



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE PORTO ALEGRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO**

Daniela Rigo

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE EXPOSIÇÃO À
ACRILAMIDA NA POPULAÇÃO BRASILEIRA: IMPACTO
DO CONSUMO DE BISCOITOS ULTRAPROCESSADOS À
BASE DE FARINHA DE TRIGO**

PPGNut

**Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Nutrição**

UFCSPA

**Porto Alegre
2024**

DANIELA RIGO

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE EXPOSIÇÃO À ACRILAMIDA NA POPULAÇÃO
BRASILEIRA: IMPACTO DO CONSUMO DE BISCOITOS ULTRAPROCESSADOS À
BASE DE FARINHA DE TRIGO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Ciências da
Nutrição, pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Nutrição da Universidade Federal de
Ciências da Saúde de Porto Alegre.

Orientadora: Prof. Dr^a Manuela Poletto Klein

Coorientadora: Prof. Dr^a Poliana Deyse Gurak

PORTO ALEGRE

2024

Catálogo na Publicação

Rigo, Daniela

Avaliação do risco de exposição à acrilamida pela população
brasileira : Impacto do consumo de biscoitos ultraprocessados à base de
farinha de trigo / Daniela

Rigo. -- 2024.

77 f. : il., tab. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Federal de Ciências da Saúde de
Porto Alegre, Programa de
Pós-Graduação em Ciências da Nutrição, 2024.

Orientador(a): Manuela Poletto Klein;
coorientador(a): Poliana Deyse Gurak .

1. Acrilamida . 2. Carcinogenicidade. 3. Exposição dietética . 4. QuEChERS . 5.
Neurotoxicidade. I. Título.

Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFCSPA com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha orientadora Manuela e à coorientadora Poliana por me transmitirem e me ensinarem seus conhecimentos de forma tão gentil e amável. Também agradeço pela forma que me acolheram e pela paciência que tiveram comigo, mesmo nos momentos que tive dificuldade em compreender alguma coisa. Ainda, sou grata por terem me ajudado em diversas situações que precisei fora do âmbito acadêmico, mesmo não sendo uma obrigação delas.

Também sou imensamente grata a minha colega Denise por ter me ensinado tudo em relação ao protocolo de extração de acrilamida, por ter me acompanhado nas análises e por ter se tornado grande amiga, atendendo sempre às minhas ligações quando preciso de ajuda. Agradeço às minhas colegas Bruna e Fernanda por terem me auxiliado nas extrações, contribuindo principalmente na finalização deste mestrado.

Sou grata a todos funcionários da UFCSPA e a todos os técnicos dos laboratórios por onde passei, em especial aos técnicos do laboratório 301, as técnicas do laboratório 317 e aos técnicos da Central Analítica, destacando a técnica Camila, os bolsistas de apoio técnico Wendell e Sofia, e o professor Josias que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço também aos amigos que fiz no projeto voluntário intitulado Panific-Ação, carinhosamente apelidados de amigos da UFCSPÃO. Foi muito bom conhecer pessoas tão generosas, divertidas e acolhedoras num momento tão delicado e difícil que foi o período das enchentes no Rio Grande do Sul.

Faço os meus agradecimentos às minhas amigas Kamila, Ana Clara, Raquel e Rafaela, que mesmo longe, se fazem presente na minha vida. Sou feliz e tenho sorte por ter amigas tão especiais e que estão comigo em todos os momentos que preciso.

Sou grata à professora Raiana, que na minha graduação acreditou que eu seria capaz de entrar no mestrado, além de ter me dado dicas de como prosseguir nas etapas do processo seletivo. Sem ela, eu não teria conhecido o mundo da pesquisa.

Agradeço à minha irmã Ana Paula e ao meu irmão Pedro Jr. por sempre me apoiarem de diversas formas e torcerem pelo meu sucesso. Eu não poderia ter pessoas mais incríveis para serem meus irmãos.

E mais do que nunca, serei para sempre grata ao meu pai e minha mãe, que mesmo nas dificuldades não mediram esforços para que eu saísse do Espírito Santo e me mudasse para outro estado a fim de realizar o meu sonho de ingressar no mestrado. Não consigo descrever em palavras a alegria e gratidão que sinto por possuir pais tão maravilhosos que poucas pessoas têm a oportunidade de ter. Espero que um dia eu consiga retribuir aos meus pais todas as coisas boas que

eles fizeram e fazem por mim hoje.

SUMÁRIO

FORMATO DA DISSERTAÇÃO.....	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	8
1. REVISÃO DA LITERATURA.....	9
1.1 Propriedades e usos da acrilamida.....	9
1.2 Mecanismos e fatores que influenciam na formação de acrilamida em alimentos.....	9
1.3 Teor de acrilamida encontrado em alimentos.....	10
1.4 Intervenções para evitar a formação de acrilamida em alimentos.....	16
1.5 Legislação sobre acrilamida em alimentos.....	17
1.6 Riscos à saúde humana.....	19
1.7 Parâmetros utilizados na estimativa do risco.....	21
1.7.1 Menor dose de referência – BMDL10 (benchmark lower dose).....	21
1.7.2 Margem de exposição (MOE).....	21
1.8 Dados de consumo alimentar no Brasil.....	22
1.9 Estimativa de ingestão de acrilamida.....	23
1.12 Exposição dietética por meio de produtos de panificação.....	32
1.13 Estratégias para redução da formação de acrilamida em biscoitos.....	37
1.13.1 Uso da L-Asparaginase.....	37
1.13.2 Uso de probióticos.....	37
1.13.3 Substituição total ou parcial de bicarbonato de amônio.....	38
2. OBJETIVOS.....	39
2.1. Objetivo geral.....	39
2.2 Objetivos específicos.....	39
3. JUSTIFICATIVA.....	40
4. REFERÊNCIAS.....	41
5. ARTIGO.....	48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ACR	Acrilamida
BMDL ₁₀	<i>Benchmark Lower Dose</i> - Dose Mais Baixa de Referência
CCFAC	<i>Codex Committee on Food Additives and Contaminants</i> - Comitê do Codex sobre Aditivos Alimentares e Contaminantes
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i> - Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos
JFCA	<i>The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives</i> - Comitê de Especialistas em Aditivos Alimentares da FAO/OMS
MOE	<i>Margin of Exposure</i> - Margem de Exposição
NOAEL	<i>No-observed-effect level</i> - Nível sem efeito adverso observado
p.c	Peso Corpóreo
POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares
QuEChERS	<i>Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe</i> - Rápido, Fácil, Barato, Eficaz, Robusto e Seguro
UPLC-ESI-MS/MS	<i>Ultra-performance Liquid Chromatography-electrospray Tandem Mass spectrometry</i> - Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas com fonte de Ionização por Electrospray

FORMATO DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação foi elaborada a partir da normativa de instrução para trabalho final do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Nutrição da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, englobando os elementos obrigatórios que compõe um trabalho científico, elementos estes que podem ser conferidos no site institucional

(<https://www.ufcspa.edu.br/documentos/ppg/nutricao/normativa-instrucao-trabalho-final.pdf>).

A dissertação também é constituída pelo artigo científico original do projeto desenvolvido ao longo do mestrado. O artigo intitulado *Assessment of Acrylamide Exposure Risk in the Brazilian Population: Impact of Consuming Ultra-Processed Wheat Flour Snacks* segue as normas de formatação do periódico *Food Control* de Qualis A1 em Ciência de Alimentos, no qual, após a apreciação da banca, ele será submetido para publicação. As instruções a respeito da submissão estão descritas no endereço eletrônico da revista (<https://www.sciencedirect.com/journal/food-control/publish/guide-for-authors>).

RESUMO

A acrilamida (ACR) é um composto químico formado em alimentos ricos em carboidratos, e aminoácidos, sendo este último especificamente a asparagina, quando são submetidos a temperaturas superiores a 120°C. Seu principal mecanismo de formação é por meio da reação de Maillard. A acrilamida está presente em uma grande gama de alimentos, porém ela é encontrada em maiores quantidades nos produtos de panificação, batata frita, cereais e café. No entanto, devido aos seus possíveis efeitos carcinogênicos, neurotóxicos e prejudiciais à reprodução humana, evidenciados na literatura, o consumo deste composto tem demonstrado preocupação. Assim, o objetivo principal deste estudo foi determinar o teor de acrilamida em biscoitos ultraprocessados à base de farinha de trigo e avaliar o risco de exposição dietética à acrilamida pela população brasileira. A seleção das amostras se deu a partir de uma pesquisa referente ao consumo dos produtos em questão no Brasil. O preparo da amostra para análise foi feito pelo método de Rápido, Fácil, Barato, Eficaz, Robusto e Seguro (QuEChERS - *Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe*) e a quantificação de acrilamida foi por meio de Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplada a Espectrometria de Massas com fonte de Ionização por Electrospray (UPLC-ESI-MS/MS - *Ultra-performance Liquid Chromatography-electrospray Ionization-tandem Mass Spectrometry*). Em seguida, foi calculada a estimativa de ingestão de acrilamida usando dados de consumo dos produtos ultraprocessados à base de farinha de trigo extraídos da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), e a margem de exposição (MOE) à acrilamida foi determinada. Onze amostras foram selecionadas, sendo representadas por biscoito de maizena (n=4), biscoito de água e sal (n=4) e biscoito recheado (n=3). Os teores de ACR encontrados variaram de 56,87 µg/kg a 900,16 µg/kg. No total, oito amostras apresentaram concentrações superiores aos níveis médios referenciados pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) e destas, quatro amostras excederam os valores máximos referenciados pela regulamentação da Comissão Europeia (CE), sendo estas amostras de biscoitos de amido de milho. Os valores da estimativa ingestão média diária de ACR a partir do consumo de biscoitos de água e sal, biscoitos de amido de milho e biscoitos recheados não apresentaram riscos de exposição quanto a efeitos neurotóxicos para ambas as faixas etárias, visto que não houve valores de MOEs inferiores a 125. Entretanto, a estimativa de ingestão de ACR a partir do consumo de biscoito recheado apresentou um risco aumentado de exposição a efeitos carcinógenos para adolescentes. O biscoito de água e sal e biscoito de amido de milho apresentaram risco aumentado de exposição a efeitos carcinogênicos, assim como o consumo de todos os biscoitos no mesmo dia, para todas as faixas etárias já que foi evidenciado MOEs abaixo de 10.000.

Palavras-chave: Acrilamida. Carcinogenicidade. Exposição dietética. QuEChERS. Margem de exposição. Neurotoxicidade.

ABSTRACT

Acrylamide (ACr) is a chemical compound formed in foods rich in carbohydrates and amino acids, the latter specifically asparagine, when they are subjected to temperatures above 120°C. Its main formation mechanism is through the Maillard reaction. Acrylamide is present in a wide range of foods, but it is found in greater quantities in bakery products, French fries, cereals and coffee. However, due to its possible carcinogenic, neurotoxic and reproductive-damaging effects, evidenced in the literature, its consumption has been a cause for concern. Thus, the main objective of this study was to determine the acrylamide content in ultra-processed cookies made from wheat flour and to assess the risk of dietary exposure to acrylamide by the Brazilian population. The samples were selected based on a survey regarding the consumption of the products in question in Brazil. The sample preparation for analysis was performed using the Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe (QuEChERS) method, and acrylamide quantification was performed using Ultra-performance Liquid Chromatography-electrospray Ionization-tandem Mass Spectrometry (UPLC-ESI-MS/MS). Then, the estimated acrylamide intake was calculated using consumption data for ultra-processed wheat flour-based products extracted from the Household Budget Survey (POF), and the margin of exposure (MOE) to acrylamide was determined. Eleven samples were selected, represented by cornstarch biscuits (n=4), water and salt biscuits (n=4) and filled biscuits (n=3). The levels of ACR found ranged from 56.87 µg/kg to 900.16 µg/kg. In total, eight samples presented concentrations higher than the average levels referenced by the European Food Safety Authority (EFSA) and of these, four samples exceeded the maximum values referenced by the European Commission (EC) regulations, these being samples of cornstarch biscuits. The values of the estimated average daily intake of ACR from the consumption of water and salt biscuits, cornstarch biscuits and filled biscuits did not present risks of exposure regarding neurotoxic effects for both age groups, since there were no MOE values below 125. However, the estimated intake of ACR from the consumption of filled biscuits presented an increased risk of exposure to carcinogenic effects for adolescents. Water and salt crackers and cornstarch crackers presented an increased risk of exposure to carcinogenic effects, as did the consumption of all crackers on the same day, for all age groups, since MOEs below 10,000 were evidenced. The consumption of filled crackers also offered a risk of exposure to carcinogenic effects.

