



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO (CTC) CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Pedro Marino Calvo Torres de Freitas

Migração dos compostos de embalagens em alimentos destinados aos bebês
:uma revisão da literatura

Florianópolis, SC
2022

Pedro Marino Calvo Torres de Freitas

Migração dos compostos de embalagens em alimentos destinados aos bebês
:uma revisão da literatura

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Germán Ayala Valencia.

Florianópolis, SC

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

de Freitas, Pedro Migração dos compostos de embalagens em alimentos destinados aos bebês : Uma revisão da literatura / Pedro de Freitas ; orientador, Germán Valencia, 2022. 50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Alimentos de bebês. 3. Embalagens de alimentos. 4. Migração. I. Valencia, Germán . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Título.

Pedro Marino Calvo Torres de Freitas

Migração dos compostos de embalagens em alimentos destinados aos bebês

:uma revisão da literatura

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Alimentos.

Florianópolis, 20 de dezembro de 2022

Prof. Dr. Marco Di Luccio
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.(a) Dr.(a) Germán Ayala Valencia
Orientador(a)
Instituição UFSC

Prof.(a) Dr.(a) Jéssica de Matos Fonseca
Avaliador(a)
Instituição UFSC

Ma. Carla Roana Monteiro Rudke
Avaliador(a)
Instituição UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Maria Cristina Marino Calvo e Sérgio Fernando Torres de Freitas, que me proporcionaram todas as condições e incentivos para concluir meus estudos. À universidade pública, mais especificamente, a Universidade Federal de Santa Catarina e seu corpo docente, que possibilitaram e incentivaram um estudo de qualidade em um ambiente agradável e motivador, apesar de suas limitações. À ciência e à vacinação, que possibilitou que a convivência voltasse à normalidade após a pandemia de COVID-19. Aos meus amigos e colegas de classe, que me ajudaram a passar por diversos momentos felizes e conturbados, dentro e fora de sala de aula. E à Deus, ou qualquer outra força maior que exista e esteja presente em todas as nossas vidas.

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo revisar a migração de compostos de embalagens em alimentos destinados à bebês, avaliando diversos estudos na área, e destacando quais tipos de embalagens, compostos e cenários apresentam maior risco para os bebês. Atualmente, as embalagens plásticas dominam o mercado de alimentos, dada sua versatilidade de aplicação e baixo custo, por esses e outros motivos, são as mais estudadas na literatura no quesito da migração. Após o levantamento de informações a respeito da migração em diferentes tipos de embalagens e fatores de influência, foram avaliados os casos específicos que envolvem alimentos de bebês, bem como os compostos de maior risco para sua saúde e os respectivos danos possivelmente causados. Entre os maiores riscos estão, os bisfenóis, de monômeros e oligômeros liberados por polímeros sintéticos, e de metais e metais pesados, esse último com menos intensidade devido à baixa migração nas embalagens metálicas e sua baixa popularidade em alimentos de bebês. Também ganha destaque a influência da temperatura na migração em embalagens plásticas, o aumento da temperatura potencializa consideravelmente esse fenômeno, esse fator afeta a estrutura do material e facilita a liberação de moléculas. As embalagens de vidro se mostram as mais inertes e seguras nesse contexto, embalagens laminadas multicamadas também aparecem como uma alternativa economicamente mais viável, com exceção dos casos em que há aquecimento. Para contornar essas questões, o desenvolvimento de novos polímeros de alta tecnologia que liberam menos compostos migrantes é uma boa alternativa, e por enquanto ainda são necessários mais estudos sobre a migração dos compostos, principalmente provenientes de embalagens plásticas, pois muitas substâncias inesperadas são formadas em meio ao processamento e têm causas desconhecidas no organismo.

Palavras-chave: Migração. Alimentos de bebês. Bisfenóis. Embalagens de alimentos. Oligômeros.

ABSTRACT

This work aims to review the migration of packaging compounds into baby food, analyze several studies in this topic, and present which types of packaging, compounds and scenarios offer the greatest risk for babies. Currently, plastic packaging leads the food market, given its versatility and low cost, for this and other reasons, it is the most studied in the literature regarding migration. After collecting information about migration in different types of packaging and influence factors, specific cases involving baby foods are reviewed, as well as the compounds with the greatest health risk and their respective possible damages. The biggest threats are bisphenols, monomers and oligomers released by synthetic polymers, and metals or heavy metals, the last one with less intensity due to the low migration in metal packaging and their low popularity for baby food. The influence of temperature on migration in plastic packaging is also highlighted, the increase in temperature considerably enhances this phenomenon, higher temperatures affect the plastic structure, increasing molecules released. Glass packages are the most inert and safe in this context, multilayer packages also appear as a more viable alternative, except for the cases with high temperatures. To work around this situation, the developing of new high-tech polymers that release fewer migrating compounds is a good innovative alternative, meanwhile, further studies are still needed on the migration of compounds, mainly from plastic packaging, because many unexpected substances are formed during processing and have unknown consequences for the body.

Keywords: Migration. Food packaging. Baby food. Bisphenols. Oligomers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação dos diferentes materiais na indústria de embalagens.	16
Figura 2 - Participação de cada tipo de embalagem no mercado de alimentos.....	23
Figura 3 - Mecanismos de formação de micro e nanoplásticos.....	24
Figura 4 - Bisfenol A.....	36
Figura 5 - Bisfenol S.....	36
Figura 6 - ϵ -Caprolactama cíclica e o dímero de ϵ -Caprolactama cíclica	37
Figura 7 - 3,3-Dimetil-1,5-dioxiacicoundecano-6,11-diona (NPG-AA).....	38
Figura 8 - Sachês plásticos multicamadas com alimento para bebês (purês de frutas). “ <i>Pouches</i> ”.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de permeabilidade de diferentes polímeros.	18
Tabela 2 -Características de embalagens celulósicas e cartonadas laminadas para alimentos.	32
Tabela 3 - Características de embalagens plásticas e metálicas para alimentos.....	33
Tabela 4 - Características de embalagens de vidro para alimentos.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA-DEG - 1,4,7-Trioxaciclotridecano-8,13-diona;
ABRE – Associação brasileira de embalagem;
ANVISA – Agência nacional de vigilância sanitária;
BHET – Tereftalato de bis-hidroxieta;
BPA – Bisfenol A;
BPS – Bisfenol S;
CHDM – 1,4-Ciclohexanodimetanol;
DEHA – N,N-dietilhidroxilamina;
DEHP – Di(2-etilhexil ftalato);
DMT – Tereftalato de dimetila;
DNA – Ácido desoxirribonucleico;
DPB – Dibutilftalato;
EUA – Estados Unidos da América;
FDA – Food and Drug Administration;
GC/MS – Cromatografia gasosa/espectrometria de massa;
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IAS – Substâncias intencionalmente adicionadas;
IN – Instrução Normativa;
MPs – Microplásticos;
NIAS – Substâncias não intencionalmente adicionadas;
NPG-AA - 3,3-Dimetil-1,5-dioxiacicloundecano-6,11-diona;
NPs – Nanoplásticos;
PA – Poliamida;
PA-DEG – Ácido ftálico – dietilenoglicol;
PC – Policarbonato;
PEAD – Polietileno de alta densidade;
PEBD – Polietileno de baixa densidade;
PET – Polietileno Tereftalato;
PP – Polipropileno;
ppb – partículas por bilhão;
PS – Poliestireno;

PU – Poliuretano;

PVC – Policloreto de vinila;

PVDC – Policloreto de vinilideno;

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada;

SM – Monômeros de estireno;

TMCD – 2,2,4,4-Tetrametil-1,3-ciclobutanodiol;

uPVC – Policloreto de vinila não plastificado;

UE – União Europeia;

UV – Ultravioleta;

LISTA DE SÍMBOLOS

2,6 – DiPN – diisopropilnaftaleno;

Al – Alumínio;

As – Arsênio;

B – Boro;

Ca – Cálcio;

cm – centímetro;

CO₂ – gás carbônico (dióxido de carbono);

Cd – Cádmio;

Fe – Ferro;

H₂O – água;

Hg – Mercúrio;

K – Potássio;

kg – quilograma;

ml – mililitro;

mm – milímetro;

Mg – Magnésio;

N₂ – gás nitrogênio;

Na – Sódio;

N^o - número;

O₂ – gás Oxigênio;

Pb – Chumbo;

s – segundos;

Sn – Estrôncio;

°C – grau Celsius;

∂ - derivada parcial;

ε – Épsilon;

μg – micrograma;

® - Marca registrada;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TIPOS DE EMBALAGENS E CARACTERÍSTICAS DE MIGRAÇÃO.	15
1.2	MIGRAÇÃO DE COMPOSTOS EM EMBALAGENS: UM RISCO À SAÚDE DOS BEBÊS.....	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
2	MIGRAÇÃO DE COMPOSTOS A PARTIR DE DIFERENTES EMBALAGENS E INTERAÇÕES COM ALIMENTOS	17
2.1	Fenômenos de interação das embalagens	17
2.1.1	Permeação	17
2.1.2	Adsorção	18
2.1.3	Migração.....	19
2.1.3.1	<i>Migração global e específica.....</i>	19
2.1.3.2	<i>Modelos de migração</i>	20
2.1.3.3	<i>Cinética de migração.....</i>	20
2.2	FATORES QUE INFLUENCIAM A MIGRAÇÃO	21
2.2.1	Tipos de embalagem	21
2.2.1.1	<i>Embalagens celulósicas.....</i>	21
2.2.1.1.1	Embalagens cartonadas multicamadas	22
2.2.1.2	<i>Embalagens plásticas</i>	23
2.2.1.3	<i>Embalagens metálicas</i>	27
2.2.1.4	<i>Embalagens de vidro</i>	28
2.2.2	Temperatura	28
2.2.3	Agitação e estresse mecânico	29

2.2.4	Tempo de contato.....	29
2.2.5	Idade da embalagem.....	30
2.2.6	Reciclagem.....	30
2.2.7	Natureza do alimento	31
2.3	Comparação entre diferentes materiais embalagens de alimentos	32
3	Migração de compostos de embalagens para alimentos de bebês	35
3.1	Bisfenóis	35
3.2	Monômeros e Oligômeros provenientes de polímeros	37
3.3	Metais e metais pesados	38
4	Resultados e discussão	40
5	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 TIPOS DE EMBALAGENS E CARACTERÍSTICAS DE MIGRAÇÃO.

