



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – PROFESSORA MARIA DA PENHA – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA
CURSO DE ODONTOLOGIA**

LAYLA NARRELY SANTOS ALVES

PERSPECTIVAS DO USO DO AMÁLGAMA DENTÁRIO

ARARUNA– PB

2022

LAYLA NARRELY SANTOS ALVES

PERSPECTIVAS DO USO DO AMÁLGAMA DENTÁRIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca avaliadora do curso de Odontologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para conclusão de curso.

Área de concentração: Dentística; Materiais dentários.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Gadelha Vasconcelos.

ARARUNA- PB

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A474p Alves, Layla Narrely Santos.
Perspectivas do uso do amálgama dentário [manuscrito] /
Layla Narrely Santos Alves. - 2022.
84 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Odontologia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Rodrigo Gadelha Vasconcelos ,
Coordenação do Curso de Odontologia - CCTS."

1. Amálgama Dentário. 2. Toxicidade. 3. Mercúrio. I. Título

21. ed. CDD 617.672

LAYLA NARRELY SANTOS ALVES

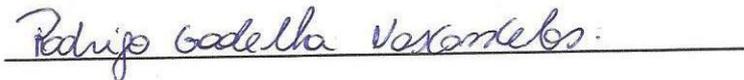
PERSPECTIVAS DO USO DO AMÁLGAMA DENTÁRIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca avaliadora do curso de Odontologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para conclusão de curso.

Área de concentração: Dentística; Materiais dentários.

Aprovada em: 01/11/2022.

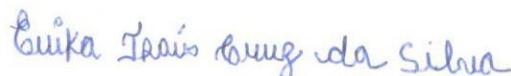
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rodrigo Gadelha Vasconcelos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Marcelo Gadelha Vasconcelos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Érika Thais Cruz da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero dedicar este trabalho Aquele que deu Sua vida por mim, Criador dos céus e terra, que escreve meus dias com misericórdia, o Deus eterno a quem entreguei minha vida, Jesus Cristo. É um privilégio saber que a fidelidade do Senhor me alcançou, me manteve firme e constante, forte e corajosa. Sua provisão esteve estendida durante esses cinco anos. Meu objetivo é que minha profissão revele quem Ele é, para glória dEle, que eu possa estar sempre disposta ao serviço e refletir Sua luz, apesar de mim.

Aos meus pais, Mirian e Adailton, que deram as condições e instruções necessárias para realizar esse sonho. Obrigada pela criação tão maravilhosa que eu e minhas irmãs recebemos. Não seríamos o que somos sem vocês. Vocês são o nosso orgulho. Nossa herança. Que eu possa honrar com minha vida todo o esforço e investimento que fizeram em mim.

Aos meus avós, Severina, Manuel (*In memoriam*), Terezinha e Severino. Vocês me criaram junto com meus pais, choraram e se alegraram em cada conquista minha. Obrigada pelo amor, cuidado, ajuda e educação que me deram. As minhas irmãs, Laura e Lívia, que tornam minha vida mais engraçada e divertida, obrigada pelo apoio em tudo. Aos meus tios, especialmente minhas tias Maria Elza e Vanessa, que vibram comigo, me ajudam e aconselham.

Aos meus mestres, em especial ao Professor Dr. Rodrigo Gadelha Vasconcelos, pela orientação dedicada, paciência e confiança. Sou grata por ter acreditado em mim e ter ajudado no meu crescimento acadêmico. A ele, meu carinho e admiração.

Aos meus amigos, os quais são mais chegados que irmãos, em especial Leilane, Joelson, Wellington, Évelyn, Emily e Matheus. Agradeço por permanecerem, mesmo quando não pude estar presente durante esses anos. Também agradeço pelas palavras de conforto, risadas e pela amizade que temos.

Aos meus colegas e amigos da universidade, especialmente Francielly, minha dupla e companheira de apartamento, Monara, Beatriz e Juliana. Vocês tornaram a caminhada árdua, mais leve e feliz.

“Grandes coisas fez o SENHOR por nós, e, por isso, estamos alegres.”

Salmos 126:3, Bíblia Sagrada.

RESUMO

O amálgama dentário foi um material restaurador amplamente utilizado na clínica odontológica. Tornou-se reconhecido por suas propriedades físicas e mecânicas, baixo custo e longevidade. Nos últimos anos, entretanto, houve um declínio da utilização do amálgama em decorrência de suas propriedades negativas, como a ausência de estética, falta de adesividade às estruturas dentárias e presença de mercúrio. Este último, tem sido alvo de discussões devido o mercúrio ser um metal altamente tóxico para os seres vivos e para o meio ambiente. Soma-se a isso, a Odontologia preventiva e de mínima intervenção, em que se preconiza, caso necessário, procedimentos restauradores menos invasivos. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo discorrer sobre as perspectivas da utilização do amálgama dentário na prática clínica odontológica. Esta revisão literária caracterizou-se por uma busca bibliográfica nas bases de dados eletrônicas: PubMed/Medline, Lilacs e Google acadêmico, publicados no período de 2000 a 2022. Foram selecionados 124 artigos após uma criteriosa filtragem. Assim, a maior parte da literatura encontrada afirma que não há, comprovadamente, qualquer efeito adverso para a saúde que provenha dos amálgamas, encontrando-se apenas casos raros de alergia. Entretanto, atualmente, os focos da odontologia contemporânea, tanto no ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico, são em materiais adesivos, como a resina composta, que permitem procedimentos restauradores minimamente invasivos, com boa estética e longevidade clínica comparável ao amálgama ou até mesmo superior, havendo preferência desses materiais em detrimento do amálgama, fazendo com que ocorra o declínio natural do seu uso. Conclui-se, portanto, que com o advento de novos materiais restauradores o amálgama dentário entrará em desuso nos próximos anos. Os estudos encontrados foram favoráveis aos materiais adesivos, principalmente a resina composta. Esta, por sua vez, é um material que está em constante desenvolvimento, com avanços e melhorias em suas propriedades.

Palavras-chave: Amálgama Dentário. Toxicidade. Mercúrio.

ABSTRACT

The amalgam used was a restorative material optimized in dentistry. It became recognized for its physics and mechanics, cost-effectiveness and low properties. In recent years, however, there has been a decline in the use of amalgam due to its properties, such as lack of activity, lack of adhesion to dental and reference structures. The latter, alive, has complications due to mercury being a highly toxic metal for beings and the environment. Added to this, preventive dentistry and minimal intervention, which advocates, if necessary, less invasive restorative procedures. In view of the work presented as a discourse on the amalgam approach exposed objective, practice in dental clinical practice. This literary review is based on a bibliographic database in which electronic data: PubMed/Medline, Lilacs and Google were published 1 in the period 2000 to selected 2022. 24 articles were published after a careful selection. Thus, most of the literature found states that there is no proven adverse health effect from amalgams, with only rare cases of allergy being found. However, currently, the focus of contemporary dentistry, both in teaching, research and technological development, is on adhesive materials, such as composite resin, which allow minimally invasive restorative procedures, with good aesthetics and clinical longevity comparable to amalgam or even superior, with preference for these materials to the detriment of amalgam, causing a natural decline in its use. It is concluded, therefore, that with the advent of new restorative materials, dental amalgam will fall into disuse in the coming years. The studies found were favorable to adhesive materials, mainly composite resin. This, in turn, is a material that is in constant development, with advances and improvements in its properties.

Key-words: Dental Amalgam. Toxicity. Mercury.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 –	À esquerda, mercúrio líquido e à direita liga de amálgama.....	25
Figura 02 –	Microscopia óptica para observar partículas de pó em formato de limanha (A) e esféricas (B).....	28
Figura 03 –	Nestas diferentes apresentações da liga de amálgama temos a liga comercializada a granel, no qual se tem a liga e o mercúrio em frascos separados (A), e a liga em formato pré-dosado e encapsulado (B).....	29
Figura 04 –	Restauração de amálgama apresentando corrosão severa e oxidação.....	32
Figura 05 –	Vistas intraorais de pacientes selecionados antes e após o tratamento. (A), (C) (E) Antes da substituição por restaurações feldspáticas <i>inlay/onlay</i> , as lesões liquenóides eram caracterizadas por estrias brancas. (B), (D), (F) Após a substituição por restaurações feldspáticas <i>inlay/onlay</i> , as lesões liquenóides cicatrizaram.....	50

LISTAS DE TABELAS

Tabela 01 – Distribuição dos artigos encontrados de acordo com os critérios de busca (palavras–chave) utilizados em cada uma das bases de dados.....	22
Tabela 02 – Distribuição dos livros utilizados com a temática da revisão.....	22
Tabela 03 – Especificações para a composição básica das ligas metálicas.....	25
Tabela 04 – Medidas para a redução da utilização do amálgama dentário - CMM.....	40
Tabela 05 – Melhores práticas de gestão do amálgama dentário para consultórios odontológicos.....	52
Tabela 06 – Materiais restauradores híbridos considerados substitutos do AP...	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA:	American Dental Association
AD:	Amálgama Dentário
Ag:	Prata
AIMOT:	Academia Internacional de Medicina Oral e Toxicologia
ANVISA:	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ART:	Tratamento restaurador atraumático
ASDS:	American Society of Dental Surgeons
ATSDR:	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CMM:	Convenção de Minamata sobre Mercúrio
Cu:	Cobre
d.C:	Depois de Cristo
EPI:	Equipamentos de Proteção Individual
EUA:	Estados Unidos da América
FDA:	Food and Drug Administration
FDI:	Federação Dentária Internacional
Hg:	Mercúrio
HgS:	Sulfeto de mercúrio
H ₂ SO ₄ :	Ácido sulfúrico
HgCl ₂ :	Cloreto de mercúrio
HNO ₃ :	Ácido nítrico

IADR:	International Association for Dental Research
In:	Índio
LLOs:	Lesões liquenóides orais
MeHg:	Metilmercúrio
Me ₂ Hg:	Dimetilmercúrio
NIH–NIDR:	National Institute of Health-National Institute for Dental Research
OMS:	Organização Mundial da Saúde
ONGs:	Organizações Não Governamentais
OSPAR:	Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic Comission
Pb:	Chumbo
Pd:	Paládio
PNUMA:	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RC:	Resina Composta
RDC:	Resolução da Diretoria Colegiada
Sn:	Estanho
SNC:	Sistema nervoso central
SO ₂ :	Dióxido de enxofre
TAP:	Programa de Assistência Técnica
Zn:	Zinco
γ:	Ag ₃ Sn (Fase Gama)
γ ₁ :	Ag ₂ Hg ₃ (Fase Gama 1)
γ ₂ :	Sn _{7–8} Hg (Fase Gama 2)

µg/L:

Microgramas por litro

DEFINIÇÕES DE TERMOS

Corrosão: Processo químico ou eletroquímico no qual um sólido, usualmente um metal, é atacado por um agente ambiental, resultando na sua dissolução parcial ou completa (ANUSAVICE et al., 2013).

Cristalização: Reação de presa do amálgama (SILVA; LUND, 2016).

Escoamento: Ação ou efeito de escoar (ANUSAVICE et al., 2013).

Expansão tardia: Quando ligas contendo zinco em sua composição apresentam o elemento reagindo com água, obtendo uma contaminação por umidade na fase de trituração ou condensação na cavidade (SILVA; LUND, 2016).

Gral e Pistilo: São utensílios de laboratório que servem para moer pequenas quantidades de amostras (SILVA; LUND, 2016).

Ustulação: É um processo químico utilizado na metalurgia que consiste em aquecer um sulfeto na presença de gás de oxigênio, geralmente aplicado para obtenção de metais como o mercúrio (ANUSAVICE et al., 2013).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	METODOLOGIA.....	19
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
4.1	Odontologia restauradora minimamente invasiva.....	21
4.2	Histórico do AD.....	22
4.3	Composição e propriedades físico-químicas do AD.....	22
4.3.1	<i>Prata (Ag)</i>	24
4.3.2	<i>Estanho (Sn)</i>	24
4.3.3	<i>Cobre (Cu)</i>	24
4.3.4	<i>Zinco (Zn)</i>	24
4.3.5	<i>Paládio (Pd) e Índio (In)</i>	25
4.3.6	<i>Mercúrio</i>	25
4.4	Classificação das ligas para AD.....	25
4.4.1	<i>Quanto ao formato das partículas</i>	25
4.4.2	<i>Quanto ao teor de Cu e Zn</i>	26
4.5	Processo de amalgamação.....	26
4.6	Características do AD.....	28
4.7	Indicações e contraindicações do AD.....	30
4.8	Vantagens do AD.....	31
4.8.1	<i>Longevidade</i>	31
4.8.2	<i>Baixo custo</i>	31
4.8.3	<i>Resistência ao desgaste</i>	31
4.9	Desvantagens do AD.....	31
4.9.1	<i>Ausência de estética</i>	32
4.9.2	<i>Ausência de união à estrutura dentária</i>	32

4.9.3	<i>Tendência à fraturas marginais.....</i>	32
4.9.4	<i>Presença do mercúrio.....</i>	32
4.10	Mercúrio: entendendo sua dimensão.....	33
4.10.1	<i>Obtenção do Hg.....</i>	34
4.10.2	<i>Mercúrio elementar.....</i>	35
4.10.3	<i>Mercúrio inorgânico.....</i>	35
4.10.4	<i>Mercúrio orgânico.....</i>	36
4.10.5	<i>O desastre de Minamata.....</i>	36
4.10.6	<i>Convenção de Minamata sobre o Mercúrio (CMM).....</i>	37
4.11	Debate sobre a segurança do uso do AD como material restaurador.....	39
4.11.1	<i>Impacto da exposição ocupacional e ambiental ao mercúrio do AD.....</i>	40
4.11.1.1	<i>Exposição ocupacional.....</i>	40
4.11.1.2	<i>Exposição ambiental.....</i>	42
4.11.2	<i>O AD e seus efeitos na saúde do ser humano.....</i>	43
4.11.2.1	<i>Distúrbios neurodegenerativos.....</i>	43
4.11.2.2	<i>Mercúrio na urina.....</i>	44
4.11.2.3	<i>Riscos durante a gravidez.....</i>	44
4.11.2.4	<i>Reações da mucosa oral ao AD e mercúrio.....</i>	46
4.11.2.5	<i>Reações de hipersensibilidade tipo IV.....</i>	46
4.11.2.6	<i>Reações tóxicas.....</i>	48
4.11.2.7	<i>Reações de sensibilidade agudas ou generalizadas.....</i>	49
4.12	Adequado uso e gestão do AD.....	49
4.13	A resina composta como alternativa de material restaurador.....	50
4.13.1	Breve histórico.....	50
4.13.2	Constituição e classificação.....	52
4.13.3	Vantagens da RC.....	53
4.13.4	Causas de falhas das restaurações de RC.....	53
4.13.5	Avanços dos compósitos resinosos.....	55

4.13.6	Estudos recentes que tratam da longevidade da RC comparada ao AD.....	57
4.14	Materiais restauradores substitutos do AD.....	59
5	DISCUSSÃO.....	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O amálgama dentário é um material restaurador amplamente utilizado na odontologia por quase dois séculos (SANTOS *et al.*, 2017), cujas restaurações apresentam uma vida média de 10 a 20 anos (NEVES, 2020). Este material é composto por uma liga que possui vários componentes metálicos como prata, cobre, estanho e zinco, associada ao mercúrio líquido (FRANKENBERGER *et al.*, 2021). Seu baixo custo, facilidade de manipulação e inserção, longevidade, fazem com que seja um material bastante empregado nos serviços odontológicos (MACKEY; CONTRERAS; LIANG, 2014; YOUSEFI, 2018).

No entanto, a literatura tem destacado algumas desvantagens do amálgama dentário que tem provocado seu desuso ao longo dos anos, como a ausência de estética, necessidade de desgaste excessivo da estrutura dental sadia para a sua correta adaptação (AMORIM *et al.*, 2021), além de potencial dano ocupacional à equipe odontológica e ambiental devido a liberação de vapor e partículas de mercúrio (GALLUSI *et al.*, 2021). Este malefício, por sua vez, tem sido discutido continuamente por pesquisadores, visto que o mercúrio é um metal pesado, comprovadamente bioacumulativo, pois pode se concentrar em tecidos orgânicos de seres vivos expostos a ambientes contaminados. Sendo assim, seus efeitos negativos e riscos para saúde humana já foram extensamente comprovados em todo mundo (JESUS; MARINHA; MOREIRA, 2010).

No que tange as questões ambientais e de saúde, há questionamentos quanto à viabilidade do uso do amálgama (AMORIM *et al.*, 2021). Após o desastre de Minamata, episódio ocorrido no Japão, no qual houve contaminação dos peixes de uma baía por mercúrio proveniente de uma indústria local e, por consequência, de centenas de pessoas, aumentou-se a preocupação em relação ao mercúrio (FISHER *et al.*, 2018).

Desde então, foram realizadas diversas convenções com o objetivo de reduzir o uso do mercúrio, com destaque para a Convenção de Minamata, ocorrida em 2013 (KAPLAN; MACCHI, 2019). Esta convenção é um tratado internacional que visa proteger a saúde humana e o meio ambiente das emissões antropogênicas e liberações de mercúrio e compostos de mercúrio (KAPLAN; MACCHI, 2019). A convenção trata de produtos adicionados de mercúrio, incluindo amálgama dental,

que é feito de aproximadamente 50% de mercúrio elementar em peso, e propõe medidas para reduzir o uso de amálgama dental (FISHER *et al.*, 2018).

Fundamentados em suposições de que o amálgama dentário pode provocar danos neurológicos e afetar o desenvolvimento de fetos e crianças, diversos autores e profissionais buscam a proibição completa e irrestrita deste material (AL-KHAFAJI *et al.*, 2020; LYGRE *et al.*, 2018).

Outrossim, um dos problemas relacionados ao uso da liga de amálgama é que cerca de 55% do composto preparado por odontólogos é perdido durante a manipulação, e este resíduo é frequentemente descartado inadequadamente como lixo comum (SADASIVA *et al.*, 2017). Além disso, os resíduos são captados pelos sugadores, e, muitas vezes, lançados diretamente nas redes de esgoto, sem nenhum tipo de coleta segregada para eventual tratamento do resíduo antes de ser lançado no solo (SANTOS *et al.*, 2017).

Por outro lado, a redução do uso do amálgama dentário representa um desafio aos serviços de saúde, considerando sua ampla utilização em muitos países, especialmente os de baixa ou média renda, como no caso do Brasil (NEVES, 2020).

Além disso, houve uma mudança na odontologia restauradora com o advento dos princípios de mínima intervenção e materiais adesivos que surgiram no mercado odontológico, proporcionando diversas alternativas para as restaurações dentárias (MORASCHINI *et al.*, 2015). Entre elas, a resina composta, material que se destaca por suas propriedades mecânicas e ópticas (MORASCHINI *et al.*, 2015), bem como os materiais bioativos, os quais garantem estética e boas propriedades físicas e mecânicas. Estes, juntamente com a resina composta, representam ótimas opções substitutas ao amálgama (RASINES *et al.*, 2014; SANTOS; DIAS; DOS SANTOS, 2016).