Keywords: Acrylamide. Carcinogenicity. Dietary exposure. QuEChERS. Margin of exposure. Neurotoxicity.

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Propriedades e usos da acrilamida

A acrilamida (ACR) é monômero sólido, constituído por flocos cristalinos brancos e inodoros, solúvel em água, metanol, etanol, acetona, acetato de etila, benzeno e heptano, comumente obtida a partir da hidratação da acrilonitrila e vem sendo produzida comercialmente pela indústria desde 1950 (EPA, 2007). A ACR é substância intermediária na produção de metilacrilamida e usada primariamente na síntese de poliacrilamidas, que são macromoléculas formadas por reações de polimerização. Por sua vez, as poliacrilamidas, possuem aplicabilidades como agentes flocculantes na clarificação e purificação de água; no tratamento de esgotos e efluentes; no condicionamento do solo para a construção de represas e como agente selante em construções civis. São comumente usadas também na indústria têxtil, de papel, madeira, cosméticos (Cristina et al., 2004).

1.2 Mecanismos e fatores que influenciam na formação de acrilamida em alimentos

A reação de Maillard gera a acrilamida como resultado de interações entre a carbonila de açúcares redutores e a fração amino da asparagina livre em temperaturas superiores a 120 °C. Com isso, é evidenciado que a asparagina é um precursor imprescindível na formação de acrilamida em diferentes alimentos que são assados e fritos. De fato, o carbono e o nitrogênio da acrilamida se originam de partes da molécula de asparagina (Yuan et al. 2011).

A ACR pode ser formada durante o processamento térmico de alimentos pela decomposição da asparagina via desaminação e mecanismos de descarboxilação, na presença de uma fonte de carbonila, o rendimento de ACR proveniente da asparagina é maior (Nematollahi et al. 2021). Além disso, a ACR pode ser originada a partir da desaminação da 3-aminopropionamida (3-APA), um composto intermediário na reação de Maillard. Também, a reação entre asparagina ou metionina e compostos reativos dicarbonil produzem aldeídos, através da degradação de Strecker, que também estão envolvidos na geração de ACR via reação de Maillard (Xu et al., 2014; Mogol et al., 2021).

Outra via de formação da ACR é a via da acroleína e dos ácidos acrílicos, que são formados através da degradação de gorduras e desidratação do glicerol, seguido de reação com a amônia derivada da degradação da asparagina e outros aminoácidos (Khorshidian et al., 2020).

Alguns fatores podem interferir na formação de acrilamida como, por exemplo, na composição da matéria-prima e as condições de processamento dos alimentos. As matérias-primas vegetais, como batatas, podem impactar na formação de acrilamida em razão da presença de alta concentração de asparagina e açúcares redutores (glicose e frutose). Do mesmo modo, produtos a base de farinha de trigo também se destacam pelas consideráveis concentrações de acrilamida, uma vez que o trigo também apresenta grandes teores de asparagina livre e açúcares redutores (Zhang et al., 2024; Yuan et al., 2011).

As altas temperaturas empregadas em um tempo longo de aquecimento durante o processamento de alimentos também afetam a formação de ACR. Por isso, o processo de fritura aplicado em diversos produtos vegetais implica em altos teores de ACR (Xu et al., 2014; Nematollahi et al., 2021).

A fermentação também é um importante fator que influencia no surgimento de ACR. No geral, a fermentação de pães e outros produtos de panificação por bactérias lácticas pode contribuir para um menor teor de ACR se comparado pela fermentação por apenas levedura. Nesse sentido, sugere-se que as bactérias lácticas favorecem a redução do pH, ocasionando a redução da formação de ACR (Nachi et al., 2018; Mesias et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Outros fatores que afetam a concentração de ACR são o teor de água e o pH dos alimentos. Nesse sentido, a reação de Maillard pode atingir seu nível máximo em atividade de água intermediária (0,4–0,8), provocando uma maior geração de ACR. No que diz respeito ao pH, a forma de cadeia aberta do açúcar e a forma não protonada do grupo amino, consideradas as formas reativas, são favorecidas em pH mais elevado, podendo contribuir para um maior desenvolvimento de ACR durante a reação de Maillard. Quanto mais baixo o pH, mais grupo amino protonado está presente no equilíbrio e, portanto, menos reativo será com o açúcar (Martins et al., 2000; Xu et al., 2014; Lund & Ray, 2017).

1.3 Teor de acrilamida encontrado em alimentos

Ao longo dos anos, vários estudos se propuseram a avaliar a quantidade de ACR nos alimentos e os principais resultados destes estudos estão apresentados na Tabela 1 e serão descritos na sequência. Verma e Yadav (2022) determinaram a concentração ACR em batatas fritas, biscoitos industrializados (de marca, adquiridos em mercados locais) e biscoitos caseiros (adquiridos em padarias locais), que variaram de 123,36 µg/kg a 1143,15 µg/kg. As batatas fritas continham os valores mais altos de ACR, apresentando teores médios de 929,69 µg/kg.

Outra pesquisa estimou os teores de ACR em grupos alimentares na Eslovênia e o nível médio mais alto de ACR foi na categoria de petiscos do tipo salgadinhos (858,6 µg/kg), seguido por biscoitos e bolachas (do tipo *wafers*) (384,5 µg/kg), cereais matinais (288,9 µg/kg), café (185,5 µg/kg), pão torrado e pão (134,8 µg/kg). O café torrado (151,4–237,8 µg/kg) não ultrapassou os níveis de referência propostos pela Comissão Europeia. Estes níveis foram excedidos em 86 % para pão torrado e pão, em 80 % para cereais matinais, em 57 % para biscoitos e bolachas e em 31 % para petiscos do tipo salgadinhos (Mecin et al., 2020).

Tabela 1 - Teor de acrilamida em classes de alimentos diversos encontrados em diferentes países

Autor	Ano	Título do artigo	Alimento	Teor de ACR em µg/kg Média (mín. – máx.)	País
Verma e Yadav	2023	Teor de acrilamida em alimentos comerciais à base de amido utilizando cromatografia líquida de alta eficiência e sua associação com índice de escurecimento	Batatas fritas	929,69 (825,96–1143,15)	Índia
			Biscoitos de padaria	397,84 (126,33–664,90)	
			Biscoitos de marca	369,54 (144,35–781,17)	
Mencin et al.	2020	Níveis de acrilamida em produtos alimentares no mercado esloveno	Petiscos	858,6 (20,5 - 3439,4)	Eslovênia
			Pão torrado e pão	134,8 (44,5 - 246,1)	
			Cafê torrado	185,5 (151,4 - 237,7)	
			Cereais matinais	288,9 (220,2 - 498,5)	
			Biscoitos e <i>wafers</i>	384,5 (312,2 a 468,2)	
Deribew e Woldegiorgis	2021	Níveis de acrilamida em café em pó, chips de batata e batatas fritas na cidade de Adis Abeba, na Etiópia	Pó de café	421 (135 – 1139)	Etiópia
			Batata frita	1298 (211 – 3515)	
			Chips de batata	615 (36 – 1411)	
Cortés et al.	2018	Estudo de consumo e margem de exposição da acrilamida em alimentos consumidos pela população de Bogotá na Colômbia	Chips de batata	634,6 (491-785)	Colômbia
			Batatas fritas	187,6 (114-334)	
			Pão e pão torrado	29,1 (13-61)	
			Biscoitos/ <i>crakers</i>	274,1 (35-753)	
			Cafê	5,6 (3,3-9,5)	
Nematollahi et al.	2019	Investigação e determinação de acrilamida no principal grupo de produtos cerealíferos utilizando	Pão tradicional	218,26 (66,78 – 415,03)	Irã

		método avançado de microextração acoplado a cromatografia gasosa-espectrometria de massa	Pão crocante	100,22 (126,80 – 392,50)	
			Biscoito <i>cracker</i>	190,50 (106,55 – 274,40)	
			<i>Cookies</i>	156,10 (107,08 – 245)	
			Biscoitos doce	200,67 (89,43 – 388,57)	
			<i>Wafer</i>	233,94 (131,69 - 583,60)	
			Pão de fermentação industrial	100,22 (76,75 – 107,3)	
			Bolo	186,39 (107,40 – 368,10)	
			Produtos à base de trigo	21 (<20 – 30)	
ANĐAđIć, Ivana Mandić et al.	2020	Exposição da população adulta croata à acrilamida através de pão e produtos de panificação	Produtos à base de centeio	31 (<20 – 42)	Croácia
			Produtos à base de milho	27 (<20 – 34)	
			Produtos mistos	25 (<20 – 39)	
			Biscoitos seco	309 (248 - 345)	
			Cereal matinal	45 (45 - 51)	
Russo et al.	2014	Determinação rápida e simples de acrilamida em alimentos convencionais à base de cereais e batatas fritas através da conversão em 3-[bis(trifluoroetanoil) amino]-3-oxopropil trifluoroacetato por cromatografia gasosa acoplada a detectores de captura de elétrons e espectrometria de massa ion trap	<i>Snacks</i> à base de batata	735 (541 – 745)	Itália
			Pão torrado	85 (74 – 85)	
			Bolachas	271 (243 – 271)	
			Biscoitos de manteiga	330,25 (121 – 426)	
			Batata frita e chips de batata	3257 (1687 – 3420)	
			Biscoito de gengibre	*325 - 573	
Tölgyesi e Sharma	2020	Determinação de acrilamida em amostras de pão de gengibre e outras amostras de alimentos por HILIC-MS/MS: um método diluir e disparar	Bolacha	*20 - 342	Hungria
			Pão torrado	*< 20	

Cafê torrado	*94,6 - 210
Cafê instantâneo	*37,4 - 667
<i>Cappuccino</i> em pó	*21,4 - 411
Batata frita	*293 - 327
Chips de batata	*520 - 590
<i>Snack</i>	*20 - 216

*Média não informada

Deribew e Woldegiorgi (2021) investigaram os níveis de ACR no pó de café, na batata frita e nos chips de batata comercializados na Etiópia. Os níveis de ACR obtidos variaram de 135 µg/kg a 1139 µg/kg para pó de café torrado, de 211 µg/kg a 3515 µg/kg em chips de batata e de 36 µg/kg a 1411 µg/kg em batatas fritas. Em comparação com as batatas fritas, as amostras de chips de batata apresentaram um teor médio de ACR mais alto. Dentre os produtos analisados, 43 % das amostras de café em pó (n = 13), 57 % dos chips de batata (n = 17) e 40 % das amostras de batatas fritas (n = 12) apresentaram níveis de ACR superiores aos recomendados pela Comissão Europeia.

Por sua vez, um estudo detectou o teor de ACR em alimentos consumidos pela população de Bogotá, na Colômbia. Foram analisadas amostras de chips de batata, batatas fritas, pães, biscoitos e crackers e café. Os teores mais elevados foram encontrados nos chips de batata, sendo as concentrações médias de 634,6 µg/kg, respectivamente (Cortés et al. 2021).

Nematollahi et al. (2019) também realizou uma pesquisa semelhante. Neste estudo, o nível de ACR foi determinado em 71 amostras de produtos de cereais, incluindo pão achatado tradicional (*sangak*, *barbari*, *lavash*, *taftoon* e pão crocante), pão fermentado industrial, *wafers*, biscoitos do tipo *crackers*, *cookies*, bolachas doces e bolos. Os produtos pão achatado tradicional, bolachas doces, biscoitos do tipo *crackers*, bolos, *cookies* e pão fermentado industrial apresentaram menor quantidade de ACR do que *wafers* (233,94 µg/kg).