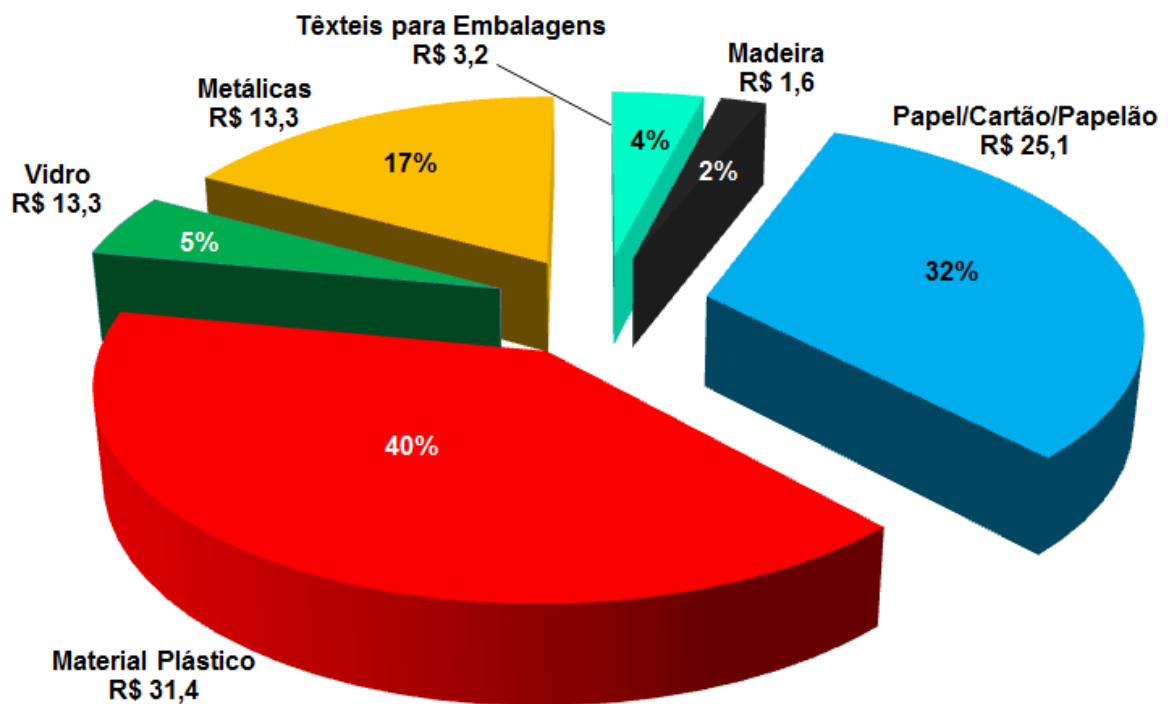
A embalagem é o recipiente ou qualquer tipo de acondicionamento que é destinada a cobrir, empacotar, envasar, proteger ou manter alimentos, de matérias-primas à produtos prontos (ANVISA, 2001). A função principal das embalagens é, sem dúvidas, proteger o alimento, contra interações físicas (choques ou impactos), químicas e microbiológicas, que normalmente são impactadas por fatores externos, como temperatura, umidade e luminosidade; essa proteção fornecida já atua como um fator de conservação de grande importância para o alimento. Outras funções das embalagens ainda podem ser citadas, como a informação contida – que possui valor tanto para o consumidor que busca informações nutricionais, data de validade, modo de consumo e armazenamento; quanto para o distribuidor, que gerencia seu estoque e possui uma gestão de armazenamento, rastreamento e distribuição – e a conveniência, nesse aspecto, entram fatores como manuseio, estocagem, interações com o consumidor, *marketing*, fatores ambientais, reciclabilidade, entre diversos outros fatores que devem ser pensados e estudados caso a caso para cada alimento que está contido e objetivo final (ALAMRI et al., 2021a).

Tendo em mente que a principal função da embalagem é levar um alimento seguro para o consumidor, podemos citar os tipos de embalagens (classificados com base na matéria-prima) mais comuns no mercado alimentício, são elas, as embalagens plásticas, metálicas, de vidro ou papel. Entre essas, as embalagens de plástico e papel lideram a participação no mercado brasileiro, seguidas pelas metálicas e depois vidro (Figura 1), conforme sugere um estudo da ABRE (Associação brasileira de embalagem), de 2018. Vale ressaltar que o estudo engloba todo o mercado de embalagens, e não apenas aquelas destinadas à alimentos – que é responsável por cerca de 50% do mercado global de embalagens (FONTOURA; CALIL; CALIL, 2016) – é provável que no mercado de alimentos o domínio das embalagens plásticas seja ainda maior.

Essa predominância dos plásticos se dá por alguns fatores, é um material leve, resistente, barato, possui boas propriedades térmicas e de barreira, podem ser rígidos ou flexíveis, transparentes ou opacos. Os principais problemas dele são, o alto tempo de degradação e ser originário do petróleo (FONTOURA; CALIL; CALIL, 2016; JADHAV et al., 2021a). As embalagens de papel ganham destaque por serem mais biodegradáveis e muito baratas, porém não são tão versáteis, e possuem propriedades de proteção muito inferiores às dos plásticos, normalmente elas são limitadas a um grupo seletivo de alimentos (em geral de baixa

umidade), ou acompanhadas de outra embalagem ou material. Já as embalagens de vidro e metálicas possuem boas propriedades para envolver alimentos, e são mais facilmente recicláveis, porém, são consideravelmente mais pesadas e mais caras devido ao alto investimento energético no processamento. Portanto, essa revisão aborda principalmente embalagens compostas pelos materiais citados até aqui, pois são os mais comuns na indústria alimentícia; com ênfase nos casos de maior migração.

Figura 1 - Participação dos diferentes materiais na indústria de embalagens.



Fontes: 2014-2016 (IBGE PIA 6750); 2017-2018 análise Euromonitor Internacional (via IBGE PIA 6607 e 3650). Dados: em bilhões de reais.

1.2 MIGRAÇÃO DE COMPOSTOS EM EMBALAGENS: UM RISCO À SAÚDE DOS BEBÊS

Nesse contexto, surge a preocupação com a alimentação dos bebês, eles são muito mais suscetíveis a desreguladores endócrinos (bisfenóis, por exemplo) do que adultos Além disso, a sua capacidade de metabolizar, desintoxicar e excretar substâncias indesejadas ainda

não é bem desenvolvida, e eles comem proporcionalmente (massa de comida/massa corporal) mais do que adultos. Portanto, os bebês têm maior probabilidade de ingerir compostos que migram da embalagem para o alimento. Esse tipo de contaminação no começo do desenvolvimento do organismo pode ocasionar em deficiências que demoram a ser percebidas (BAUER et al., 2019). Então, a grande questão é ter embalagens dedicadas à alimentos para bebês, de forma que a migração seja minimizada durante o processamento ou armazenamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão da literatura em relação a migração de componentes das embalagens em produtos alimentícios, preferencialmente destinados aos bebês.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar uma análise crítica a partir de dados científicos relacionados com a migração de substâncias das embalagens em alimentos destinados à alimentação de bebês.

Analisar e discutir quais materiais e compostos migrantes de embalagens oferecem maior risco à saúde dos bebês e suas possíveis consequências.

Propor alternativas para minimizar a migração proveniente dos materiais das embalagens de alimentos para bebês.

2 MIGRAÇÃO DE COMPOSTOS A PARTIR DE DIFERENTES EMBALAGENS E INTERAÇÕES COM ALIMENTOS

Inicialmente, será abordada a temática da migração, avaliando os diferentes fenômenos que podem ocorrer, os fatores que influenciam a migração, e como ela ocorre nos diferentes materiais, trazendo também um comparativo entre eles.

2.1 FENÔMENOS DE INTERAÇÃO DAS EMBALAGENS

2.1.1 Permeação

A permeação se trata da interação das embalagens, basicamente, com gases do meio externo, como oxigênio, gás carbônico e vapor d'água (umidade). Nesse sentido, os materiais têm diferentes permeabilidades, os papéis são bem permeáveis, os plásticos variam de acordo com a forma que são feitos, e muitas vezes possuem aditivos para melhorar essa propriedade (CARMELO et al., 2018), os metais e vidros são bem resistentes à permeação.

De acordo com ZEMAN; KUBÍK, 2007 Cita diferentes coeficientes de permeabilidade de alguns polímeros muito comuns para os gases de maior interesse e também para umidade (Tabela 1), trazendo também a relação entre a permeabilidade dos gases em relação aos outros gases.

Tabela 1 - Coeficientes de permeabilidade de diferentes polímeros.

Polímero	P (ml mm cm ⁻² s ⁻¹ cm Hg ⁻¹)				$\frac{PO_2}{PN_2}$	$\frac{PCO_2}{PO_2}$	$\frac{PCO_2}{PN_2}$	Estrutura polimérica
	N ₂ (30°C)	O ₂ (30°C)	CO ₂ (30°C)	H ₂ O (25°C, 90% UR)				
PEBD¹	19	55	352	800	2,9	6,4	18,5	Semicristalino
PEAD²	2,7	10,6	35	130	3,9	3,3	13	Cristalina
PP³	-	23	92	680	-	4	-	Cristalina
uPVC⁴	0,4	1,2	10	1560	3	8,3	25	Um pouco cristalina
Acetato de celulose	2.8	7.8	68	75000	2.8	8.7	25	Amorfo
PS⁵	2,9	11	88	12000	3,8	8	30	Amorfo
Nylon 6	0,1	0,38	1,6	7000	3,8	4,2	16	Cristalina
PET⁶	0,05	0,22	1,53	1300	4,4	7	31	Cristalina
PVDC⁷	0,0094	0,053	0,29	14	5,6	5,5	31	Cristalina

Fonte: ASHLEY, R. J. 1985.

Pelos dados da Tabela 1, é possível observar que diferentes estruturas poliméricas vão oferecer diferentes permeabilidades (P). Chamam atenção o PET e PVDC pelas baixas permeabilidades, e o acetato de celulose, um éster formado a partir da celulose, e que tem altas permeabilidade à umidade, destacando essa característica comum das embalagens celulósicas (COSTA, 2010).

¹ Polietileno de baixa densidade.

² Polietileno de alta densidade.

³ Polipropileno.

⁴ Policloreto de vinila não plastificado.

⁵ Poliestireno

⁶ Polietileno Tereftalato.

⁷ Policloreto de vinilideno.

2.1.2 Adsorção

Adsorção é o fenômeno da interação entre duas fases que formam uma camada de interação pela transferência de uma molécula de um fluido que está em contato com uma superfície sólida (ALAQARBEH, 2021). Esse é um fenômeno que pode ocorrer na interação entre alimento e embalagem, ocorrendo de forma que algumas moléculas do alimento penetram na estrutura da embalagem, possivelmente comprometendo sua integridade. Alimentos gordurosos intensificam esse fenômeno, dependendo também do material da embalagem. Alguns alimentos gordurosos que já foram avaliados quanto às interações com embalagens podem ser citados: queijos (muçarela, prato, minas), mortadela, salsicha, manteiga e carnes (BARROS et al., 2011).

2.1.3 Migração

2.1.3.1 Migração global e específica

A migração é a transferência de massa de substâncias da embalagem para o alimento. Nenhuma embalagem é totalmente inerte a essa transferência, mas podemos dizer que os plásticos e papéis são muito mais propensos do que metais e vidros.

A migração pode ser dividida em global e específica. O termo migração global se refere a toda massa que foi transferida da embalagem para o alimento, não importando a natureza ou toxicidade

Já a migração específica trata da transferência de algum composto específico e bem identificado, com interesses toxicológicos e organolépticos. Nesse caso, o limite de migração varia para cada composto conhecido. No Brasil, a ANVISA determina, através da RDC N° 498 de 20 de maio de 2021 (ANVISA, 2021), as disposições para embalagens, revestimentos, utensílios, tampas e equipamentos metálicos em contato com alimentos. Essa resolução incorpora resoluções anteriores e estabelece todas as normas para embalagens de alimentos, inclusive quantidades máximas de compostos que a embalagem pode conter, relações de compostos que possuem uma lista de restrições e limites de migração específica com base em ensaios de migração. A RDC 91 de 2001 (ANVISA, 2001), ainda vigente, aprova os critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos, definindo conceitos de migração global e específica, limites de migração e composição, além dos simulantes, produtos que imitam o comportamento de determinado alimento a fim de simular a migração em cada caso. Os critérios adotados são que, basicamente, nas condições normais e previsíveis, a migração não deve representar risco à saúde humana, ou modificar significativamente a composição e propriedades do alimento. Os componentes permitidos e

seus respectivos limites de aplicação ou migração seguem uma lista positiva aprovada pela própria ANVISA. Em casos específicos, podem haver restrições de uso, e os materiais devem seguir critérios de pureza compatíveis estabelecidos. Caso haja conhecimento técnico e científico suficiente, pode ser incluído, excluído ou alterado (limites de migração/composição), algum componente. Para isso, a ANVISA toma como referência as listas positivas das diretivas da União Europeia como padrão, seguida pela lista positiva da Food and Drug Administration (FDA), e por último, outras legislações internacionais reconhecidas (ANVISA, 2001).

