela codificação de um receptor que capta a percepção do sabor amargo na língua, que é estimulado por substâncias químicas específicas presentes nos alimentos. Essas substâncias químicas estão presentes em alimentos como brócolis, couve, rúcula e na feniltiocarbamida (PTC), o composto químico utilizado em testes de percepção de sabor amargo. Os estudos utilizando o teste da PTC apresentam percepções diferentes do gosto amargo, apresentando pessoas que sentem o sabor extremamente amargo, e outras, que a consideram insípida.

A variação do gene TAS2R38 está relacionada com a variação na sensibilidade à feniltiocarbamida (PTC). Na amostra desse estudo, os haplotipos mais comuns foram AVI e PAV. O haplotipo PAV está relacionado com a sensibilidade, a maioria dos indivíduos que possuem o genótipo homocigoto PAV/PAV ou heterocigotos PAV/AVI, expressam fenótipo sensível ao amargo da PTC, enquanto a maioria dos indivíduos de genótipo homocigoto AVI/AVI apresentam fenótipo de insensibilidade ao amargo da PTC.

Isso ocorre porque esses haplotipos codificam a proteína receptora do sabor amargo, de estrutura variável, que influencia na forma da ligação com as substâncias amargas. A combinação dos haplotipos de um indivíduo influenciará o modo que o sabor amargo será percebido, se intensamente, moderadamente ou sem nenhum sabor.

A sensibilidade à PTC e, conseqüentemente ao sabor amargo está, em parte, relacionada com as preferências alimentares já que muitos alimentos contêm compostos químicos de sabor amargo. Pessoas que são sensíveis ao amargo da PTC, com genótipos PAV/PAV ou PAV/AVI podem ter menor aceitação de alimentos amargos, como vegetais crucíferos (repolho, brócolis) e outros tipos de verduras. Por outro lado, aqueles com o genótipo AVI/AVI, por serem menos sensíveis ao amargo, podem ter uma aceitação maior para esses alimentos.

Na amostra de estudo, foi verificado que a maioria dos indivíduos participantes apresentou essa relação genótipo x fenótipo x escolhas alimentares. Porém, é preciso destacar que alguns dos participantes declararam escolhas alimentares diferentes do que era esperado. O estudante E07, genótipo PAV/PAV, fenótipo sensibilidade alta recusou apenas 3 alimentos, diferente dos demais participantes com esse mesmo genótipo/ fenótipo, que recusaram 5 ou 6 alimentos. Entre os heterocigotos PAV/AVI, também ocorreram algumas variações, E37, sensibilidade média, recusou apenas 1 alimento, enquanto os demais recusaram entre 3 e 5 alimentos. Já os indivíduos E32, E35 e E38, apesar de apresentarem o fenótipo de sensibilidade baixa, recusaram 4 tipos de alimentos, enquanto E29, com mesmo genótipo e fenótipo não recusou nenhum dos alimentos. Mas, o maior destaque entre os participantes do estudo foi o estudante E27, apesar de ter o genótipo AVI/AVI e fenótipo insensível, recusou 5 tipos de alimentos, mesma quantidade que a maioria dos indivíduos identificados como sensibilidade alta.

Esses resultados são muito importantes para o estudo, pois mostram que a variação no gene TAS2R38 explica parte da variação na sensibilidade ao sabor amargo. A característica estudada, percepção do sabor amargo, apresenta variação quantitativa e é classificada como um padrão de herança multifatorial, ou seja, a variação é explicada pela variação do gene principal TAS2R38, possivelmente com interação com outros genes e fatores ambientais, nesse caso, podemos citar as experiências alimentares e os hábitos culturais.