Nesse contexto, há um grande dilema atualmente, se o amálgama ainda é viável em restaurações, principalmente com o mercado voltado para a estética associado ao risco toxicológico pela presença de mercúrio. Essa revisão narrativa da literatura tem, portanto, o objetivo de sintetizar evidências e discussões quanto ao uso do amálgama de prata no Brasil e no mundo, abordando os principais motivos que levaram à redução do seu uso nas clínicas odontológicas. Além disso, analisar o cenário atual e futuro sobre o uso deste material na prática clínica odontológica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão de literatura sobre o contexto atual e futuro do uso do amálgama dentário como material restaurador na prática clínica odontológica.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar o histórico do AD e suas características clínicas;
- Discutir sobre a toxicidade do AD;
- Expor o correto manuseio e descarte do AD;
- Discorrer acerca da aplicabilidade do AD como material restaurador na odontologia atual;
- Comparar as propriedades físico-mecânicas do AD com as resinas compostas atuais;
- Comparar a longevidade das restaurações de AD com as resinas compostas atuais.

3 METODOLOGIA

Esta revisão literária caracterizou-se por uma busca bibliográfica nas bases de dados eletrônicos: PubMed/Medline, Lilacs e Google acadêmico, publicados no período de 2000 a 2022, no intuito de selecionar a literatura mais atual. Foram selecionados 124 artigos após uma criteriosa filtragem, os descritores foram detalhados na tabela 01. Como critérios de inclusão, foram adotados os artigos escritos em inglês, português e espanhol, aqueles que se enquadravam no enfoque do trabalho e os mais relevantes em termos de delineamento das informações desejadas. Dentre os critérios observados para a escolha dos artigos foram considerados os seguintes aspectos: disponibilidade integral do texto do estudo e clareza no detalhamento metodológico utilizado.

Foram excluídos da amostra os artigos que não apresentaram relevância clínica sobre o tema abordado; os artigos não condizentes com o assunto; artigos duplicados; falta de clareza no detalhamento metodológico utilizado e aqueles que não se enquadraram nos critérios de inclusão.

Os descritores utilizados para busca foram: *Dental Amalgam; Mercury; Toxicity; Longevity e Composite Resins*, com auxílio do operador de busca AND. Além disso, foram adicionados 4 livros considerados relevantes para este estudo, disponíveis de forma digital no acervo pessoal do próprio autor onde estes estão explanados na tabela 02.

Base de dados	Palavras-chaves	Resultado da busca	Artigos selecionados
PubMed	Dental Amalgam	3.092	109
	Mercury	917	
	Toxicity	335	
	Longevity	139	
	Composite Resins	1.069	
Lilacs	Dental Amalgam	328	10
	Mercury	537	
	Toxicity	37	
	Longevity	12	
	Composite Resins	187	
Google acadêmico	Dental Amalgam	28.700	5
	Mercury	15.700	
	Toxicity	15.900	
	Longevity	15.400	
	Composite Resins	17.000	

Tabela 01 – Distribuição dos artigos encontrados de acordo com os critérios de busca (palavras-chave) utilizados em cada uma das bases de dados.

Autores	Título	Ano
BARATIERI, L. N. et al.	Odontologia restauradora: fundamentos e técnicas.	2013
CONCEIÇÃO, E. N. et al.	Dentística: Saúde e Estética.	2018
REIS, A.; LOGUERCIO, A. D.	Materiais Dentários Diretos: Dos Fundamentos à Aplicação Clínica.	2021
SILVA, A. F.; LUND, R. G.	Dentística Restauradora Do planejamento à execução.	2016

Tabela 02 – Distribuição dos livros utilizados com a temática da revisão.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Odontologia restauradora minimamente invasiva

Historicamente, a odontologia baseou-se em uma abordagem mais mecanicista restauradora e reabilitadora no que diz respeito aos tratamentos restauradores da cárie (TUMENAS *et al.*, 2014). O amálgama dentário (AD) foi o material restaurador secular consagrado pelo uso na Odontologia (YOUSEFI, 2018), com fortes evidências científicas de sucesso clínico e sendo, por muitos anos, a escolha de muitos profissionais na restauração da estrutura dentária (SANTOS; DIAS; DOS SANTOS, 2016).

No entanto, ao longo das últimas décadas, os trabalhos científicos possibilitaram uma melhor compreensão da biologia estrutural e funcional dos tecidos dentais duros e moles e das fases pré-clínicas das doenças cárie e periodontal, o que levou a uma intervenção menos invasiva dos tecidos orais, contribuindo, assim, com o desenvolvimento de novas tecnologias que gradativamente foram sendo incorporadas à realidade da prática odontológica (TUMENAS *et al.*, 2014).

Dessa maneira, a odontologia restauradora atual apresenta um enfoque minimamente invasivo, o qual preconiza somente a remoção do tecido cariado infectado e quase nenhum desgaste dentário além do necessário (SILVA NETO *et al.*, 2021). Os preparos cavitários estão muito mais conservadores, e as formas de retenção e resistência visam à máxima preservação tecidual (SILVA; LUND, 2016; PEREIRA *et al.*, 2018).

A partir disso, surgiram os compósitos resinosos, os quais são materiais restauradores diretos que possibilitam uma reprodução em cor e forma semelhante à estrutura dentária (REIS; LOGUERCIO, 2021), além de promover um mínimo desgaste dentário (PATINI *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2018). Assim, houve um aumento na demanda por restaurações estéticas, juntamente com as preocupações do paciente em relação ao uso de restaurações contendo mercúrio, ocasionando um aumento no uso das resinas compostas (CHESTERMAN *et al.*, 2017; FRANKENBERGER *et al.*, 2021).

Por isso, muitas e diferentes ONGs (organizações não governamentais), AIMOT (Academia Internacional de Medicina Oral e Toxicologia), TAP (Programa de Assistência Técnica) assim como tantas outras, estão buscando desenvolver

legislações a cerca do fim do AD como material restaurador odontológico (MONDELLI, 2014; PATINI *et al.*, 2020). Além dessas entidades, também estudiosos ao redor do mundo têm trabalhado incansavelmente para a proibição do uso de mercúrio nas restaurações dentárias (MONDELLI, 2014; PATINI *et al.*, 2020).

4.2 Histórico do AD

O AD tem sido utilizado como material restaurador na odontologia há mais de um século e meio (BHARTI *et al.*, 2010; SADASIVA *et al.*, 2017). Há relatos de seu uso desde épocas remotas, a partir de 659 d.C. (depois de Cristo), na literatura médica chinesa (ANUSAVICE *et al.*, 2013; BHARTI *et al.*, 2010), apresentando-se como uma pasta de prata (DA ROSA, 2018).

Na Europa, Johannes Stokers, médico municipal de Ulm, Alemanha, recomendou o AD como material de preenchimento em 1528 (BHARTI *et al.*, 2010; OLIVEIRA, 2018). Anos mais tarde, Li Shihchen, em 1578, registrou uma mistura dental de 100 partes de mercúrio com 45 partes de prata e 900 partes de estanho (BHARTI *et al.*, 2010). A próxima grande referência histórica ao amálgama de prata-mercúrio foi realizada na França, Traveau descreveu um material de enchimento de "pasta de prata" em 1826 (OLIVEIRA, 2018). Ele produziu AD misturando as moedas de prata com mercúrio (DA ROSA, 2018; OLIVEIRA, 2018).

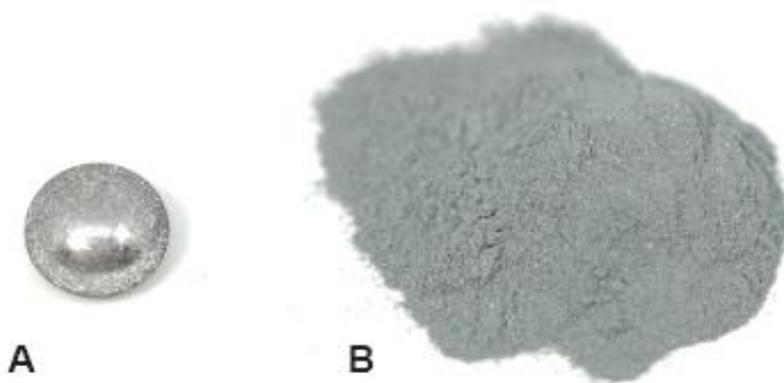
Em 1833, os irmãos Crawcours introduziram na América o seu "*Royal Mineral Succedaneum*", sendo, na verdade, um raspado de moedas de prata francesas e mercúrio (BHARTI *et al.*, 2010; DA ROSA, 2018). Eles preencheram a cavidade dentária removendo o tecido dentário infectado e colocando o AD na superfície oclusal sem conhecer qualquer relação com a anatomia dental (BHARTI *et al.*, 2010).

A aceitação universal do AD como material restaurador resultou das investigações de Black em 1895 ao combinar os princípios do desenho da cavidade, extensão da cavidade em áreas "imunes" e o desenvolvimento de uma liga com composição de 68,5% prata, 25,5% estanho, 5% ouro, 1% zinco (ALCÂNTARA *et al.*, 2015). A S.S White (BHARTI *et al.*, 2010) fabricou a primeira liga comercial rica em prata, *True Dentalloy* (1900), na qual o ouro foi substituído pelo cobre (ALCÂNTARA *et al.*, 2015).

4.3 Composição e propriedades físico-químicas do AD

O AD é constituído pela mistura de mercúrio líquido com partículas sólidas de uma liga (Figura 01) contendo prata (Ag), estanho (Sn) e cobre (Cu), podendo conter o zinco (Zn) e paládio (Pd), entre outros elementos (OLIVEIRA, 2018; PATINI *et al.*, 2020), porém, os principais são Ag e Sn (ANUSAVICE *et al.*, 2013; NEVES, 2020; PATINI *et al.*, 2020; REIS; LOGUERCIO, 2021).

Figura 01 – À esquerda, mercúrio líquido e à direita liga de AD.



Fonte: REIS; LOGUERCIO, 2021.

A especificação nº 1 da American Dental Association (ADA) exige que as ligas de AD contenham, predominantemente, os metais Ag e Sn (ANUSAVICE *et al.*, 2012; SILVA; LUND, 2016). Os outros elementos citados são permitidos em quantidades menores que esses dois (ANUSAVICE *et al.*, 2012; SILVA; LUND, 2016), tal como representado na tabela 03.

Tabela 03 – Especificações para a composição básica das ligas metálicas.

COMPONENTES	% PESO
Prata (Ag)	40 – 70
Estanho (Sn)	17 – 30
Cobre (Cu)	2 – 40
Zinco (Zn)	0 – 2
Índio (In)	0 – 10
Paládio (Pd)	0 – 7
Mercúrio (Hg)	0– 3

Fonte: REIS; LOGUERCIO, 2021.

4.3.1 Prata (Ag)

A Ag é o principal constituinte e se associa ao estanho na forma de um composto intermetálico (Ag_3Sn), comumente conhecida como fase γ (BENGTSSON; HYLANDER, 2017). Este componente favorece o aumento da resistência da restauração e promove a diminuição do escoamento do AD sob a ação de cargas mecânicas. Porém, facilita o aumento da expansão de presa do material (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.3.2 Estanho (Sn)

O Sn compõe cerca de $\frac{1}{4}$ do AD. Suas propriedades provocam uma boa amalgamação e auxiliam na redução da expansão da Ag (REIS; LOGUERCIO, 2021). Quando presente acima de 27% tende a reduzir a resistência e dureza da liga e aumenta o escoamento (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.3.3 Cobre (Cu)

A introdução de um alto conteúdo de Cu nas ligas de AD proporcionou alterações importantes (ANUSAVICE *et al.*, 2013). O Cu possibilita um aumento da dureza e resistência mecânica do AD, diminui o escoamento e corrosão (RATHORE *et al.*, 2012; REIS; LOGUERCIO, 2021). Ligas que possuem teor de Cu abaixo de 6% são classificadas com ligas com baixo teor de Cu, já as ligas com um teor de Cu entre 13 a 30% são determinadas como ligas de alto de Cu, o que consideravelmente é melhor (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.3.4 Zinco (Zn)

O Zn se caracteriza como um auxiliar no processo de fabricação, atuando como agente antioxidante durante a fusão da liga, pois possui afinidade com oxigênio e impurezas, o que faz com que tenha a formação de óxidos de outros elementos na liga de AD durante o processo de fundição (ANUSAVICE *et al.*, 2013; REIS; LOGUERCIO, 2021). Nas ligas que contém o Zn, quando contaminadas por saliva ou

água, podem sofrer um fenômeno denominado de expansão tardia, no qual ocorre uma expansão após um tempo (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.3.5 Paládio (Pd) e Índio (In)

Estes estão presentes em pequenas quantidades e aumentam as propriedades mecânicas (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.3.6 Mercúrio

O Hg permite a formação da massa coesa e plástica, libera vapor metálico inodoro e incolor acima de 12°C (REIS; LOGUERCIO, 2021). Desse modo, ao fazer acabamento e polimento da restauração, deve-se ter cuidado ao esquentar muito, visto que quanto maior o aquecimento, maior é a liberação de Hg. Se houver mercúrio em excesso na reação pode interferir nas propriedades mecânicas da liga (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.4 Classificação das ligas para AD

As ligas de AD podem ser classificadas de acordo com o teor de Cu e Zn, como também pelo formato das partículas (PATINI *et al.*, 2020).

4.4.1 Quanto ao formato das partículas

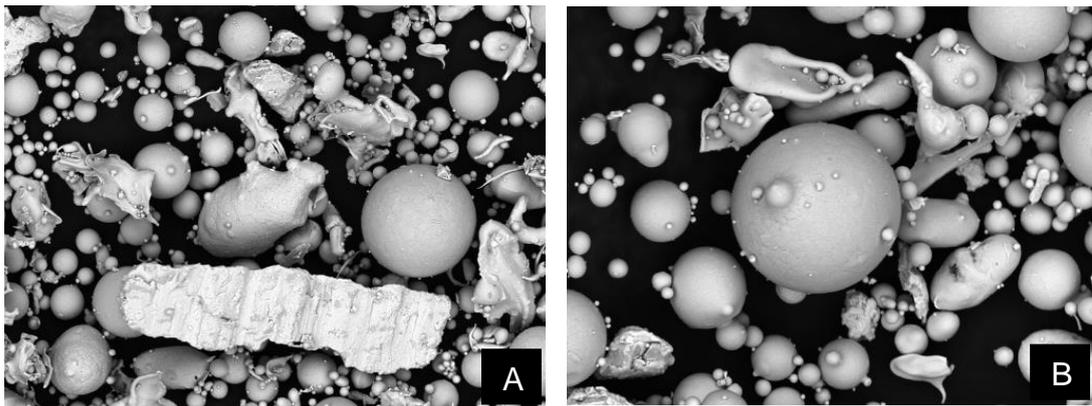
As partículas no formato de limalha (Figura 02 - A) são produzidas pela moagem ou pelo corte do lingote fundido em torno mecânico (ANUSAVICE *et al.*, 2013; SILVA; LUND, 2016). Estas possuem formato irregular, podendo ter cortes diferentes, como o regular, fino e microfino (REIS; LOGUERCIO, 2021). As partículas de limalha finas e microfinas apresentam melhores características de manipulação e produzem restaurações mais lisas (REIS; LOGUERCIO, 2021).

As esféricas (Figura 02 - B), por sua vez, são produzidas por atomização, em que o metal liquefeito é borrifado em um ambiente inerte e são peneiradas para obtenção de tamanhos específicos (CONCEIÇÃO, 2018; REIS; LOGUERCIO, 2021). Dessa forma, partículas de formato esférico tem uma menor área de superfície relativa

e, conseqüentemente, garantem uma menor quantidade de mercúrio (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Além dessas, pode-se ter ligas com mistura de limalhas e esferas (ANUSAVICE *et al.*, 2013).

Figura 02 – Microscopia óptica para observar partículas de pó em formato de limalha e esférica (mista) **(A)** e predominantemente esféricas **(B)**.



Fonte: REIS; LOGUERCIO, 2021.

4.4.2 Quanto ao teor de Cu e Zn

Existem as ligas com alto e baixo teor de Cu (convencionais) (PATINI *et al.*, 2020). As ligas de Ag-Sn são muito quebradiças e difíceis de triturar de maneira uniforme, por isso é adicionado uma pequena quantidade de Cu para substituir parte da prata e tornar a liga mais dura e resistente (ANUSAVICE *et al.*, 2013).

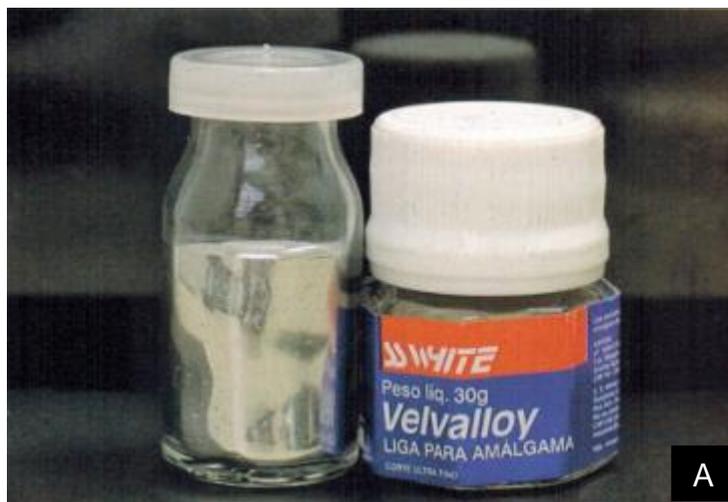
Dessa forma, ligas com alto conteúdo de Cu são as mais utilizadas, visto que as com baixo teor de Cu necessitam de mais Hg (REIS; LOGUERCIO, 2021). Além disso, suas propriedades mecânicas são melhores (REIS; LOGUERCIO, 2021). É possível observar que a maior parte das ligas com alto teor de Cu de composição única possuem partículas em formato esférico e ainda não possuem Zn na sua composição, pois durante o seu processo de fabricação a liga não entra em contato com o oxigênio (CONCEIÇÃO, 2018; REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.5 Processo de amalgamação

A mistura da liga com o Hg é realizada através da trituração, o pó da liga coexiste com o mercúrio liquefeito, formando uma mistura com consistência plástica (BENGTSSON; HYLANDER, 2017; REIS; LOGUERCIO, 2021). Esse processo de mistura, originalmente, era realizado de forma manual utilizando flanela, balança, gral e pistilo, sendo chamado de trituração (ANUSAVICE *et al.*, 2013; CONCEIÇÃO, 2018). O cirurgião-dentista dispensava a liga em pó e o Hg (Figura 03 - A) em um gral e misturava os dois com auxílio do pistilo (ANUSAVICE *et al.*, 2013).

Em seguida, o pó foi sendo comercializado no formato de pastilhas compactadas, em que eram dispensadas com o Hg em uma cápsula reutilizável com um pistilo (ANUSAVICE *et al.*, 2013). Nos dias atuais, o AD é comercializado em cápsulas descartáveis e já são pré-dosados (Figura 03 - B), contendo um plástico que separa o pó do líquido. As cápsulas são inseridas em um amalgamador mecânico para a realização da mistura e consequentemente a homogeneização dos componentes (ANUSAVICE *et al.*, 2013; CONCEIÇÃO, 2018).