De forma análoga, cerca de 35 amostras de produtos de panificação da Croácia foram analisadas entre 2015 e 2016 e avaliadas de acordo com a Recomendação 2013/647 da Comissão da Europeia a respeito dos níveis máximos permitidos de ACR nos alimentos, em vigor na época. De todos os quatro grupos de pães e produtos de panificação, em cinco amostras de pão, o teor de ACR ultrapassou o valor indicativo de acordo com as recomendações da Comissão Europeia (EC, 2013). As amostras de pão que ultrapassaram esses valores foram pão de espelta (81 µg/kg), pão de centeio (237 µg/kg e 161 µg/kg) e pão de batata (227 µg/kg) (Andačić et al., 2020).

Russo et al. (2014), analisou várias amostras representativas de alimentos convencionais à base de cereais e batata (bolachas amanteigadas, pão torrado, biscoitos do tipo crackers, cereais matinais, batatas fritas, e chips de batata) comercializadas na Itália. Os cereais matinais apresentaram valores mais baixos de ACR, de 45 µg/kg a 51 µg/kg, e as batatas fritas e chips detiveram os valores mais altos, de 1687 µg/kg a 3420 µg/kg.

Do mesmo modo, um estudo húngaro realizou a detecção de ACR em diferentes amostras de biscoitos, pão de gengibre, café torrado, café solúvel, cappuccino em pó e batatas fritas. A ACR foi encontrada em todas as amostras, porém nenhuma delas continha acrilamida acima dos níveis de referência estabelecidos pela Comissão Europeia (Tölgyesi e Sharma, 2020).

1.4 Intervenções para evitar a formação de acrilamida em alimentos

A mitigação da ACR é baseada principalmente no controle dos precursores e da reação responsável na formação da ACR, a reação de Maillard. Dentre os fatores que mais afetam a formação de ACR pela reação de Maillard, estão a concentração de açúcares redutores ou compostos carbonílicos e asparagina como precursores, temperatura do processo, tempo do processo, teor de água, pH e presença de outros compostos competidores. O controle da reação por meio do manejo desses fatores é essencial para minimizar a sua formação (Mogol et al., 2021).

Muitos alimentos, sejam eles industrializados ou preparados de forma caseira, contêm asparagina e/ou açúcares redutores devido à natureza da matéria-prima, como por exemplo, batata e cereais. A asparagina está abundantemente presente na batata e, portanto, o açúcar redutor é o fator limitante da taxa de formação de ACR em produtos deste vegetal. Por outro lado, a asparagina se encontra em quantidade limitada nos cereais, ao contrário do açúcar redutor, indicando que o teor de asparagina é o fator limitante da taxa de ACR em produtos de panificação à base de cereais (Mogol et al., 2021).

Sendo assim, alguns estudos enfatizam que a variedade de batatas e cereais com baixos níveis de açúcares redutores e asparagina contribuem para uma menor formação de acrilamida durante o seu processamento. Outros fatores relacionados ao cultivo de batata e cereais e que podem influenciar na redução de açúcares redutores, bem como a redução de asparagina, são a variação sazonal, as propriedades do solo (composição mineral e pH) e as aplicações de fertilizantes (como nitrogênio e enxofre) (Kumari et al., 2022; Nematollahi et al., 2019).

A maturação dos alimentos também é um aspecto importante a ser considerado na redução de acrilamida. Por exemplo, bananas mais maduras resultam em maiores quantidades de açúcares redutores, levando a um acréscimo do nível de ACR gerado em bolos de banana. No entanto, a colheita de tubérculos de batata imaturos e menores está associada a maiores quantidades de açúcar redutor e a um aumento adicional na geração de ACR nos produtos de batata frita (Kumari et al., 2022; Nematollahi et al., 2021).

Além disso, estudos apontam que a presença de antioxidantes nos alimentos está associada com menores índices de ACR nos produtos alimentícios após o processamento. Batatas coloridas, ricas em antioxidantes, como as variedades *Rosemary* e *Magenta Love* (ambas de polpa vermelha), *Violetta* (de polpa roxa) e *Shetland Black* (de polpa de mármore) podem contribuir para um menor desenvolvimento de ACR em alimentos processados (Gumul et al., 2023; Kumari et al., 2022; Sampaio et al., 2021). Gumul et al. (2023) relataram redução de acrilamida de 7,9 % e 7,5 %

respectivamente, devido à adição de 10 % de polpa de batata *Magenta Love* e *Violetta* em pão sem glúten.

Outras estratégias utilizadas na redução de acrilamida em produtos alimentícios são as alterações nas condições de processamento. Por exemplo, a lixiviação de substratos precursores na água induzida por mecanismos como a imersão de fatias de alimentos em água quente contendo certas substâncias, incluindo ácidos orgânicos, aminoácidos, sais e enzimas, principalmente a L-asparaginase, antes do processo térmico pode diminuir a geração de acrilamida. Já outra técnica denominada branqueamento, utilizando tempo e temperatura adequados, é outro pré-tratamento eficaz na redução de acrilamida no alimento processado (Nematollahi et al., 2021).

A a secagem de tiras de batata, embebidas ou escaldadas previamente, em um secador de ar à 70 °C antes da fritura diminui a geração de acrilamida em batatas fritas devido aos tempos de fritura reduzidos para produzir um alimento aceitável sensorialmente em termos de cor e crocância (Krokida et al., 2001; Medeiros Vinci et al., 2012; Nematollahi et al., 2021).

1.5 Legislação sobre acrilamida em alimentos

A preocupação acerca da presença de ACR iniciou-se em 2002, onde pesquisadores suecos detectaram concentrações de ACR em amostras alimentícias. A partir daí, outros estudos confirmaram a formação da substância no alimento, fazendo com que surgisse uma das primeiras avaliações de risco à ACR pelo Comitê Científico de Controle de Alimentos da Noruega, concluindo que cerca de 40 incidentes anuais de câncer poderiam ser causados pela exposição à acrilamida através dos alimentos. Em seguida, no ano de 2005 o resumo do relatório sobre ACR em alimentos do Comitê Misto FAO/OMS de Especialistas em Aditivos Alimentares (*The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives – JEFCA*) foi endossado pela Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (*European Food Safety Authority – EFSA*). E após vários monitoramentos em alimentos, a EFSA publicou o mais recente parecer científico em 2015, que incluía, além de outras informações, dados a respeito da concentração de ACR detectada em diversas análises em alimentos dos países europeus, os principais resultados desses dados estão apresentados na Tabela 2 (Codex Alimentarius, 2009; EFSA, 2015b; VKM, 2015).

Tabela 2. Média da ocorrência de acrilamida (ACR) nas principais categorias de alimentos da Europa detectadas pela EFSA (2015).

Principais categorias de alimentos	Número de amostras	Média de acrilamida (µg/kg)
Produtos à base de batata frita	1694	308
Chips de batata e salgados	34501	389
Pão macio	543	42
Cereais matinais	1230	161
Biscoitos, crackers, pão torrado e similares	2065	265
Cafê e substitutos do café	1545	578
Alimentos para bebês e outros à base de cereais	416	24
Alimentos processados para bebês à base de cereais	736	73
Outros produtos à base de cereais, batata e cacau	569	97

Da mesma forma, a Comissão Europeia estabeleceu, por meio de seu regulamento 2158, publicado no ano de 2017, a necessidade de garantir a segurança alimentar pela redução da presença de acrilamida em alimentos nos quais as matérias-primas contêm os seus precursores, recomendando medidas de mitigação adequadas.

Os teores de acrilamida podem ser diminuídos através de uma abordagem de mitigação, como a implementação de boas práticas de higiene e a aplicação de procedimentos baseados nos princípios da Análise de Perigos e de Pontos Críticos de Controle (APPCC). Além disso, o órgão menciona o uso dos níveis de referência (Tabela 3), que são indicadores de desempenho que devem ser utilizados para verificar a eficácia das medidas de mitigação e que se baseiam na experiência e na ocorrência da acrilamida em alimentos. A fim de verificar a conformidade com os níveis de referência, a eficácia das medidas de mitigação deve ser controlada por amostragem e análise química de quantificação (European Commission Regulation, 2017).

Tabela 3. Antigos valores indicativos para acrilamida, em alguns produtos de panificação, definidos pela Comissão Europeia em 2013, e os valores da regulamentação em vigor (vigência desde 2017) (2013/647/UE; 2017/2158/UE).

Produto alimentício	Nível de referência 2013 [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Nível de referência 2017 [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
Pão macio		
- Pão à base de trigo	80	50
- Pão macio, exceto pão à base de trigo	150	100
Cereais matinais (exclui mingau)		
- Produtos de farelo e cereais integrais, grãos tufados	400	300
- Produtos à base de trigo e centeio	300	300
- Produtos à base de milho, aveia, espelta, cevada e arroz	200	150
Biscoitos e <i>wafers</i>	500	350
Biscoitos do tipo <i>crackers</i> com exceção de <i>crackers</i> à base de batata	500	400
Pão crocante	450	350
Biscoito de gengibre	1000	800
Alimentos para bebês, alimentos transformados à base de cereais para lactentes e crianças pequenas, excluindo biscoitos e tostas	50	40
Biscoitos e torradas para bebês e crianças pequenas	200	150

No cenário brasileiro, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) não estabelece ainda um limite de restrição para acrilamida em alimentos, apenas a Portaria nº 2914 de 12/12/2011 do MS (Ministério da Saúde publicado em DOU de 14/12/2011) estabelece o limite de acrilamida em 0,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para água de consumo humano (Brasil, 2011).

1.6 Riscos à saúde humana

Segundo a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), a acrilamida é considerada uma substância com possível ação carcinogênica (grupo 2A) e com potencial tóxico a nível de sistema nervoso e reprodutivo em humanos e animais (IARC, 1994). Com isso, por meio de estudos experimentais com roedores, foi fixado um NOAEL (nível sem efeito adverso observado) para neuropatia em 0,5 mg/kg p.c./dia e um NOAEL para efeitos reprodutivos e no desenvolvimento de 2 mg/kg p.c./dia (JEFCA, 2006).

Ainda, em 2005, o Comitê do Codex sobre Aditivos Alimentares e Contaminantes (*Codex Committee on Food Additives and Contaminants – CCFAC*) ao JECFA que realizasse a avaliação do risco da acrilamida e estabelecesse limites para sua ingestão. Como resultado dessa avaliação, a ingestão diária tolerável para a população em geral, incluindo crianças, foi fixada em 1 a 4 µg/kg p.c./dia, sendo os adolescentes o grupo mais exposto (JECFA, 2005).

Após absorção oral, a acrilamida é amplamente distribuída para diferentes tecidos. Em ratos, as maiores porcentagens deste composto foram encontradas no músculo (48 %), pele (15 %), sangue (12 %) e fígado (7 %), enquanto menos de 1 % estava localizado no cérebro e na medula espinhal. Estudos também indicam que a ACR é capaz de atravessar a barreira placentária em humanos e sua presença no leite materno também foi detectada (Matoso et al., 2019).

No que se refere ao efeito carcinogênico da acrilamida, pode-se citar o estudo de Yedier et al. (2022) onde os autores evidenciaram que a acrilamida induz quebras na fita dupla de DNA e causa mutação maligna em células pulmonares humanas. Com base nos resultados, foi possível sugerir que a exposição à acrilamida pode induzir a carcinogênese em células pulmonares e pode ser um risco para o desenvolvimento de câncer de pulmão em humanos.

Tratando-se da neurotoxicidade da ACR, um estudo realizado com duas doses diferentes de acrilamida em ratos (50 ou 21 mg/kg/dia) mostrou degeneração progressiva dos terminais nervosos em todas as regiões do sistema nervoso central (SNC) e sintomas neurotóxicos como ataxia e paresia muscular (LoPachin et al., 2003). Outro estudo conduzido por Erdemli et al. (2016) mostrou que o tratamento com acrilamida em ratas gestantes causa degeneração nas estruturas neuronais do tecido cerebral fetal, dano hemorrágico e redução nos níveis de fatores neurotróficos derivados do cérebro.