É importante lembrar que comer alimentos amargos, como brócolis e rúcula, pode trazer uma série de benefícios para a saúde, contribuindo para uma dieta equilibrada e promovendo o bem-estar geral. Além de fornecer uma variedade de nutrientes essenciais, esses alimentos contribuem para a diversidade alimentar e o equilíbrio nutricional, auxiliando na prevenção de diversas doenças e promovendo uma vida saudável. Experimentar novas maneiras de preparar e apreciar esses alimentos pode ser uma ótima maneira de aproveitar ao máximo seus benefícios nutricionais. O estímulo constante desse sabor leva a melhor aceitação e amplia a variedade alimentar, o que é saudável.

APÊNDICE B

A SENSIBILIDADE GUSTATIVA À FENILTIOCARBAMIDA (PTC) NO ENSINO DE GENÉTICA

LA SENSIBILIDAD GUSTATORIA A LA FENILTIOCARBAMIDA (PTC) EN LA ENSEÑANZA DE GENÉTICA

Fernanda Martins da Fonseca
Universidade de Brasília -UnB
fernandafonseca985@gmail.com

Maria de Nazaré Klautau Guimarães
Universidade de Brasília -UnB
nazaklautau@gmail.com

RESUMO

O uso de características humanas para ensinar genética torna o conteúdo mais atrativo e contextualizado. Esta pesquisa que tem como objetivo conhecer o uso da variação da sensibilidade gustativa à Feniltiocarbamida (PTC) no Ensino de Genética, foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica. A partir desse levantamento, constatou-se que a maioria dos documentos abordam o conhecimento científico atual que explica essa variação como uma característica complexa, de herança multifatorial. As atividades propostas nos documentos estimulam a curiosidade e a participação dos estudantes, estando adequadas às competências e habilidades previstas na BNCC.

Palavras-chave: genótipo; fenótipo; estratégia de ensino; sabor amargo.

Eixo temático: 2. Estratégias, materiais e recursos didáticos para o Ensino de Ciências e Biologia

Modalidade: pesquisa acadêmica.

RESUMEN

El uso de características humanas para enseñar genética hace que el contenido sea más atractivo y contextualizado. Esta investigación, que tiene como objetivo comprender el uso de la variación de la sensibilidad gustativa a la Feniltiocarbamida (PTC) en la Enseñanza de la Genética, se realizó a través de una revisión bibliográfica, se encontró que la mayoría de los documentos abordan conocimientos científicos actuales que explican esto. la variación como característica compleja, con herencia multifactorial. Las actividades propuestas en los documentos estimulan la curiosidad y la participación de los estudiantes, siendo adecuadas a las competencias y habilidades establecidas en el BNCC.

Palabras clave: genotipo; fenotipo; estrategia de enseñanza; sabor amargo.

Eje temático: 2. Estrategias, materiales y recursos didáticos para la Enseñanza de las Ciencias y la Biología.

Modalidad: investigación académica.

INTRODUÇÃO OU APRESENTAÇÃO

Na sociedade atual, a Ciência e a Tecnologia fazem parte do cotidiano e influenciam o modo como vivemos, pensamos e agimos, porém, os cidadãos apresentam dificuldades para entender e aplicar os conhecimentos científicos na resolução dos problemas sociais. Esse aspecto torna clara a importância da Educação Básica, em especial, a área de Ciências da Natureza, em se comprometer com a educação científica da população (BRASIL, 2018).

Na literatura de Ensino de Biologia, a área da Genética é considerada uma das mais difíceis de aprender e ensinar, principalmente devido aos conceitos abstratos e a falta de relação entre os níveis de estudo como: DNA, gene, cromossomos, alelos e fenótipo. Outro ponto preocupante é o distanciamento dos conteúdos curriculares em relação ao conhecimento científico atual (CARMAZINI, FREITAS, FARIA, 2014; OLIVEIRA, SILVA E ZANETTI, 2011).

Temp e Bartholomei-Santos (2018), relatam que a compreensão desses conceitos abstratos exige a capacidade de torná-los significativos e de conseguir estabelecer relações entre diferentes conteúdos, aliando-os a situações do cotidiano e à utilização de metodologias que promovem a motivação dos estudantes. Para a contextualização, as variações nas características humanas são apresentadas nos materiais escolares, principalmente nos livros didáticos. Porém, essa inclusão apresenta informações simplificadas, com erros conceituais em relação aos padrões de herança dessas características (BAIOTTO E DA SILVA LORETO, 2018; FRANZOLIN ET AL., 2020; MCDONALD, 2011).