2.1.3.2 Modelos de migração

É possível descrevermos três modelos de migração em alimentos, onde eles caracterizam boa parte das interações que ocorrem entre alimento e embalagem.

Modelo 1: caracterizado pela baixa migração dos componentes da embalagem, aproxima as situações de produtos secos e duros ou congelados, como sal, farinhas, e carnes congeladas. Em alguns casos esse modelo pode considerar migração nula.

Modelo 2: modelo onde a migração é independente e não controlada pelo alimento, viabilizada pelas moléculas de água presentes nas superfícies dos alimentos. Em geral existe um “limite de transferência”, o coeficiente de difusão é finito.

Modelo 3: a migração é fortemente influenciada pelo alimento, ocorre uma interação intensa entre a embalagem e o alimento, como a penetração de compostos do alimento (água, gorduras) na estrutura da embalagem, de forma que compromete a sua integridade. Nesse caso, o coeficiente de difusão aumenta drasticamente e fica muito difícil prever o comportamento da migração.

2.1.3.3 Cinética de migração

A migração pode ser representada matematicamente pela segunda lei de Fick (Eq. 1) (SILVA et al., 2007a). Alguns trabalhos usam modelagens matemáticas a partir dessa equação diferencial para calcular a migração.

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_p}{\partial x^2} \quad (1)$$

Onde, C_p é a concentração do composto migrante da embalagem, t é o tempo, x representa a espessura, e D é o coeficiente de difusão.

Essa equação descreve satisfatoriamente os modelos de migração 1 e 2, nos quais o coeficiente de difusão é constante.

POÇAS et al., 2008 citam diversos modelos para determinar cinética de migração, grande parte deles são determinísticos baseados na Lei de Fick citada acima. Mas além disso, existem outras modelagens, que se aplicam melhor nos casos que seguem o modelo de migração 3, em que o coeficiente de difusão não é um parâmetro adequado. Existem modelos empíricos, com uso de simulantes, que são muito comuns, mas requerem alta especificidade; e modelos estocásticos e probabilísticos (POÇAS et al., 2008).

2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A MIGRAÇÃO

Tendo em mente os conceitos de migração, é preciso estabelecer que ela não é constante e varia de acordo com alguns fatores, o principal deles, é a composição da embalagem, diferentes materiais proporcionam diferentes transferências e interações com os alimentos. Outros fatores que ainda podem ser citados são, temperatura do armazenamento e produto, agitação e choques mecânicos, tempo de contato, idade da embalagem e a própria natureza do alimento contido.

2.2.1 Tipos de embalagem

Esse fator será de grande impacto para a migração, cada material tem suas peculiaridades, e a escolha de um material de embalagem para um determinado alimento sempre deve levar em conta a migração e a interação com o alimento em questão.

2.2.1.1 Embalagens celulósicas

As embalagens celulósicas ou de papel tem como característica serem leves, baratas e uma resistência mecânica razoável, dependendo da espessura do material. Contudo, esse tipo de embalagem tem baixa resistência a trocas gasosas e umidade, além de grandes trocas de massa com o alimento, principalmente ao se tratar de líquidos ou alimentos mais gordurosos. Por isso, é comum que essas embalagens sejam normalmente usadas como embalagens secundárias e terciárias, ou então, para alimentos sólidos em pó, ou congelados, casos em que a migração e a permeabilidade não serão de grande impacto para a integridade do alimento e da própria embalagem.

XUE et al., 2019, mostraram que alguns compostos são liberados pelo material celulósico mesmo nos alimentos secos em pó. O estudo mostra o avanço de alguns compostos

liberados como, Fenol, alquilbenzenos, 2,6-DiPN (diisopropilnaftaleno), DPB (Dibutilftalato) e DEHP (Di(2-etilhexil ftalato)). Alguns desses são plastificantes, provavelmente usados na confecção do material, mas em geral, nenhum desses compostos apresentam toxicidade que ofereça um risco à saúde humana. Também foi concluído que, nesse caso, a natureza do poluente orgânico (peso molecular, polaridade e volatilidade) importa mais para a migração do que os fatores externos (temperatura e tempo de contato). Quanto menor volatilidade e menor peso molecular, maior será a migração de compostos. Portanto, usar substâncias com maior peso molecular ou maior volatilidade vai garantir menor migração da embalagem para o alimento.

ALAMRI et al., 2021 citam outros compostos de risco quando se trata de embalagens cartonadas para alimentos, a maioria deles são compostos intermediários formados em meio a fabricação ou outros processos fabris, como a pintura ou envernizamento. Alguns desses compostos são as dioxinas, que são altamente tóxicas e mutagênicas; benzofenonas, que são compostos possivelmente mutagênicos e carcinogênicos presentes nas tintas usadas para embalagens cartonadas, no processo produtivo, elas são curadas por radiação UV, caso contrário, elas podem permanecer presentes a migrar pela embalagem, dada a alta migração permitida pelas embalagens celulósicas; nitrosaminas e clorofenóis, que também podem apresentar riscos dependendo do intermediário formado.

2.2.1.1.1 Embalagens cartonadas multicamadas

As embalagens cartonadas multicamadas são também conhecidas como Tetra Pak®, sendo amplamente utilizadas no mercado de bebidas. Sua estrutura é composta por camadas de diferentes compostos, agregando as propriedades ideais de cada um deles; a estrutura cartonada fornece a resistência e leveza. A camada de alumínio protege contra luz e oxidação; as lâminas poliméricas servem como adesivos entre as partes, além de proteger contra gases e umidade. Esse tipo de embalagem possui ótimas propriedades por um baixo custo, mas é pouco reciclável, por que é composta por camadas de diferentes materiais e cada um deles necessita de um processo específico de reciclagem.

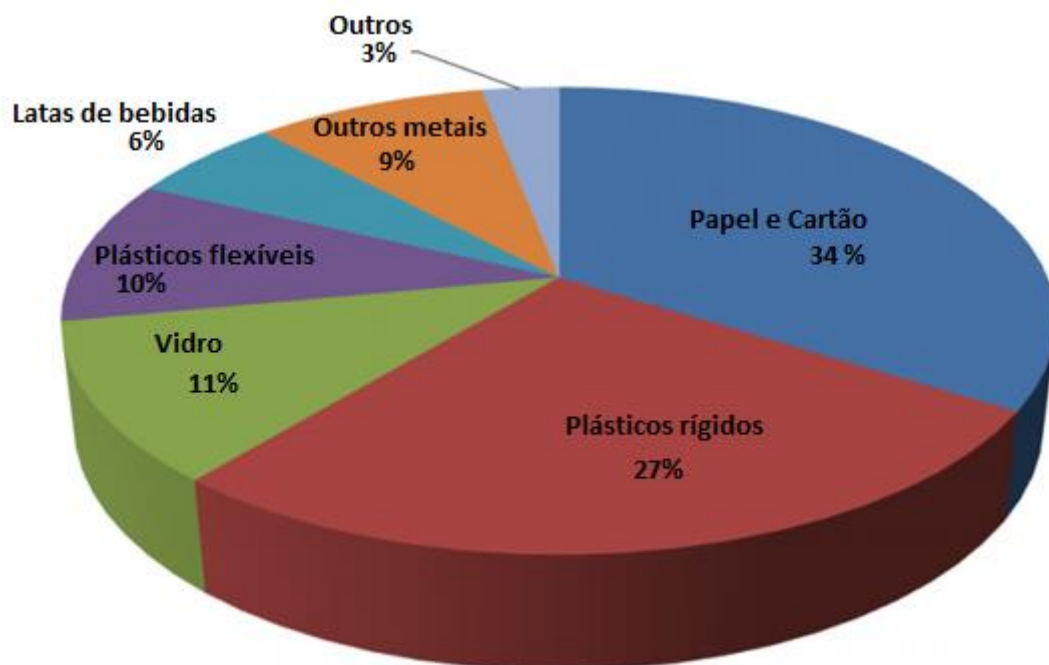
No aspecto da migração, os compostos de maior foco são provenientes da camada plástica de polietileno que fica em contato com o alimento. Porém o risco não é muito grande, pois as embalagens sempre são novas e não são reutilizadas. Existe o fenômeno da transferência

de micro e nanoplásticos, que será abordado com mais detalhes na seção de embalagens poliméricas. Outro fenômeno que já foi registrado é contaminação pela tinta da parte externa da embalagem (rótulo). Isso ocorre nos casos em que, as embalagens são armazenadas em rolos, ainda antes de serem moldadas, fazendo com que a parte interna (que tem contato com o alimento), ficasse armazenada em contato direto com a face externa da embalagem (rótulo), e a tinta do rótulo contamina o material de contato com alimento. Esse caso já foi registrado na Europa e resultou em uma regulamentação que diz que as tintas aplicadas nas faces externas devem ser aplicadas de forma que não haja transferências para outras partes da embalagem, ou que transfira substâncias em concentrações além do permitido (SCHMID; WELLE, 2020).

2.2.1.2 Embalagens plásticas

As embalagens plásticas são o principal alvo dessa revisão, constituindo o material mais utilizado como embalagem primária de alimentos. A revista Suíça *Food Packaging Forum*, apontou a distribuição de materiais de embalagens de alimentos em 2012 (Figura 2). Os plásticos ocupam o primeiro lugar com 37% da participação, seguidos pelos papéis, com 34%. Porém como já mencionado, normalmente, as embalagens celulósicas não estão em contato direto com os alimentos, sendo usadas como secundárias ou terciárias.

Figura 2 - Participação de cada tipo de embalagem no mercado de alimentos.

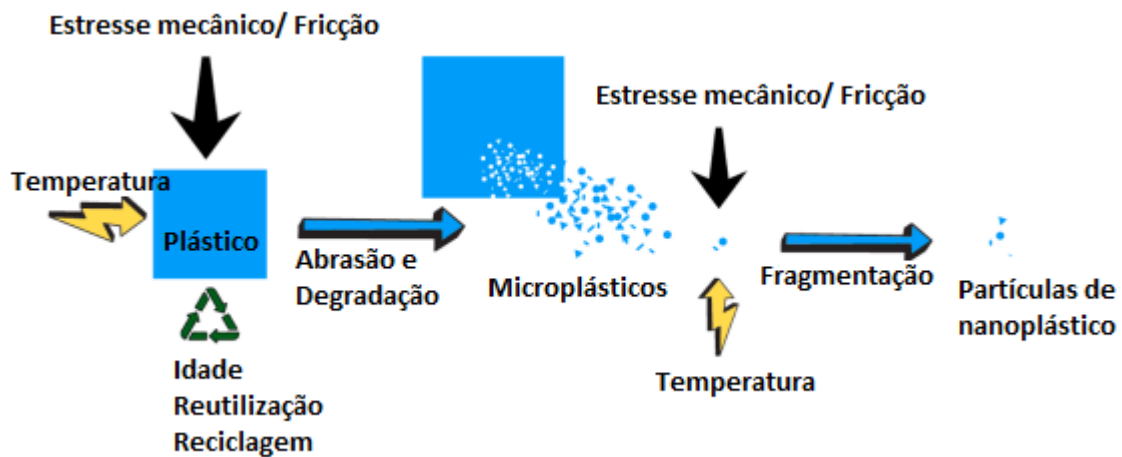


Fonte: Adaptado de: Rexam Consumer Packaging Report 2011/2012.