Em relação aos efeitos no sistema reprodutivo, Gao et al. (2022) avaliaram os efeitos da exposição puberal à acrilamida na espermatogênese adulta em camundongos machos. Os camundongos foram expostos a ACR a 0, 5, 10, 20 e 40 mg/kg/dia por gavagem do dia 28 pós-natal ao dia 56 pós-natal. Os resultados mostraram que a exposição puberal à acrilamida aumentou a apoptose de células germinativas nos túbulos seminíferos, diminuiu a concentração de espermatozoides e causou defeitos nos espermatozoides de camundongos adultos. Estudos realizados em camundongos fêmeas alimentadas por seis semanas com acrilamida na dieta mostraram redução do peso ovariano e do desenvolvimento ovocitário em relação aos animais controle. As fêmeas tratadas com acrilamida apresentaram aumento de espécies reativas de oxigênio (ROS), apoptose precoce e níveis reduzidos de metilação de DNA e histonas, resultando em redução da qualidade e fertilidade do ovócito (Duan et al., 2015).

1.7 Parâmetros utilizados na estimativa do risco

1.7.1 Menor dose de referência – BMDL₁₀ (*benchmark lower dose*)

A dose de referência (*Benchmark dose* – BMD) é usada para determinar uma exposição tolerável a uma substância potencialmente tóxica, e é estimada a partir da dose mais baixa que pode causar um efeito adverso. Uma das formas encontradas para avaliar o risco de substâncias potenciais carcinogênicas e neurotóxicas é utilizando o conceito de menor dose de referência (*Benchmark lower dose* - BMDL₁₀) que é um parâmetro que indica um aumento de 10 % no risco de efeitos adversos em relação à ingestão de acrilamida. Segundo estudos experimentais realizados pela *European Food Safety Authority* (EFSA), o BMDL₁₀ para risco de neuropatia periférica em ratos é de 430 µg/kg p.c/dia e de 170 µg /kg p.c/dia para efeitos de neoplasia, também em ratos. A partir desses achados, tais valores são utilizados para estimar o risco de exposição a efeitos carcinogênicos e neurotóxicos através da ingestão dietética em humanos (EFSA, 2015a; Nunes et al., 2009).

1.7.2 Margem de exposição (MOE)

A determinação da margem de exposição (*Margin of Exposure* - MOE) foi recomendada em 2005 e novamente em 2012 pelo JEFCA para substâncias potencialmente genotóxicas e cancerígenas encontradas nos alimentos para avaliar o risco da exposição humana à acrilamida. Com isso, o uso do MOE pode ajudar na gestão de risco e definição de possíveis ações necessárias para manter a exposição a essas substâncias o mais baixo possível (EFSA, 2015a; SciCom, 2019).

O cálculo da Margem de Exposição (*Margin of Exposure* - MOE) pode ser realizado a partir da relação entre a dose de referência (BMDL₁₀) e a exposição dietética à ACR, como representado na equação abaixo. Se o resultado da equação, utilizando o BMDL₁₀ = 430 µg/kg p.c/dia, for superior a 125, entende-se que a ingestão de acrilamida a partir do consumo de determinado alimento não oferece riscos para efeitos neurológicos. Da mesma forma, utilizando o BMDL₁₀ = 170 µg/kg p.c/dia, quando o resultado for superior a 10.000, pode-se supor que a ingestão de ACR não é um fator para expor o indivíduo a possíveis efeitos carcinogênicos (Nunes et al., 2009; EFSA, 2015a; SciCom, 2019).

$$MOE = \frac{BMDL_{10}}{\text{Exposição à ACR}}$$

1.8 Dados de consumo alimentar no Brasil

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017 – 2018 (POF 2017 - 2018) tem como objetivo avaliar as estruturas de consumo, de gastos, de rendimentos e parte da variação patrimonial das famílias, oferecendo um perfil das condições de vida da população a partir da análise dos orçamentos domésticos. Além disso, as características dos domicílios também são investigadas, incluindo a autoavaliação subjetiva sobre qualidade de vida.

A pesquisa tem como foco de investigação o domicílio e é realizada por amostragem. Os resultados são separados por faixas etárias, sendo elas adolescentes (10-19 anos), adultos (20-59 anos) e idosos (60 anos ou mais), e as classes econômicas são divididas em quem utiliza 1, 2, 3 ou 4 quartos do salário-mínimo para consumo de alimentos (IBGE, 2020). Para a coleta dos dados relacionados ao consumo alimentar individual a POF utilizou dois inquéritos recordatórios de 24 h em dias não consecutivos, onde os participantes informam o que consumiram no dia anterior. Por meio dos relatos, os dados foram computados em uma base de dados com todos os alimentos mencionados, bem como as suas respectivas quantidades. A partir das análises destes dados disponíveis, foi observado que os produtos de panificação apresentaram percentuais representativos no consumo alimentar da população brasileira (Quadro 1) (IBGE, 2020).

Quadro 1 - Frequência de consumo alimentar, consumo alimentar médio per capita e percentual de consumo fora do domicílio dos adolescentes, adultos e idosos, segundo as massas alimentícias e produtos de panificação, no Brasil entre 2017-2018 (IBGE, 2020).

Alimentos e preparações	Frequência de consumo alimentar (%)			Consumo alimentar médio <i>per capita</i> (g/dia)			Consumo fora do domicílio (% em relação ao total consumido)		
	Adolescentes	Adultos	Idosos	Adolescentes	Adultos	Idosos	Adolescentes	Adultos	Idosos
Massas	1,7	2,2	1,8	5,2	6,4	4,1	12,1	18,3	16,5
Macarrão instantâneo	2,9	1,2	0,8	8,8	3,6	2,4	1,3	2,6	9,5
Macarrão e preparações à base de macarrão	20,7	19,1	14,13	41,9	38,5	25,3	19,0	13,0	7,1
Pão de sal	48,9	50,9	52,7	50,5	50,1	45,7	7,0	9,5	3,2

Pão integral	0,9	3,5	7,7	0,5	1,7	3,9	0,7	5,5	2,5
Doces panificados	3,0	2,8	2,8	2,4	2,1	1,7	16,3	13,3	2,2
Bolos	10,8	11,1	11,3	10,7	11,0	10,2	15,4	22,3	7,3
Bolos recheados	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,4	32,8	32,7	31,3
Biscoito doce	13,7	8,0	9,0	7,4	3,7	3,0	14,5	12,5	2,9
Biscoito salgado	16,9	16,5	19,7	8,4	6,8	6,4	13,6	11,8	3,4
Biscoito recheado	7,4	2,2	0,8	9,7	2,5	0,6	12,3	8,5	4,6

1.9 Estimativa de ingestão de acrilamida

Sobre a estimativa de ingestão de ACR via alimentos, é relatado uma avaliação de risco feita pelo Comitê de Especialistas em Aditivos Alimentares da FAO/OMS (JECFA), onde diversos países reportaram níveis da substância em produtos disponíveis no mercado (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), 2005). Com isso, como exemplificado na tabela 4, foram perceptíveis também os avanços ao redor do mundo nos estudos com ACR, essencialmente em relação à análise de alimentos e à ingestão por grupos populacionais para estabelecer a real exposição à acrilamida em um determinado contexto (Arisseto e Toledo, 2006).

Tabela 4. Dados científicos sobre exposição alimentar à acrilamida pela população de diferentes idades e pertencentes a diferentes países.

Autor	Ano	Objetivo	Alimento	Nível de acrilamida em µg/kg p.c/dia Estimativa (faixa etária)	País
ANDAČIĆ, Ivana Mandić et al.	2020	Avaliar a exposição da população adulta croata à acrilamida através de pão e produtos de panificação	Pães e produtos de panificação	0,16 µg/kg (adultos)	Croácia
MOJSKA, Hanna et al.	2012	Determinar do nível de acrilamida em alimentos comerciais para bebês e avaliar da exposição alimentar infantil	Biscoitos infantis, produtos industrializados para bebês, cereais infantis em pó, cereais infantis prontos para o consumo, cereais infantis com fórmula de transição em pó, cereais infantis com fórmula de transição pronta para consumo	0,41– 0,62 µg/kg p.c/dia (mín) (6 a 12 meses) 7,47 - 12,35 µg/kg p.c/dia (máx) (6 a 12 meses)	Polônia
NORMANDIN, Louise et al	2013	Avaliar a exposição alimentar à acrilamida em adolescentes de um centro urbano canadense	Batatas fritas, batatas fritas assadas no forno, salgadinhos de milho, pipoca, pretzels, amêndoas torradas, bolachas, biscoitos, gotas de chocolate biscoitos, cereais matinais, pão, azeitonas pretas e café coado	0,29 µg/kg p.c/dia (adolescentes)	Canadá
MOJSKA, Hanna et al	2010	Estimar a exposição alimentar à acrilamida da população polaca	Batatas fritas, batatas fritas (de produtos pré-cozidos, fritos em laboratório), flocos de aveia, flocos de milho, batatas fritas de milho, pão, pão crocante, doces, palitos salgados, biscoitos, café torrado (grão de café), café torrado (infusão - em µg/L de infusão de café [duas colheres de café e 250 mL de água]	0,43 µg/kg p.c/dia	Polônia
MESÍAS, Marta et al.	2015	Determinar a concentração de acrilamida em batatas fritas comerciais do mercado espanhol entre 2004 e 2014 e avaliar a exposição alimentar	Batatas fritas comerciais	0,035 µg/kg p.c/dia	Espanha

ARISSETO, Adriana Pavesi et al.	2009	Avaliar a contribuição de alimentos selecionados para a ingestão de acrilamida por uma população de adolescentes brasileiros	Batatas fritas, mandioca frita, mandioca torrada farinha de trigo, biscoito água e sal, biscoito cream cracker, flocos de milho, pão torrado, pão francês, pão de cachorro-quente, pão italiano, pão bisnaguinha, café	0,12 (méd) e 1,92 (máx) µg/kg p.c/dia	Brasil
HENAO, Sandra J. et al.	2021	Validar internamente um método LC-MS/MS para determina acrilamida em açúcar não centrifugo de mercados latino-americanos e avaliar a exposição alimentar e caracteriz de risco no Brasil e na Colômbia	Açúcar não refinado (açúcar mascavo)	Brasil: 0,001 µg/kg p.c/dia na média e mediana de acrilamida a 0,003 µg/kg p.c/dia no percentil 95 Colômbia: crianças entre 1 e 4 anos (1,45 µg/kg p.c/dia) e adultos entre 18 e 64 anos (0,33 µg/kg p.c/dia)	Brasil e Colômbia
MATTHYS, C. et al.	2005	Avaliar o risco da ingestão dietética de acrilamida em adolescentes flamengos	Biscoito infantil, pão, pão pequeno, salgadinhos, chocolate, choco-spread, batata frita, batata chips, café, cereais matinais, pão de gengibre, biscoito doce condimentado, biscoito e pipoca	Percentil 5: 0,19 µg/kg p.c/dia Percentil 50: 0,51 µg/kg p.c/dia Percentil 95: 1,09 µg/kg p.c/dia	Bélgica

A pesquisa de Andačić et al. (2020) objetivou avaliar a exposição média à acrilamida por meio do consumo de pães e produtos de panificação. Do total de 100 amostras analisadas, o teor de acrilamida apresentou variação abaixo do limite de quantificação, de <20 a 237 µg/kg, no período anterior à aplicação de um novo Regulamento Europeu, e de <20 a 42 µg/kg após sua aplicação. Para a população croata adulta, a exposição à acrilamida a partir do consumo de pães e produtos de panificação foi estimada em 0,16 µg/kg pc/dia.

Por sua vez, Mojska et al. (2010) determinaram o teor de ACR em alimentos poloneses e avaliaram a exposição média à acrilamida a partir da dieta dessa população. O teor médio de acrilamida em 225 amostras de alimentos escolhidos aleatoriamente em toda a Polônia variou amplamente de 11 µg/kg a 3647 µg/kg de produto. Para a população polaca total (1-96 anos), a exposição média estimada de acrilamida foi de 0,43 µg/kg p.c/dia. As principais fontes de acrilamida dietética na população polonesa foram as seguintes: pão que forneceu 45 % da ingestão total de acrilamida na dieta, seguido por batatas fritas e chips de batatas (23 %) e café torrado (19 %).