Figura 03 – Nestas diferentes apresentações da liga de AD temos a liga comercializada a granel, no qual se tem a liga e o mercúrio em frascos separados **(A)**, e a liga em formato pré-dosado e encapsulado **(B)**.





Fonte: REIS; LOGUERCIO, 2021.

Durante o processo de amalgamação começa a ocorrer reações da Ag com o Hg e do Sn com o Hg, bem como ocorre a ligação do Cu com o Sn (BENGTSSON; HYLANDER, 2017). À medida que o Hg é consumido, o AD se cristaliza (REIS; LOGUERCIO, 2021; SILVA; LUND, 2016).

Há três fases sendo formadas: a fase Ag_3Sn (γ), a fase Ag_2Hg_3 (γ_1) e a fase $Sn_{7-8}Hg$ (γ_2) (FRANKENBERGER *et al.*, 2021). As propriedades físicas do AD dependem das fases microestruturais. Quanto mais partículas de Ag_3Sn não consumidas são retidas na estrutura final, mais resistente é o AD (BENGTSSON; HYLANDER, 2017). O componente mais fraco é o da fase γ_2 , que é menos estável em ambiente corrosivo (SILVA; LUND, 2016), além de ser responsável pela fratura precoce e falha nas restaurações de AD, afetando a longevidade clínica do material. Por isso, o Cu foi introduzido para evitar a formação da fase γ_2 (RATHORE *et al.*, 2012). Quando uma liga apresenta alto teor de Cu, este pode unir-se com os elementos Ag e Sn, praticamente eliminando a fase γ_2 durante as reações de cristalização, formando a fase Cu_3Sn (REIS; LOGUERCIO, 2021). A eficácia das partículas na prevenção da formação da fase γ_2 depende da porcentagem de cobre na mistura (REIS; LOGUERCIO, 2021; SILVA; LUND, 2016).

4.6 Características do AD

Segundo Silva e Lund (2016) o AD possui alta resistência à compressão, o que faz com que o material suporte grandes esforços mastigatórios e reduz a possibilidade

de fratura pelas tensões desenvolvidas durante os contatos oclusais, logo após a inserção do material na cavidade. Contudo, a resistência após 1 hora da restauração de AD finalizada é relativamente fraca (REIS; LOGUERCIO, 2021). A partir de 24 horas, a restauração adquire maior resistência. Diante disso, recomenda-se ao paciente para evitar tensões excessivas nesse período inicial (CONCEIÇÃO, 2018).

É válido ressaltar que tanto a subtrituração, quanto a supertrituração promovem diminuição da resistência das ligas de alto e baixo teor de cobre (ANUSAVICE *et al.*, 2013).

O material possui, ainda, baixa resiliência, resultando na transmissão de forças da mastigação diretamente para a estrutura dentária, muitas vezes, ocasionando fraturas no elemento dental que se encontra com pouca estrutura (CONCEIÇÃO, 2018).

As ligas de AD podem sofrer um fenômeno conhecido como *Creep*, que representa uma propriedade viscoelástica de materiais que sofrem deformação plástica sob a aplicação de forças estáticas ou dinâmicas (FRANKENBERGER *et al.*, 2021). O AD se deforma permanentemente sob a ação das forças mastigatórias, sendo bastante comum de ocorrer em ligas com baixo teor de Cu. Desse modo, ligas com elevado *creep* têm maior probabilidade de degradação marginal e formação de fendas (ANUSAVICE *et al.*, 2013; CONCEIÇÃO, 2018; SILVA; LUND, 2016).

Restaurações realizadas com AD deverão ter preparos cavitários retentivos, para minimizar esforços sobre a restauração, pois possui baixa resistência à tração (CONCEIÇÃO, 2018; FRANKENBERGER *et al.*, 2021).

Concomitantemente, é um material muito suscetível ao processo de corrosão, pois possui estrutura heterogênea com várias fases (Figura 04) (REIS; LOGUERCIO, 2021). Ligas com menor conteúdo de Cu têm resultado mais rápido em corrosão na interface dente-restauração. Isso promove um selamento nas restaurações, o que é vantajoso se não for em excesso (CONCEIÇÃO, 2018; REIS; LOGUERCIO, 2021). Por outro lado, o processo de corrosão pode liberar mercúrio livre (ANUSAVICE *et al.*, 2013).

Figura 04 – Restauração de AD apresentando corrosão severa e oxidação.



Fonte: REIS; LOGUERCIO, 2021.

Reis e Loguercio (2021) ainda citam que o AD com a presença de Zn em sua constituição pode, ao ser contaminado com a umidade, passar por uma alteração dimensional, ocasionando uma contração, o que pode gerar infiltração, acúmulo de placa e cáries secundárias. Ademais, o AD também pode expandir, resultando em pressão na polpa e sensibilidade pós-operatória, ou até mesmo fratura da restauração (ANUSAVICE *et al.*, 2013).

A expansão é maior nas ligas com baixo teor de Cu com Zn, pois este reage de forma rápida com a água proveniente do contaminante e produz hidrogênio. Ao liberar o hidrogênio ocorre a expansão de presa tardia, normalmente após 3 ou 4 dias da presa e pode se prolongar por meses (ANUSAVICE *et al.*, 2013; CONCEIÇÃO, 2018).

4.7 Indicações e contraindicações do AD

O AD é indicado, principalmente, em casos em que a estética não seja importante, como em cavidades classe I e II (SILVA; LUND, 2016). Em situações em que o isolamento é praticamente impossível, já que a técnica é bem menos sensível quando comparado com a resina composta (SILVA; LUND, 2016).

Por outro lado, o AD está contraindicado em casos que necessitam priorizar a estética, por exemplo, em cavidades classe IV, assim como em cavidades extensas

que possuam paredes frágeis (CONCEIÇÃO, 2018). Além disso, se o paciente apresentar histórico de alergia ao Hg ou a outro componente do AD (CONCEIÇÃO, 2018).

4.8 Vantagens do AD

4.8.1 Longevidade

Dentre as vantagens do AD, pode-se citar a resistência ao desgaste, bem como há o aumento, com o tempo, do vedamento marginal (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019). O material possui maior experiência clínica do que as resinas compostas em relação ao uso em dentes posteriores, por isso é possível observar de 2 a 3 vezes mais longevidade do que as resinas compostas (PATINI *et al.*, 2020), com uma vida média de 10 a 20 anos (LACERDA; DAMASO; GRAJEDA, 2018).

No entanto, a longevidade das restaurações com AD depende de alguns fatores, como a idade, higiene oral, suscetibilidade do paciente à cárie dentária, habilidade do clínico e a qualidade do próprio AD (BARATIERI *et al.*, 2013; DA ROSA, 2018).

4.8.2 Baixo custo

Outra vantagem é o custo inferior para a realização das restaurações na prática clínica dos cirurgiões-dentistas (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019), quando comparada aos materiais resinosos e ainda necessita de uma técnica menos sensível de ser executada (FRANKENBERGER *et al.*, 2021). Além disso, é de fácil manipulação, em casos de cápsulas pré-dosadas o tempo clínico é relativamente pequeno (DA ROSA, 2018; SILVA; LUND, 2016).

4.8.3 Resistência ao desgaste

Sua resistência é muito próxima ao da estrutura dentária (BARATIERI *et al.*, 2013; JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019).

4.9 Desvantagens do AD

4.9.1 Ausência de estética

Uma das maiores limitações e desvantagens do AD estão no fato de proporcionar baixa estética às restaurações (FRANKENBERGER *et al.*, 2021). A cor metálica do AD não satisfaz as necessidades estéticas tanto dos pacientes como dos profissionais de saúde (FRANKENBERGER *et al.*, 2021), que cada vez mais usam, em detrimento ao AD, materiais restauradores que se aproximam da cor natural dos dentes (RATHORE *et al.*, 2012; SILVA; LUND, 2016).

4.9.2 Ausência de união à estrutura dentária

Um dos riscos associados às restaurações com AD é a falta de adesão às paredes cavitárias, permitindo a entrada de agentes nocivos, como bactérias e saliva, na interface dente/restauração, levando à conseqüente falta de união à estrutura dentária, inflamações pulpares, cáries secundárias e conseqüentemente fraturas marginais, além de que necessita de preparos menos conservadores (BARATIERI *et al.*, 2013; SILVA; LUND, 2016).

4.9.3 Tendência à fraturas marginais

Cavidades amplas com pouca estrutura dentária remanescente possuem um risco elevado de sofrer uma fratura. Nas resinas compostas este risco é diminuído (CONCEIÇÃO, 2018), pois os materiais adesivos quando em contato com a estrutura dentária se comportam como um único corpo facilitando a dissipação dos esforços mastigatórios, o que de certa maneira reforça a estrutura dentária remanescente (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.9.4 Presença do mercúrio

Restaurações contendo mercúrio e que apresentam corrosão são consideradas o principal fator etiológico de manifestação crônica em alguns pacientes e, em outros, de uma hipersensibilidade tardia de contato (SILVA; LUND, 2016). Esta pode apresentar-se clinicamente em três grupos: manchas brancas, lesões estriadas, em

placas ou reticulares; lesões erosivas ou atróficas; lesões ulceradas (SILVA; LUND, 2016). Os sintomas relatados geralmente são ardência, desconforto, prurido, dor ou gosto metálico na boca. No entanto, trata-se de uma patologia rara e que desaparece normalmente com a remoção da restauração, denominada de lesão liquenóide (SILVA; LUND, 2016).

É possível citar o descarte inadequado do AD no meio ambiente após o seu uso também como desvantagem. Conforme especificação da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) 33/2003, B2 – resíduos odontológicos: “os resíduos [...] de AD odontológicos devem ser embalados e enviados para os centros de reciclagem desses produtos de acordo com a vigilância sanitária municipal” (SILVA; LUND, 2016). Portanto, deve-se ter cuidado na manipulação dos resíduos com AD (FRANKENBERGER *et al.*, 2021).

4.10 Mercúrio: entendendo sua dimensão

O Hg usado no AD é um metal pesado em estado líquido na temperatura ambiente, prateado e brilhante (NEVES, 2020). Este metal assume diversas formas químicas, que podem ser divididas nas seguintes categorias: mercúrio metálico ou inorgânico, elementar (vapor de mercúrio) e mercúrio orgânico, ligado a radicais de carbono como metilmercúrio (MeHg) e etilmercúrio (MONDELLI, 2014). Com o aumento da temperatura, o Hg se volatiliza facilmente para a atmosfera, originando vapores de Hg (forma elementar), sendo esse estado muito mais tóxico que o estado líquido (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019). Esse elemento é encontrado naturalmente na crosta terrestre, ocorrendo, porém, no ar, no solo e na água (MONDELLI, 2014; NEVES, 2020).

Os países que mais produzem esse metal são o Canadá, Espanha (minas de Almadén), Rússia, México e Argélia (MONDELLI, 2014; NEVES, 2020). Avalia-se que a produção mundial de Hg alcance em torno de 10.000 toneladas ao ano, sendo sua utilização difundida em várias áreas (NEVES, 2020).

O uso de Hg em restaurações dentárias representa cerca de 10% do consumo global total de Hg (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019). Apenas nos Estados Unidos da América (EUA) são utilizadas até 32 toneladas por ano (MONDELLI, 2014). Comparado com os EUA, o uso odontológico de Hg na União Européia – o segundo maior consumidor – chega a cerca de 20 a 25%, embora países como Noruega,

Dinamarca e Suécia recomendem a proibição do uso de Hg em AD (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019).

A bem conhecida toxicidade do Hg é derivada de sua alta afinidade com proteínas e aminoácidos (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019). Experimentos *in vitro* demonstraram que o mercúrio elementar é dez vezes mais tóxico que o chumbo (Pb) nos neurônios (MUTTER, 2011). Tecidos como fígado, rins e sistema nervoso central (SNC) são os principais alvos da bioacumulação (WOODS *et al.*, 2014).

As emissões atmosféricas são as principais fontes de contaminação ambiental, seguida da contaminação da água e do solo, quando ocorre deposição inadequada de efluentes e resíduos (MONDELLI, 2014). Uma vez liberado, o vapor de mercúrio permanece no meio ambiente (ar; água; solo), onde assume diversas formas químicas (MONDELLI, 2014).

Segundo Mondelli (2014), a principal forma de exposição da população humana é a dieta, em particular com o consumo de produtos advindos da pesca contaminados por MeHg. Também podem ser observados níveis elevados de Hg orgânico em atividades industriais e, ainda, em ambientes clínicos, ambulatoriais e consultórios que não executam o cuidado mínimo com a manipulação do AD (inadequação no seu preparo e execução, assim como no descarte dos seus resíduos) (ATTIYA *et al.*, 2020; MONDELLI, 2014).

4.10.1 Obtenção do Hg

O Hg pode estar associado com hidrocarbonetos gasosos e líquidos (petróleo, betumes) e também com jazidas de carvão mineral (MONDELLI, 2014). O minério mais importante de Hg é o cinábrio (MONDELLI, 2014). Para obter o Hg é necessário realizar a ustulação do cinábrio, o qual é um método economicamente explorado, que consiste na queima dos sulfetos pela passagem de uma corrente de ar quente rica em oxigênio, obtendo como produto final o metal e monóxido de carbono (MONDELLI, 2014). Dessa forma, o sulfeto de mercúrio (HgS) é triturado e separado dos outros minerais e concentrado por sedimentação, visto que tem uma densidade de 8,1 g/cm³, considerada muito alta (MONDELLI, 2014).

O vapor de mercúrio formado é condensado e o dióxido de enxofre (SO₂) é usado na fabricação de ácido sulfúrico (H₂SO₄) (MONDELLI, 2014). Nesta reação, o

enxofre do mineral se oxida a SO_2 e o metal livre se conduz a grandes condensadores metálicos refrigerados com água (MONDELLI, 2014).

Para obter o mercúrio puro é necessário aplicar ar por meio do metal aquecido a 250°C , pois se for obtido através da ustulação pode conter pequenas quantidades de outros metais dissolvidos nele, principalmente Pb, Zn e cádmio (MONDELLI, 2014).

4.10.2 Mercúrio elementar

O Hg elementar é encontrado em peixes, humanos, conservantes de vacinas, termômetros, cosméticos, lâmpadas e outros produtos e processos, incluindo o AD (UNEP, 2013). Acredita-se que o mercúrio em sua forma gasosa (vapor) venha da desgaseificação natural da crosta terrestre, porém as restaurações de AD dentário são consideradas uma fonte significativa desse gás tóxico (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019).

A principal via de absorção do Hg elementar é o trato respiratório, podendo ocorrer através da inalação do vapor, o qual é rapidamente oxidado (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019). A oxidação rápida permite que íons de Hg sejam imediatamente absorvidos e depois excretados pelo organismo (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019). Somente a exposição a grandes quantidades de vapores de mercúrio (acidentes de trabalho) poderá levar a um estado de intoxicação (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019; MONDELLI, 2014).

4.10.3 Mercúrio inorgânico

Os compostos inorgânicos de Hg derivados de íons de Hg são formados quando este se combina com outros elementos, como o cloro, oxigênio ou enxofre, formando os sais cloreto de Hg, óxido de Hg e sulfeto de Hg (BERNHOF, 2012). Além disso, no corpo humano os sais de Hg podem ser produzidos a partir de Hg elementar, isso acontece quando o vapor de Hg é inalado, difundindo-se pelos pulmões para a corrente sanguínea (PARK; ZHENG, 2012).

Embora o Hg inorgânico não cause efeitos à curto prazo semelhante ao elementar, a exposição em longo prazo pode induzir distúrbios neurológicos e problemas relacionados a memória (BERNHOF, 2012; BRIDGES; ZALUPS, 2017).

Relatórios com estudos em humanos indicam uma meia-vida de Hg inorgânico no cérebro na ordem de anos, contradizendo estudos de radioisótopos mais antigos que estimavam a meia-vida na ordem de semanas a meses (ROONEY, 2014).

Um estudo realizado por Björkman et al. (2007) para avaliar a exposição ao mercúrio no cérebro humano, mostrou que o AD aumenta as concentrações de mercúrio inorgânico no cérebro. No momento da morte, uma correlação significativa foi encontrada entre o mercúrio inorgânico no sangue e o número de superfícies preenchidas com AD.

4.10.4 Mercúrio orgânico

O Hg orgânico, é altamente tóxico, pois é rapidamente absorvido pelo organismo. Pode estar presente em peixes e mariscos de água contaminada e em vários pesticidas e herbicidas (BERNHOF, 2012). Além disso, pode ser encontrado na forma de organomercúrio, o qual se refere a vários compostos organometálicos, especificamente o extremamente neurotóxico MeHg, que pode ser facilmente absorvido pelo organismo (ISHIDA *et al.*, 2021). O dimetilmercúrio (Me₂Hg), é um produto químico extremamente perigoso, visto que a absorção de menos de 0,1 mL produz reações graves e até fatais (DOS SANTOS *et al.*, 2016; KIRKPATRICK *et al.*, 2015).

De acordo com a ATSDR, o nível de risco mínimo de Me₂Hg é de 0,0003 mg/kg/dia para sintomas crônicos, como a exposição oral (DOS SANTOS *et al.*, 2016). Embora o Hg elementar afete o sistema nervoso central, o organomercúrio se distribui preferencialmente em porções do cérebro que controlam as funções sensório-motoras (WOODS *et al.*, 2014). Este último pode levar a problemas de coordenação, equilíbrio e controle motor (WOODS *et al.*, 2014).

4.10.5 O desastre de Minamata

Os potenciais efeitos tóxicos para o ser humano e outras espécies do mercúrio e sua propagação ambiental, leva-o a ser considerado um poluente ambiental global (UNEP, 2013). Suas consequências se tornaram mais claras em meados da década de 60, com o desastre ambiental ocorrido no Japão, onde, por mais de vinte anos,

uma indústria lançou em seus efluentes líquidos o mercúrio em sua forma orgânica diretamente na baía de Minamata (NEVES, 2020).

A baía, situada no arquipélago sul do País na província de Kumamoto, foi contaminada pelos rejeitos da empresa Chisso, que contaminou a fauna marinha e, por meio da cadeia alimentar, alcançou o homem (FRANKENBERGER *et al.*, 2021). Esse ocorrido ficou conhecido como o “Desastre de Minamata” (FRANKENBERGER *et al.*, 2021; NEVES, 2020), que ocasionou uma síndrome neurológica causada por envenenamento grave por mercúrio pelo consumo de frutos do mar contaminados, sendo uma das maiores tragédias da humanidade, pois resultou na morte de 900 pessoas e lesões graves em outras 2200 (ISHIDA *et al.*, 2021).