As embalagens plásticas são amplamente utilizadas na indústria de alimentos por diversos fatores, a versatilidade, os plásticos podem ser rígidos ou flexíveis, suas formas de produção permitem que eles adquiram praticamente qualquer forma, criando os formatos adequados para cada situação; são leves e baratos, fáceis de transportar; podem ser termorresistentes e opacos (depende do polímero); têm boas propriedades de barreira, contra gases e umidade. Porém, eles apresentam desvantagens, a maioria dos polímeros usados na fabricação são sintéticos e derivados do petróleo e não biodegradáveis, podendo levar até 450 anos para se decompor (PET).

No panorama atual das populações urbanas, o tempo é precioso e o mercado de produtos prontos e de consumo rápido é crescente e, apesar de ter alguns fatores negativos, os polímeros oferecem a melhor e mais versátil solução econômica no mundo das embalagens, por isso são amplamente usados. As normas sanitárias de alto padrão, tornam mais fácil a utilização de plásticos descartáveis, pois a maioria das embalagens são novas e apresentam baixo risco ao consumidor. Com isso, surgem os estudos da migração dos compostos plásticos para os alimentos, principalmente de microplásticos (MPs), monômeros e oligômeros que se despreendem da estrutura da embalagem e ficam no alimento (JADHAV et al., 2021a; PACK et al., 2021).

Figura 3 - Mecanismos de formação de micro e nanoplásticos.



Fonte: Adaptado de: JADHAV et al., 2021

Os MPs são caracterizados como partículas sólidas menores do que 5 mm, insolúveis em água, não degradáveis e constituída de material sintético com alto conteúdo de polímeros, estudos indicam que os humanos consomem entre 203 e 332 partículas de MPs por dia entre

ingestão pelo ar e por alimentos. Porém, os efeitos dessa exposição são muito pouco conhecidos pela ciência, apesar de que estudos realizados com algas, zooplâncton, peixes e ratos, indicam efeitos nocivos não letais, como disfunções metabólicas, imunológicas e inflamatórias (JADHAV et al., 2021a).

JADHAV et al., 2021 comparam diferentes tipos de plásticos envolvidos (PS, PP, PEBD, PEAD, PET, PVC⁸, etc.), passíveis de migração para alimentos, a partir de dados de da literatura migração. A partir desse estudo, os autores concluíram que as embalagens que oferecem maior migração de plásticos para alimentos são: copos de papel com uma fina camada interna de plástico (como copos de café descartáveis), que liberam fragmentos de PEAD; saquinhos de chá de imersão, liberam PET ou nylon; e mamadeiras, que liberam seu material de composição, normalmente PP. Esses casos chamam atenção pelo fato de que podemos unir eles em um fator de comum de serem submetidos a médias e altas temperaturas, e registram muito mais liberação de MPs do que os demais materiais: enquanto as demais embalagens testadas liberam, no máximo, 10 mil partículas de MPs por litro ou porção, esses 3 casos listados liberam na casa de 10 milhões de MPs por litro ou porção, a diferença é muito grande. Ainda na comparação de JADHAV et al., 2021, eles trazem garrafas PET de uso único, e reutilizáveis novas e velhas. As garrafas novas liberam menos que as reutilizáveis, e entre as reutilizáveis, as novas liberam menos que as velhas. Contudo, o aumento registrado entre elas não chega nem perto da quantia obtida para os exemplares anteriores, nos indicando que, possivelmente, a temperatura seja o fator mais impactante para a migração de MPs quando se tratam de embalagens plásticas.

PACK et al., 2021, fizeram um estudo da migração de embalagens plásticas e de papel revestidas com polímeros (alvejando as embalagens usadas em alimentos prontos, instantâneos e congelados) por cromatografia gasosa/espectrometria de massa (GC/MS), buscando avaliar a migração de aditivos e substâncias adicionadas não intencionalmente que podem ser formadas em reações antes do consumo. O trabalho concluiu que aquecimentos prolongados e/ou repetitivos em micro-ondas aceleram a migração e exposição do consumidor a esses aditivos, enquanto aquecimentos únicos e de menor duração tem menos impacto. Apesar disso, mesmo nos piores cenários (aquecimentos prolongados e repetitivos), a quantidade de compostos liberados não foi considerada fator de risco ou preocupação para a população adulta nos parâmetros da Coreia.

⁸ PS – Poliestireno; PP – Polipropileno; PEBD – Polietileno de baixa densidade; PEAD – Polietileno de alta densidade; PET – Polietileno Tereftalato; PVC – Policloreto de vinila.

Alimentos gordurosos têm maior tendência a interagir com as embalagens e aumentar a migração indesejada. BARROS et al., 2011 mostraram os riscos em alimentos com pelo menos 3% de gordura (queijos, presunto, mortadela, bolo pronto, pizza, carnes, manteiga, etc.) embalados em filmes PVC. A preocupação é a respeito dos aditivos presentes no PVC para que ele se torne um filme maleável, mais especificamente, DEHP (Di(2-etilhexil ftalato)) e DEHA (N,N-dietilhidroxilamina), plastificantes que não estão quimicamente ligados ao PVC, e que podem migrar para os alimentos. O DEHP é um ftalato, grupo que vem sendo fortemente estudado e reavaliado devido aos riscos apresentados à saúde, sendo associados à deficiência no sistema endócrino e no funcionamento de alguns órgãos do corpo, além de prejudicar a gravidez e o crescimento e desenvolvimento infantil (WANG; QIAN, 2021). Por isso, a ANVISA e outros órgãos regulatórios, limitam o uso de DEHP em PVC, aumentando o uso de DEHA, que também apresenta alta migração para alimentos gordurosos. O DEHA se mostra carcinogênico em ratos, mas seus efeitos não foram considerados relevantes em humanos (BARROS et al., 2011; CPSC, 2018).

ABOLGHASEMI-FAKHRI et al., 2019 abordam a migração de monômeros de estireno (SM) provenientes de embalagens de OS (Poliestireno). Os SM são razoavelmente previstos como carcinogênicos para humanos (NIEHS, 2021). Por isso, na UE (União Europeia) existem limites específicos de migração desse composto, e nos EUA (Estados Unidos da América), a FDA limita a quantidade máxima de SM residual em alimentos. O estudo comprovou que a adição de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO-NPs) na matriz polimérica reduz o coeficiente de difusão dos SM, e por consequência, a migração. De qualquer forma, as embalagens de PS continuam sendo ponto de foco devido à liberação de SM.

BAUER et al., 2019 estudam a migração de substâncias intencionalmente adicionadas (IAS) e não intencionalmente adicionadas (NIAS) em alimentos para bebês, usando simuladores que se mostraram condizentes com alimentos reais. O trabalho chama atenção para a liberação de substâncias pelo PU (Poliuretano), presente em embalagens multicamadas, foram encontrados oligômeros cíclicos (considerados de alta toxicidade), além de algumas NIAS acima do limite estabelecido para bebês. A ANVISA estabelece os limites de migração total e específica para embalagens plásticas e celulósicas na RDC 589/2021, que altera: a RDC 105/1999 (disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos); a RDC 56/2012 (disposições sobre a lista positiva de monômeros, outras

substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para elaboração de embalagens plásticas em contato com alimentos); e a RDC 88/2016 (dispõe sobre materiais e embalagens celulósicas destinadas a entrar em contato com alimentos). A RDC 589/2021 informa que o limite de migração total de todas as embalagens plásticas destinadas a entrar em contato com alimentos para lactentes e crianças menores de três anos não podem exceder 60 mg/kg de simulante do alimento (ANVISA, 2021). A RDC 326/2019 estabelece a lista positiva de aditivos destinados à elaboração de materiais plásticos e revestimentos poliméricos em contato com alimentos. Nela, estão descritos limites de migração específica (LME) para vários aditivos e plastificantes, bem como restrições para quando os alimentos são destinados para crianças entre 0 e 3 anos de idade (ANVISA, 2019). Dada essa classificação, será assumido nessa revisão que os “bebês” são as crianças de até 3 anos de idade, a fim de concordar com a classificação da ANVISA.

Não são exatamente embalagens, mas também entram como interesse para essa revisão, as mamadeiras são um ponto de foco que vem repercutindo no tópico da migração. A maioria delas são poliméricas, de PP ou PC (Policarbonato). As mamadeiras de PC começaram a entrar em debate anos atrás devido à presença de bisfenol A (BPA), composto muito comum em PC e nas latas de bebidas, diversos estudos têm surgido a respeito dos seus efeitos na saúde humana, até o momento, os estudos favorecem a ideia de que a exposição ao BPA pode sim ser prejudicial, causando estresse oxidativo, que leva a disfunção celular; podendo causar quebra em cadeias de DNA, afetando nos sistemas endócrino, reprodutor e imunológico; e afetar questões comportamentais e ter outros efeitos em crianças e bebês (MA et al., 2019; ROCHESTER, 2013). Apesar disso, os estudos a respeito do BPA são recentes e deixam algumas perguntas não respondidas, e o BPA ainda pode ser utilizado em algumas embalagens para alimentos, de forma limitada. Entretanto, em diversos países (Brasil, EUA, Canadá e EU, por exemplo), as mamadeiras contendo BPA são proibidas, visto que o risco para os bebês é maior devido ao seu metabolismo ainda em desenvolvimento. Um outro trabalho (DA SILVA OLIVEIRA et al., 2019) testa a migração compostos em mamadeiras fabricadas a partir de outros materiais, como PP, Tritan® ou Nalgene® (co-poliéster, feito com DMT, CHDM e TMCD⁹), e silicone. Mamadeiras de PP liberaram apenas compostos esperados; as de Tritan® liberaram apenas um aditivo antiaderente; e as de silicone liberaram 20 compostos diferentes. Fazendo uma avaliação de risco, as mamadeiras de silicone foram as que liberaram compostos de maior risco em maior concentração, podendo transferir compostos em quantias acima do

⁹ DMT - Tereftalato de dimetila; CHDM - 1,4-Ciclohexanodimetanol; TMCD - 2,2,4,4-Tetrametil-1,3-ciclobutanodiol.

recomendado (DA SILVA OLIVEIRA et al., 2019). Esse último relato nos leva a crer que as mamadeiras de PP são adequadas para uso, mas o trabalho de JADHAV et al., 2021, indica que há alta liberação de MPs em mamadeiras de PP, causando uma incerteza a respeito dela. Os resultados para Tritan® mostram que desenvolver novos materiais poliméricos podem ser uma boa alternativa para esse fim.

2.2.1.3 Embalagens metálicas

As embalagens à base de metais possuem características muito interessantes, podem ser feitas de diferentes metais, se adequando para diferentes situações, têm boas propriedades de barreira, ainda melhores que os plásticos, e são opacos à luz. Porém, são materiais condutores de calor, protegendo menos os alimentos à essas mudanças, e, em geral, são mais caros e pesados do que os plásticos, e, apesar de serem muito mais recicláveis, acabam sendo menos utilizados principalmente pelo aspecto econômico, elas exigem maior energia para processamento.