Mojska et al. (2012) também buscaram determinar os níveis de acrilamida nas principais categorias de produtos alimentícios para bebês poloneses e avaliar a exposição à acrilamida na dieta de crianças de 6 a 12 meses. O teor médio de acrilamida nos alimentos para bebês variou de 2 µg/kg a 516 µg/kg, dependendo do produto alimentar. A exposição dos lactentes de 6 a 12 meses de vida foi estimada no nível mínimo na faixa de 0,41 a 0,62 µg/kg pc/dia, e no nível médio – de 2,10 a 4,32 µg/kg pc/dia. Para o pior cenário, considerando o nível máximo de ACR nos alimentos analisados, a exposição variou de 7,47 a 12,35 µg/kg pc/dia.

De forma semelhante, Normandin et al. (2013) determinaram a distribuição das concentrações de acrilamida em alimentos frequentemente consumidos por adolescentes canadenses e, por sua vez, estimaram sua contribuição para a ingestão dietética geral de acrilamida. Os maiores teores de acrilamida foram encontrados em batatas fritas e chips de batata (1053 µg/kg e 524 µg/kg, respectivamente). Com base no diário alimentar de dois dias, a ingestão média diária total de acrilamida foi estimada em 0,29 µg/kg pc/dia, em comparação com 0,17 µg/kg pc/dia com base no questionário de frequência alimentar. O consumo de batatas fritas contribuiu mais para a ingestão diária de acrilamida (50 %), seguido por chips de batatas (10 %), batatas fritas no forno (8 %) e cereais matinais (8 %).

Arisseto et al. (2009) também elaborou um estudo semelhante buscando realizar uma avaliação preliminar da exposição alimentar de adolescentes brasileiros à ACR. A ingestão média e máxima de acrilamida foi estimada em 0,12 e 1,92 µg/kg pc/dia, respectivamente. Nos percentis 50,

95 e 97,5, as ingestões médias foram 0,04, 0,55 e 0,77 $\mu\text{g}/\text{kg pc}/\text{dia}$ respectivamente. Adolescentes do sexo masculino apresentaram níveis de exposição menores do que adolescente do sexo feminino, enquanto a ingestão de acrilamida pelos adolescentes mais jovens (11-14 anos) foi maior em relação ao grupo mais velho (15-17 anos). Os alimentos que mais contribuíram para a exposição à acrilamida foram batata frita, pão francês, biscoito água e sal e café.

Outro estudo buscou atualizar o teor de acrilamida de batatas fritas comerciais comercializadas na Espanha com o objetivo de avaliar sua tendência desde 2004, bem como a exposição alimentar da população espanhola a este contaminante. O teor de acrilamida variou de 108 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a 2180 $\mu\text{g}/\text{kg}$, com valor médio de 630 $\mu\text{g}/\text{kg}$ e mediana de 556 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Os dados revelaram uma tendência de queda contínua de 2004 a 2014, evidenciando a eficácia geral na mitigação pelas estratégias implementadas pelo setor industrial espanhol, embora tenham sido observadas variações de até 80 % entre várias marcas. Em relação à exposição alimentar à acrilamida, estimou-se um teor 0,035 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/dia. Houve uma redução da exposição ao longo de dez anos, mas os autores reforçaram que é necessário continuar os esforços para reduzir o teor de acrilamida em batatas fritas, uma vez que ainda há margem para isso (Mesías & Morales, 2015).

Henao et al. (2021) avaliaram a exposição dietética a acrilamida por meio do consumo de açúcar não refinado (mascavo), de mercados latino-americanos incluindo Colômbia, Brasil, Equador, Peru, México e Bolívia e caracterização de risco no Brasil e na Colômbia. As maiores quantidades médias de acrilamida foram encontradas em amostras do Peru, Equador e Colômbia (636 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 446 $\mu\text{g}/\text{kg}$ e 401 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectivamente). Considerando a forma do produto, os maiores teores médios foram encontrados no açúcar granulado (517 $\mu\text{g}/\text{kg}$) quando comparado ao bloco (294 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Dentro das amostras colombianas, o açúcar orgânico, feito com floculante natural, apresentou maior concentração média de acrilamida (721 $\mu\text{g}/\text{kg}$) do que as amostras convencionais (363 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Uma possível explicação para este fenômeno é que na etapa de clarificação do processo de fabricação do açúcar, as fábricas colombianas usam agentes floculantes para remover as impurezas presentes no caldo de cana-de-açúcar como folhas, impurezas suspensas, proteínas coaguladas, ceras, coloides e substâncias pigmentadas. Como o açúcar orgânico colombiano é produzido usando floculantes naturais como o balso (*Heliocarpus americanus L.*), cadillo (*Triumfetta lappula*) e guásimo (*Guazuma ulmifolia Lam.*), que são compostos principalmente de carboidratos (frutose, glicose e maltose), é sugerido que estes influenciam no aumento de açúcares redutores, favorecendo os níveis mais altos de ACR. Ao mesmo tempo, estudos apontam que o uso de floculantes artificiais compostos por poliacrilamida podem propiciar o aumento da concentração de ACR no açúcar. No entanto, a influência dos diferentes tipos de

floculantes não foi investigada até agora. Tratando-se da valiação do risco de exposição a ACR, embora os valores de MOE para neurotoxicidade sugeriram que as ingestões estimadas no Brasil e na Colômbia não sejam uma preocupação, os MOEs obtidos para efeitos neoplásicos chamaram a atenção, já que os valores de MOE calculados para grandes consumidores no Estado do Ceará para a população brasileira foram inferiores a 10.000 (o valor obtido para o foi de 8.671). Para a população colombiana, todos os valores MOE obtidos foram inferiores ao limite de segurança de 10.000, indicando uma preocupação com os efeitos neoplásicos para estes consumidores (Henao et al. 2021).

Matthys et al. (2005) realizou um estudo com o objetivo de estimar a ingestão de acrilamida em adolescentes dos Países Baixos e Bélgica (com base no registro alimentar de sete dias) e avaliar os possíveis riscos à saúde devido à exposição. A ingestão dietética estimada de acrilamida por pessoa dada como percentil 5, 50 e 95 foi de 0,19, 0,51 e 1,09 $\mu\text{g}/\text{kg p.c}/\text{dia}$, respectivamente. O pão, apesar de seu baixo teor de acrilamida, se apresentou como fonte relevante de exposição à acrilamida nos percentis mais baixos.

1.10 Acrilamida em produtos de panificação

Conforme os diferentes métodos de preparo e hábitos de consumo dos alimentos nos mais variados países, a ingestão de acrilamida na dieta diária pode variar entre 10 % e 30 % para produtos de panificação e 10 % a 20 % para doces. Assim, na Alemanha, pães variados representam cerca de 25 % da ingestão diária de ACR, em Países Baixos e Bélgica o pão representa 10 % da ingestão diária de ACR e na Suécia até 17 %. Na Romênia, o pão contribui entre 14 e 37 % da dose máxima permitida de ACR para alimentos na dieta diária, estimada pela FAO/OMS (Sarion et al., 2021).

Com isso, é notório que entre os alimentos com maior ingestão de ACR na dieta diária estão o pão e outros produtos de panificação, como demonstrado na tabela 5. Além disso, alguns pesquisadores demonstraram em seus estudos que o nível mais alto de ACR é encontrado na crosta do pão e menos no miolo do pão (Sarion et al., 2021).

Tratando-se da estimativa do teor de ACR em alimentos à base de farinha de trigo, um estudo buscou determinar a quantidade de acrilamida em pão torrado utilizando o método de colorimetria de imagem digital por smartphone. A análise colorimétrica permitiu estimar a concentração de acrilamida nas amostras na faixa de 20–200 $\mu\text{g}/\text{kg}$, identificando também aquelas amostras que estavam abaixo do valor máximo permitido (50 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Porém, essa técnica apresenta limitações na quantificação de ACR, uma vez que as condições de luminosidade são a principal

fonte de possíveis interferentes no método proposto, já que uma fonte de luz adequada é necessária para obter informações analíticas valiosas. Além disso, muitos compostos tóxicos formados podem ou não apresentar a coloração que acompanha a sua intensidade. Com isso, a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas ainda é uma das técnicas mais adequadas para a determinação de ACR em alimentos, visto que é um método com alta seletividade e boa capacidade anti-interferentes em análises de matrizes alimentares mais complexas como é o caso dos produtos de panificação (Wu et al., 2019; Sáez-Hernández et al., 2022).

Naous et al. (2022) realizaram o levantamento do nível de acrilamida em amostras de *Kaak*, pão libânes, pão francês, biscoito e pão torrado. As amostras apresentaram teores de acrilamida que variaram entre 15,87 µg/kg e 329,74 µg/kg com valor médio de 179,49 µg/kg e mediana de 189,32 µg/kg para *kaak*, 41,10 e 483,52 µg/kg com valor médio de 224,77 µg/kg e mediana de 126,83 µg/kg para pão libanês, 28,85 e 184,41 µg/kg com valor médio de 79,07 µg/kg e mediana de 68,68 µg/kg para pão francês, 41,96 e 294,66 µg/kg com valor médio de 129,22 µg/kg e mediana de 113,57 µg/kg para biscoito, 39,91 e 273,30 µg/kg com valor médio de 125,96 µg/kg e mediana de 104,84 µg/kg para pão torrado.

Basaran et al. (2022) estimou a quantidade de acrilamida em variedades de pão, assim, o nível médio de acrilamida de todos os tipos de pão foi de 81,6 µg/kg. De acordo com os tipos de pão, os níveis médios de acrilamida em pão multigrãos, pão integral, pão integral, pão de centeio e pão branco foram 79,2 µg/kg, 83,5 µg/kg, 76,8 µg/kg, 82,6 µg/kg e 87,4 µg/kg, respectivamente. O nível de acrilamida medido para todos os tipos de pão no estudo está acima do nível de referência de acrilamida para pães (50 µg/kg), que foi determinado pela Comissão Europeia.

Outro estudo avaliou o risco à saúde pela presença de acrilamida em pães iranianos tradicionais e semi-industriais à base de farinha de trigo, onde foi constatado uma média de 24,4 µg/kg de acrilamida nas amostras, estando em conformidade com os níveis de referência estabelecidos pela Comissão Europeia (50 µg/kg) (Eslamizad et al., 2019).

Além disso, Crawford et al. (2019) desenvolveram anteriormente receitas de pães achatados usando uma variedade de grãos diferentes. Neste estudo, determinou-se o teor de acrilamida de 15 pães experimentais feitos de diferentes farinhas e 21 pães comerciais. Assim os teores de acrilamida encontrado nos pães comerciais variaram entre 24,2 µg/kg e 2070 µg/kg.

Andačić et al. (2020) verificou o teor de acrilamida em produtos de panificação à base de farinha de trigo, milho, centeio e espelta. Com isso, obteve-se o valor médio de acrilamida de 51 µg/kg para pães e produtos de panificação à base de farinha de trigo.

Tabela 5. Teor de acrilamida em produtos de panificação relatados por diferentes grupos de pesquisa.