A Feniltiocarbamida (PTC) é uma substância química que pode parecer muito amarga para algumas pessoas ou sem sabor para outras. A variação na capacidade de sentir o amargo da PTC é uma característica que envolve fatores genéticos e ambientais (KIM E DRAYNA, 2004; MCDONALD, 2011). O estudo dessa característica permite compreender a relação entre genótipo e fenótipo e suas interações com os hábitos culturais de alimentação como também, à percepção das frequências fenotípicas nas populações (SCHIMIT et al., 2018).

McDonald (2011), relata que o ensino da variação da sensibilidade à PTC ser explicada pela variação em um único gene (herança mendeliana simples) é uma forma inadequada. Os estudos científicos mostram que existem outros genes e que fatores ambientais também influenciam nessa sensibilidade, não podendo ocorrer a simples separação dicotômica fenotípica de pessoas sensíveis e não sensíveis ao sabor amargo da PTC.

A sensibilidade ou não à PTC, apresenta influência de fatores genéticos, entre eles, o gene do receptor gustativo do sabor amargo T2R, localizado no cromossomo 7. O gene T2R apresenta variação levando a troca de três aminoácidos no receptor gustativo e estão relacionados com as principais formas de percepção, ou não, do sabor amargo da PTC (KIM E DRAYNA, 2004).

A literatura científica apresenta que os receptores do sabor amargo na superfície das papilas gustativas monitoram o conteúdo de alimentos, bebidas e outras substâncias à medida que são ingeridos. Quando compostos amargos são encontrados, os receptores TAS2Rs respondem, desencadeando vias neurais que levam à percepção desse sabor (WOODING, RAMIREZ, BEHRENS, 2021). Chamoun et al. (2018), demonstraram que a variação no receptor do sabor amargo T2R38 interferem no sabor dos vegetais brássica como a couve, couve-flor, brócolis e que, pessoas capazes de provar intensamente o sabor amargo das brássicas, chamados de “supertasters” podem evitar o consumo desses vegetais.

Os hábitos alimentares em adultos e crianças são elemento determinante na interação entre os organismos e o ambiente. A ingestão de nutrientes é influenciada pelas diferenças genéticas relacionadas à capacidade de perceber os diferentes sabores, o que pode influenciar a saúde e o bem-estar. A relação entre o mecanismo do sabor amargo dos alimentos e os genótipos do gene TAS2R38 até agora não estão bem compreendidos, porém existem muitos fatores que afetam a percepção do sabor amargo, como alimentos, idade, sexo, algumas doenças, bebidas alcólicas e tabaco (CHAMOUN et al., 2018; SMAIL, 2019; WOODING, RAMIREZ E BEHRENS, 2021).

A utilização dessa característica foi considerada um bom modelo para ensinar Genética pois é uma característica humana de fácil observação, que desperta curiosidade e permite ao estudante aprender algo de si mesmo (MERRITT ET AL., 2008).

Em vista da dificuldade dos estudantes em compreender os vários conceitos abstratos e da importância da atualização do conhecimento científico, esta pesquisa apresenta como a variação na sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida (PTC) é aplicada, como estratégia didática, no Ensino da Genética.

3 OBJETIVOS

- 1- Identificar na literatura de ensino de ciências/ biologia como a característica da “Sensibilidade gustativa à PTC” é trabalhada no Ensino de Genética.
- 2- Realizar levantamento bibliográfico de materiais de ensino/aprendizagem que utilizam a característica “Sensibilidade gustativa à PTC”, no Ensino de Genética.
- 3- Elaborar um panorama geral após analisar os materiais de ensino/aprendizagem quanto à atualização do conhecimento científico e com os fundamentos da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

4 METODOLOGIA

4.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa qualitativa de caráter documental foi realizada analisando documentos publicados em um período de 8 anos, de 2015 a 2022, na busca de documentos (planos de aulas, vídeos, planos de cursos) e/ou artigos que tratam sobre a aplicação da variação da característica “Sensibilidade gustativa à PTC” no ensino de genética.