Apesar de serem bem consolidadas no mercado, as embalagens metálicas ainda geram alguma preocupação no que diz respeito a liberação de alguns compostos, como, bisfenol A (BPA), composto orgânico sintético muito usado no revestimento interno em latas de bebidas e que aponta certa toxicidade (SHIM et al., 2019). Portanto o BPA não é liberado da estrutura metálica, mas sim da camada de resina de reveste internamente as embalagens metálicas. Outros metais e metais pesados também podem interagir, tais como, chumbo, cádmio, alumínio, ferro, estanho e níquel. As embalagens metálicas não são totalmente inertes aos alimentos, por isso precisam de revestimentos internos que protejam dessa migração (DESHWAL; PANJAGARI, 2020).

O risco à saúde da ingestão de metais, principalmente os metais pesados (chumbo, cádmio, arsênio, mercúrio), são bem conhecidos. Além disso, os danos são potencializados quando se tratam de bebês e crianças, estando associados à redução do quociente de inteligência (QI), e deficiências no desenvolvimento dos sistemas nervoso, reprodutivo, respiratório, digestivo e imunológico (DE PAIVA; MORGANO; ARISSETO-BRAGOTTO, 2019). As formas iônicas dos metais são bem reativas, e podem reagir com células e sítios fisiológicos, “roubando” a posição de um composto essencial que deveria estar ali.

ALAMRI et al., 2021 explicitam o risco de alguns desses metais. O estanho, muito usado em latas, em que é aplicada uma fina camada que protege a embalagem da corrosão, pode

interagir com o alimento caso não haja outro revestimento interno, em altas concentrações, o estanho causa severas complicações gastrointestinais. O chumbo, um metal pesado reconhecidamente tóxico ao organismo, pode causar danos ao sistema nervoso central e outros órgãos do corpo. O alumínio, amplamente utilizado em embalagens, principalmente associado a outros metais, não tem nenhuma função conhecida no corpo, e em altas concentrações pode causar disfunções como anemia e encefalopatia, porém, outro estudo realizado por CORKINS, 2019, indica que a absorção de alumínio pelo corpo é baixa, e a maior parte é excretada. Portanto, é preciso que o indivíduo seja exposto a ingestão de alumínio em altas doses por longos períodos de tempo para que ele apresente maiores riscos à saúde. Um dos riscos associados ao acúmulo de alumínio no corpo é o desenvolvimento da doença de Alzheimer.

2.2.1.4 Embalagens de vidro

Os vidros possuem algumas desvantagens que os tornam uma alternativa menos econômica, começando pelo peso da embalagem, que dificulta o transporte; a fragilidade, pois são rígidos e facilmente fraturáveis; a passagem da luz (pode ser contornado); e o custo de produção. Por esses fatores, muitas vezes os vidros acabam sendo menos utilizados, ou associados a produtos de maior valor agregado e produtos *gourmet*. Em outra perspectiva, o vidro pode ser visto como a melhor embalagem, por que, possui excelente propriedade de barreira; pode se tornar opaco com a adição de um rótulo externo ou com um frasco âmbar; é um isolante térmico, protegendo bem o alimento contra rápidas mudanças de temperatura; apesar de não ser biodegradável, é altamente reciclável e reutilizável quando limpo. E no contexto dessa revisão, é o material mais inerte à interação com alimentos.

Olhando para o aspecto da migração, as embalagens de vidro podem ser consideradas as melhores, apresentando poucos indícios de contaminação dos alimentos por migração de seus compostos. O vidro é um material composto de uma mistura de óxidos (de silício, sódio, cálcio, potássio, magnésio, alumínio, ferro, boro, chumbo, entre outros) obtidos da natureza, tais compostos raramente são puros, o que faz do vidro uma grande mistura de material inorgânico. Sabendo disso, existe o risco da migração desses compostos inorgânicos da embalagem para alimentos e, como já citados, os metais pesados podem estar presentes e oferecer riscos à saúde. SCHMID; WELLE, 2020 citam que existe sim a migração de diversos compostos inorgânicos de embalagens de vidro para bebidas; quando falamos especificamente da água envasada em vidro, foi feito um comparativo entre água em garrafas de vidro transparentes e verdes, as garrafas verdes apresentaram maior migração de alguns compostos; outra conclusão do estudo é a recomendação de manter a temperatura de armazenamento abaixo

dos 40°C, reduzindo a migração. Contudo, o trabalho também cita que nenhum dos compostos avaliados sequer chega perto do limite máximo de concentração para água purificada e mineral, além disso, não foi possível determinar quando o resultado indica migração do vidro ou variação natural da água contida. Dito isso, é possível afirmar que as embalagens de vidro são as que apresentam o menor risco de contaminação por migração.

2.2.2 Temperatura

Já é conhecido que a temperatura influencia no coeficiente de difusão dos materiais de embalagem, quanto mais calor, maior transferência (SILVA et al., 2007b). Podemos dar mais atenção aqui para os casos das embalagens plásticas, primeiramente porque esses materiais têm pontos de fusão relativamente baixos, sendo altamente alterados com a temperatura, ou seja, eles sofrem grande degradação térmica, liberando micro e nanoplásticos. A tabela comparativa de migração de JADHAV et al., 2021 (Tabela 1), mostra que os casos em que ocorrem maior liberação de MPs, são em embalagens normalmente associadas a líquidos em alta temperatura, como mamadeiras, copos de café descartáveis e saquinhos de chá. Além disso, as embalagens plásticas normalmente possuem diversos aditivos, monômeros e oligômeros “livres”, que estão mais suscetíveis a sair da estrutura da embalagem com o aumento da temperatura, e diversos estudos com diferentes materiais poliméricos e testes realizados com simuladores de alimentos sugerem que o aumento da temperatura favorece a migração desses compostos que estão “livres” na matriz polimérica. (ABOLGHASEMI-FAKHRI et al., 2019; JADHAV et al., 2021b; SILVA et al., 2007). As embalagens de papel também sofrem essa influência, mas com menos intensidade, nas embalagens celulósicas outros fenômenos (polaridade, volatilidade, peso molecular) serão mais impactantes do que a temperatura (XUE et al., 2019). Embalagens metálicas e de vidro sofrem menos influência da temperatura, precisariam de valores mais altos para degradar sua estrutura.

2.2.3 Agitação e estresse mecânico

Falando principalmente dos plásticos, estudos mostram que garrafas PET submetidas a processos de atrito e estresse mecânico, como abrir e fechar a tampa, agitar e apertar, têm maior liberação de microplásticos (MPs). Ainda podemos citar as mamadeiras, que são constantemente submetidas à agitação com uma preparação aquecida, somando dois fatores que

influenciam a liberação de microplásticos (JADHAV et al., 2021c). Essas fricções vão degradando as embalagens aos poucos e contribuem para que a idade da embalagem seja um fator relevante na liberação de MPs.

2.2.4 Tempo de contato

O tempo de contato é, em geral, determinante na transferência de massa, nesse caso não é diferente, estudos apontam que a migração de um composto da embalagem para o alimento está diretamente relacionada com a duração do contato entre eles (ALAMRI et al., 2021b). Tendo isso em vista, já é possível afirmar que o binômio tempo-temperatura será de grande impacto na migração.

2.2.5 Idade da embalagem

Partindo das últimas afirmações, em que a fricção, estresse mecânico, e tempo de contato influenciam na migração, já é de se prever que quanto mais velha e usada for uma embalagem maior será a migração. Esse resultado é comprovado para a liberação de MPs em água, um estudo mostra que garrafas plásticas retornáveis ou reutilizáveis liberam 8 vezes mais partículas do que garrafas plásticas novas (primeiro uso), e 10 vezes mais partículas do que embalagens cartonadas (JADHAV et al., 2021c).

Outras embalagens como as metálicas e cartonadas, normalmente serão acompanhadas de películas plásticas ou vernizes para o contato direto com alimentos, visto que o contato com metais pode trazer compostos mais perigosos e as embalagens celulósicas tem propriedades limitadas; portanto a avaliação da idade para os plásticos é válida.

2.2.6 Reciclagem

Somando alguns dos fatores citados acima, é de se imaginar que embalagens recicladas também sejam foco de aumento de migrações indesejadas, elas passam por diversas etapas de contaminação, já passaram por estresse mecânico e fricção, são mais velhas, e ainda passam por processamento específico para serem recicladas. Em todos os casos estudados por JADHAV et al., 2021, garrafas reutilizáveis apresentam maior migração de MPs do que garrafas novas. CRUZ et al., 2011, dizem que, devido à maior permeabilidade dos polímeros (quando comparados com vidro e metais), eles absorvem muitas substâncias ao longo de sua vida, e que esses contaminantes devem ser eliminados durante a reciclagem para evitar a migração e contaminação de alimentos. A reutilização das embalagens plásticas pelo próprio consumidor

para produtos como pesticidas, óleos lubrificantes e combustíveis, limita o uso dessas embalagens para fins alimentícios. Os estudos reforçam a importância da pureza do material reciclado e do controle do processo de reciclagem de polímeros, dada a grande diversidade de contaminantes que eles podem absorver e transferir (CRUZ et al., 2011).

DUTRA et al., 2014 estudam a migração de compostos não-voláteis e inorgânicos das embalagens PET e PEAD já usadas e recicladas, passando por diferentes processos de descontaminação antes da reciclagem. O estudo conclui que, a descontaminação mais elaborada e profunda resulta em menor migração de compostos não voláteis, as embalagens são coletadas pós consumo e suas contaminações são diversas e aleatórias, sugerindo que essa limpeza mais profunda é promissora. Apesar disso, alguns compostos (estabilizante de luz UV e agente deslizante) não esperados foram encontrados em embalagens PET, sugerindo que houve contaminação na cadeia de reciclagem e que esse processo deve ser mais bem controlado, pois essas são substâncias não permitidas por órgãos regulatórios (Brasil e Europa).

Tomando como base as regulamentações europeias, FRANZ; WELLE, 2022, mostra que os polímeros de maior difusividade apresentam maior risco para o consumidor quando reciclados, destacando a importância da manutenção correta da cadeia de reciclagem. Porém, um perfil muito conservador a respeito da reutilização pode inviabilizar economicamente a reciclagem, além de “superproteger” o consumidor, ou seja, quando se adota sempre o pior cenário, e são utilizadas as medidas mais rigorosas de seleção e descontaminação, os produtos ficam com os limites de contaminantes muito abaixo do que poderiam, por um processo extremamente custoso; enquanto se for adotado um rigor um pouco menor o processo fica mais viável e o risco para o consumidor ainda é baixo.

2.2.7 Natureza do alimento

Por último, a composição do alimento presente também pode influenciar a migração. A afinidade com o migrante pode alterar o coeficiente de difusão. O alimento pode interagir com a embalagem de forma a alterar sua estrutura ou integridade. Em geral, quanto maior a umidade e o teor de gordura do alimento contido, maior será a migração (POÇAS et al., 2011).

2.3 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MATERIAIS PARA EMBALAGENS DE ALIMENTOS

Nessa seção, são apresentadas tabelas comparativas entre todos os materiais de embalagens citados até aqui, apontando as diferentes características e propriedades, aplicações, compostos liberados, fatores de influências, vantagens e desvantagens. Dessa forma, parte das informações abordadas anteriormente estão compactadas nas tabelas abaixo (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2 -Características de embalagens celulósicas e cartonadas laminadas para alimentos.