Autor	Ano	Título da referência bibliográfica	Metodologia	Tipo de produto de panificação	Teor de acrilamida em µg/kg Média (mín. – máx.)	País
SÁEZ-HERNÁNDEZ et al.	2022	Determinação de acrilamida em torradas utilizando colorimetria de imagem digital por smartphone	Colorimetria de imagem digital por smartphone	Pão torrado	*20–200 µg/kg	Espanha
NAOUS et al.	2022	Riscos cancerígenos e neurotóxicos da acrilamida consumida através de pão, kaak, torradas e biscoitos entre a população libanesa	UPLC-APCI-MS/MS	Pães libanês	224,77 (41,10 - 483,52)	Líbano
				Pão francês	79,07 (28,85 - 184,41)	
				Biscoitos	129,22 (41,96 - 294,66)	
				Pão torrado	125,96 (39,91 - 273,30)	
				<i>Kaak</i>	179,49 (15,87 - 329,74)	
BASARAN et al.	2022	Avaliação de risco da exposição à acrilamida e ao 5-hidroxi-2-furfural (5-HMF) proveniente do consumo de pão: Turquia	HPLC-GC/MS	Pão industrial (multigrãos, parcialmente integral, integral, centeio e branco)	76,9 (60,7–127)	Turquia
				Pão semi-industrial/tradicional (multigrãos, parcialmente integral, integral, centeio e branco)	89,2 (69,3–130)	

ESLAMIZAD et al.	2019	Avaliação do risco para a saúde da acrilamida no pão no Irã usando LC-MS/MS	HPLC-ESI-MS/MS	Pão semi-industrial	48,5 (25,4–83,3)	Irã
				Pão tradicional <i>Sangak</i>	43,4 (<1 -76,4)	
				Pão tradicional <i>Sangak</i>	21,5 (5,8–60,6)	
				Industrial	8,0 (<1 -19,2)	
CRAW FORD et al.	2019	Conteúdo de acrilamida em pães achatados experimentais e comerciais	HPLC-ESI-MS/MS	Pães achatados experimentais	50,04 (3,8 – 470)	EUA
				Pães achatados comerciais	350,84 (24,2 – 2070)	
ANDA&Ić, Ivana Mandić et al.	2020	Exposição da população adulta croata à acrilamida através de pão e produtos de panificação	HPLC-ESI-MS/MS	Pão e produtos de panificação a base de trigo	21 (<20 – 30)	Croácia
				Pão e produtos de panificação a base de centeio	31 (<20 – 42)	
				Pão e produtos de panificação a base de milho	27 (<20 – 34)	
				Pão e produtos de panificação mistos	25 (<20 – 39)	

1.12 Exposição dietética por meio de produtos de panificação

A respeito da exposição dietética à acrilamida através do consumo de produtos de panificação (Tabela 6), Naous et al. (2022) se propôs a determinar o nível de acrilamida em amostras de *kaak* (pão libânes), pão francês, biscoito e pão torrado, bem como estimar a ingestão da substância por meio do consumo deles. A ingestão total de ACR por meio destes alimentos foi de 0,43 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia. Para o cálculo de MOE a fim de avaliar o risco de neurotoxicidade, foi considerado o NOAEL de 200 μg e para o risco de efeitos neoplásicos utilizou-se o BMDL₁₀ de 310 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia (tumores mamários em ratos) 180 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia (tumores da glândula de Harder em camundongos), conforme definido pelo JECFA. Os valores de MOE para neurotoxicidade e MOE para carcinogenicidade variaram entre 290 e 556, e entre 449 e 861 respectivamente, o que sugere que a ingestão de ACR não oferece risco para exposição à efeitos neurotóxicos e carcinogênicos, já que o estudo considera as margens relatadas pelo JFECA, sendo eles os valores de 310 ou 180 para efeitos neoplásicos (dependendo do valor BMDL₁₀ considerado) e 200 para efeitos neurotóxicos.

No estudo de Branciarri et al. (2020) a exposição alimentar à acrilamida, devido aos alimentos de uma cantina escolar, foi estimada em escolares de 3 a 13 anos. A ingestão média total de ACR por meio do consumo de produtos à base de batata, ovos e carnes e produtos de panificação foi de 2,16 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia. As médias das margens de exposição (MOEs) calculadas para a acrilamida (84 e 212 para BMDL₁₀ de 170 e 430 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia, respectivamente) sugerem que há uma preocupação com a saúde em relação aos alunos que comem diariamente nas cantinas escolares.

Kafouris et al. (2018) realizaram um estudo onde foram apresentados os resultados do controle oficial da acrilamida em amostras de batatas fritas, chips de batata, pão, cereais matinais, bolachas, biscoitos, pão torrado, café torrado e solúvel e da exposição dietética em adolescentes a nível individual. A exposição média foi de 0,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia. Os níveis estimados de exposição dietética à acrilamida não foram motivo de preocupação com relação à neurotoxicidade. No entanto, as margens de exposição (MOEs) indicam uma preocupação com a carcinogenicidade. Pão e produtos de padaria (pão estaladiço, bolachas, biscoitos, pão torrado, cookies e outros produtos de panificação) contribuíram cerca de 7 % (0,056 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia) e 21 % (0,168 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c/dia) para a exposição geral à acrilamida.

Um estudo feito com o objetivo de estimar a ingestão alimentar atual de ACR da população adulta da Malásia e avaliar o risco de exposição a efeitos cancerígenos e neurotóxicos pelo contaminante, analisou o consumo de diversos alimentos, incluindo pães, biscoitos e bolos

tradicionais locais (*kuih muih tempatan*). A ingestão de ACR pelo consumo de biscoito foi estimada em 0,0404 µg/kg p.c/dia e para consumidores médios e 0,0160 µg/kg p.c/dia para altos consumidores. Já relacionado ao consumo de pães, este forneceu uma ingestão diária de ACR de 0,00227 µg/kg p.c/dia para consumidores médios e 0,108 µg/kg p.c/dia para altos consumidores. Por fim, o consumo de bolos tradicionais locais contribuiu para uma ingestão de ACR de 0,00559 µg/kg p.c/dia para consumidores médios e 0,0255 µg/kg p.c/dia para altos consumidores. Quanto a avaliação da exposição a efeitos carcinogênicos e neurotóxicos pela ingestão de ACR, foi usada a ingestão total de ACR para o cálculo do MOE, ou seja, foi calculado a partir da soma de todas as estimativas de ingestão de todos os itens alimentares estudados, sendo eles o pão, biscoito, bolos tradicionais, bolinho de banana, batata frita, pó de café, *snacks* à base de milho, chips de batata, *Maruku*, batatas fritas locais (*kerepek*) e cereais matinais. Com isso, O MOE foi de 741 e 1875 para o consumidor médio com base nos efeitos cancerígenos e neurotóxicos da ACR, respectivamente. Enquanto isso, para consumidores altos, o MOE é de 96 para câncer e 243 para neurotoxicidade (Nur Hidayah et al., 2024).

Uma pesquisa realizada por Lemos et al. (2024) buscou avaliar o risco de exposição de indivíduos brasileiros de diferentes idades à ACR ao consumir pão branco e integral. Com isso a ingestão de ACR pelo consumo de seis diferentes categorias de pães (pão de sanduíche, pão de sanduíche de corte longo, pão de sanduíche sem crosta, pão de Provença, pão de sanduíche de trigo integral e pão de sanduíche 100 % integral) foi estimada. Nesse sentido, adolescentes do sexo feminino foram quase 2 vezes mais expostas à ACR quando consumiram pão 100% integral (2,93 µg/kg pc/dia) em comparação com pão branco (1,72 µg/kg pc/dia). Os valores de MOE para efeitos neurotóxicos da ACR variaram de 32,0 a 55,7, evidenciando uma preocupação quanto a um risco de efeitos neurotóxicos (Lemos et al., 2024).

Tabela 6. Exposição dietética de acrilamida por meio de produtos de panificação relatados com dados científicos nos últimos cinco anos.

Autor	Ano	Título	Alimento	Nível de acrilamida em µg/ kg p.c/ dia	País
NAOUS et al.	2022	Riscos cancerígenos e neurotóxicos da acrilamida consumida através de pão, <i>kaak</i> , torradas e biscoitos entre a população libanesa	Pão libanês, pão francês, biscoitos Pão torrado e Kaak	População total: 0,43 µg/kg p.c/dia crianças/adolescentes (0,44 µg/kg p.c/dia), adultos jovens (0,31 µg/kg p.c/dia), adultos (21-30; 0,34 µg/kg-pc/dia), adultos (31-50; 0,28 µg/kgp.c/dia) e adultos (+51 = 0,27 µg/kg p.c/dia).	Libano
BRANCIAR I et al.	2019	Estimativa da exposição à acrilamida em escolares italianos que consomem cardápio de cantina: preocupação com a saúde em três faixas etárias	Massas (massa com azeite, massa com molho pesto, massa com molho de tomate, massa com legumes, massa com grão de bico, massa com feijão) Pão (pão branco, pão integral, pão com azeite, pão e compota)	3 a 5 anos: 0,04 µg/kg pc/dia 6 a 10 anos: 0,03 µg/kg pc/dia 11 a 13 anos: 0,02 µg/kg pc/dia 3 a 5 anos: 0,84 µg/kg pc/dia crianças de 6 a 10 anos: 0,58 µg/kg pc/dia crianças de 11 a 13 anos: 0,41 µg/kg pc/dia	Itália
KAFOURIS et al.	2018	Determinação de acrilamida em alimentos utilizando um método UPLC–MS/MS: resultados de controle oficial e avaliação da exposição alimentar em Chipre	Pão macio Produtos de padaria (pão crocante, biscoito, bolacha, <i>cookies</i> , bolos, outros produtos de panificação)	0,056 µg/kg pc/dia (adolescentes) 0,168 µg/kg pc/dia (adolescentes)	Chipre

NUR HIDAYAH et al.	2024	Exposição alimentar à acrilamida entre a população adulta da Malásia	Biscoito	0,0404 (consumidores médios) 0,0160 (altos consumidores)	Malásia
			Pão	0,00227 (consumidores médios) 0,0108 (altos consumidores)	
			Bolos tradicionais locais (<i>kuih muih tempatan</i>)	0,00559 (consumidores médios) 0,0255 (altos consumidores)	
LEMOS et al.	2024	Consumo de pão branco e integral e risco de exposição à acrilamida e ao 5-hidroxiacetilfurfural	Pão de sanduíche	1,72 µg/kg pc/dia, 1,58 µg/kg pc/dia e 1,59 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e idosos do sexo feminino, respectivamente. 1,96 µg/kg pc/dia, 2,04 µg/kg pc/dia e 1,82 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e idosos do sexo masculino, respectivamente.	Brasil
			Pão de sanduíche de corte longo	1,53 µg/kg pc/dia, 1,40 µg/kg pc/dia e 1,41 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e idosos do sexo feminino, respectivamente. 1,02 µg/kg pc/dia, 1,06 µg/kg pc/dia e 0,95 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e idosos do sexo masculino, respectivamente.	
			Pão de sanduíche sem crosta	1,69 µg/kg pc/dia, 1,55 µg/kg pc/dia e 1,57 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e idosos do sexo feminino, respectivamente. 1,13 µg/kg pc/dia, 1,18 µg/kg pc/dia e 1,05 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e idosos do sexo masculino, respectivamente.	
			Pão de Provença	1,79 µg/kg pc/dia, 1,64 µg/kg pc/dia e 1,66 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e idosos do sexo feminino, respectivamente.	

1,20 µg/kg pc/dia, 1,25 µg/kg pc/dia e
1,11 µg/kg pc/dia para
adolescentes, adultos e idosos do sexo
masculino, respectivamente

1,89 µg/kg pc/dia, 1,73 µg/kg pc/dia e
1,75 µg/kg pc/dia para adolescentes, adultos e
idosos do sexo feminino, respectivamente

Pão de sanduíche de trigo integral

1,26 µg/kg pc/dia, 1,32 µg/kg pc/dia e
1,18 µg/kg pc/dia para
adolescentes, adultos e idosos do sexo
masculino, respectivamente

2,93 µg/kg pc/dia, 2,68 µg/kg pc/dia e
2,71 µg/kg pc/dia para
adolescentes, adultos e idosos do sexo
feminino, respectivamente

Pão de sanduíche 100% integral

1,96 µg/kg pc/dia, 2,04 µg/kg pc/dia e
1,82 µg/kg pc/dia para
adolescentes, adultos e idosos do sexo
masculino, respectivamente

1.13 Estratégias para redução da formação de acrilamida em biscoitos

1.13.1 Uso da L-Asparaginase

A L-asparaginase é uma enzima responsável por hidrolisar a asparagina em ácido aspártico e amônia antes que o tratamento térmico seja aplicado e ocorra a reação de Maillard. Essa enzima pode estar relacionada também à hidrólise da L-glutamina, tendo o glutamato como produto da hidrólise. Foi também determinado que a L-asparaginase não possui ação toxicológica para a saúde humana, porém são necessárias regulamentações para sua aplicação nacional e internacionalmente (Avramis, 2012; Sarion et al., 2021).