4.10.6 Convenção de Minamata sobre o Mercúrio (CMM)

Após a tragédia de Minamata ocorreram diversas convenções para diminuir o índice de fabricação de produtos em que sua composição possua Hg (ALEXANDER *et al.*, 2017). Desde a década de 1970, esforços têm sido feitos no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para reduzir a poluição ambiental antropogênica com Hg (AL-ASMAR *et al.*, 2019; FRANKENBERGER *et al.*, 2021). Em 2009, o PNUMA decidiu iniciar um Comitê Intergovernamental de negociação para reduzir as emissões de Hg no meio ambiente e o risco à saúde humana, inclusive no AD (FISHER *et al.*, 2018; MACKKEY; CONTRERAS; LIANG, 2014).

Após cinco conferências internacionais (2009 a 2013), em 2013 foi assinado um contrato, de caráter internacional, na cidade japonesa, denominado de Convenção de Minamata sobre o Mercúrio (CMM) (AGGARWAL *et al.*, 2019; FISHER *et al.*, 2018), sendo assinada por 128 países para lidar internacionalmente com a poluição por mercúrio (ISHIDA *et al.*, 2021).

Com início previsto para 2020, esta convenção possui o objetivo de reduzir os impactos ambientais significativos para a saúde devido à poluição atmosférica por mercúrio e inclui disposições que tratam de mineração, importação e exportação, armazenamento e gestão de resíduos de produtos que contenham mercúrio (UNEP, 2013), tais como baterias, interruptores, lâmpadas fluorescentes, sabões, cosméticos (AL-ASMAR *et al.*, 2019; FISHER *et al.*, 2018). No entanto, as restaurações de AD com Hg estão isentas de proibição, mas possuem medidas recomendadas para sua utilização na CMM e que estão descritas na tabela 04 (AGGARWAL *et al.*, 2019).

Tabela 04 - Medidas para a redução da utilização do AD - CMM.

Medidas para a redução da utilização do AD - Convenção de Minamata.	
I	Estabelecer objetivos nacionais visando à prevenção de cáries e promoção de saúde, minimizando assim a necessidade de restaurações dentárias;
II	Estabelecer objetivos nacionais visando a minimizar seu uso;
III	Promover o uso de alternativas sem mercúrio com bom custo-benefício e clinicamente eficazes para restaurações dentárias;
IV	Promover pesquisa e desenvolvimento de materiais de qualidade e livre de mercúrio para restaurações dentárias;
V	Incentivar organizações representativas de profissionais e escolas de odontologia a educar e qualificar alunos e profissionais odontólogos no uso de restaurações dentárias sem mercúrio e na promoção de melhores práticas de gestão;
VI	Desencorajar políticas e programas de seguros que favoreçam o uso de AD em vez de alternativas sem mercúrio para restaurações dentárias;
VII	Incentivar políticas e programas de seguro que favoreçam o uso de alternativas de qualidade para AD em restaurações dentárias;
VIII	Restringir o uso de AD à sua forma encapsulada;
IX	Promover o uso de melhores práticas ambientais em consultórios odontológicos a fim de reduzir as liberações de mercúrio e compostos de mercúrio na água e no solo.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente.

O Brasil é um dos países que se comprometeu na aliança para a proteção da saúde humana e meio ambiente em decorrência da contaminação por Hg (NEVES, 2020). Frente às discussões políticas e buscando pactuar medidas de sustentabilidade firmadas com a CMM, o Brasil publicou uma RDC nº 173, de 15 de setembro de 2017 que proíbe em todo o território nacional a fabricação, importação e comercialização, assim como o uso em serviços de saúde, do Hg líquido e do pó para liga de AD não encapsulado indicados para uso em Odontologia, com vigência nacional desde 01 de janeiro de 2019 (ANVISA, 2017; NEVES, 2020). O Plano Setorial de Implementação da CMM do Ministério da Saúde inclui outras medidas em relação ao uso e o descarte do AD e recomendações para o ensino, inovação e pesquisa na área (NEVES, 2020).

Entretanto, para Mackey, Contreras e Liang (2014), apesar de todas as medidas acordadas na Convenção, há ausência de um prazo específico para a

redução progressiva e a exigência do cumprimento de apenas 2 itens, em um total de 9. Para cumprir as exigências da CMM, a Federação Dentária Internacional (FDI) e a OMS solicitaram diminuição gradual do uso de restaurações de AD, principalmente devido a preocupações ambientais (AGGARWAL *et al.*, 2019; KATEEB; WARREN, 2019).

Tais corporações argumentaram que uma proibição total poderia desestabilizar a odontologia globalmente, arriscando afetar negativamente a saúde pública e desestabilizar um processo complexo de prestação de serviços (AGGARWAL *et al.*, 2019). Sendo necessária, portanto, uma redução progressiva, bem como desenvolver materiais alternativos para as restaurações (AGGARWAL *et al.*, 2019).

4.11 Debate sobre a segurança do uso do AD como material restaurador

O debate global sobre o impacto ambiental e de saúde do AD contendo Hg tem se tornado mais forte devido a CMM (MACKEY; CONTRERAS; LIANG, 2014). Esta Convenção abriu espaço para discussões sobre a continuação do uso do AD na odontologia atual (MACKEY; CONTRERAS; LIANG, 2014). Com a grande maioria da população mundial afligida pela cárie dentária, a importância de garantir o acesso adequado e seguro às opções de tratamento de saúde bucal tornou este um importante problema de saúde pública global (MACKEY; CONTRERAS; LIANG, 2014).

A controvérsia em curso sobre o uso contínuo de AD contendo mercúrio tem se concentrado principalmente em duas questões distintas, embora relacionadas: o impacto potencial na saúde humana da exposição ao mercúrio e o impacto ambiental dos resíduos odontológicos relacionados ao mercúrio (MACKEY; CONTRERAS; LIANG, 2014).

No ano de 1843, a *American Society of Dental Surgeons* (ASDS), fundada na cidade de Nova York, declarou que o uso de AD era uma má prática por causa do medo de envenenamento por Hg em pacientes e dentistas e forçou todos os seus membros a assinar um compromisso para abolir o seu uso (RATHORE *et al.*, 2012). Em consequência, devido sua posição contra o AD, a ASDS teve perda de membros, sendo dissolvida em 1856. Em 1859, a ADA foi fundada e não proibia o uso de AD. A posição da ADA sobre a segurança do AD permaneceu consistente desde sua fundação (RATHORE *et al.*, 2012). Em 1991, o *National Institute of Health-National*

Institute for Dental Research (NIH-NIDR) e a *Food and Drug Administration* (FDA) concluíram que não havia base para alegações de que o AD era um perigo significativo para a saúde (RATHORE *et al.*, 2012).

Os defensores do uso do AD como material restaurador dentário citam seu baixo custo, facilidade de manipulação e colocação, durabilidade e histórico de segurança (BHARTI *et al.*, 2010; RATHORE *et al.*, 2012). Seus opositores, entretanto, apontam para sua aparência pouco atraente, potencial para enfraquecer a estrutura do dente, liberação de vapor e partículas de Hg, potencial dano ocupacional à equipe odontológica, crescente disponibilidade de restaurações alternativas de compósito e impacto ambiental negativo do descarte de resíduos (MUTTER, 2011; MACKEY; CONTRERAS; LIANG, 2014).

4.11.1 Impacto da exposição ocupacional e ambiental ao mercúrio do AD

4.11.1.1 Exposição ocupacional

As principais atividades ocupacionais, no Brasil, com risco de exposição ao Hg são o garimpo do ouro, a indústria de produtos químicos, elétricos, automotores e de construção e a Odontologia (JESUS; MARINHA; MOREIRA, 2010; WARWICK *et al.*, 2019). Esta, por sua vez, é uma profissão que apresenta um grande risco de contaminação química, posto que os cirurgiões dentistas e sua equipe estão diretamente envolvidos em restaurações (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019; NEVES, 2020; SANTOS *et al.*, 2017), sendo expostos ao Hg e havendo o risco de intoxicação crônica (ATTIYA *et al.*, 2020). Este último, com efeito, se acumula gradualmente no corpo devido às ligações estáveis, criando grupos tiol das proteínas (ATTIYA *et al.*, 2020).

Dessa forma, existe certa preocupação na utilização do AD, devido à exposição ao Hg tanto para o paciente como para o profissional (ISHIDA *et al.*, 2021). Acredita-se que a via ocupacional parece ser a mais eficiente no que concerne ao potencial de contaminação da população pelo Hg (TSENG *et al.*, 2020), bem como do pessoal da área odontológica, trazendo preocupações no que diz respeito à manipulação do AD (SANTOS *et al.*, 2017; TSENG *et al.*, 2020; WARWICK *et al.*, 2019).

O principal meio de exposição dos profissionais da Odontologia é pela inalação dos vapores de Hg dispersos no ar (SANTOS *et al.*, 2017), decorrentes de higiene e ventilação inadequadas do ambiente de trabalho, falhas na refrigeração durante a

remoção e inserção de restaurações de AD (YILMAZ *et al.*, 2015), além do derramamento acidental de gotas de mercúrio nos consultórios, a possibilidade de contato do metal com a pele (OLIVEIRA; CONSTANTINO, 2010), bem como pela manipulação de instrumentais contaminados (YILMAZ *et al.*, 2015).

Tendo em vista que o Hg é 14 vezes mais denso que a água, uma pequena gota deste elemento contém quantidade suficiente para saturar o ar de um consultório padrão (ANUSAVICE *et al.*, 2013). Além disso, a presença de fontes geradoras de calor, como estufas e autoclaves, no mesmo ambiente onde o AD é manipulado ou utilizado, contribui para uma volatilização mais rápida do Hg, aumentando também a possibilidade de contaminação desses profissionais (YILMAZ *et al.*, 2015).

Segundo estimativa da ADA, um em cada dez consultórios odontológicos excede o nível máximo permitido de exposição ao Hg (ANUSAVICE *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2009). De acordo com Carrillo (2019), mais de 80% dos vapores inalados são absorvidos e armazenados nos pulmões, iniciando uma exposição tóxica cumulativa, causando pneumonia, problemas neurológicos e consequente insuficiência renal.

Através de um levantamento epidemiológico com os cirurgiões dentistas de duas regiões do Marrocos, Attiya *et al.* (2020) avaliaram a exposição ocupacional desses profissionais ao mercúrio do AD. As queixas de saúde expressas pelos participantes diziam respeito principalmente a problemas neuropsicológicos, tendo em vista a reconhecida neurotoxicidade do mercúrio. Desse modo, os autores constataram que os profissionais da área que usam o AD estão expostos ao Hg de maneira prejudicial a sua saúde, a depender da intensidade e duração da exposição.

As primeiras publicações de análise do risco toxicológico ocupacional em equipes de saúde bucal evidenciaram que os sintomas relacionados à função renal, processos reprodutivos e alergias estavam relacionados à exposição crônica ao mercúrio (WARWICK *et al.*, 2019). Outros estudos indicaram que os profissionais podem desenvolver amnésias, quadros de alterações de personalidade e de comportamento, além disso, alterações de fertilidade foram observadas em profissionais do sexo feminino (NEVES, 2020).

Além do ambiente, as práticas de trabalho influenciam diretamente a possibilidade de exposição ocupacional, através da inobservância de medidas básicas de segurança, como uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) ao manusear o composto de AD (ATTIYA *et al.*, 2020). Evidências apontam marcadores

bioquímicos de mercúrio com níveis mais elevados em profissionais que não adotam medidas de biossegurança (NAGPAL *et al.*, 2017).

4.11.1.2 Exposição ambiental

Com o aumento do uso de Hg, houve também crescimento na frequência de acidentes ambientais envolvendo esse elemento químico e seus compostos, causando preocupação para as autoridades ambientais de diversos países (ISHIDA *et al.*, 2021). O controle do Hg surge por uma demanda atual devido sua alta toxicidade e ampla persistência na atmosfera (SADASIVA *et al.*, 2017).

Nesse sentido, as emissões ambientais de Hg têm sido causadas devido à gestão inadequada dos seus resíduos (MONDELLI, 2014; SADASIVA *et al.*, 2017), principalmente no manuseio do AD, desde a etapa de preparação da liga até a destinação final de eventuais resíduos que são gerados (TSENG *et al.*, 2020).

A gestão é extremamente necessária, tendo em vista que muitas vezes, na substituição de restaurações, ou na remoção dos excessos de restaurações de AD (SADASIVA *et al.*, 2017), os resíduos são captados pelos sugadores, tornando-se sedimentos em tubos e drenos de clínicas (ISHIDA *et al.*, 2021). Dessa forma, se uma unidade de separação de AD não for usada, parte do lodo contaminado gerado pelo AD é descarregado no sistema de esgoto, chegando até as estações de tratamento de efluentes ou diretamente nos rios (ISHIDA *et al.*, 2021).

Além disso, existem clínicas odontológicas que fazem o descarte de resíduos de AD no sistema de descarte de lixo comum, o que contraria as normas da vigilância sanitária (NEVES, 2020; SANTOS; DIAS; DOS SANTOS, 2016).

Uma pesquisa realizada por Stone *et al.* (2003), registrou pela primeira vez a presença de MeHg em efluentes de unidades odontológicas, em que se observou a existência de espécies de Hg biodisponíveis nas instalações de tratamento odontológico. Segundo o autor, a concentração de MeHg em amostras de efluentes odontológicos é maior do que em amostras ambientais.

A *Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic Commission* (OSPAR) relatou que, anualmente, são despejadas em esgotos, ar ou solo a impressionante marca de 7,41 mil toneladas desse metal como composto do AD (JESUS; MARINHA; MOREIRA, 2010). Isto ocorre devido à inexistência de monitoramento das incinerações dos lodos de esgoto, conteúdo de contêineres

coletados com resíduos perigosos e possíveis resíduos de sobras ou de restaurações de AD removidas, como ocorre apenas na Alemanha (MONDELLI, 2014).

4.11.2 O AD e seus efeitos na saúde do ser humano

4.11.2.1 Distúrbios neurodegenerativos

Diversas evidências confirmam que os profissionais da odontologia são expostos principalmente por meio dos vapores do Hg no ar através das restaurações de AD, seja na preparação do composto de AD ou ainda, por contato cutâneo direto com a pasta resultante do composto (NEVES, 2020).

Um estudo realizado em cadáveres para avaliar a exposição ao Hg no cérebro humano mostrou que o AD aumenta as concentrações de Hg inorgânico no cérebro, devido sua proximidade com a cavidade oral, fazendo com que o mercúrio penetre e se deposite neste órgão afetando o SNC (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019). No momento da morte, uma correlação significativa foi encontrada entre o Hg inorgânico no sangue e o número de superfícies preenchidas com AD (JIRAU-COLÓN *et al.*, 2019).

Alguns estudos indicam que a exposição ao mercúrio pode desempenhar um papel crítico na fisiopatologia da Doença de Alzheimer, tendo em vista que o cloreto de mercúrio (HgCl₂) afeta a citotoxicidade celular, causa estresse oxidativo, aumenta a secreção de γ -amilóide e induz a fosforilação de Tau em células de neuroblastoma (TSENG *et al.*, 2020).

Tseng *et al.* (2020) realizaram um estudo em Taiwan para analisar a relação entre as restaurações de AD e o tremor essencial, através de um banco de dados administrativo de base populacional. O tremor essencial é um distúrbio neurológico comum, no qual se caracteriza por movimentos involuntários, rítmicos e oscilatórios de uma parte do corpo (TSENG *et al.*, 2020). Entretanto, os autores concluíram que não houve associação dos distúrbios com a presença de AD nos indivíduos.

Da mesma maneira, Kingman *et al.* (2005) estudaram a correlação entre a exposição ao AD e as funções neurológicas. Contudo, não foram observadas associações significativas entre a exposição ao AD e sinais neurológicos clínicos de tremor anormal, coordenação, marcha, força, sensação ou reflexos de estiramento muscular ou para qualquer nível de neuropatia periférica nos indivíduos.

4.11.2.2 Mercúrio na urina

O Hg existente no AD é o inorgânico ou metálico, portanto, mal absorvido pelo intestino e, quando eventualmente absorvido, a maior parte tende a permanecer neste estado até sua excreção pela urina (KNOBELOCH *et al.*, 2006).

Para testar a exposição crônica ao vapor de Hg metálico, como na Odontologia, o biomarcador indicado é a urina, pois a concentração do metal nesse fluido biológico tem relação direta com a concentração ambiental recente à qual o indivíduo foi exposto (JESUS; MARINHA; MOREIRA, 2010; OIKAWA *et al.*, 2007).

De acordo com Oikawa *et al.* (2007), que avaliou os teores de Hg na urina dos graduandos de Odontologia do Centro de Ensino Superior do Estado do Pará, não houve indícios de exposição ocupacional, 80% dos alunos estavam com teores de Hg dentro dos limites de normalidade (10µg/L) e apenas 4 encontravam-se acima do limite de normalidade, porém, dentro do limite máximo tolerado (50µg/L).

Por outro lado, Sherman *et al.* (2013) concluíram que o exame de urina não é o melhor marcador biológico para identificação do Hg do AD, pois identificaram que há uma mistura na urina do Hg proveniente do AD e o da ingestão de peixes. Ou seja, os níveis de Hg no sangue e na urina não se correlacionam necessariamente com a exposição ao Hg pelo AD ou com sinais clínicos de intoxicação por mercúrio e isso precisa ser considerado pelos pesquisadores nos estudos clínicos (MUTTER *et al.*, 2011).

4.11.2.3 Riscos durante a gravidez

A OMS afirmou em 2017 que até mesmo as pequenas quantidades de Hg podem ser capazes de causar graves problemas de saúde e ambientais, sendo uma ameaça ao desenvolvimento da criança no útero e no início da vida (YOUSEFI, 2018; BJÖRKMAN *et al.*, 2018).

A suscetibilidade das crianças aos efeitos adversos da exposição ao Hg pode mudar ao longo do tempo, dependendo do estágio de desenvolvimento (MÉNDEZ-VISAG, 2014). A primeira exposição de crianças a poluentes ambientais ocorre durante o desenvolvimento pré-natal por meio do transporte transplacentário, uma vez que a placenta humana não representa um obstáculo real para o transporte de mercúrio elementar (Hg⁰) e MeHg (MÉNDEZ-VISAG, 2014).

Apesar de não haver fortes evidências de que o AD cause danos ao feto, sabe-se que o Hg tem efeitos prejudiciais bem conhecidos sobre o feto e a exposição ao MeHg durante a gravidez pode causar efeitos graves (MÉNDEZ-VISAG, 2014; LYGRE *et al.*, 2018).

Estudos indicam que a exposição pré-natal a produtos químicos tóxicos, juntamente com predisposições genéticas, pode causar lesão cerebral permanente, mesmo em baixos níveis de exposição (GRANDJEAN; LANDRIGAN, 2014; LYGRE *et al.*, 2018). Concomitantemente, pesquisas em animais relataram que a exposição ao Hg metálico causou alterações comportamentais, incluindo hiperatividade e dificuldades de aprendizado em ratos após exposição pré ou pós-natal (LYGRE *et al.*, 2018; PO-YEN *et al.*, 2018). Isto se explica pelo Hg ser transferido para o feto via placenta, associado, por alguns autores, a presença de restaurações de AD na mãe (PO-YEN *et al.*, 2018).