A pesquisa pelos documentos ocorreu por meio de busca online nas bases de dados eletrônicas PubMed e Google Acadêmico, utilizando os descritores “PTC TASTING GENETICS” e “TEACHING GENETICS PTC TASTING”, na língua portuguesa e inglesa, respectivamente. As análises foram realizadas de acordo com a análise de discurso de Bardin (BARDIN, 2016). Foram selecionados documentos que utilizam o conhecimento científico atualizado sobre a herança dessa característica, ou seja, que considera a variação como uma característica complexa, de herança multifatorial.

A escolha da busca nessas bases de dados foi pelo fato que nelas foi encontrado o maior número de documentos que tratavam da característica da variação da sensibilidade gustativa à PTC. Repositórios de práticas pedagógicas ou de educação apresentaram poucos trabalhos e, quando apareciam, não utilizavam o conhecimento científico atualizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão bibliográfica, foram selecionados dez documentos que tiveram o conteúdo analisado de acordo com o problema de pesquisa: Como a característica da “Sensibilidade gustativa à PTC” é trabalhada no Ensino de Genética. Essa foi a unidade de registro.

Após a leitura flutuante, na etapa de categorização, os elementos recortados foram agrupados conforme elementos em comum (BARDIN, 2016). Foram criadas a *posteriori*, seis categorias: 1 – Abordagem principal é o Ensino de Genética; 2 Explica variação gustativa como um padrão de herança multifatorial; 3 - Uso de técnicas de biologia molecular para identificar genótipos; 4 - Estudo do fenótipo por meio de fitas embebidas com solução de PTC; 5 – Atende a competência específica 3, da BNCC para Ciências da Natureza e 6 – Apresenta relação da variação na sensibilidade gustativa com outras características humanas. A verificação das categorias foi realizada nos artigos com a regra de contagem (presença ou ausência), segundo Bardin (2016).

A tabela 01 apresenta a chave de identificação dos materiais analisados, que estão designados por números (01, 02, 03...), precedidos da abreviação AE (artigos de ensino).

Tabela 01: “Identificação dos materiais analisados”

Código	Ano de publicação	Referência
AE01	2022	JEYE, Brittany. Build-Your-Own Sensation & Perception Lab Kits. 2022.
AE02	2021	BRENNER, Eric D. et al. Using the Integrated Genome Viewer to reveal amplicon-derived polymorphism enriched at the phenylthiocarbamide locus in the teaching lab. Biochemistry and Molecular Biology Education , v. 49, n. 3, p. 361-371, 2021.
AE03	2020	NEWMAN, Dina L.; CARDINALE, Jean; WRIGHT, L. Kate. Interactive video vignettes (IVVs) to help students learn genetics concepts. CourseSource , v. 7, 2020.
AE04	2020	SHANLE, Erin K.; TRUBITSYN, Denis. A Student-Focused Lab Module To Investigate Single-Nucleotide Polymorphisms of Common Heritable Traits. Journal of Microbiology & Biology Education , v. 21, n. 3, p. 70, 2020.
AE05	2018	BLAIR, Christopher. BIO2450L Genetics Laboratory Manual. 2018.
AE06	2016	BERNSEN, Christopher E. et al. Connecting common genetic polymorphisms to protein function: A modular project sequence for lecture or lab. Biochemistry and Molecular Biology Education , v. 44, n. 6, p. 526-536, 2016.
AE07	2016	MURRAY, J. M.; PIVARSKI, K.; HUNTER, T. Two complementary methods for genotyping taste receptor TAS2R38 in humans. Genetics Society of America Peer-Reviewed Education Portal , 2016
AE08	*	Bioted. Protocolo EXPLORANDO LA GENÉTICA DEL GUSTO: Análisis del SNP del gen PTC por PCR Ref.PCRPTC https://www.bioted.es/protocolos/EXPLORANDO-GENETICA-DEL-GUSTO.pdf
AE09	*	The Genetics of Taste A High School Activity for Teaching Genetics and the Scientific Method (High School Level) Developed by: Megan Brown, Ph.D., University of Washington . Provided by: Department of Genome Sciences . Education Outreach . University of Washington . http://gsoutreach.gs.washington.edu . Contents: • Genetics of Taste https://gsoutreach.gs.washington.edu/files/genetics_of_taste.pdf
AE10	*	BURKHART, Nancy W.; CAROL PERKINS, R. D. H. Are You A Supertaster? https://www.dentalcare.com/en-us/archived-course-pdf