Embalagem	Celulósicas	Cartonada laminada (TetraPak®)
Propriedades de barreira	Alta permeabilidade para gases e líquidos. Altas trocas de massa e interação com o alimento, especialmente líquidos e/ou alimentos gordurosos.	Combina diferentes materiais e obtém boas propriedades. Baixa permeabilidade para gases, umidade e O ₂ , não permite passagem da luz.
Compostos possivelmente liberados	Em sua maioria, orgânicos. Fenol, alquilbenzenos, 2,6 - DiPN, DPB, DEHP, benzofenonas, nitrosaminas.	Grande parte proveniente da camada polimérica interna que fica em contato com o alimento (MPs). Tinta do rótulo (depende do armazenamento antes da confecção).
Fatores de influência da migração	Peso molecular, volatilidade e polaridade do poluente. Temperatura e tempo de contato.	Temperatura, estresse mecânico. A idade da embalagem não será tão impactante nesse caso, pois essa embalagem é sempre nova, não são reutilizadas.
Vantagens	Propriedades estruturais, resistência mecânica, leveza, custo, biodegradabilidade, reciclagem.	Propriedades de barreira e estruturais, leveza, custo, migração relativamente baixa.
Desvantagens	Propriedades de barreira pobres, alta transferência de massa (migração).	Não é biodegradável devido aos materiais plásticos e metálicos presentes. Difícil reciclar, pois cada componente da embalagem deve passar por um processo, e eles estão fortemente agrupados.
Aplicação	Não é ideal para estar em contato direto com alimentos, muito usado como embalagem secundária ou terciária. Podem ser usados em alimentos secos/em pó, ou congelados, onde a migração é menor.	Muito usado em bebidas, pela boa resistência mecânica, com baixo migração e custo. A migração será baixa devido ao fato de a embalagem sempre ser nova. Ideal que não seja usado para bebidas quentes.
Fontes: (Adaptado)	ALAMRI et al., 2021 XUE et al., 2019	SCHMID; WELLE, 2020

Tabela 3 - Características de embalagens plásticas e metálicas para alimentos.

Embalagem	Plásticas	Metálicas
Propriedades de barreira	Baixa permeabilidade para gases, umidade e O ₂ , a maioria permite passagem da luz. Interage mais com alimentos gordurosos.	Baixa permeabilidade para gases, umidade, O ₂ e luz. Necessita de vernizes ou filmes plásticos para evitar corrosão pela umidade. Baixa transferência de massa.
Compostos possivelmente liberados	Monômeros e oligômeros de PEAD, PP, PET... Depende de qual polímero foi usado na confecção. Aditivos plastificantes, DEHP, DEHA, BPA, etc.	BPA (latas). Metais pesados (Pb, Cd, Hg) e outros metais (Al, Fe, Sn, As), apesar de normalmente serem liberados em baixíssimas quantias e se mantêm atóxicos
Fatores de influência da migração	Primeiramente temperatura. Estresse mecânico, idade da embalagem, reciclagem e reutilização têm menor impacto. Efeitos são amplificados ao se tratar de alimentos gordurosos.	Má aplicação de verniz ou plastificante, resultando em corrosão da embalagem. Perfurações que também podem resultar em corrosões e contato direto com o alimento.
Vantagens	Propriedades de barreira e estruturais, leveza, custo, versatilidade da aplicação devido aos diferentes polímeros possíveis. Reciclagem é viável.	Propriedades de barreira e estruturais, versatilidade de aplicação pelos diferentes metais, baixa migração, altamente recicláveis.
Desvantagens	Não biodegradável, reciclagem apesar de viável é trabalhosa. Em maior parte são oriundos do petróleo. Liberação de compostos com riscos desconhecidos à saúde.	Não biodegradáveis. Condutores de calor, o alimento sofre as consequências. Relativamente caros e pesados. Baixo risco para adultos, mas toxicidade dos metais é mais impactante nos bebês.
Aplicação	Ampla variedade de aplicações, dada a versatilidade dos polímeros. Ideal que não seja usada para produtos aquecidos e/ou gordurosos, casos onde a migração é potencializada.	Boa para as situações em que a troca rápida de calor é desejada (bebidas geladas). Boa também para manter alimentos por longos períodos, devido a permeabilidade muito baixa.
Fontes (Adaptado)	BARROS et al., 2011; JADHAV et al., 2021; MA et al., 2019; PACK et al., 2021; WANG; QIAN, 2021	ALAMRI et al., 2021; CORKINS, 2019; DE PAIVA; MORGANO; ARISSETO-BRAGOTTO, 2019; DESHWAL; PANJAGARI, 2020; SHIM et al., 2019

Tabela 4 - Características de embalagens de vidro para alimentos.

Embalagem	Vidros
Propriedades de barreira	Baixa permeabilidade para gases, umidade e O ₂ , a maioria permite passagem da luz. Baixa interação com os alimentos.
Compostos possivelmente liberados	Compostos inorgânicos da confecção, alguns deles: Si, Na, Ca, K, Mg, Al, Fe, B, Pb, entre outros, porém, todos muito abaixo dos limites permitidos.
Fatores de influência da migração	Pouco afetado por fatores externos, o maior risco é proveniente do próprio material de confecção ou de má higienização em caso de reciclagem.
Vantagens	Melhores propriedades de barreira e estruturais, isolante térmico, pode se tornar opaco (frasco âmbar ou rótulo), baixíssima migração, altamente reciclável.
Desvantagens	Não biodegradáveis, permitem passagem da luz, alto custo e peso, e limitado pela rigidez e fragilidade.
Aplicação	O vidro poderia ser usado em praticamente todos os cenários, só é um material caro. Visando os casos mais críticos da migração, eles podem ser usados para alimentos gordurosos e/ou aquecidos, os casos sensíveis.
Fontes (Adaptado)	SCHMID; WELLE, 2020

3 MIGRAÇÃO DE COMPOSTOS DE EMBALAGENS PARA ALIMENTOS DE BEBÊS

Nessa seção, será abordado mais especificamente dos casos onde há migração de compostos das embalagens para alimentos de bebês, destacando quais são esses compostos, em que embalagens de alimentos para bebês estão presentes, os riscos já conhecidos, e os danos potenciais que os estudos mais recentes trazem à respeito dessas substâncias. Foram consultados diversos periódicos para desenvolver, além da principal base de dados (Elsevier), a pesquisa envolve dados de saúde e segurança, portanto aparecem outras bases, como MDPI, Academia Americana de Pediatria, órgãos regulatórios (FDA, Comunidade Europeia...). As principais palavras-chave foram: migração, alimentos de bebês, embalagens para alimentos de bebês, etc.

Primeiramente, devemos considerar que o organismo dos bebês ainda está em formação, ou seja, o metabolismo não está completamente desenvolvido e é acelerado. Os bebês apresentam alta capacidade de absorção intestinal, combinada a uma baixa capacidade de excreção e desintoxicação. Além disso, eles ingerem proporcionalmente mais massa do que os adultos (BAUER et al., 2019; DE PAIVA; MORGANO; ARISSETO-BRAGOTTO, 2019). A soma desses fatores faz com que os danos pela ingestão de pequenas doses dessas substâncias indesejadas no organismo sejam potencializados. A seguir são apresentados os bisfenóis, monômeros e oligômeros provenientes de material plástico em contato com alimentos, e metais e metais pesados, sendo esses os compostos apresentados de maior risco à saúde dos pequenos.

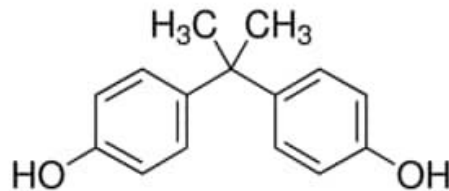
3.1 BISFENÓIS

Os bisfenóis pertencem a classe dos difenilmetanos, normalmente compostos por dois anéis de benzeno ligados por uma ponte de alquila e uma hidroxila substituinte no anel benzênico. Eles são conhecidos por serem disruptores endócrinos, e a discussão sobre os riscos a longo prazo da ingestão desses químicos ganhou força na última década, entre eles o BPA (**Figura 4**) ganha destaque pelo seu amplo uso nas embalagens. O BPA é um plastificante utilizado na confecção de alguns polímeros, aparece em mamadeiras e embalagens plásticas, principalmente de PC, bebidas e alimentos enlatados, resinas e vernizes epóxi, e normal aparecer como um adesivo ou selante (OLIVIER et al., 2022).

Com isso, aparecem alternativas para substituir o BPA nessas embalagens, inclusive usando a marca “livre de BPA” como marketing. Porém, constantemente o BPA tem sido substituído por outros bisfenóis que também possuem atividade disruptiva similar ao sistema

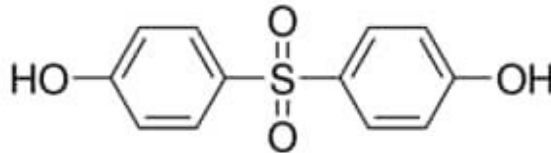
endócrino. O bisfenol S (**Figura 5**) – também já proibido/limitado em alguns países – é um desses compostos análogos ao BPA que entra como substituto, mas apresenta uma atividade estrogênica ainda maior do que o BPA (GARCÍA-CÓRCOLES et al., 2018; OLIVIER et al., 2022).

Figura 4 - Bisfenol A



Fonte: Sigma-Aldrich.

Figura 5 - Bisfenol S



Fonte: Sigma-Aldrich.

O estudo de NAM; SEO; KIM, 2010, mostra a migração de BPA proveniente de mamadeiras de PC em água. Os testes foram feitos visando analisar também os efeitos da reutilização da mamadeira e da temperatura do líquido no interior. Esse trabalho revela que as mamadeiras com uso de 6 meses têm um aumento significativo na migração de BPA, e que a temperaturas superiores a 80 °C também há um rápido aumento na taxa de migração. Isso é causado pela hidrólise das ligações de carbonato e o aumento do espaçamento entre os planos dos átomos da estrutura polimérica. Uma mamadeira nova libera 0,03 ppb a 40 °C, e 0,13 ppb a 95 °C. Uma mamadeira com 6 meses de uso libera 0,18 ppb a 40 °C, e 18,47 ppb a 95 °C. Por esses motivos, desde 2010, no Canadá, e desde 2016 na UE, é proibido uso de mamadeiras de PC (SIDDIQUE et al., 2021).

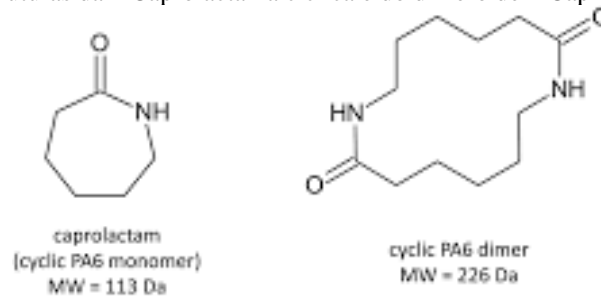
Contudo, entre as alternativas adotadas pela indústria, está a substituição do BPA por outros bisfenóis similares ainda liberados, e muitos deles ainda têm riscos desconhecidos ou até mesmo maiores. O trabalho de GARCÍA-CÓRCOLES et al., 2018, mostra que, em diferentes alimentos de bebês embalados em plásticos, tais como, leite em pó, leite com cereais, sucos, iogurte, carne e peixe, foram encontrados 7 diferentes bisfenóis, sendo o Bisfenol S (BPS) o

mais abundante entre eles. O BPA foi encontrado em apenas uma das 15 amostras de alimentos, e estava acima do limite de migração específica estabelecida na UE (EUROPEAN COMMISSION, 2011). Para fins de comparação, o limite de migração específica do BPA na EU é de 0,6 µg/g ou 0,6 mg/kg de alimento ou simulante, e a quantia encontrada foi de 1,1 µg/g. Já o BPS, aparece em 5 diferentes amostras de alimentos para bebês, contendo entre 11,7 e 49,2 µg/g, valores superiores ao limite para BPA.