Uma pesquisa realizada por Björkman *et al.* (2018), em que 72.038 gestantes participaram e tiveram os dados sobre o número de dentes restaurados com AD coletados. O número de dentes presentes na boca e o número de dentes restaurados com AD foram obtidos por meio de um questionário que foi enviado às participantes durante a 30ª semana de gestação. As participantes foram solicitadas a olhar no espelho e contar o número de dentes e o número de dentes obturados com AD. Dessa forma, concluíram que os achados atuais sugerem que o risco de morte perinatal pode aumentar de forma dose-dependente com base no número de dentes da mãe restaurados com AD. No entanto, estudos adicionais sobre a relação entre a exposição a restaurações de AD durante a gravidez e a morte perinatal são necessários.

Em consonância, um risco aumentado de aborto espontâneo em profissionais de odontologia com exposição ocupacional moderada e alta ao AD foi encontrado em um estudo finlandês (LINDBOHM *et al.*, 2007). Portanto, parece razoável restringir o uso de AD pelo menos para o grupo sensível como mulheres grávidas, lactantes e crianças (YOUSEFI, 2018).

Em contrapartida, para Daniels *et al.* (2007), no geral, as restaurações de AD não foram associadas a resultados negativos ao nascimento ou atraso no desenvolvimento da linguagem. Eles afirmaram que essas restaurações em meninas e mulheres em idade reprodutiva devem ser usadas com cautela para evitar a

exposição pré-natal ao Hg, embora não tenham sido observados efeitos adversos. Visto que, segundo Findik *et al.* (2016) são quantidades vestigiais e não têm efeito negativo na saúde da mãe ou do feto.

4.11.2.4 Reações da mucosa oral ao AD e mercúrio

Holmstrup (1991) descreve 3 reações distintas às restaurações de AD em pacientes suscetíveis: sensibilidade tipo IV, reações tóxicas e um fenômeno muito mais raro, sensibilidade aguda ou generalizada, cujo manejo difere consideravelmente.

4.11.2.5 Reações de hipersensibilidade tipo IV

Frequentemente, vários componentes encontrados no AD resultam em reações de hipersensibilidade (ISHIDA *et al.*, 2021). Essas reações geralmente se apresentam com sintomas dermatológicos ou orais (ISHIDA *et al.*, 2021). A exposição constante ao Hg em restaurações de AD pode sensibilizar alguns indivíduos, tornando-os mais suscetíveis a lesões liquenóides orais (LLOs) (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012; RATHORE *et al.*, 2012). Tais lesões orais raramente são percebidas pelos indivíduos afetados (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012).

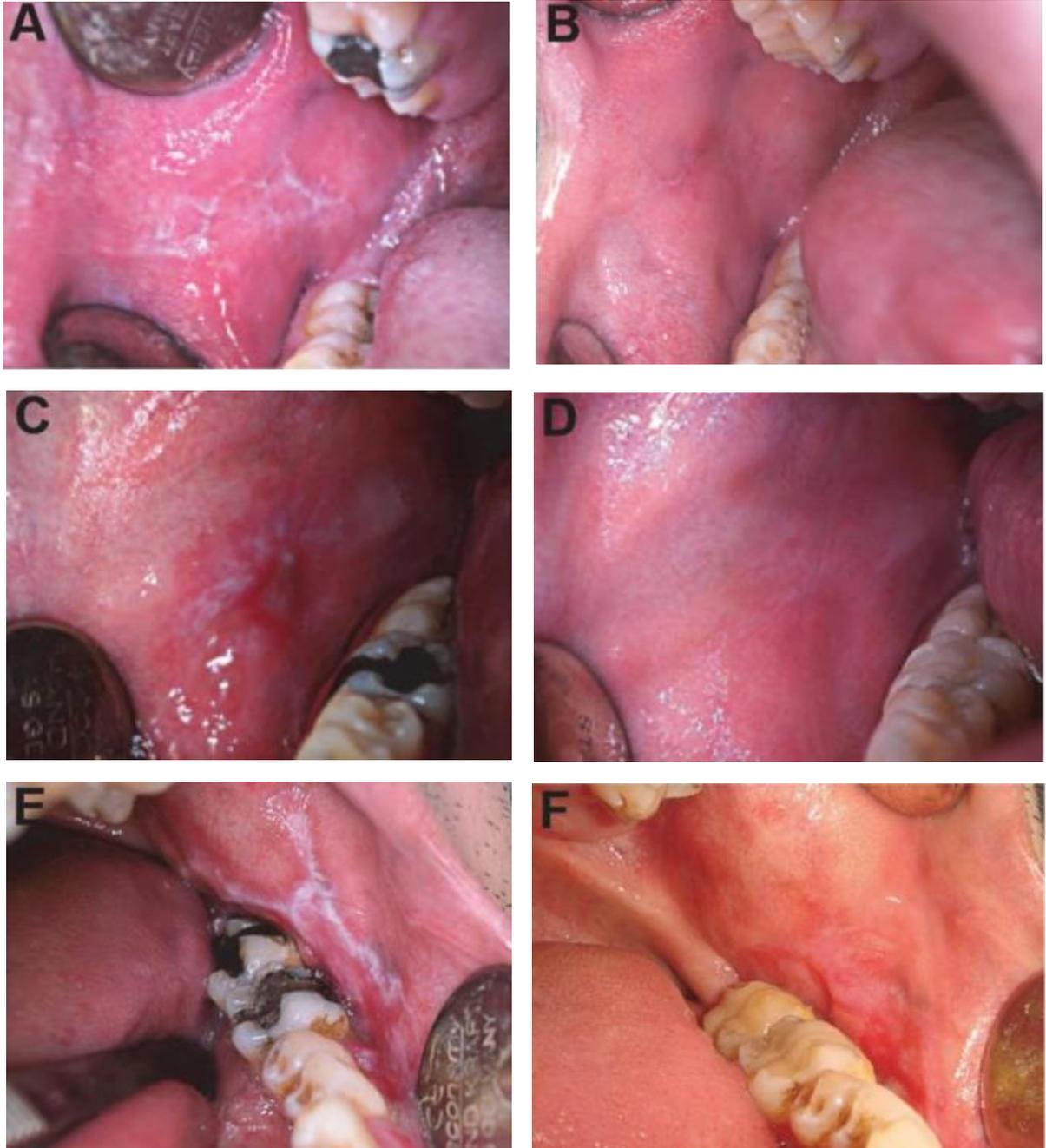
Uma LLO geralmente representa uma reação de hipersensibilidade tipo IV, a qual é frequentemente chamada de tipo tardio de hipersensibilidade, pois a reação leva um longo período para se desenvolver e, neste caso, pode levar meses a anos (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012).

Muitos estudos comprovam que as LLOs podem estar correlacionadas com a sensibilidade alérgica causada por Hg e compostos desse elemento (SCHLOSSER, 2010; ISHIDA *et al.*, 2021), causando danos imunomediado dos queratinócitos epiteliais basais (ISHIDA *et al.*, 2021). Os sais de mercúrio que se acumulam na mucosa oral saudável e danificada causarão essa reação de hipersensibilidade em apenas uma minoria suscetível da população, resultando em manchas brancas reticulares, pápulas, placas, erosões ou ulcerações, semelhantes às encontradas no líquen plano oral (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012). Além disso, estas podem ser assintomáticas ou doloridas, especialmente com alimentos quentes ou condimentados (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012).

Por isso, vários autores sugerem que a remoção completa de AD é necessária para facilitar a cicatrização clínica e resolução histopatológica ou regressão de LLOs (ISHIDA *et al.*, 2021), bem como diminuir os efeitos negativos dos materiais de AD nos pacientes afetados (KARATASLI *et al.*, 2018; MONTEBUGNOLI *et al.*, 2012).

Confirmando isso, Karatasli *et al.* (2018) realizaram um estudo para investigar a aplicabilidade da cerâmica feldspática como material restaurador de substituição para um grupo de pacientes com LLOs, cujas lesões são suspeitas de estarem relacionadas a restaurações de AD. As lesões incluídas (Figura 05) se apresentavam brancas, levemente elevadas, reticulares, papulares, em placa, eritematosas, lesões erosivas, vesiculadas e ulcerativas por 3 meses ou mais e estavam próximas de restaurações de AD. Sendo assim, foram feitas as substituições de suas restaurações de AD por restaurações *inlay/onlay* de cerâmica feldspática. De acordo com os dados estatísticos, os resultados foram significativos, pois a maior parte dos pacientes apresentaram cicatrização completa ou mediana, dependendo apenas da relação topográfica que existia entre as lesões e restaurações de AD. Ou seja, quanto mais próximas das restaurações de AD, maior a cicatrização devido a substituição por restaurações com cerâmica feldspática.

Figura 05 - Vistas intraorais de pacientes selecionados antes e após o tratamento. **(A), (C) (E)** Antes da substituição por restaurações feldspáticas *inlay/onlay*, as lesões liquenóides eram caracterizadas por estrias brancas. **(B), (D), (F)** Após a substituição por restaurações feldspáticas *inlay/onlay*, as lesões liquenóides cicatrizaram.



Fonte: KARATASLI *et al.*, 2018.

4.11.2.6 Reações tóxicas

Acredita-se que as reações tóxicas a irritantes, como AD ou seus constituintes, possam se desenvolver se uma substância irritante estiver em contato direto com a mucosa por vários anos (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012). Clinicamente assemelham-se a LLOs (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012). As reações tóxicas podem ser mais comuns em AD com maior teor de zinco (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012).

4.11.2.7 Reações de sensibilidade agudas ou generalizadas

Relatos de reação de sensibilidade aguda ou generalizada ao AD ou seus constituintes são raros (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012). Um relatório afirmou que isso pode ocorrer em indivíduos suscetíveis após a inalação ou absorção de vapor de Hg, por exemplo, durante ou diretamente após a inserção de uma restauração de AD (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012).

Os sintomas incluem o desenvolvimento de uma erupção cutânea, eritematosa e urticariforme que afeta a face e os membros, geralmente no aspecto flexural (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012). Essas reações estão no mesmo lado do corpo que a intervenção odontológica. As reações agudas da mucosa intraoral são muito mais raras, mas podem se apresentar como vesículas que se rompem para formar erosões (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012). Os sintomas geralmente aparecem dentro de horas após a inserção ou remoção do AD e normalmente são autolimitados e desaparecem ao longo de alguns dias (MCPARLAND; WARNAKULASURIYA, 2012).

4.12 Adequado uso e gestão do AD

O gerenciamento e descarte adequado do AD não gera prejuízo significativo à saúde (MÉNDEZ-VISAG, 2014; YOUSEFI, 2018). A fim de aperfeiçoar os métodos e cuidados no uso e manipulação do AD pelo dentista e auxiliares no consultório dentário, recomenda-se seguir as orientações descritas na tabela 05 (ISHIDA *et al.*, 2021; MÉNDEZ-VISAG, 2014; MONDELLI, 2014; CARRILLO, 2019; SANTOS; DIAS; DOS SANTOS, 2016; KAPLAN; MACCHI, 2019):

Tabela 05 – Melhores práticas de gestão do AD para consultórios odontológicos.

O QUE FAZER	O QUE NÃO FAZER
Uso de ligas pré-encapsuladas	Não usar mercúrio a granel
Reciclar cápsulas de AD descartáveis usadas	Não colocar cápsulas de AD descartáveis usadas em recipientes de risco biológico, recipientes de resíduos infecciosos ou lixo comum
Recupere, armazene e recicle o AD sem contato (AD de contato)	Não colocar resíduos de AD sem contato em recipientes de risco biológico, recipientes de lixo ou lixo comum
Salvar peças de AD de restaurações após a remoção e reciclar os seus resíduos	
Use separadores de AD para reter o material e reciclar seu conteúdo	Não lave dispositivos contendo AD sobre ralos e pias
Recicle os dentes extraídos que contenham restaurações de AD	Não descarte dentes extraídos que contenham restaurações de AD em recipientes de risco biológico, recipientes de resíduos infecciosos, recipientes para objetos cortantes ou lixo comum
Use produtos de limpeza que minimizem a dissolução do AD	Não use água sanitária ou produtos de limpeza contendo cloro para lavar águas residuais com AD

Fonte: YOUSEFI, 2018.

4.13 A resina composta como alternativa de material restaurador

4.13.1 Breve histórico

Dentre os materiais restauradores que existem atualmente, destaca-se um que revolucionou a odontologia: a resina composta (RC) (SILVA; LUND, 2016). Enquanto o AD, material restaurador mais indicado antigamente, exigia, em grande parte das situações, o desgaste de estrutura dental sadia para obter retenção mecânica no preparo, a resina composta possibilitou realizar restaurações adesivas minimamente invasivas e estéticas (BARATIERI *et al.*, 2013).

As resinas acrílicas quimicamente ativadas surgiram nos anos 40, eram os únicos materiais utilizados em restaurações estéticas na época (MENEZES *et al.*, 2020). No entanto, a alta contração de polimerização desses materiais associados à baixa estabilidade de cor prejudicou seu desempenho em curto e médio prazo (REIS; LOGUERCIO, 2021).

A primeira tentativa de diminuir a alta contração de polimerização das resinas ocorreu através da inserção de partículas de carga, o que não resultou em grande sucesso clínico, pois as partículas de carga permaneciam “soltas” dentro da matriz orgânica, obtendo um material com baixa resistência ao desgaste e baixa estabilidade de cor (REIS; LOGUERCIO, 2021). A solução para o problema do desprendimento da carga na porção orgânica ocorreu quando foi adicionado o agente de união, vinil silano, com a finalidade de realizar uma adesão de tais partículas (REIS; LOGUERCIO, 2021; SILVA; LUND, 2016).

Nos anos 50, as resinas epóxicas foram desenvolvidas, sendo um material avaliado para ser usado na Odontologia restauradora, pois possuíam baixa contração de polimerização e alta resistência mecânica (MENEZES *et al.*, 2020). Contudo, eram materiais que apresentavam um período de polimerização longo (MENEZES *et al.*, 2020). Dessa forma, com o intuito de unir as qualidades da resina epóxica e da resina acrílica, obteve-se um novo monômero, o bisfenolglicidil metacrilato (Bis-GMA) (SILVA; LUND, 2016). Esta molécula apresenta alto peso molecular, menor contração de polimerização e rápida reação de presa (MENEZES *et al.*, 2020; REIS; LOGUERCIO, 2021).

Assim, a partir de estudos e pesquisas, a RC foi desenvolvida na década de 1960, tendo o Bis-GMA como principal componente da matriz orgânica (DIAS, 2018). As RC iniciais eram as quimicamente ativadas (versão pasta/pasta), posteriormente surgiram as resinas ativadas pela luz, estas possibilitavam uma menor contração de polimerização e menor incorporação de bolhas em relação às resinas acrílicas (DIAS, 2018).

Diante disso, a RC sofreu diversas transformações, quer seja pela adição de um maior conteúdo de carga inorgânica, quer seja pela diminuição do tamanho médio da carga, pela homogeneidade da distribuição de carga e ainda por novas formas de unir a matriz orgânica à inorgânica, tornando, assim, as restaurações mais regulares e estáveis (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.13.2 Constituição e classificação

Atualmente, a RC é constituída pela associação de matriz orgânica, partículas de carga e um agente de união, o silano (NEISIANY *et al.*, 2020). A matriz orgânica é composta por monômeros, como o Bis-GMA (bisfenol glicidil metacrilato), UDMA (uretano dimetacrilato) e TEGDMA (dimetacrilato de trietilenoglicol), modificadores de cor, inibidores e sistema iniciador/ativador (NEISIANY *et al.*, 2020). A maior parte das RC atuais contém em sua composição as partículas inorgânicas de vidro (NEISIANY *et al.*, 2020). Além disso, para que as partículas de carga possam cumprir a função de aumentar as propriedades mecânicas e reduzir a sorção de água, é necessário que estejam unidas quimicamente com a matriz orgânica por meio de um agente de união, o silano (NEISIANY *et al.*, 2020).

Para diminuir a viscosidade da matriz orgânica, facilitando sua manipulação e inserção na cavidade, são adicionados monômeros de baixa viscosidade, como TEGDMA (trietileno glicol dimetacrilato) e EGDMA (etileno glicol dimetacrilato) (DIAS, 2018; NEISIANY *et al.*, 2020).

As RC podem ser classificadas de várias formas, sendo o método mais usual aquele que as classifica quanto ao tamanho de carga utilizada (NEISIANY *et al.*, 2020). Este tipo de classificação permite agrupar as resinas compostas da seguinte forma: macroparticuladas, microparticuladas, híbridas ou microhíbridas e nanoparticuladas (MENEZES *et al.*, 2020).

Resinas macroparticuladas ou convencionais recebem essa denominação pois o tamanho de suas partículas varia de 8 a 15 μm (REIS; LOGUERCIO, 2021). A partícula de carga mais utilizada é o quartzo. Em razão das grandes dimensões das partículas de carga, esses compósitos apresentam alta rugosidade superficial, o que proporciona maior chance de manchamento superficial (REIS; LOGUERCIO, 2021). Desse modo, essas resinas estão em desuso por suas evidentes desvantagens (REIS; LOGUERCIO, 2021).

As microparticuladas são compostas por partículas de carga de sílica amorfa na ordem de 0,04 e 0,4 μm (SILVA; LUND, 2016). Sua principal vantagem clínica é proporcionar a RC maior lisura superficial, resultando em restaurações com superfícies mais lisas. Apesar disso, possuem propriedades mecânicas relativamente baixas, sendo indicadas apenas para situações em que não haja tanto esforço mastigatório, como cavidade classe V (SILVA; LUND, 2016).

Ainda existem as resinas híbridas e micro-híbridas, em que são compósitos que possuem, como o próprio nome sugere, partículas de vidro e sílica coloidal (REIS; LOGUERCIO, 2021; SILVA; LUND, 2016). A combinação entre essas partículas de carga confere propriedades únicas a esses compósitos, como aumento das propriedades de resistência ao desgaste e o aumento da lisura superficial, uma vez que melhora a transferência de tensões entre as partículas (REIS; LOGUERCIO, 2021). Além disso, a incorporação de micropartículas enrijece a matriz resinosa, aumentando a força coesiva da matriz e, conseqüentemente, dificultando a propagação de trincas ou microtrincas. Assim, tais resinas são consideradas universais, sendo indicadas tanto para dentes anteriores como posteriores (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Também, foram introduzidas no mercado as RC nanoparticuladas, com partículas de carga entre 1 a 100 nm (REIS; LOGUERCIO, 2021). As suas características conferem propriedades inerentes aos compósitos microparticulados, tais como excelente polimento e brilho, além de manter as altas propriedades mecânicas das resinas microhíbridas. Dessa forma, também são indicadas em dentes posteriores (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.13.3 Vantagens da RC

Os compósitos resinosos apresentam vantagens satisfatórias, como excelente resistência, proporciona a realização de preparos minimamente invasivos, confecção de restaurações em única sessão, boa relação custo-benefício (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Ademais, as restaurações em RC são fáceis de reparo e possibilitam biomimetizar com maestria a opacidade e a translucidez que existem nos dentes naturais, devolvendo forma e função as estruturas dentárias perdidas (REIS; LOGUERCIO, 2021).