Fonte: Autoria própria

*páginas da internet, não apresentam o ano de publicação.

5.1 Análise dos documentos em categorias

5.1.1 – Abordagem principal é o Ensino de Genética

As atividades apresentadas nos documentos AE01, AE02, AE03, AE04, AE06, AE09 têm como foco o Ensino de Genética. AE01 e AE09 trabalham principalmente a identificação de fenótipos. Em AE03 o objetivo é aprender vários conceitos de genética, descrever a relação entre genes, alelos, proteínas e características, conceituar a relação genótipo fenótipo e conceituar corretamente os termos dominante e recessivo. Já em AE02, AE04 e AE06, além de trabalhar os conceitos básicos da genética, associam esses conceitos a técnicas de biologia molecular, demonstrando na prática a relação entre genótipo e fenótipo.

AE05 e AE09 têm como foco as técnicas de biologia molecular e usam a variação do gene TAS2R38 para realização das atividades, enquanto AE10 é focado na especialização de profissionais de saúde bucal, preparando-os para classificação dos tipos de provadores, com base na percepção ou não do sabor amargo.

5.1.2 Explica a variação gustativa como herança multifatorial

Os documentos AE02, AE04, AE05, AE06, AE07, AE09 e AE10 apresentam a característica como de Herança Multifatorial ao estabelecer a relação entre o genótipo do gene TAS2R38 e outros fatores para expressão dos fenótipos. A sensibilidade gustativa à PTC apresenta um espectro amplo de fenótipos que é influenciada pela variação gênica, a qual pode influenciar as escolhas alimentares. Esse aspecto do conhecimento atual contrasta com a ideia anterior que explicava a variação como um modelo de Herança Mendeliana simples, o que ainda é citado nos documentos AE03 e AE08.

A literatura apresenta que essa simplificação para explicar a variação, quando utilizada no ensino de ciências, leva a uma visão determinista da Genética. A partir da realização dessas atividades, os estudantes podem perceber que os genótipos do gene nem sempre, correspondem aos fenótipos esperados, pois outros fatores também estão envolvidos, como ambiente, interação com outros fatores genéticos e os hábitos alimentares de uma comunidade.

Alguns dos documentos apresentam a associação da percepção gustativa à PTC com o tamanho e número das papilas gustativas e as escolhas alimentares, o que torna difícil a identificação de um fenótipo preciso.

5.1.3 - Uso de técnicas de biologia molecular para identificar os genótipos

A identificação da variação genética por meio de técnicas de Biologia Molecular foi verificada na maioria dos artigos (07 em 10). A Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), digestão com enzimas de restrição e eletroforese foram utilizadas em amostras de DNA de células bucais ou de cabelo, coletadas dos próprios estudantes. Apesar de serem técnicas

extremamente interessantes, tornando o ensino contextualizado, muito atrativo e despertando o interesse, são de difícil execução devido ao alto custo e necessita de equipamentos especializados. Por esse motivo, as análises foram realizadas em apenas um dos três SNP do gene TAS2R38.