3.2 MONÔMEROS E OLIGÔMEROS PROVENIENTES DE POLÍMEROS

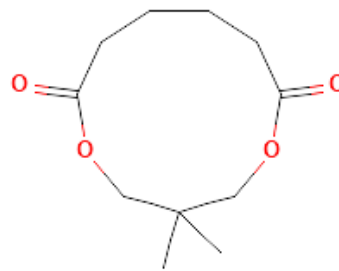
Plásticos ou embalagens multicamadas são amplamente utilizados para embalar alimentos para bebês, portanto, é necessário que existam estudos a respeito da migração dos materiais em contato com o alimento. No estudo de BAUER et al., 2019, foram encontrados, por espectrometria de massa de alta resolução (HRAMS), 42 compostos migrantes, dos quais, 8 NIAS, e 2 oligômeros superando 0,01 mg/kg, limite estabelecido de resíduos para NIAS em alimentos de bebês (Comunidade Europeia). Essas NIAS podem ser formadas durante o processo fabril ou como resultado de uma degradação, ou até mesmo por impurezas no material. Também são citados que alguns polímeros, dão origem as NIAS, tais como PU, PP e PA, e são, normalmente, os polímeros adesivos os responsáveis por isso. O estudo foi realizado usando embalagens plásticas e foram feitos testes tanto em alimentos de bebês (purê de frutas) quanto em simulantes. A embalagem era multicamadas contendo PET, Al e PE (similares à **Figura 8**), além dos plastificantes adesivos. O estudo conclui que a maioria dos compostos migrantes são monômeros e oligômeros originários de plastificantes, especificamente, PU. Muitos oligômeros cíclicos foram detectados, essa classe de compostos é considerada de alto risco pelas regras de Cramer (BAUER et al., 2019; CRAMER; FORD; HALL, 1976). Alguns dos compostos de alto risco confirmados são, AA-DEG (1,4,7-Trioxaciclotridecano-8,13-diona) e PA-DEG (Ácido ftálico – dietilenoglicol). Outros compostos de menor risco (3 monômeros) também foram confirmados, são eles: ε-Caprolactama (**Figura 6**), 3,3-Dimetil-1,5-dioxiacicloundecano-6,11-diona (**Figura 7**) e BHET (Tereftalato de bis-hidroxietila). Os compostos que apresentaram migração superior ao limite permitido (UE) para NIAS (0,01mg/kg), foram, um dímero da ε-Caprolactama cíclica (**Figura 6**), e o oligômero de poliéster de NPG-AA cíclico.

Figura 6 – estruturas da ϵ -Caprolactama cíclica e do dímero de ϵ -Caprolactama cíclica



Fonte: Wiley Online Library. Heimrich, M., Nickl, H., Bönsch, M., and Simat, T. J. (2015).

Figura 7 – estrutura do 3,3-Dimetil-1,5-dioxiacicoundecano-6,11-diona (NPG-AA)



Fonte: PubChem.

3.3 METAIS E METAIS PESADOS

O risco da ingestão e absorção de metais, e principalmente, metais pesados, já é conhecido, e por isso existe uma série de cuidados adicionais quando se tratam de alimentos destinados aos bebês, reforçando a importância do controle de qualidade nos processos. Algumas das possíveis consequências da exposição dos bebês a esses compostos relatadas na literatura são: redução do QI, e deficiência na formação dos sistemas nervoso, reprodutor, digestivo, respiratório e imunológico. Chamam atenção, Pb, Cd, As e Hg, por serem considerados muito tóxicos e alguns carcinogênicos, além de serem cumulativos no organismo (DE PAIVA; MORGANO; ARISSETO-BRAGOTTO, 2019).

Abordando especialmente o alumínio, material amplamente utilizado nas embalagens, estudos apontam que, por não ter nenhuma função conhecida no organismo, tende a ter baixa absorção e alta excreção. Porém, quando falamos de bebês, que possuem alta absorção intestinal e o sistema excretor não desenvolvido, o cenário muda. Entre os possíveis danos encontrados para os bebês e crianças, podemos citar, o impacto negativo no desenvolvimento cognitivo, e desenvolvimento ósseo na espinha lombar e quadril, casos onde o acúmulo de alumínio no

organismo foi associado ao menor conteúdo mineral nessas regiões. Outros estudos indicam que a exposição neonatal ao Al causa mudanças morfológicas na próstata ventral masculina e na próstata feminina de PN15-gerbils (CORKINS, 2019; DE PAIVA et al., 2022).

Apesar disso, não é muito comum encontrarmos alimentos infantis em materiais metálicos, os riscos da migração e interação dos metais diretamente com alimentos são conhecidos, por isso, é comum que essas embalagens possuam vernizes ou outras camadas (normalmente plásticas) que as isolem do contato direto com alimentos. Os maiores riscos de migração desses metais para os alimentos estão nos casos onde há corrosão ou o material isolante não foi bem aplicado, pois em geral, a quantia de material migrante proveniente dessas embalagens não supera os limites estabelecidos (DESHWAL; PANJAGARI, 2020).

SCHMID; WELLE, 2020, também abordam a migração de metais pesados, provenientes de embalagens de vidro, mas os resultados apontam que diversos dos metais presentes na confecção e no próprio material migram em quantias baixíssimas, nenhum supera limites específicos de migração estabelecidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a revisão realizada a respeito da migração em diferentes embalagens, os fatores que influenciam esse fenômeno, e os estudos que abordam a temática da migração de compostos provenientes das embalagens para alimentos de bebês, podemos encontrar alguns fatores e cenários comuns, bem como compostos que chamam atenção.

Começando pelas embalagens plásticas, essas embalagens são de fato as mais versáteis e economicamente favorecidas no momento. Contudo, no contexto da migração, elas são as mais estudadas com razão. Diversos estudos apresentados apontam diferentes compostos migrantes (micro e nanoplásticos, monômeros e oligômeros, bisfenóis, e outros aditivos), tanto esperados como inesperados, provenientes das embalagens para os alimentos ou mamadeiras, a maioria desses compostos migrantes ainda têm riscos à saúde desconhecidos devido à escassez de estudos nesse âmbito. A temperatura também aparece como um fator comum em diversos estudos como um potencializador da migração; além dela, a agitação ou estresse mecânico, e a idade da embalagem contribuem para o aumento da migração, combinando esses fatores, já é possível imaginar alguns cenários onde as embalagens poliméricas poderiam ser substituídas a fim de minimizar esse fenômeno: as mamadeiras; embalagens que serão submetidas ao aquecimento antes do consumo (como pequenas marmitas ou refratários com alimentos prontos que serão aquecidos em micro-ondas); ou ainda, outros refratários ou copos plásticos reutilizáveis (ALAMRI et al., 2021; FORSIDO et al., 2021; JADHAV et al., 2021b; SCHMID; WELLE, 2020).

Como compostos de maior risco provenientes de embalagens plásticas aparecem os bisfenóis, em especial o BPA, que é um disruptor endócrino, e é muito abundante no universo das embalagens e, apesar de ter seu uso limitado, já existem diversos substitutos similares na família dos bisfenóis que ainda não têm sua toxicidade bem esclarecida. Isso mostra, como a indústria tenta substituir o BPA por compostos semelhantes, aumentando a necessidade de mais estudos a respeito desses substitutos utilizados (DA SILVA OLIVEIRA et al., 2019; GARCÍA-CÓRCOLES et al., 2018; NAM; SEO; KIM, 2010; OLIVIER et al., 2022; ROCHESTER, 2013; SURESH; SINGH S; VELLAPANDIAN, 2022). A RDC 589/2021 altera a RDC 56/2012 e dispõe sobre o LME de Bisfenol A para alimentos. O LME estabelecido foi de 0,05 mg/kg, e

o uso do BPA é proibido em mamadeiras ou artigos similares destinados a alimentação de crianças de até 3 anos de idade (ANVISA, 2021).

Ainda se tratando das embalagens plásticas, podemos discutir a migração de monômeros e oligômeros migrantes para os alimentos de bebês, embalagens multicamadas similares às embalagens mostradas na **Figura 8**. BAUER et al., 2019, mostram que a migração desses compostos foi confirmada. Inclusive existem oligômeros cíclicos de maior risco, mas a maioria dessas substâncias foram encontradas em limites inferiores aos permitidos, aquelas que foram encontradas em quantias superiores aos limites locais estabelecidos (UE), eram de menor risco. Portanto, esses compostos chamam atenção pela grande quantidade de monômeros e oligômeros encontrados, e é notório que muitos compostos cíclicos são disruptores do metabolismo e oferecem risco com a exposição a longo prazo (CURTIS; SERGENT, 2018), mas a identificação e quantificação desses compostos ainda precisa ser melhor estudada para compreender os riscos que eles oferecem. Até o dado momento, podemos dizer que monômeros e oligômeros não se apresentam como um problema tão grande quando comparados com os bisfenóis, por exemplo.

Figura 8 - Sachês plásticos multicamadas com alimento para bebês (purês de frutas). “Pouches”.



Fonte: Amazon.com

Quanto as embalagens metálicas, elas não são muito tradicionais no meio dos alimentos para bebês, provavelmente pelo alto risco de contaminação por bisfenóis, ou por outros metais, que apesar de terem menor risco, podem ter danos sérios ao desenvolvimento.

Não são exatamente embalagens metálicas, mas os *pouches* (**Figura 8**), apresentam uma solução razoável para muitos casos. São embalagens multicamadas, normalmente formadas por PET na camada externa para dar estrutura, uma folha de alumínio no interior que agrega propriedades de barreira, e uma camada interior de PE ou PP que fica em contato com o alimento. Os estudos mostraram que esse tipo de embalagens apresentou alguns migrantes, mas aqueles que excederam limites eram compostos de baixo risco (ϵ -Caprolactama (Figura 6) e 3,3-Dimetil-1,5-dioxiacicoundecano-6,11-diona (Figura 7)). Portanto, avaliando também o aspecto econômico, esse tipo de embalagem pode ser utilizado em casos onde o alimento não será envasado ainda quente ou aquecido dentro da própria embalagem para consumo, pois como já foi visto, a temperatura tem alto impacto sobre a migração de compostos provenientes de materiais poliméricos (BAUER et al., 2019; DESHWAL; PANJAGARI, 2020). Possivelmente, isso se aplica para outras embalagens plásticas, mas deve se atentar ao material utilizado, principalmente os plastificantes adesivos.

Bem como os *pouches*, as embalagens TetraPak® ou similares, também aparentam baixo risco de contaminação, o fato de serem sempre embalagens novas favorece nesse aspecto, elas seguem a mesma lógica, possuindo PE como material de contato com alimento. Esse tipo de embalagem pode ser usado para alimentos/bebidas líquidas para bebês, como sucos ou outros preparados. Contudo, os riscos são similares, deve-se observar quanto ao processo produtivo, colocar o conteúdo líquido aquecido de pasteurização, por exemplo, vai potencializar a migração e a formação de compostos não esperados, como monômeros e oligômeros.

Esses dois últimos tipos de embalagens citadas, apesar de suas vantagens – principalmente econômicas – são pouco sustentáveis, pois são difíceis de se reciclar, e não são biodegradáveis.