4.13.4 Causas de falhas das restaurações de RC

Após quatro décadas de uso clínico, as RC ocupam lugar de destaque entre os biomateriais (SILVA; LUND, 2016). Entretanto, apesar de suas vantagens, percebeu-se que as resinas possuíam um curto período de vida, ou seja, longevidade limitada

das restaurações, devido à diversos fatores (OPDAM *et al.*, 2010). As taxas de falhas estão associadas, principalmente, a recidiva da cárie (cárie secundária) e fratura do dente ou da restauração (MENEZES *et al.*, 2020; OPDAM *et al.*, 2014).

No que tange ao desenvolvimento de cárie secundária, Demarco *et al.* (2012) constatou que o risco de cárie que os pacientes apresentam, associado à sua higiene bucal, interfere consideravelmente na longevidade das restaurações de RC. Vários estudos apresentaram uma maior possibilidade de defeito da restauração quando se refere aos pacientes com risco de cárie, dessa forma, restaurações executadas em um grupo de pacientes com alto risco de cárie tiveram uma taxa de falha duas vezes maior que o grupo de pacientes de baixo risco.

De acordo com Reis e Loguercio (2021), a contração de polimerização da RC contribui para a formação de fendas na interface restaurada e facilita o desenvolvimento de cárie secundária, descoloração marginal, microfraturas no esmalte, dentre outras. Quanto maior for o volume de resina utilizada e quanto mais complexa for a geometria da cavidade a ser restaurada, mais significativa a contração de polimerização se tornará.

A fratura, por sua vez, pode ser justificada pelo fato de que o material utilizado apresenta um maior módulo de elasticidade e dureza em relação ao dente (VIEIRA *et al.*, 2017). Além disso, o tipo de dente e a disposição do dente na cavidade oral influencia na duração da restauração, com pré-molares apresentando um melhor desempenho clínico quando comparados aos molares, visto que estes estão sujeitos a esforços mastigatórios mais intensos (VIEIRA *et al.*, 2017).

Percebe-se, ainda, que o tamanho cavitário (desgaste dental) possui grande influência nessas falhas, pois dentes com preparos cavitários maiores apresentam mais chances de desenvolver fratura ao longo do tempo (RIBEIRO; PAZINATTO, 2016). Dessa maneira, entende-se que restaurações classe II, com extensas cavidades e muitas superfícies incluídas são mais predispostas ao fracasso que as classe I e com superfícies simples (RIBEIRO; PAZINATTO, 2016).

Concomitantemente, o hábito de bruxismo ou popularmente conhecido como o ranger e apertar dos dentes exercem relevante papel contribuindo para a fadiga da restauração, levando ao desenvolvimento de fraturas a longo prazo (DEMARCO *et al.*, 2012). Por esse motivo, a fratura no dente e na restauração são causas notáveis para defeitos na restauração (DEMARCO *et al.*, 2012). Procedimentos realizados em pacientes que possuem desgastem graves nos dentes apresentam efeitos

desfavoráveis quando comparados com pacientes que não possuem essa condição, demonstrando assim que os hábitos desses pacientes com bruxismo sucederam em mais falhas (DEMARCO *et al.*, 2012).

A falha da restauração de RC também está associada à infiltração marginal, coloração e sensibilidade pós-operatória provocadas por dificuldades na união e selamento da resina com a estrutura dentária (ZHOU *et al.*, 2019). À vista disso, percebe-se que a diminuição da adesão com o decorrer de um período acontece em consequência da degradação hidrolítica, do ataque enzimático nas fibras colágenas, da carga mecânica e microinfiltração (ZHOU *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2010).

4.13.5 Avanços dos compósitos resinosos

Os compósitos resinosos representam um dos muitos sucessos da pesquisa moderna em biomateriais, uma vez que substituem o tecido biológico tanto na aparência quanto na função (CHESTERMAN *et al.*, 2017). Nos últimos anos, as resinas compostas evoluíram significativamente em relação à sua composição (XUE, 2020). Além de ser um material estético, novos monômeros, partículas de diferentes tipos e tamanhos, e diferentes técnicas de inserção deram a esse material o protagonismo na clínica em termos de restaurações adesivas diretas (MOTA *et al.*, 2019).

Apesar das grandes vantagens dos materiais convencionais de RC, a limitada profundidade de polimerização e a contração de polimerização ainda são suas principais desvantagens (XUE, 2020). Devido à profundidade de cura insuficiente, a espessura de cada restauração não deve exceder 2 mm, o que torna a técnica mais complicada e demorada (XUE, 2020). No entanto, é possível usufruir de alguns métodos para diminuir os efeitos indesejados causados pela contração, como as técnicas de inserção incremental, inserindo incrementos de no máximo 2 mm, e polimerização com LED por pulso tardio (baixa intensidade inicial e alta intensidade final), o qual possibilita prolongar a fase em gel no processo de polimerização, promovendo a diminuição do estresse excessivo entre a interface dente-restauração (MENEZES *et al.*, 2020).

Outra alternativa para minimizar os efeitos do estresse de contração é a utilização de resinas fluidas (*flow*) (SILVA *et al.*, 2017). Segundo alguns autores, quando aplicadas sobre os sistemas adesivos elas irão formar uma parede

verdadeiramente elástica, atuando como uma espécie de amortecedor de tensões, o que alivia o stress e proporciona uma boa adaptação marginal, diminuindo as chances de recidiva de cárie (SILVA *et al.*, 2017).

A fim de simplificar as etapas de restauração dentária, melhorar a eficiência do tratamento restaurador e reduzir o tempo de consultório, os principais fabricantes de materiais odontológicos começaram a desenvolver resinas de preenchimento a granel que produzem menor tensão de contração durante a polimerização, aumentam a profundidade de polimerização e encurtam o processo de tratamento e melhoram o efeito do tratamento de reparação (XUE, 2020).

Dessa forma, em 2010 foram introduzidas no mercado odontológico as RC de incremento único, ou *bulk fill* (REIS; LOGUERCIO, 2021). Este material pode ser preenchido com uma espessura de 4 a 5 mm (a depender da marca comercial) de uma só vez (MOTA *et al.*, 2019; XUE, 2020). Sua composição não difere muito das RC convencionais, a matriz da resina *bulk fill* é composta principalmente a base de monômeros de Bis-GMA, UDMA, TEGDMA e EBPDMa diferindo de alguns casos em que se acrescentou e/ou modificou-se o Bis-GMA por monômeros com menor viscosidade, como o acréscimo do dimetacrilato de uretano que promove um menor estresse durante a polimerização (MOTA *et al.*, 2019; XUE, 2020). Observa-se, também, uma menor proporção de carga e um aumento no tamanho das partículas, diminuindo, portanto, o índice de refração e aumentando a penetração da luz durante a fotopolimerização dos incrementos resinosos (MOTA *et al.*, 2019).

A resina *bulk fill* é um novo tipo de material de RC que pode ser usada principalmente para dentes posteriores, restaurações de cavidades mais profundas e em dentes após o tratamento endodôntico (XUE, 2020).

No que diz respeito a fotopolimerização, diferentemente das resinas convencionais, no qual o iniciador é a canforoquinona, o agente iniciador da resina *bulk fill* é o ivocerin (CHESTERMAN *et al.*, 2017; XUE, 2020). Este, é descrito como um agente iniciador a base de germânio que apresenta uma maior reatividade que a canforoquinona e apresenta um filtro de poluição luminosa garantindo um maior tempo clínico e melhor efetividade na polimerização (XUE, 2020). Diferente do sistema convencional (amina/canforoquinona), a reação de polimerização é iniciada devido à formação de duas espécies reativas (radicais livres) resultantes da clivagem da molécula de ivocerin, o dobro gerado pela molécula de canforoquinona dispensando o uso de um agente co-iniciador (MOTA *et al.*, 2019).

Em relação as suas propriedades mecânicas, as resinas *bulk fill* podem ser divididas em dois tipos: alta viscosidade e baixa viscosidade (CHESTERMAN *et al.*, 2017; XUE, 2020). A resina de alta viscosidade tem melhores propriedades mecânicas e baixa fluidez, apresentando módulo de deflexão, elasticidade, dureza e *creep* comparado aos da resina nanohíbridas convencionais, já a de baixa viscosidade apresenta melhor fluidez e propriedades mecânicas inferiores (CHESTERMAN *et al.*, 2017).

As RC convencionais geralmente precisam ser preenchidas em camadas, isso pode gerar bolhas de ar entre as diferentes camadas de resina, além do preenchimento em camadas levar muito tempo para ser concluído (REIS; LOGUERCIO, 2021). Assim, o aumento da espessura de um único preenchimento de resina *bulk fill* pode reduzir a deformação da cúspide, a contração de polimerização e a tensão de contração, aumentar a resistência à fratura do dente e, ao mesmo tempo, encurtar o tempo de operação na cadeira, reduzir a sensibilidade técnica, e melhorar a eficiência do procedimento restaurador. Além disso, a microinfiltração também é significativamente menor do que a resina composta convencional, assim, evita sensibilidade pós-operatória e cáries secundárias (CHESTERMAN *et al.*, 2017).

Por se tratar de um material relativamente novo no mercado, pode-se observar que a resina tipo *bulk fill* ainda tem possibilidade de evolução para igualar e/ou superar as características das resinas convencionais já consagradas no mercado (MOTA *et al.*, 2019).

Diante do exposto, segundo Ogliari (2015), as RC estão se desenvolvendo e tornando-se o material restaurador predominante para a seleção e realização de tratamentos restauradores de forma direta em dentes posteriores e anteriores.

4.13.6 Estudos recentes que tratam da longevidade da RC comparada ao AD

Vieira *et al.* (2017) observou, em sua pesquisa, que as RC diretas têm um desempenho semelhante, e talvez um pouco melhor, ao AD em dentes posteriores até 5 anos e são substitutos adequados para suas contrapartes metálicas, tornando viável a substituição completa do AD na odontologia. A justificativa do uso do AD devido aos seus custos mais baixos, em contraste com o potencial de eliminar um risco ambiental, tornou-se mais difícil de sustentar agora que as resinas compostas

diretas podem funcionar em níveis aceitáveis, sugerindo, portanto, que a RC pode facilmente substituir o amálgama como material restaurador (VIEIRA *et al.*, 2017).

Em 2007, foi realizado um estudo clínico por Opdam *et al.* com natureza retrospectiva, a fim de avaliar a longevidade de classe I e II restauradas com AD ou com resina composta em dentes posteriores. Num período compreendido entre 1990 e 1997 foram realizadas 2.867 restaurações dentárias. Estas restaurações foram registadas em 2002, sendo 912 em AD e 1955 em resina composta. Depois de concluída a avaliação das restaurações, foi observado longevidade maior para as restaurações realizadas em RC. Além disso, as principais razões para o fracasso clínico em ambos os materiais foram lesões de cárie (34%), fratura dentária (13%) e necessidade de tratamento endodôntico (12%).

Adicionalmente, Opdam *et al.* (2010) realizaram um estudo retrospectivo com o intuito de comparar a longevidade de restaurações de três ou mais superfícies feitas com RC e AD. Ao todo, foram avaliadas 1.949 restaurações extensas de classe II colocadas entre 1983 e 2003 em 273 pacientes. Neste estudo, as restaurações posteriores de RC apresentaram uma melhor taxa de sobrevivência de 12 anos em comparação com AD. Notou-se, ainda, que o AD teve uma taxa de falha crescente a longo prazo, enquanto o compósito resinoso demonstrou uma taxa de falha mais constante, especialmente em pacientes com baixo índice de cárie.

Em 2017, Palotie e colaboradores analisaram a longevidade de restaurações de RC e AD através de documentos de pacientes finlandeses de 25 a 30 anos de idade. Com isso, tanto as restaurações de RC quanto de AD obtiveram resultados de longevidade semelhantes, mas com resultados melhores para a RC.

Moraschini *et al.* (2015) analisaram, por meio de uma revisão sistemática e meta-análise, a hipótese de não haver diferença nas taxas de falha de restaurações confeccionadas com RC e AD. Esta revisão sistemática revelou que o AD oclusal e oclusoproximal em restaurações posteriores têm maior longevidade clínica quando comparadas a resina composta. No entanto, o estudo mais recente incluído na revisão foi publicado em 2013. Dessa forma, os autores sugerem que a qualidade dos compósitos utilizados pode ter influenciado, tendo em vista a melhoria constante das características físicas e mecânicas, outros fatores também podem influenciar no desempenho e longevidade das restaurações, tais como: a habilidade do operador, materiais utilizados, técnica operatória, isolamento de campo, cooperação e condições do paciente.

Estay *et al.* (2017) avaliaram clinicamente restaurações posteriores de AD e resina composta para investigar a influência do material restaurador na longevidade das restaurações. Foram incluídos 34 pacientes, com idades entre 18 e 80 anos, com 174 restaurações, 48 restaurações de RC e 126 restaurações de AD. A qualidade das restaurações foi avaliada cegamente de acordo com os critérios USPHS modificados. Assim, após 12 anos, ambos os grupos experimentaram um declínio semelhante, exceto por um desempenho evidentemente melhor na adaptação marginal e longevidade das restaurações de RC em comparação com as de AD.

Contrapondo essa ideia, Worthington *et al.* (2021) em sua revisão sistemática comparando os compósitos resinosos com o AD observaram que as restaurações de RC podem ter quase o dobro da taxa de falha das restaurações de AD. O risco de fratura da restauração não parece ser maior com restaurações de resina composta, mas há um risco muito maior de desenvolver cárie secundária.

Bétula *et al.* (2016) realizaram um estudo de coorte para estimar a associação entre o material restaurador utilizado e o tempo de sobrevivência da restauração. Os materiais restauradores utilizados foram a RC e AD. O resultado da pesquisa foi favorável à RC, pois o tempo médio de sobrevivência para resina composta foi 51 dias maior que AD, para restaurações feitas em 1999-2000.

Da mesma forma, a meta análise realizada por Heinze e Rousson (2012), ao comparar a longevidade das restaurações de AD e RC, concluiu que as restaurações confeccionadas com compósito resinoso obtiveram resultados de longevidade semelhante às restaurações de AD.

4.14 Materiais restauradores substitutos do AD

Reis e Loguercio (2021) afirmam que, dentre todos os materiais restauradores diretos, a RC é o material mais empregado para substituir o AD em restaurações diretas em dentes posteriores. Apesar disso, é notório para os autores que as restaurações de RC em dentes posteriores exigem maior cuidado técnico e maior tempo clínico na sua execução, principalmente pela necessidade do uso de sistemas adesivos, o que requer um controle rígido da umidade e contaminação durante o procedimento. Portanto, para manter a técnica simplificada das restaurações de AD, novos materiais restauradores foram desenvolvidos como seus substitutos, como mostra a tabela 06 (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Os novos materiais restauradores são caracterizados por possuírem partículas bioativas, monômeros resinosos e ácidos poliacrílicos (REIS; LOGUERCIO, 2021). No entanto, não possuem uma nomenclatura definida nos materiais dentários (REIS; LOGUERCIO, 2021). Tais materiais são bastante semelhantes aos cimentos de ionômero de vidro modificado por resina (CIVMR), mas relatos apontam que a resistência mecânica deles é superior aos CIVMRs, o que os habilitam para uso em dentes posteriores como substitutos do AD (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Os materiais restauradores bioativos são uma nova classe de materiais que surgiu como alternativa para os materiais restauradores já existentes, tais como o AD (SHENOI *et al.*, 2021). Estes materiais acompanham a tendência da odontologia regenerativa, pois são caracterizados por apresentarem a possibilidade de induzir um estímulo biológico nos tecidos e, em consequência, a resposta do organismo, ocorrendo uma forte união química entre eles (VERMA *et al.*, 2020).

Dentre esses materiais, tem-se o Activa BioActive™ (*Pulpdent*®, Watertown, MA, EUA), o qual é um compósito bioativo com boas propriedades estéticas (KAUSHIK; YADAV, 2017). Além disso, libera mais cálcio, fosfato e flúor e é mais bioativo que o CIV, bem como é mais durável e resistente a fraturas do que os compósitos (KAUSHIK; YADAV, 2017). Portanto, oferece todas as vantagens do CIV em uma matriz de resina forte e resiliente que não se desintegra (KAUSHIK; YADAV, 2017).

Kaushik e Yadav (2017) realizaram um estudo *in vitro* cujo objetivo foi comparar o restaurador bioativo Activa com o compósito nanohíbrido comumente usado (Ivoclar Vivadent, Colômbia). Os resultados do estudo constataram que o restaurador Activa Bioactive exibiu menos microinfiltração em comparação com o compósito nano híbrido. Isso pode ser atribuído ao componente de resina iônica que contém grupos ácido fosfato com propriedades antimicrobianas que melhoram a interação entre a resina e as cargas reativas de vidro e potencializam a interação com a estrutura dentária.

Quanto ao Cention N, desenvolvido pela empresa Ivoclar Vivadent, este produto pertence à classe “*Alkasite*”, que corresponde a um novo tipo de materiais para restaurações diretas, sendo um subgrupo das resinas compostas, semelhante à compômeros e ormocers (REIS; LOGUERCIO, 2021; VERMA *et al.*, 2020). O Cention N possui a forma de inserção à granel ou em massa, caracterizado, portanto, como um produto *bulk fill* devido sua forma de aplicação (FRANÇOIS *et al.*, 2021).

Em relação à composição do material, o pó de Cention N é formado por várias partículas de vidro, iniciadores e pigmentos (SHENOI *et al.*, 2021). Dentre as partículas que o compõem, estão: trifluoreto de itérbio, vidro de silicato de bário e alumínio, fluorsilicato de alumínio-cálcio-bário, fluorsilicato de cálcio, juntamente com o fotoiniciador Ivocerin (VERMA *et al.*, 2020; FRANÇOIS *et al.*, 2021).

O Cention N possui características radiopacas e está disponível na cor do dente (A2) (VERMA *et al.*, 2020). Além disso, apresenta propriedades físicas e mecânicas ideais, alta resistência, liberação de íons flúor, cálcio e hidróxido, durabilidade, dupla polimerização, baixa contração de polimerização, capacidade de remineralização e uma estética favorável (ABDALLAH; AREF, 2021).

Através de estudos e pesquisas realizadas comparando o Cention N aos outros materiais existentes no mercado, observou-se que o Cention N obteve resultados promissores em relação às propriedades de microinfiltração, resistência à fratura, microdureza, liberação de íons flúor, resistência de união ao cisalhamento, resistência à compressão e adaptação marginal (ABDALLAH; AREF, 2021; VERMA *et al.*, 2020).

No que se refere ao EQUIA Forte (GC), trata-se de um material de vidro híbrido para restaurações em incremento único, proporcionando reduzido estresse de contração de polimerização, assim como, apresenta um tempo de aplicação mais prolongado e possui um excelente resultado estético (POORNIMA *et al.*, 2019). Os fabricantes da EQUIA afirmam que o material aumentou a tenacidade à fratura, a resistência à flexão e a resistência à fadiga por flexão (POORNIMA *et al.*, 2019).