O documento AE03, apresenta as sequências de DNA dos alelos e dos aminoácidos das proteínas para comparação e análise pelos estudantes. É uma atividade relevante porque exercita o conhecimento de como as variações no gene podem resultar na produção de proteínas com aminoácidos diferentes, alterando sua estrutura final, e conseqüentemente, influenciando na expressão da característica. É uma proposta viável, principalmente quando não é possível a realização de análises moleculares.

Desse modo, conhecendo a realidade do nosso país, verifica-se a necessidade da construção de uma proposta de ensino que apresente alternativas possíveis de serem executadas, porém, que não percam a ideia central de apresentar as variações na molécula de DNA e suas conseqüências na sequência da proteína e no fenótipo do indivíduo.

5.1.4 Estudo do fenótipo por meio de fitas embebidas com solução de PTC

A maioria dos documentos (AE01, AE02, AE05, AE06, AE07, AE08 e AE09) sugere o teste do fenótipo com as fitas de PTC, com solução de concentração única. Em quatro dos documentos, o estudo dos fenótipos (sensível e não sensível ao amargo da PTC), é realizado primeiro com teste negativo (fita controle embebida em água) e, após, é testada a fita com PTC. No documento AE05, a proposta de classificação é de sensibilidade forte, sensibilidade fraca e não sensível. Essa classificação é mais interessante, pois faz referência à existência de um espectro de fenótipos quanto à sensibilidade gustativa à PTC.

O documento AE03, sugere a realização dos testes com as fitas para investigar os fenótipos, sensível e não sensível, com pessoas convidadas em uma feira de ciências, realizada na escola. Dessa maneira, é possível registrar a frequência dos fenótipos em uma amostra populacional.

A identificação da sensibilidade gustativa com as fitas de PTC em uma só concentração não permite perceber a variação da sensibilidade, obtendo apenas um resultado dicotômico, o que não corresponde à variedade de fenótipos existentes nas populações, como relatado na literatura científica.

Não foi observado, em nenhum dos documentos, a verificação dos fenótipos com o uso de soluções de PTC em diferentes concentrações. Esse tipo de teste foi utilizado no início dos

estudos com a PTC e apresenta resultado mais próximo da realidade da percepção gustativa ao amargo, uma vez que os limiares de sensibilidade à PTC são muito variáveis entre as pessoas.

5.1.5 Atende a competência específica 3, da BNCC para Ciências da Natureza

Os documentos AE02, AE03, AE04, AE05, AE06, AE07 e AE09 estão em conformidade com a competência 3 da BNCC para Ciências da Natureza, as atividades promovem a investigação de situações problema e estimulam a curiosidade, relacionam conhecimentos prévios e conceitos científicos para proposição de hipóteses e solução dos problemas. Promovem também o desenvolvimento da linguagem científica e a capacidade de comunicação do conhecimento adquirido. As atividades apresentadas nesses documentos são relevantes para o Ensino de Genética, pois promovem a participação ativa no aprendizado dos conceitos científicos.

Os outros documentos não atendem aos requisitos da competência 3 da BNCC, uma vez que são atividades que não envolvem a solução de problemas ou investigação científica, nem a comunicação dos resultados, apenas indicam como a atividade deve ser realizada, sem exigir mobilização de conhecimentos prévios.

5.1.6 Apresenta relação da variação na sensibilidade gustativa com outras características humanas

A variação na sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida está associada às escolhas alimentares nos documentos AE02, AE06, AE07, AE09 e AE10. Esses documentos consideram que, as pessoas que conseguem perceber o sabor amargo da PTC tendem a apresentar recusa por alimentos de sabor amargo, e, têm maior aversão ao tabaco. AE09 e AE10 também associam a característica com a quantidade de papilas gustativas, quanto maior a densidade de papilas, maior será a capacidade de perceber o sabor amargo. Essa atividade é de fácil realização, sendo uma forma complementar para identificação da sensibilidade à feniltiocarbamida.