Por último, podemos falar do vidro, material que também é amplamente utilizado nos alimentos para bebês, os riscos de migração encontrados são mínimos e essas embalagens vão oferecer o cenário oposto aos plásticos: a temperatura influencia pouco na migração e integridade da embalagem, são altamente reutilizáveis e recicláveis, a maior limitação é econômica, são as mais caras para se produzir, além de serem volumosas, pesadas e sensíveis à impactos, requerindo altos cuidados na cadeia produtiva e transporte (SCHMID; WELLE, 2020).

5 CONCLUSÃO

Conhecer as propriedades dos diferentes tipos de embalagens e suas interações com os alimentos em diferentes cenários é de suma importância para planejar o envase dos alimentos, especialmente quando falamos de comidas destinadas à bebês. Seus organismos não são bem desenvolvidos, a toxicidade de alguns compostos pode ser potencializada nesses casos, bem como diversas substâncias ainda pouco estudadas têm danos à saúde desconhecido. Levando tudo isso em conta, quando tratamos de alimentos para bebês devemos buscar embalagens que minimizem os fenômenos de migração, e que, ao mesmo tempo, consideremos a viabilidade econômica do processo.

Após avaliar diversos estudos na área, essa revisão destaca algumas substâncias e cenários de maior risco para a saúde dos bebês. Os bisfenóis, plastificantes com função adesiva ou selante, aparece principalmente em PC e resinas epóxi, mas também é presente em outros polímeros sintéticos e nas latas de alimentos e bebidas. Os bisfenóis têm danos à saúde comprovados e o debate a respeito da limitação do seu uso ganha muita força na última década. Altas temperaturas associadas a embalagens plásticas também se apresenta como um cenário de risco. Diversos estudos apontam o aumento da temperatura como um forte potencializador da migração de substâncias provenientes das embalagens plásticas para os alimentos de bebês, e isso inclui as mamadeiras. Nesse caso podemos citar os próprios bisfenóis, e monômeros e oligômeros (os quais muitos têm efeitos desconhecidos) que se desprendem da estrutura da embalagem, provavelmente devido ao ponto de fusão relativamente baixo dos polímeros.

Como alternativas, podemos citar, as embalagens laminadas multicamadas, que são bem aplicáveis nos casos onde não há aquecimento, pois o material de contato com o alimento é polimérico, e em geral aparecem como a melhor alternativa econômica; embalagens de vidro, que apresentam baixíssima migração e são altamente reutilizáveis. E aparece como tendência o desenvolvimento de novos polímeros, mais resistentes à liberação de monômeros e oligômeros, e livres de compostos que causem danos.

Tendo em vista que as embalagens plásticas dominam o mercado, são necessários mais estudos a respeito desses diversos compostos que são liberados por eles nos alimentos, dessa forma podem ser estabelecidos limites de migração que mantenham a segurança do consumidor, principalmente dos bebês, que são mais suscetíveis à possível toxicidade de substâncias indesejadas.

REFERÊNCIAS

ANVISA. RDC nº 91/2001, Ministério da Saúde - MS. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**, v. 1, p. (Republicada em DOU nº 114-E, de 13/06/2001), 2001.

BAUER, A. et al. Identification of unexpected chemical contaminants in baby food coming from plastic packaging migration by high resolution accurate mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 295, n. April, p. 274–288, 2019.

FONTOURA, D. R. S.; CALIL, R. M.; CALIL, E. M. B. a Importância Das Embalagens Para Alimentos - Aspectos Socioeconômicos E Ambientais the Importance of Food Packaging : Socio- Economic and Environmental Aspects. **Atas de Saúde Ambiental**, v. 4, p. 138–160, 2016.

JADHAV, E. B. et al. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 16, n. October, p. 100608, 2021.

SILVA, A. S. et al. Time-temperature study of the kinetics of migration of DPBD from plastics into chocolate, chocolate spread and margarine. **Food Research International**, v. 40, n. 6, p. 679–686, 2007.

ABOLGHASEMI-FAKHRI, L. et al. Styrene monomer migration from polystyrene based food packaging nanocomposite: Effect of clay and ZnO nanoparticles. **Food and Chemical Toxicology**, v. 129, n. April, p. 77–86, 2019.

ANVISA. RDC nº 91/2001, Ministério da Saúde - MS. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**, v. 1, p. (Republicada em DOU nº 114-E, de 13/06/2001), 2001.

ANVISA. RDC nº 326/2019, Ministério da Saúde - MS. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**, v. 1, p. (Publicada no DOU nº 234, de 04/10/2019), 2019.

ANVISA. RDC nº 498/2021, Ministério da Saúde - MS. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**, v. 1, p. (Publicada no DOU nº 98, de 26/05/2021), 2021.

ANVISA. RDC nº 589/2021, Ministério da Saúde - MS. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**, v. 1, p. (Publicada no DOU nº 240, de 22/12/2021), 2021.

ALAMRI, M. S. et al. Food packaging's materials: A food safety perspective. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 8, p. 4490–4499, 2021.

ALAQARBEH, M. RHAZES : Green and Applied Chemistry Adsorption Types : Short Review. v. 13, p. 43–51, 2021.

ANVISA. RDC nº 91/2001, Ministério da Saúde - MS. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA**, v. 1, p. (Republicada em DOU nº 114-E, de 13/06/2001), 2001.

BARROS, H. D. et al. Identification of fatty foods with contamination possibilities by plasticizers when stored in PVC film packaging. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 547–552, 2011.

BAUER, A. et al. Identification of unexpected chemical contaminants in baby food coming from plastic packaging migration by high resolution accurate mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 295, n. April, p. 274–288, 2019.

CORKINS, M. R. Aluminum effects in infants and children. **Pediatrics**, v. 144, n. 6, p. 1–6, 2019.

COSTA, A. Síntese e caracterização de partículas de acetato de celulose, a partir do caroço de manga, para produção de matrizes de liberação controlada de drogas. p. 1–70, 2010.

CPSC. Toxicity Review for Bis(2-Ethylhexyl)Adipate (DEHA). **University of Cincinnati**, n. October, 2018.

CRAMER, G. M.; FORD, R. A.; HALL, R. L. Estimation of toxic hazard-A decision tree approach. **Food and Cosmetics Toxicology**, v. 16, n. 3, p. 255–276, 1976.

CRUZ, S. A. et al. Polímeros reciclados para contato com alimentos. **Polimeros**, v. 21, n. 4, p. 340–345, 2011.

CURTIS, J.; SERGENT, S. R. **Hydrocarbon Toxicity**. [s.l.: s.n.].

DA SILVA OLIVEIRA, W. et al. Identification of non-volatile migrants from baby bottles by UPLC-Q-TOF-MS. **Food Research International**, v. 123, n. May, p. 529–537, 2019.

DE PAIVA, E. L. et al. Aluminium intake through the consumption of selected baby foods and risk characterization in a population of Brazilian infants aged 0 to 36 months. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, n. September 2022, p. 105013, 2022.

DE PAIVA, E. L.; MORGANO, M. A.; ARISSETO-BRAGOTTO, A. P. Occurrence and determination of inorganic contaminants in baby food and infant formula. **Current Opinion in Food Science**, v. 30, p. 60–66, 2019.

DESHWAL, G. K.; PANJAGARI, N. R. Review on metal packaging: materials, forms, food applications, safety and recyclability. **Journal of Food Science and Technology**,

v. 57, n. 7, p. 2377–2392, 2020.

DUTRA, C. et al. Migration of residual nonvolatile and inorganic compounds from recycled post-consumer PET and HDPE. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, n. 4, p. 686–696, 2014.

EUROPEAN COMMISSION. Commission Regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011. **Official Journal of the European Union**, p. 1–89, 2011.

FORSIDO, S. F. et al. Effects of storage temperature and packaging material on physico-chemical, microbial and sensory properties and shelf life of extruded composite baby food flour. **Heliyon**, v. 7, n. 4, p. e06821, 2021.

FONTOURA, D. R. S.; CALIL, R. M.; CALIL, E. M. B. a Importância Das Embalagens Para Alimentos - Aspectos Socioeconômicos E Ambientais the Importance of Food Packaging : Socio- Economic and Environmental Aspects. **Atas de Saúde Ambiental**, v. 4, p. 138–160, 2016.

FRANZ, R.; WELLE, F. Recycling of Post-Consumer Packaging Materials into New Food Packaging Applications—Critical Review of the European Approach and Future Perspectives. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 2, 2022.

GARCÍA-CÓRCOLES, M. T. et al. Determination of bisphenols with estrogenic activity in plastic packaged baby food samples using solid-liquid extraction and clean-up with dispersive sorbents followed by gas chromatography tandem mass spectrometry analysis. **Talanta**, v. 178, n. September 2017, p. 441–448, 2018.

JADHAV, E. B. et al. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 16, n. October, p. 100608, 2021a.

JADHAV, E. B. et al. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 16, n. May, p. 100608, 2021b.

MA, Y. et al. The adverse health effects of bisphenol A and related toxicity mechanisms. **Environmental Research**, v. 176, n. July, 2019.

NAM, S. H.; SEO, Y. M.; KIM, M. G. Bisphenol A migration from polycarbonate baby bottle with repeated use. **Chemosphere**, v. 79, n. 9, p. 949–952, 2010.

NIEHS. Report on Carcinogens, Fifteenth Edition: Formaldehyde. **National**

Toxicology Program, Department of Health and Human Services, p. <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles>, 2021.

OLIVIER, S. et al. Evaluation of the exposure to bisphenols from baby bottles and non-food containers used for food preservation in Cameroon . Centre Pasteur du Cameroun , Physicochemical section of Health and Hygiene University of Ngaoundere , National Advanced School of A. **Journal of Hazardous Materials Advances**, p. 100212, 2022.

PACK, E. C. et al. Determination of the migration of plastic additives and non-intentionally added substances into food simulants and the assessment of health risks from convenience food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 30, n. August, p. 100736, 2021.

POÇAS, M. F. et al. A critical survey of predictive mathematical models for migration from packaging. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 10, p. 913–928, 2008.

ROCHESTER, J. R. Bisphenol A and human health: A review of the literature. **Reproductive Toxicology**, v. 42, p. 132–155, 2013.

SCHMID, P.; WELLE, F. Chemical migration from beverage packaging materials—a review. **Beverages**, v. 6, n. 2, p. 1–19, 2020.

SHIM, Y. H. et al. Association between Heavy Metals, Bisphenol A, volatile organic compounds and phthalates and metabolic syndrome. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 4, 2019.

SIDDIQUE, S. et al. Investigation of the migration of bisphenols from baby bottles and sippy cups. **Current Research in Food Science**, v. 4, p. 619–626, 2021.

SILVA, A. S. et al. Time-temperature study of the kinetics of migration of DPBD from plastics into chocolate, chocolate spread and margarine. **Food Research International**, v. 40, n. 6, p. 679–686, 2007.

SURESH, S.; SINGH S, A.; VELLAPANDIAN, C. Bisphenol A exposure links to exacerbation of memory and cognitive impairment: A systematic review of the literature. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 143, n. October, p. 104939, 2022.

WANG, Y.; QIAN, H. Phthalates and their impacts on human health. **Healthcare (Switzerland)**, v. 9, n. 5, p. 1–9, 2021.

XUE, M. et al. Migration of organic contaminants into dry powdered food in paper packaging materials and the influencing factors. **Journal of Food Engineering**, v. 262, n. May, p. 75–82, 2019.

ZEMAN, S.; KUBÍK, L. Permeability of Polymeric Packaging Materials. **Technical Sciences**, v. 10, n. 1, p. 33–34, 2007.