Um estudo desenvolvido por Poornima *et al.* (2019), com o objetivo de avaliar e comparar a resistência à compressão e a microdureza superficial do EQUIA Forte através da imersão em água deionizada, saliva artificial e ácido láctico durante 30 dias, observou-se que a microdureza superficial e a resistência à compressão do EQUIA Forte foram significativamente altas quando comparados ao CIV convencional.

Por fim, o Surefil One (Dentsply Sirona, Konstanz, Alemanha) atua como agente condicionador, adesivo e restaurador que permite a colocação em uma etapa, possui a propriedade de liberar flúor e produzir menos sensibilidade pós-operatória (RATHKE *et al.*, 2022).

Rathke *et al.* (2022) realizaram um estudo prospectivo para avaliar o Surefil One, o qual é um material restaurador *bulk fill* autoadesivo de dupla polimerização. As restaurações foram avaliadas através de critérios USPHS modificados. Como resultados, eles observaram que, após um ano, as restaurações estavam em

condições clinicamente aceitáveis, resultando em uma taxa de falha anual de 2%. Dessa forma, conclui-se que o novo material *bulk fill* autoadesivo mostrou resultados satisfatórios em cavidades classe I e II, bem como cavidades classe V não retentivas no retorno de 1 ano.

Tabela 06 – Materiais restauradores híbridos considerados substitutos do AD.

Produto (fabricante)	Composição	Nomenclatura do material dado pelo fabricante
Activa Bioactive (Pulpdent)	Diuretano dimetacrilato, metacrilatos, ácido poliacrílico modificado, sílica amorfa e fluoreto de sódio	Material restaurador bioativo
Cention N (Ivoclar Vivadent)	Uretano dimetacrilato, triciclodocano dimetanol dimetacrilato, polietilenoglicol dimetacrilato e trifluoreto de itérbio	Alcasite
Equia Forte (GC)	Partículas de vidro ultrafinas e altamente reativas em uma matriz de ionômero de vidro	Restaurador híbrido de vidro <i>bulk fill</i>
Surefil One (Dentsply)	Não informado pelo fabricante	Material restaurador autoadesivo

Fonte: REIS; LOGUERCIO (2021).

5 DISCUSSÃO

A odontologia restauradora atual tem sido baseada em princípios de tratamentos minimamente invasivos com máxima conservação da estrutura dentária (FRANKENBERGER *et al.*, 2021). Isso levou a uma mudança considerável nos materiais dentários, havendo prioridade no uso de materiais adesivos (SILVA; LUND, 2016). A possibilidade de adesão às estruturas de esmalte e dentina alterou totalmente a maneira de executar o preparo cavitário. O princípio que buscava criar cavidades que se adequassem ao material restaurador, em detrimento da estrutura dentária, deu lugar a uma abordagem conservadora (PATINI *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2018).

Nesse novo contexto, os materiais restauradores, como o AD, que necessitam de preparos cavitários que desgastam demasiadamente a estrutura dentária estão se tornando obsoletos (BAKHURJI *et al.*, 2017). Os princípios gerais do preparo cavitário introduzidos por Black preconizavam a remoção total do tecido cariado e a extensão das margens do preparo para áreas susceptíveis à cárie dental (SANTOS *et al.*, 2017).

Dessa forma, a nova filosofia de mínima intervenção tem culminado no declínio do uso do AD, pois esse material necessita de cavidades amplas com pouca estrutura dentária remanescente, havendo, portanto, um risco elevado de ocorrer uma fratura (SANTOS *et al.*, 2017).

Além disso, observa-se uma redução considerável na quantidade de estudos sobre o AD, em comparação com outros materiais dentários, na literatura científica (BAYNE *et al.*, 2019). Isso torna o cenário desfavorável para o AD, tendo em vista que existem evidências científicas atuais acerca dos novos materiais dentários e suas evoluções, enquanto que não está documentado novos avanços e desenvolvimento do AD, em termos de composição, cor e correção de propriedades negativas desta liga metálica (BAYNE *et al.*, 2019).

Quanto as limitações do AD, os autores da presente revisão, são concordantes e congruentes ao afirmarem que, apesar do AD ser caracterizado como um material útil, com bom custo e benefício, esse material possui consideráveis propriedades negativas (BAKHURJI *et al.*, 2017).

Segundo Moraschini *et al.* (2015), o fator estético ocupa um lugar de grande relevância na Odontologia moderna, visto que os pacientes almejam um sorriso esteticamente agradável cujos dentes são claros e alinhados. No entanto, o AD não

obteve nenhum avanço quanto a sua cor metálica, propriedade que desagrada grande parte dos pacientes e, desse modo, favorece o seu desuso na prática clínica. Conseqüentemente, aumenta a demanda por restaurações e materiais estéticos que se assemelhem a estrutura dentária.

Além disso, Silva e Lund (2016) citam a falta de união a estrutura dentária como uma importante limitação do AD, considerando que é necessário um preparo menos conservador, no qual promove desgaste de estrutura dentária sadia para acomodação do material. Concordantes com essa afirmação, Baratieri *et al.* (2013) e Conceição (2018) ainda acrescentam que as cavidades amplas necessárias para acomodar o AD podem ocasionar fraturas dentárias.

No que se refere ao Hg presente no AD, tal conteúdo tem sido alvo de discussões sobre a permanência do uso do AD, considerando que é uma desvantagem do material. Bakhurji *et al.* (2017) relatam que, países em desenvolvimento estão substituindo o AD por métodos e materiais adesivos.

Segundo Reis e Loguercio (2021) a forma mais significativa de absorção de mercúrio ocorre por meio dos vapores de mercúrio que entram facilmente na corrente sanguínea através dos pulmões e se depositam preferencialmente no cérebro e nos rins, onde pode causar alterações neurológicas e falha da função renal.

Em seu estudo, Sherman *et al.* (2013) observou que a exposição ao Hg se deve à liberação de pequenas partículas do AD devido ao efeito abrasivo da escova dental, do bolo alimentar ou pelo próprio processo fisiológico da mastigação.

Por outro lado, notou-se, também, que somente 10% da quantidade ingerida de mercúrio é absorvida pelo trato gastrointestinal na forma de íons de mercúrio. Os níveis de mercúrio sanguíneo alcançados por pessoas com restaurações de AD tendem a ser sete vezes inferiores ao valor alcançado quando se ingerem alimentos marinhos, 1 vez/semana, por exemplo.

É válido salientar que o vapor de mercúrio pode ser liberado na atmosfera durante vários estágios da confecção de uma restauração de AD. Yilmaz *et al.* (2015) cita que os procedimentos de acabamento e de polimento, quando realizados sem refrigeração, aumentam drasticamente os níveis de mercúrio no ambiente. Assim, esse procedimento deve, portanto, ser realizado sob refrigeração e com o auxílio de ejetores de ar/água de alta potência.

Berglund (1993) realizou um estudo no qual mensurou os níveis de vapores intrabucais, durante 24 horas, em pacientes com pelo menos nove restaurações de

AD. A dose média diária de vapor de mercúrio inalada era 1,7 µg de mercúrio, que, novamente representa valores 50 a 100 vezes inferior ao valor-limite estabelecido pela OMS para pessoas que trabalham na indústria do mercúrio.

Ademais, Lauterbach *et al.* (2008) e Woods *et al.* (2008) em seus estudos clínicos não estabeleceram nenhum nexo de causalidade entre o AD e os efeitos adversos à saúde em adultos e crianças de seis anos ou mais. Além disso, pesquisas clínicas em crianças com idade entre seis anos ou mais não encontraram lesão neurológica ou renal associada com o uso do AD (LAUTERBACH *et al.*, 2008; WOODS *et al.*, 2008).

No que concerne aos danos neurológicos, Bellinger *et al.* (2007) realizaram um estudo randomizado e controlado com 534 crianças, de 06 a 10 anos, com restaurações de AD no grupo de exposição e resina composta no grupo controle, realizaram exames neurológicos de QI e exame de urina nas crianças, com acompanhamento de 5 anos. Em análise, os autores concluíram que não houve diferença na função neuropsicológica das crianças que receberam restaurações de AD em comparação com as crianças com restaurações de resina composta (BELLINGER *et al.*, 2007). Dessa forma, afirmam que não há nenhuma razão para descontinuar o uso de AD (BELLINGER *et al.*, 2007).

Uma pesquisa feita por DeRouen *et al.* (2006), realizada em Portugal, no qual acompanhou 507 crianças por 7 anos, corrobora com os resultados encontrados por Bellinger *et al.* (2007). Esses dois estudos, além de serem amplamente citados na literatura, são citados pela FDA e pela ADA como evidências da segurança do AD (AL-KHAFABI *et al.*, 2020; HOMME *et al.*, 2014).

Concomitantemente, Woods *et al.* (2014) ao avaliarem a toxicidade aguda e crônica do Hg e presença de distúrbios neurológicos por meio da genotipagem de células bucais ou do sangue, em uma coorte de 07 anos, com meninos e meninas entre 8-12 anos no baseline de um estudo clínico randomizado e controlado sobre toxicidade de restaurações de AD, concluíram que não há danos à saúde dos pacientes, mas há uma susceptibilidade genética alterada aos efeitos adversos neurocomportamentais da exposição ao Hg em crianças.

Os resultados de um estudo publicado por pesquisadores da Universidade de Michigan sugerem que entre as populações que consomem peixe, os testes de concentrações de Hg na urina podem superestimar significativamente a exposição ao mercúrio do AD (SHERMAN *et al.*, 2013). Através de um novo teste com isótopos de

mercúrio, os pesquisadores dos EUA descobriram que os níveis de Hg na urina de indivíduos com restaurações de AD são derivados principalmente da dieta (SHERMAN *et al.*, 2013).

Outras possíveis fontes de contaminação, segundo Sadasiva *et al.* (2017), podem ser o armazenamento incorreto de mercúrio ou restos de AD e o proporcionamento do mercúrio antes da trituração. No entanto, já foi demonstrado que o emprego dos AD encapsulados, o uso reduzido desse material e o descarte correto de seus resíduos reduziu o número de clínicas odontológicas com vapores de mercúrio acima do nível máximo permitido (LACERDA; DAMASO; GRAJEDA, 2018; MONDELLI, 2014; REIS; LOGUERCIO, 2021; YOUSEFI, 2018).

Além disso, de acordo com Yousefi (2018), a redução de vapores de mercúrio pode ser alcançada por meio de uma boa ventilação do ambiente de trabalho. Devem ser tomados cuidados redobrados durante a esterilização de instrumentos contaminados com AD, já que isso pode aumentar significativamente os níveis de vapores de mercúrio no ambiente. O mercúrio é facilmente absorvido pela pele, portanto, sua manipulação deve ser realizada com luvas. O uso de brocas novas e refrigeração durante a remoção de restaurações de AD, associadas a sugadores de alta potência reduzem significativamente a liberação de vapores de mercúrio (ISHIDA *et al.*, 2021; MÉNDEZ-VISAG, 2014; MONDELLI, 2014; CARRILLO, 2019; SANTOS; DIAS; DOS SANTOS, 2016; KAPLAN; MACCHI, 2019).

De acordo com o estudo realizado por Taut (2013) sobre o impacto na saúde e no meio ambiente do mercúrio usado em odontologia, é quase unanimidade a aceitação dos autores de que o AD é um material seguro, com pouco ou insignificante efeito adverso na saúde geral, porém as preocupações ambientais atuais podem resultar na implementação de uma nova legislação geral que pode levar a uma "eliminação gradual" do material.

Para Rathore *et al.* (2012), o Hg não se acumula irreversivelmente nos tecidos humanos, a meia-vida média do mercúrio é de 55 dias para transporte através do corpo até o ponto de excreção. Assim, o Hg que entrou no corpo anos atrás pode não estar mais presente no organismo (RATHORE *et al.*, 2012).

A FDA dos EUA informou que a liberação do vapor de Hg é baixa (AL-KHAFAJI *et al.*, 2020). Concomitantemente, a ADA concordou que a restauração de AD é segura (AL-KHAFAJI *et al.*, 2020). Para Bharti *et al.* (2010) o uso de AD pode continuar como material de escolha se a estética não for uma preocupação.

Mondelli (2014) pontua que o problema de contaminação por Hg deve ser enfocado como um risco para os profissionais odontológicos somente por meio da contaminação do ambiente de trabalho e pela manipulação inadequada do material. Os cuidados com a manipulação e gestão dos resíduos eliminam os riscos de contaminação do dentista e do ambiente (MONDELLI, 2014).

Segundo Nagpal *et al.* (2017), os níveis de Hg no sangue na equipe odontológica aumentaram com padrões mais baixos de segurança e higiene, corroborando com os achados de Yilmaz *et al.* (2015) e Karahalil *et al.* (2005), os quais apontam que a maior exposição ao mercúrio está relacionada às características do local (ventilação e limpeza inadequada do ambiente), além das práticas de trabalho utilizadas, como inobservância às normas de biossegurança, como o uso de EPI's, por exemplo.

A questão da ventilação e do revestimento do piso utilizado nos consultórios odontológicos também é citada por Aydin *et al.* (2003), tal achado é reforçado por Kasraei *et al.* (2010) que também detectou níveis mais elevados de mercúrio no sangue em profissionais de saúde bucal que trabalhavam em ambientes com piso de *nylon* e revestimentos de parede, no entanto, não foram fornecidos dados quantitativos para apoiar esta afirmação.

Para Santos *et al.* (2017) e Sherman *et al.* (2013) não existem estudos científicos suficientes para comprovar qualquer efeito adverso para a saúde que provenha do AD, se houver um manejo adequado desse material, encontrando-se apenas casos raros de alergia. Sendo assim, as pesquisas abordadas nesta revisão concluem que a presença de restaurações de AD não gera intoxicação dos pacientes ao mercúrio, como a intoxicação já observada em pessoas que manipulam diretamente o mercúrio (ALEXANDER *et al.*, 2017; MÉNDEZ-VISAG, 2014; MONDELLI, 2014; REIS; LOGUERCIO, 2021; SHERMAN *et al.*, 2013; YOUSEFI, 2018).

Outrossim, acerca do futuro do AD, Oliveira *et al.* (2022), em sua pesquisa com graduandos do curso de odontologia, obteve que 53,6% destes concordam que o AD não deve ser banido das práticas odontológicas ao deixar de ser comercializado, 42,5% não o acha um material ultrapassado. Assim como no estudo de Bakhurji *et al.* (2017) com cirurgiões-dentistas clínicos gerais e odontopediatras, 65% e 68% discordaram da proibição do AD, respectivamente. Tendo em vista que, existe desigualdade econômica nos países e o AD é um material restaurador definitivo de

custo relativamente baixo, precisando de um tempo mais curto de manipulação comparado aos demais materiais e possui uma certa longevidade clínica, sendo assim, considerado por profissionais como necessário em alguns casos e situações específicas.

Em contrapartida, em setembro de 2021 um Projeto de Lei, nº 3098/2021, foi apresentado na Câmara dos Deputados acerca do AD, no qual estabelece prazo de três anos para proibição total do uso de AD em procedimentos odontológicos no Brasil (GAGUIM, 2021). Caso o projeto seja transformado em lei, será imediatamente proibido o uso do produto em gestantes, lactantes ou mulheres em idade reprodutiva; em crianças e adolescentes; em pessoas com doenças neurológicas ou renais; e em pessoas com prévia intoxicação por mercúrio (GAGUIM, 2021).

Por sua vez, o Ministério da Saúde (BRASIL, 2022), através de um parecer técnico desenvolvido pela Coordenação-Geral de Saúde Bucal (CGSB/DESF/SAPS/MS), estabeleceu novas orientações acerca do uso do AD no Brasil, tendo em vista que o país é signatário da CMM (BRASIL, 2022).

De acordo com o Comitê Científico sobre novos e emergentes riscos identificados à saúde, o uso de restaurações de AD deve ser evitado em gestantes e em mulheres que estão amamentando, para que não haja exposição do feto (BRASIL, 2022). Para esses casos, a resina composta e os híbridos de vidro são os mais indicados. Outra opção é o CIVs de alta viscosidade para cavidades de superfície única e Classe II menores. Da mesma forma, também se deve evitar as restaurações de AD em crianças e adolescentes até 15 anos de idade. A escolha do material restaurador deve ser feita, portanto, pelo cirurgião-dentista, analisando cada caso. É recomendado o uso de CIV, bem como a resina composta (ÁSTVALDSDÓTTIR *et al.*, 2015; BURKE; LUCAROTTI, 2018).

Diante do exposto, a CGSB/DESF/SAPS/MS, por meio de embasamento em evidência científica, orienta a descontinuidade do uso do AD em gestantes, lactantes e na dentição decídua e em indivíduos de até 15 anos de idade (BRASIL, 2022). Quando o AD for a única opção clínica viável, fica facultado o uso deste material em dentes posteriores nas demais populações (ÁSTVALDSDÓTTIR *et al.*, 2015; BURKE; LUCAROTTI, 2018).

No que concerne aos materiais considerados substitutos do AD, segundo Gallusi *et al.* (2021) e Rasines *et al.* (2014), ao longo dos anos, o advento da abordagem preventiva, focada em técnicas de higiene oral adequada para cada

indivíduo, aliada aos padrões estéticos atuais permitiram que outros recursos fossem inseridos na prática do serviço público e privado brasileiro, por exemplo os tratamentos restauradores atraumáticos (ART) que também são acessíveis e de custo reduzido, bem como os selantes de fóssulas e fissuras, cimento ionômero de vidro e resinas compostas.

A grande aceitação da RC como material restaurador, em virtude das suas vantagens sobre os materiais anteriormente citados, incentivou seu desenvolvimento (CRAMER, 2011). Cramer (2011) afirma que a RC está na antemão do AD, pois tem evoluído constantemente, buscando sempre pela melhoria de sua resistência mecânica e brilho, bem como na formulação de resinas, carga e modificação de cargas, metodologias e mecanismos de cura. Igualmente, para Moraschini *et al.* (2015), as indicações de resinas compostas se expandiram de dentes anteriores para restaurações posteriores.

Beyer *et al.* (2021) relatam que, como consequência de seus avanços e desenvolvimento, os compósitos resinosos são progressivamente utilizados como a principal escolha na odontologia restauradora nos dias atuais, principalmente pelas propriedades mecânicas aprimoradas, aparência semelhante ao dente e aplicação em um único incremento (BEYER *et al.*, 2021). Além disso, inevitavelmente, favorece o declínio do uso do AD, apresentando-se como um substituto promissor para tal (BEYER *et al.*, 2021; PALOTIE *et al.*, 2017).

Dessa maneira, Wilson e Lynch (2014) enfatizam que a mudança da odontologia de intervenção mínima e a força cada vez maior da base de evidências em favor do uso de RC em detrimento do AD na restauração de dentes posteriores, tem diminuído consideravelmente o uso do AD (PALOTIE *et al.*, 2017; WILSON; LYNCH, 2014).