Dentre as evidências na literatura a respeito da sua eficácia na redução de acrilamida em biscoitos à base de farinha de trigo, pode-se citar o estudo de Gazi et al., (2023), onde diferentes tipos de biscoitos sofreram redução do teor de ACR a partir do uso da L-asparaginase. Sendo assim, as reduções de acrilamida alcançadas foram de 96 %, 80 % e 54% em biscoitos do tipo rosquinha, crackers e bolachas redondas.

1.13.2 Uso de probióticos

Estudos revelaram que o uso de cepas específicas de probióticos, especialmente *Lactobacillus*, foi recentemente hipotetizado na redução de ACR, mas pouco explorado. Porém, é possível inferir que o mecanismo responsável por essa atividade está associado à presença de peptidoglicano, compostos particularmente de carboidratos e alanina, que se ligam à acrilamida. Outro potencial mecanismo é a produção da enzima L-asparaginase que converte L-asparagina em ácido L-aspártico e amônia e previne a formação de acrilamida. Foi destacado que algumas espécies de *Lactobacillus* (*Lactobacillus casei* e *Lactobacillus reuteri*) possuem genes da L-asparaginase (Khorshidian et al., 2020). Além disso, o processo de fermentação envolvendo esses microrganismos probióticos promove o decréscimo do pH e diminui a intensidade da reação de Maillard. Ainda, há o consumo de açúcares redutores durante a fermentação natural e fermentação por um período mais prolongado, auxiliando na redução de ACR (Nachi et al., 2018; Mesias et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Ainda, um estudo avaliou a capacidade de redução de ACR de fórmulas probióticas em matrizes alimentares selecionadas, dentre elas, estão as amostras de biscoitos, com 52 µg/kg de ACR. Com isso, as amostras de biscoito com fórmulas probióticas com *Lactiplantibacillus plantarum* (50 %) + *Streptococcus thermophilus* (50 %) e *Lactiplantibacillus plantarum* (50 %) +

Lactobacillus bulgaricus (50 %) sofreram uma redução de ACR de um pouco mais de 20 % e cerca de 45 %, respectivamente (Choi et al., 2023). Sendo assim, é sugerido que uma maior rugosidade das paredes celulares e maior hidrofobicidade da superfície das células das cepas probióticas aumenta a capacidade de adsorção de ACR. Além disso, os grupos CO, C=O e NH, que estão relacionados aos conteúdos de proteína e peptidoglicano da parede celular, estão evidentemente envolvidos na adsorção de ACR (Shen et al., 2019).

1.13.3 Substituição total ou parcial de bicarbonato de amônio

O bicarbonato de amônio é um composto inorgânico utilizado para dar volume em diversos produtos de panificação. No entanto, sua adição no preparo desses alimentos pode agir como uma fonte adicional de nitrogênio, como catalisador da conversão de açúcares para produzir carbonilas reativas e como substância alcalinizante. Com isso, sua substituição por outras substâncias responsáveis pelo crescimento de panificados, como bicarbonato de sódio e acidulantes, e difosfatos dissódicos por ácidos orgânicos (ácido tartárico, ácido cítrico) ou suas variantes de potássio, como bicarbonato de potássio por pirofosfato ácido de sódio, pode ser uma importante estratégia para reduzir os níveis de acrilamida em biscoitos à base de farinha de trigo (Sarion et al., 2021). Nesse sentido, um estudo buscou alterar a formulação atual de biscoitos para reduzir o teor de ACR, mantendo as características químicas, físicas e sensoriais do produto original. Com isso, a substituição parcial do bicarbonato de amônio (de 9,0 g para 1,5 g por 500 g de farinha) por bicarbonato de sódio (de 4,5 g para 12,48 g), a redução da temperatura na fase central do processo de cozimento (de 170 °C para 150 °C) e a liberação de vapor por 3 min resultaram em uma redução de 87,2 % na concentração de ACR em comparação aos biscoitos controle (1.788 µg/kg para 229 µg/kg) (Lo Faro et al., 2022).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Determinar o teor de acrilamida em biscoitos ultraprocessados à base de farinha de trigo e estimar o risco de exposição à acrilamida a partir dos dados de consumo da população brasileira.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar o teor de acrilamida em amostras de biscoito salgado, biscoito doce e biscoito recheado;
- Estimar a ingestão de acrilamida pela população brasileira via consumo de biscoito salgado, biscoito doce e biscoito recheado;
- Avaliar o risco de exposição à acrilamida pela população brasileira através do cálculo de margem de exposição (MOE).

3. JUSTIFICATIVA

De acordo com os dados da literatura, a ACR é uma substância que é formada a partir da interação de carboidratos e aminoácidos, em específico os açúcares redutores e a asparagina, respectivamente, em alimentos submetidos a altas temperaturas. Sendo assim, ela está presente em muitos alimentos, principalmente nos biscoitos, já que estes são constituídos de tais componentes e passam pelo processamento térmico elevado, fatores imprescindíveis para a formação da ACR.

Com isso, o amplo consumo desses alimentos pela população pode contribuir também para uma alta ingestão de ACR, podendo favorecer o risco de exposição a possíveis efeitos toxicológicos apontados por estudos experimentais, sendo algum deles distúrbios reprodutivos, cânceres e principalmente doenças neurológicas. Deste modo, entende-se que a determinação de ACR em biscoitos ultraprocessados à base de farinha de trigo, bem como a estimativa de ingestão através dos dados de consumo e avaliação do risco de exposição, pode contribuir para prospectar a necessidade de desenvolver estratégias de mitigação de ACR em alimentos.

4. REFERÊNCIAS

- Andačić, I. M., Tot, A., Ivešić, M., Krivohlavek, A., Thirumdas, R., Barba, F. J., Sabolović, M. B., Kljusurić, J. G., & Brnčić, S. R. (2020). Exposure of the Croatian adult population to acrylamide through bread and bakery products. *Food Chemistry*, *322*, 126771. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126771>
- Arisseto, A. P., Toledo, M. C. de F., Govaert, Y., van Loco, J., Fraselle, S., Degrootd, J. M., & Caroba, D. C. R. (2009). Contribution of selected foods to acrylamide intake by a population of Brazilian adolescents. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(1), 207–211. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.05.024>
- Arisseto, A. P., & Toledo, M. C. F. (2006). *Acrilamida em Alimentos: Uma Revisão*.
- Avramis, V. I. (2012). *Asparaginases: Biochemical Pharmacology and Modes of Drug Resistance*.
- Basaran, B., Anlar, P., Yilmaz Oral, Z. F., Polat, Z., & Kaban, G. (2022). Risk assessment of acrylamide and 5-hydroxymethyl-2-furfural (5-HMF) exposure from bread consumption: Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, *107*, 104409. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2022.104409>
- Branciarri, R., Roila, R., Ranucci, D., Altissimi, M. S., Mercuri, M. L., & Haouet, N. M. (2020). Estimation of acrylamide exposure in Italian schoolchildren consuming a canteen menu: health concern in three age groups. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *71*(1), 122–131. <https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1624692>
- Brasil, M. da S. (n.d.). *PORTARIA Nº 2.914*.
- Choi, S. M., Lin, H., Xie, W., & Chu, I. K. (2023). Study of Potential Synergistic Effect of Probiotic Formulas on Acrylamide Reduction. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(5). <https://doi.org/10.3390/ijms24054693>
- Codex Alimentarius. (2009). *Code of Practice for the Reduction of Acrylamide in Foods*. <http://www.acrylamide-food.org/>
- Cortés, W. R. B., Vásquez Mejía, S. M., & Suárez Mahecha, H. (2021). Consumption study and margin of exposure of acrylamide in food consumed by the Bogotá population in Colombia. *Journal of Food Composition and Analysis*, *100*, 103934. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2021.103934>
- Covino, C., Sorrentino, A., Pierro, P. Di, Aiello, A., Romano, R., & Masi, P. (2023). Asparaginase enzyme reduces acrylamide levels in fried and wood oven baked pizza base. *Food Chemistry Advances*, *2*, 100206. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100206>

- Crawford, L. M., Kahlon, T. S., Chiu, M. C. M., Wang, S. C., & Friedman, M. (2019). Acrylamide Content of Experimental and Commercial Flatbreads. *Journal of Food Science*, *84*(3), 659–666. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14456>
- Cristina, V., Neri, C., Oswaldo, F., Orientadores, C., Waissmann, W., & Krauss, T. M. (2004). *Acrilamida em Alimentos: Formação Endógena e Riscos à Saúde*.
- Deribew, H. A., & Woldegiorgis, A. Z. (2021). Acrylamide levels in coffee powder, potato chips and French fries in Addis Ababa city of Ethiopia. *Food Control*, *123*, 107727. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2020.107727>
- Duan, X., Wang, Q. C., Chen, K. L., Zhu, C. C., Liu, J., & Sun, S. C. (2015). Acrylamide toxic effects on mouse ovocyte quality and fertility in vivo. *Scientific Reports*, *5*. <https://doi.org/10.1038/srep11562>
- EFSA, E. F. S. A. (2015a). *EFSA explains risk assessment: acrylamide in food*. EFSA.
- EFSA, E. F. S. A. (2015b). Scientific Opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, *13*(6). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4104>
- El-Zakhem Naous, G., Merhi, A., Daher, R., Mroueh, M., Abboud, M. I., & Taleb, R. I. (2022). Carcinogenic and neurotoxic risks of acrylamide consumed through bread, kaak, toast, and crackers among the Lebanese Population. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *132*, 105192. <https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2022.105192>
- EPA. (2007). *Toxicological Review of Acrylamide in Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)*. www.epa.gov/iris
- Erdemli, M. E., Turkoz, Y., Altinoz, E., Elibol, E., & Dogan, Z. (2016). Investigation of the effects of acrylamide applied during pregnancy on fetal brain development in rats and protective role of the Vitamin E. *Human and Experimental Toxicology*, *35*(12), 1337–1344. <https://doi.org/10.1177/0960327116632049>
- Eslamizad, S., Kobarfard, F., Tsitsimpikou, C., Tsatsakis, A., Tabib, K., & Yazdanpanah, H. (2019). Health risk assessment of acrylamide in bread in Iran using LC-MS/MS. *Food and Chemical Toxicology*, *126*, 162–168. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2019.02.019>
- European Commission Regulation. (2017). *COMMISSION REGULATION (EU) 2017/ 2158 - of 20 November 2017 - establishing mitigation measures and benchmark levels for the reduction of the presence of acrylamide in food*.
- Gao, J. G., Jiang, Y., Zheng, J. T., & Nie, L. W. (2022). Pubertal exposure to acrylamide disrupts spermatogenesis by interfering with meiotic progression in male mice. *Toxicology Letters*, *358*, 80–87. <https://doi.org/10.1016/J.TOXLET.2022.01.014>

- Gazi, S., Göncüoğlu Taş, N., Görgülü, A., & Gökmen, V. (2023). Effectiveness of asparaginase on reducing acrylamide formation in bakery products according to their dough type and properties. *Food Chemistry*, 402, 134224. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.134224>
- Gumul, D., Ziobro, R., Korus, J., & Surma, M. (2023). Pulp from Colored Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) as an Ingredient Enriching Dessert Cookies. *Foods*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/foods12203735>
- Henao, S. J., Petrarca, M. H., Braga, P. A. C., & Arisseto, A. P. (2021). Acrylamide in non-centrifugal sugar from Latin American markets: in-house validation of an LC-MS/MS method, dietary exposure assessment and risk characterisation in Brazil and Colombia. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 38(9), 1456–1469. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1933205>
- IBGE. (2020). *Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil*.
- International Agency for Research on Cancer., & World Health Organization. (1994). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Volume 60 - Some industrial chemicals*. International Agency for Research on Cancer.
- JEFCA. (2005). *The Thirty-Seventh Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food*.
- JEFCA. (2006). *Evaluation of Certain Food Contaminants: Sixty-fourth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. World Health Organization.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2005). *Sixty-fourth meeting*. <http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/en/>
- Kafouris, D., Stavroulakis, G., Christofidou, M., Iakovou, X., Christou, E., Paikousis, L., Christodoulidou, M., Ioannou-Kakouri, E., & Yiannopoulos, S. (2018). Determination of acrylamide in food using a UPLC–MS/MS method: results of the official control and dietary exposure assessment in Cyprus. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 35(10), 1928–1939. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1508893>
- Khorshidian, N., Yousefi, M., Shadnoush, M., Siadat, S. D., Mohammadi, M., & Mortazavian, A. M. (2020). Using probiotics for mitigation of acrylamide in food products: a mini review. *Current Opinion in Food Science*, 32, 67–75. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2020.01.011>
- Kontaş Yedier, S., Atlı Şekeroğlu, Z., Şekeroğlu, V., & Aydın, B. (2022). Cytotoxic, genotoxic, and carcinogenic effects of acrylamide on human lung cells. *Food and Chemical Toxicology*, 161, 112852. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2022.112852>

- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., & Marinou-Kouris, D. (2001). Effect of pre-drying on quality of french fries. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 347–354. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00233-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00233-8)
- Kumari, A., Bhattacharya, B., Agarwal, T., Paul, V., & Chakkaravarthi, S. (2022). Integrated approach towards acrylamide reduction in potato-based snacks: A critical review. *Food Research International*, 156, 111172. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111172>
- LoPachin, R. M., Balaban, C. D., & Ross, J. F. (2003). Acrylamide axonopathy revisited. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 188(3), 135–153. [https://doi.org/10.1016/S0041-008X\(02\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0041-008X(02)00072-8)
- Lund, M. N., & Ray, C. A. (2017). Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 65, Issue 23, pp. 4537–4552). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00882>
- Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & Van Boekel, M. A. J. S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9–10), 364–373. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X)
- Matoso, V., Bargi-Souza, P., Ivanski, F., Romano, M. A., & Romano, R. M. (2019). Acrylamide: A review about its toxic effects in the light of Developmental Origin of Health and Disease (DOHaD) concept. *Food Chemistry*, 283, 422–430. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.01.054>
- Matthys, C., Bilau, M., Govaert, Y., Moons, E., De Henauw, S., & Willems, J. L. (2005). Risk assessment of dietary acrylamide intake in Flemish adolescents. *Food and Chemical Toxicology*, 43(2), 271–278. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2004.10.003>
- Medeiros Vinci, R., Mestdagh, F., & De Meulenaer, B. (2012). Acrylamide formation in fried potato products – Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, 133(4), 1138–1154. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.08.001>
- Mencin, M., Abramovič, H., Vidrih, R., & Schreiner, M. (2020). Acrylamide levels in food products on the Slovenian market. *Food Control*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107267>
- Mesias, M., Delgado-Andrade, C., & Morales, F. J. (2022). An updated view of acrylamide in cereal products. *Current Opinion in Food Science*, 46, 100847. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2022.100847>
- Mesías, M., & Morales, F. J. (2015). Acrylamide in commercial potato crisps from Spanish market: Trends from 2004 to 2014 and assessment of the dietary exposure. *Food and Chemical Toxicology*, 81, 104–110. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2015.03.031>

- Mogol, B. A., Hamzalioglu, A., & Gökmen, V. (2021). Mitigation of Acrylamide in Thermally Processed Foods. *Comprehensive Foodomics*, 32–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22827-8>
- Mojska, H., Gielecińska, I., & Stoś, K. (2012). Determination of acrylamide level in commercial baby foods and an assessment of infant dietary exposure. *Food and Chemical Toxicology*, 50(8), 2722–2728. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2012.05.023>
- Mojska, H., Gielecińska, I., Szponar, L., & Ołtarzewski, M. (2010). Estimation of the dietary acrylamide exposure of the Polish population. *Food and Chemical Toxicology*, 48(8–9), 2090–2096. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2010.05.009>
- Nachi, I., Fhoula, I., Smida, I., Ben Taher, I., Chouaibi, M., Jaunbergs, J., Bartkevics, V., & Hassouna, M. (2018). Assessment of lactic acid bacteria application for the reduction of acrylamide formation in bread. *LWT*, 92, 435–441. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.02.061>
- Nematollahi, A., Kamankesh, M., Hosseini, H., Ghasemi, J., Hosseini-Esfahani, F., & Mohammadi, A. (2019). Investigation and determination of acrylamide in the main group of cereal products using advanced microextraction method coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Cereal Science*, 87, 157–164. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2019.03.019>
- Nematollahi, A., Mollakhalili Meybodi, N., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). An overview of the combination of emerging technologies with conventional methods to reduce acrylamide in different food products: Perspectives and future challenges. *Food Control*, 127, 108144. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108144>
- Normandin, L., Bouchard, M., Ayotte, P., Blanchet, C., Becalski, A., Bonvalot, Y., Phaneuf, D., Lapointe, C., Gagné, M., & Courteau, M. (2013). Dietary exposure to acrylamide in adolescents from a Canadian urban center. *Food and Chemical Toxicology*, 57, 75–83. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2013.03.005>
- Nunes, A., Jardim, O., & Caldas, E. D. (2009). Exposição humana a substâncias químicas potencialmente tóxicas na dieta e riscos para saúde. In *Quim. Nova* (Vol. 32, Issue 7).
- Nur Hidayah, J., Abdul Razis, A. F., Jambari, N. N., Chai, L. C., You, L., & Sanny, M. (2024). Dietary exposure to acrylamide among the Malaysian adult population. *Food and Chemical Toxicology*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114502>
- Lemos, A. C., de Borba, V. S., Cerqueira, M. B. R., Pereira, A. M., Scaglioni, P. T., & Badiale-Furlong, E. (2024). White and wholewheat bread consumption and the risk of exposure to acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural. *Food Chemistry*, 460. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140662>

- Lo Faro, E., Salerno, T., Montevecchi, G., & Fava, P. (2022). Mitigation of Acrylamide Content in Biscuits through Combined Physical and Chemical Strategies. *Foods*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/foods11152343>
- Russo, M. V., Avino, P., Centola, A., Notardonato, I., & Cinelli, G. (2014). Rapid and simple determination of acrylamide in conventional cereal-based foods and potato chips through conversion to 3-[bis(trifluoroethanoyl)amino]-3-oxopropyl trifluoroacetate by gas chromatography coupled with electron capture and ion trap mass spectrometry detectors. *Food Chemistry*, 146, 204–211. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.09.050>
- Sáez-Hernández, R., Ruiz, P., Mauri-Aucejo, A. R., Yusa, V., & Cervera, M. L. (2022). Determination of acrylamide in toasts using digital image colorimetry by smartphone. *Food Control*, 141, 109163. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2022.109163>
- Sampaio, S. L., Lonchamp, J., Dias, M. I., Liddle, C., Petropoulos, S. A., Glamočlija, J., Alexopoulos, A., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Anthocyanin-rich extracts from purple and red potatoes as natural colourants: Bioactive properties, application in a soft drink formulation and sensory analysis. *Food Chemistry*, 342, 128526. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128526>
- Sarion, C., Codină, G. G., & Dabija, A. (2021). Acrylamide in bakery products: A review on health risks, legal regulations and strategies to reduce its formation. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084332>
- SciCom, S. C. (2019). *Use of the 'margin of exposure' (MOE) approach for deriving risk-based action limits for carcinogens unintentionally present in food*. 1–44.
- Shen, Y., Zhao, S., Zhao, X., Sun, H., Shao, M., & Xu, H. (2019). In vitro adsorption mechanism of acrylamide by lactic acid bacteria. *LWT*, 100, 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.058>
- Tölgyesi, Á., & Sharma, V. K. (2020). Determination of acrylamide in gingerbread and other food samples by HILIC-MS/MS: A dilute-and-shoot method. *Journal of Chromatography B*, 1136, 121933. <https://doi.org/10.1016/J.JCHROMB.2019.121933>
- Verma, V., & Yadav, N. (2022). Acrylamide content in starch based commercial foods by using high performance liquid chromatography and its association with browning index. *Current Research in Food Science*, 5, 464–470. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2022.01.010>
- VKM, N. S. C. for F. S. (2015). *Risk assessment of dietary exposure to acrylamide in the Norwegian population Opinion of the Panel on Contaminants of the Norwegian Scientific Committee for Food Safety*. www.vkm.no

- Wu, Y., Chen, L., Xian, Y., Hou, X., Liang, M., Dong, H., & Chen, J. (2019). Quantitative analysis of fourteen heterocyclic aromatic amines in bakery products by a modified QuEChERS method coupled to ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS). *Food Chemistry*, *298*, 125048. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125048>
- Xu, Y., Cui, B., Ran, R., Liu, Y., Chen, H., Kai, G., & Shi, J. (2014). Risk assessment, formation, and mitigation of dietary acrylamide: Current status and future prospects. *Food and Chemical Toxicology*, *69*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2014.03.037>
- Yuan, Y., Shu, C., Zhou, B., Qi, X., & Xiang, J. (2011). Impact of selected additives on acrylamide formation in asparagine/sugar Maillard model systems. *Food Research International*, *44*(1), 449–455. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.025>
- Zhang, Z., Chen, Y., Deng, P., He, Z., Qin, F., Chen, Q., Wang, Z., Pan, H., Chen, J., & Zeng, M. (2024). Research progress on generation, detection and inhibition of multiple hazards - acrylamide, 5-hydroxymethylfurfural, advanced glycation end products, methylimidazole - in baked goods. *Food Chemistry*, *431*, 137152. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.137152>

5. ARTIGO

Assessment of Acrylamide Exposure Risk in the Brazilian Population: Impact of Consuming Ultra-Processed Wheat Flour Snacks

Daniela Rigo^a, Poliana Deyse Gurak^a, Denise Wibelinger de Melo^b, Bruna Reis Garcia^a, Camila Scheid^a, , Josias de Oliveira Merib^a, Fernanda Muccillo Teixeira de Souza Cruz^a,
Manuela Poletto Klein^a

a Federal University of Health Sciences of Porto Alegre – Address: Rua Sarmiento Leite, 245, Centro Histórico, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil 90050-170

b Federal University of Rio Grande do Sul – Address: Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

Corresponding author: Manuela Poletto Klein, Ph.D. Adjunct Professor of the Department of Nutrition, Graduate Program in Nutritional Sciences, Federal University of Health Sciences of Porto Alegre - Address: Rua Sarmiento Leite, 245, Centro Histórico, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil 90050-170 – Email: manuelap@ufcspa.edu.br

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do objetivo da pesquisa de determinar a concentração de ACR em produtos de panificação ultraprocessados a base de farinha de trigo, foi possível verificar a média dos níveis de acrilamida nas categorias de biscoito de amido de milho e biscoito recheado, bem com seus respectivos valores mínimos e máximos e os valores máximos dos biscoitos salgados ultrapassam os valores máximos indicados pela Regulamentação da Comissão Europeia e as concentrações médias referenciadas pela EFSA. Além disso, a partir da determinação de ACR nesses alimentos e a obtenção dos dados de consumo dos mesmos feitos pela população brasileira, tornou-se viável estimar a ingestão média da ACR e avaliar o risco de exposição a provável carcinogenicidade e neurotoxicidade da substância. Assim, constatou-se que a estimativa de ingestão média de ACR por categoria de produtos de panificação em todas as faixas etárias não contribuiu para a apresentação de riscos para exposição a efeitos neurotóxicos.

Porém o risco de exposição a efeitos carcinogênicos foi evidenciado na ingestão estimada média de ACR dos biscoitos de amido de milho, dos biscoitos de água e sal, e considerando um cenário do consumo, por dia, de todos os biscoitos, em ambos os grupos etários, bem como a estimativa de ingestão média de biscoito recheado em adolescentes. No entanto, considerando que a os biscoitos só representam uma pequena parcela do consumo total de alimentos feito pela população, e também constatando a escassez de pesquisas no âmbito nacional que analisem outros tipos de produtos alimentícios, faz-se necessário a realização de mais trabalhos semelhantes englobando outras categorias de alimentos frequentemente adquiridos pelos brasileiros a fim de melhor estimar o real risco de exposição a ACR e seus efeitos pela população brasileira.