A associação com outras características humanas torna o estudo mais interessante e contextualizado, visto que demonstra a existência de relação entre a sensibilidade gustativa com escolhas de estilo de vida, como uso de tabaco e hábitos alimentares, que tem impacto direto na saúde da população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da característica variação na sensibilidade gustativa à PTC é uma excelente estratégia para ensinar genética, é uma característica humana facilmente observável, que

desperta o interesse e contextualiza o ensino. Proporciona uma abordagem prática e visual para a exploração dos princípios básicos da hereditariedade e promove uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos genéticos fundamentais. Portanto, sua inclusão nas aulas de Genética pode enriquecer significativamente a experiência de aprendizado dos estudantes e prepará-los para uma compreensão mais avançada e crítica da genética humana.

É importante ressaltar que, durante a etapa de levantamento bibliográfico, para o período pesquisado (2015 a 2022), foram encontradas atividades realizadas em escolas brasileiras, que utilizavam a variação na sensibilidade gustativa à PTC no Ensino de Genética, porém foram descartadas por não utilizarem o conhecimento científico atualizado.

A partir disso, percebe-se a relevância e necessidade de se atualizar a forma de ensino, criando materiais didáticos que permitam ensinar genética, aproximando os materiais didáticos ao conhecimento científico atual, considerando a base molecular das variações fenotípicas e os outros fatores envolvidos na expressão das características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIOTTO, Cléia Rosani; DA SILVA LORETO, Élgion Lucio. Caracteres Humanos Herdados utilizados no Ensino de Genética em Livros Didáticos. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 4, 2018.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016, 229 p.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

CARMAZINI, Valéria Cristina Barbosa; FREITAS, Janaína Laira.; FARIA, Rafael César Bolleli. Levantamento e análise dos objetos de aprendizagem de conteúdos de biologia no RIVED. **Congresso Ibero-americano de Ciência, Tecnologia, Inovação e Educação**. Buenos Aires, novembro de 2014.

CHAMOUN, Elie et al. A review of the associations between single nucleotide polymorphisms in taste receptors, eating behaviors, and health. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 58, n. 2, pág. 194-207, 2018.

FRANZOLIN, Fernanda et al. Complexidade genética e a expressão da cor da pele, cor dos olhos e estatura humana: transposição didática. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.25, n.1, p. 239 – 261, 2020.

KIM, UK.; DRAYNA, Dennis. Genetics of individual differences in bitter taste perception: lessons from the PTC gene. **Clinical genetics**, v. 67, n. 4, p. 275-280, 2004.

MCDONALD, John H. Myths of Human Genetics. **Baltimore: Sparky House Publishing**, 2011. University of Delaware. Disponível em:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.711.5109&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em 23/05/2022.

MERRITT, Robert B. et al. Tasting phenylthiocarbamide (PTC): a new integrative genetics lab with an old flavor. **The American Biology Teacher**, v. 70, n. 5, 2008.

OLIVEIRA, Thais Benetti; SILVA, Caio Samuel Franciscati da; ZANETTI, Josiane de Cássia. Pesquisas em Ensino de Genética (2004-2010). **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Campinas, 2011.

SCHIMIDT, Isabelly Lima et al. Sensibilidade gustativa à feniltiocarbamida. **Revista Brasileira de Pesquisa em Saúde**, v. 1, pág. 148-156, 2018.

SMAIL, Harém Othman. The roles of genes in the bitter taste. **AIMS genetics**, v. 6, n. 04, pág. 088-097, 2019.

TEMP, Daiana Sonogo; BARTHOLOMEI-SANTOS, Marlise Ladvocat. O ensino de Genética: a visão de professores de Biologia. **Rev. Cient. Schola**, v. 2, n. 1, p. 83-95, 2018.

WOODING, Stephen P.; RAMIREZ, Vicente A.; BEHRENS, Maik. Bitter taste receptors: Genes, evolution and health. **Evolution, Medicine, and Public Health**, v. 9, n. 1, p. 431-447, 2021.