Para Santos *et al.* (2017), ao se comparar as resinas compostas com o AD existem diversos pontos a serem analisados. Na contemporaneidade um dos principais pontos é a questão estética, uma vez que a cor metálica não satisfaz as necessidades estéticas do paciente, diferente das resinas que possuem a característica de conseguir mimetizar adequadamente a coloração natural de um dente (HERVÁS-GARCÍA *et al.*, 2006).

Acerca da possibilidade de fraturas marginais, Bernardo *et al.* (2007) afirma que as restaurações de RC tendem a reforçar a estrutura dentária remanescente devido aos sistemas adesivos associados a este tipo de material.

De acordo com Rasines *et al.* (2014), como o AD exige uma cautelosa sequência de procedimentos para adaptação das cavidades, sendo que a falha em qualquer um dos princípios necessários compromete a integridade da restauração, as resinas se enquadram bem no conceito atual, uma vez que, por apresentarem capacidade adesiva, permitem um preparo menos invasivo, possibilitando maior conservação (SANTOS *et al.*, 2017).

Tratando-se do quesito longevidade das restaurações, nos trabalhos estudados da presente revisão, observou-se que foram realizados vários estudos transversais anteriores mostrando longevidade superior do AD em comparação com o composto (BAKHURJI *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2022). No entanto, tais estudos têm sido criticados por subestimar a longevidade de materiais restauradores mais novos, devido a diferenças no tempo de observação, como novas restaurações de resina composta em um período de tempo em que o AD era usado há décadas (REIS; LOGUERCIO, 2021). Assim, a suposição no passado de que os compósitos tinham uma longevidade menor do que o AD, como sugerido pelos estudos transversais, pode não ser verdadeira (MCCRACKEN *et al.*, 2013; KOPPERUD *et al.*, 2016).

Segundo Reis e Loguercio (2021), no que concerne a longevidade relativa de restaurações de RC em comparação com restaurações de AD, tem-se que o AD é um material empregado por mais de 100 anos na Odontologia, e seu tempo de sobrevivência médio é de aproximadamente 8 anos podendo chegar a mais de 20 anos em muitos casos. Comparativamente ao AD, a resina composta é um material razoavelmente recente. Se considerar que foi com as resinas de partículas pequenas e híbridas e com a técnica de fotoativação com luz visível que esse material passou a ter desempenho clínico favorável, dispõe-se apenas de dados clínicos de, no máximo, 30 anos.

Opdam *et al.* (2010) em sua pesquisa para avaliar, retrospectivamente, a longevidade de restaurações de AD e resina composta classe I e II, observou que um grande número de restaurações de AD falharam à longo prazo devido à fratura do dente e sintomas de trincas. Acredita-se que ambos os fenômenos estejam relacionados à fadiga do dente. Comparativamente, houve uma menor taxa de fratura dos dentes restaurados com compósito, o que suporta a hipótese de que as restaurações adesivas fortalecem a estrutura do dente. O presente estudo é o primeiro a mostrar melhor sobrevivência de restaurações de resina composta em comparação

com AD, uma diferença especialmente aparente após um período de observação mais longo.

Outros estudos clínicos longitudinais indicam que restaurações de resina composta podem apresentar grande durabilidade clínica, com longevidade comparável a restaurações de AD em muitos casos (ÁSTVALDSDÓTTIR *et al.*, 2015; BURKE; LUCAROTTI, 2018). Além disso, resinas compostas permitem que reparos sejam realizados em restaurações que apresentem falhas localizadas, com boa durabilidade clínica e num contexto de prática restauradora minimamente invasiva (VAN DE SANDE *et al.*, 2019).

No que se refere ao custo, alguns autores salientam que o AD possui baixo custo e proporciona excelente desempenho clínico quando comparado à resina composta (GEIER; GEIER, 2021; KAPLAN; MACCHI, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2022). No entanto, seu baixo custo era observado em um período em que esse material era comercializado por diversas empresas (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Atualmente, poucas empresas disponibilizam o AD para venda, o que certamente eleva os custos relativos desse material (BURKE; LUCAROTTI, 2018). Soma-se a isso algumas mudanças na comercialização do material, como o uso de cápsula que necessita de amalgamadores específicos para sua trituração (VAN DE SANDE *et al.*, 2019). Além disso, pode-se levar em consideração os custos de adaptação de um consultório para evitar a contaminação do profissional e do paciente causado pelo vapor de mercúrio durante a confecção, reparo e remoção das restaurações de AD (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Sendo assim, surgiram inúmeros fabricantes nacionais produzindo e desenvolvendo materiais resinosos, proporcionando a redução dos custos, já que no passado esses materiais eram obtidos unicamente por meio de importação (REIS; LOGUERCIO, 2021). Ao mesmo tempo, várias modificações nas resinas compostas, em relação ao tamanho das partículas, tipo de monômeros, fotoiniciadores, moduladores da reação de polimerização, e dos aparelhos de fotoativação, levaram esse material a um patamar de comportamento clínico cada vez mais semelhante ao AD (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Mota *et al.* (2019) afirmam que os compósitos *bulk fill* podem ser uma alternativa restauradora ao AD, visto que os estudos mostram a evolução do material e benefícios alcançados, como a diminuição da contração de polimerização (REIS; LOGUERCIO, 2021).

Além da resina composta, de acordo com Reis e Loguercio (2021), várias alternativas de substitutos do AD estão disponíveis, como os materiais bioativos, dentre eles, o Cention N. Naz *et al.* (2020) realizou um estudo *in vitro* utilizando dentes extraídos para comparar a resistência do Cention N com a RC Filtek Z250 XT. Materiais restauradores foram colocados na superfície da dentina e envelhecidos em água deionizada por 14 dias. A rugosidade da superfície 3-D foi avaliada antes e após os ciclos de simulação da mastigação (50.000). As amostras foram fatigadas mecanicamente usando um simulador de mastigação e investigadas com um microscópio eletrônico de varredura. Assim, observou-se que o Cention N apresentou melhores resultados em relação à resistência quando comparado à resina composta. Esse fato pode ser explicado pela matriz altamente reticulada presente no material alcasite, possuindo um alto grau de polimerização, que confere alta resistência de união e também ao desgaste.

Corroborando com essa ideia, os achados de Feiz, Amrollahi e Ziayi (2019) relataram uma resistência de união à microtração significativamente maior do Cention N em comparação com Zirconomer.

François *et al.* (2021) realizaram uma pesquisa cujo objetivo foi investigar as propriedades de flexão, resistência de união ao cisalhamento e interface com a dentina de três materiais bulk-fill autoadesivos, os quais foram desenvolvidos recentemente. São eles o Surefil One, Cention N, Activa BioActive e EQUIA Forte. Esses materiais foram testados quanto à resistência à flexão e módulo de flexão nos modos de autopolimerização e fotopolimerização. O EQUIA foi usado como material de controle. Assim, observaram que as propriedades de flexão foram significativamente melhores no modo fotopolimerizável para todos os materiais, exceto o Cention N. Além disso, apontaram que tais materiais podem ser alternativas mais fortes para restaurações posteriores com protocolos simplificados, com destaque para o Surefil One por ser um material promissor para uso em situações clínicas difíceis ou para tratamento restaurador atraumático.

Schwendicke *et al.* (2018) sugerem, ainda, que os cimentos de ionômero de vidro (CIV) são uma alternativa ao AD. A indicação para esses materiais tem sido tradicionalmente restrita a dentes decíduos. Nos últimos anos, no entanto, CIVs mais resistentes à flexão e ao desgaste foram introduzidos e comercializados para uso em cavidades maiores de dentes posteriores permanentes.

Em suma, a literatura apresentada nesta revisão converge para a linha de que não há evidência clínica do comportamento superior do AD quando comparado às resinas compostas (BURKE; LUCAROTTI, 2018). Dessa forma, uma série de fatores, como o comportamento clínico semelhante à resina composta, estética inferior, necessidade de remoção de tecido sadio e questões ambientais têm determinado a grande redução do uso de AD nos consultórios particulares e em clínicas públicas (ÁSTVALDSDÓTTIR *et al.*, 2015).

Isso também é observado em instituições de ensino superior, em que se tem uma redução drástica no ensino e pesquisa sobre o AD comparativamente com outros materiais dentários (ÁSTVALDSDÓTTIR *et al.*, 2015). Diante do exposto, seria de esperar que os alunos de graduação que estão se formando tenham cada vez menos contato com esse material restaurador (BURKE; LUCAROTTI, 2018).

Para Reis e Loguercio (2021) e os autores desta revisão de literatura, o ensino do AD ainda deve fazer parte da formação dos profissionais. No entanto, deve ser básico e objetivo, focado principalmente nos procedimentos que ainda serão necessários na geração de pacientes que receberam esse material, como procedimentos de remoção, quando for necessário, novo polimento, selamento e reparo.

Nesses casos, a decisão de reparar ou de substituir uma restauração deve ser sempre precedida de um minucioso exame clínico e radiográfico, a fim de certificar a ausência de cárie sob a restauração e a possibilidade de resolução do problema com um acabamento e/ou polimento adequado da restauração (MOTA *et al.*, 2019).

Devido às inúmeras variáveis, vários autores concordam com o fato de que se pode selecionar os casos para que os reparos sejam realizados (MOTA *et al.*, 2019). Estes detalhes estariam relacionados com a qualidade da liga, idade do AD usado como material restaurador, entre outros. Quanto à substituição do AD, indica-se na existência de problemas generalizados ou graves e de intervenção necessária, onde o reparo não é viável (MOTA *et al.*, 2019).

O reparo em restaurações de AD pode ser confeccionado com o próprio material, por meio da técnica imediata ou mediata, sempre preconizando a utilização do isolamento absoluto, ou ainda pode ser realizado com RC (MOTA *et al.*, 2019). Primeiramente deve-se realizar um pequeno preparo na porção defeituosa para a criação de retenção micromecânica (MOTA *et al.*, 2019).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da literatura consultada através desta revisão, destacamos a constatação de que não há evidência científica de que a presença de AD aumenta o risco de contrair doenças sistêmicas.

No que se refere as emissões atmosféricas de mercúrio, se reduzirmos significativamente o desperdício do AD com melhores práticas de gestão de seus resíduos, na verdade esse material não contribui, nem contribuirá para a demanda mundial e/ou estimativa de poluição atribuída aos três tipos de mercúrio. Logo, se faz necessária a divulgação de orientações sobre o descarte de resíduos de AD, com foco no impacto das práticas odontológicas sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana, para fomentar o desenvolvimento de políticas na aplicação de estratégias que diminuam sua contaminação.

Com o advento de novos materiais restauradores, no entanto, é evidente que o AD entrará em desuso nos próximos anos. Os estudos encontrados foram favoráveis aos materiais adesivos, principalmente a resina composta. Esta, por sua vez, é um material que está em constante desenvolvimento, com avanços e melhorias em suas propriedades.

Antes, a literatura enfatizava a maior taxa de falha para as resinas compostas comparativamente com o AD, devido suas características que limitavam seu uso. Porém, pesquisas recentes relatam que as resinas compostas evoluem continuamente e, como consequência, sua longevidade tem aumentado, resultando em redução no índice de falhas, equiparando-se ao AD.

Dessa forma, podemos concluir que com o advento e o aumento do uso clínico de materiais restauradores estéticos diretos, a popularidade do AD reduziu. Sob tal perspectiva, o amálgama deixará de ser utilizado como material restaurador na prática clínica em um futuro próximo, principalmente, pelo risco de contaminação da população e do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- AL-ASMAR, A. A et al. Has the implementation of the Minamata convention had an impact on the practice of operative dentistry in Jordan?. **The Journal of international medical research**, v. 47, n. 1, p. 361–369, 2019.
- ABDALLAH, A.; AREF. Gingival Microleakage of Dental Amalgam, Bulk Fill Composite Resin and Alkasite Based Composite Restorations in Class II Cavities. **Egyptian Dental Journal**, v. 67, p. 3759-3765, 2021.
- ALCÂNTARA, I. C. G. et al. O futuro do amálgama na prática odontológica: o que o clínico precisa saber. **Tecnologia & Informação-ISSN 2318-9622**, v. 2, n. 2, p. 32-41, 2015.
- American Dental Association. **Statement on dental amalgam**. 2013. Disponível em: <http://www.ada.org/1741.aspx>. Acesso em: 14. abr. 2022.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2017. **Resolução da diretoria colegiada - RDC nº 173**, de 15 de Setembro de 2017. Brasília: ANVISA.
- AGGARWAL, V. R. et al. Assessing the perceived impact of post Minamata amalgam phase down on oral health inequalities: a mixed-methods investigation. **BMC Health Serv Res**, v. 19, n. 985, 2019.
- AL-KHAF AJI, T. G. H. et al. Mercury Loss From Dental Amalgam Fillings. **Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada** [online], v. 20, e5267, 2020.
- AMORIM, J. J. et al. Avaliação da percepção de crianças e seus responsáveis em relação ao uso de diferentes materiais utilizados para procedimentos restauradores em odontopediatria. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, e492101523096-e492101523096, 2021.
- ANUSAVICE, J. K.; SHEN, C.; RAWLS, H, R. **Phillips Materiais Dentários**. São Paulo: Saunders elservier, 2013, 580p.
- ATTIYA, et al. Exposition au mercure et état de santé des médecins dentistes de deux régions du centre du Maroc: enquête transversale descriptive. **Pan African Medical Journal**, 2020.
- ÁSTVALDSDÓTTIR, Á. et al. Longevity of posterior resin composite restorations in adults – A systematic review. **Journal of dentistry**, v. 43, n. 8, p. 934–954, 2015.
- AYDIN, N. et al. Neuropsychological effects of low mercury exposure in dental staff in Erzurum, Turkey. **Int Dent J**, n. 53, p. 85–91, 2003.
- BAKHURJI, E. Dentists' perspective about dental amalgam: current use and future direction. **Journal of public health dentistry**, v. 77, n. 3, p. 207–215, 2017.

BARATIERI, L. N.; MONTEIRO JR. et al. **Odontologia Restauradora - Fundamentos e Técnicas**: vol. 1. 1. ed. São Paulo: Santos Editora Ltda., 2013.

BAYNE, S. C. et al. The Evolution of Dental Materials over the Past Century: Silver and Gold to Tooth Color and Beyond. **J Dent Res**, v. 98, n. 3, p. 257-65, 2019.

BELLINGER, D. C. et al. Dental Amalgam Restorations and Children's Neuropsychological Function: The New England Children's Amalgam Trial. **Environmental Health Perspectives**, v. 115, n. 3, p. 440–446, 2007.

BENGTSSON, U. G.; HYLANDER, L. D. Increased mercury emissions from modern dental amalgams. **Biomaterials: an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine**, v. 30, n. 2, p. 277–283, 2017.

BERGLUND A. An in vitro and in vivo study of the release of mercury vapor from different types of amalgam alloys. **J Dent Res**, v. 72, p. 939-46, 1993.

BERNARDO, M. et al. Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. **JADA**, v. 138, p. 775-783, 2007.

BERNHOF, R. A. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. **Journal of environmental and public health**, 460508, 2012.

BEYER, C. et al. What German dentists choose for their teeth: A Web-based survey of molar restorations and their longevity. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 125, n. 5, p.805–814, 2021.

BJÖRKMAN, L. et al. Mercury in human brain, blood, muscle and toenails in relation to exposure: An autopsy study. **Environ. Health**, v. 6, n. 30, 2007.

BJÖRKMAN, L. et al. Perinatal death and exposure to dental amalgam fillings during pregnancy in the population-based MoBa cohort. **PLoS ONE**, v. 13, n. 12, e0208803, 2018.

BHARTI, R. et al. Dental amalgam: An update. **Journal of conservative dentistry: JCD**, v. 13, n. 4, p. 204–208, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Primária a Saúde. Parecer técnico nº 6/2022/DF. Brasília: Ministério da Saúde, 05 set. 2022. Disponível em: https://www.dropbox.com/s/ctil9uwrhu4qi04/SEI_MS%20-%200029036366%20-%20Parecer%20T%C3%A9cnico%20Am%C3%A1lgama%20Dent%C3%A1rio%20no%20Brasil.pdf?dl=0. Acesso em: 15 set. 2022.

BRIDGES, C.C.; ZALUPS, R.K. Mechanisms involved in the transport of mercuric ions in target tissues. **Arch. Toxicol**, 2017.

BURKE, F.; LUCAROTTI, P. The ultimate guide to restoration longevity in England and Wales. Part 10: key findings from a ten million restoration dataset. **British dental journal**, v. 225, n. 11, p. 1011–1018, 2018.

CARRILLO, S. C. Amalgama y mercurio. Visión y evolución en la odontología restauradora actual. **Rev ADM**, v. 76, n. 6, p. 322-327, 2019.

CHESTERMAN, J. et al. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. **British Dental Journal**, v. 222, n. 5, p. 337–344, 2017.

CONCEIÇÃO, E. N. **Dentística: Saúde e Estética** - Nocchi 3ª edição – Santos, 2018.

CRAMER, N. B. et al. Recent advances and developments in composite dental restorative materials. **Journal of Dental Research**, v. 90, n. 4, p. 402-16, 2011.

DA ROSA, N. M. **Amálgama dental, passado ou realidade?**. Universidade do Sul de Santa Catarina. TCC, TUBARÃO, 2018.

DANIELS, J. L. et al. Maternal dental history, child's birth outcome and early cognitive development. **Paediatr Perinat Epidemiol**, v. 21, p. 448-57, 2007.

DEMARCO, F. F. et al. Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. **Dental Materials: official publication of the Academy of Dental Materials**, Oxford, v. 28, n. 1, p. 87-101, 2012.

DEROUEN, T. A. et al. Neurobehavioural effects of dental amalgam in children: a randomised clinical trial. **JAMA**, v. 295, n. 15, p. 1784-92, 2006.

DOS SANTOS, A. et al. Methylmercury and brain development: A review of recent literature. **J. Trace Elem. Med. Biol**, 2016.

ESTAY, J. et al. Effect of refurbishing amalgam and resin composite restorations after 12 years: controlled clinical trial. **Operative dentistry**, v. 42, n. 6, p. 587–595, 2017.

FEIZ, A. AMROLLAHI, N. ZIAYI, F. Avaliação comparativa da resistência de união à microtração de quatro materiais contendo vidro com dentina de dentes decíduos. **Iran J Pediatr**. v. 29, n. 4, e88774, 2019.

FINDIK, R. et al. Mercury concentração no soro materno, sangue do cordão umbilical e placenta em pacientes com amálgama preenchimento: efeitos nas medidas biométricas fetais. **J Matern Fetal Neonatal Med**. v. 29, n. 22, p. 3665-9, 2016.

FISHER, J. et al. The Minamata Convention and the phase down of dental amalgam. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 96, n. 6, p. 436–438, 2018.

FRANÇOIS, P. et al. Propriedades de flexão e adesão à dentina em materiais de preenchimento a granel autoadesivos recentemente desenvolvidos. **Jornal de Ciência Oral**, v. 63, n. 2, p. 139-144, 2021.

FRANKENBERGER, R.; WINTER, J.; SCHMALZ, G. Amalgam und Alternativen – Diskussionen zur Quecksilberreduktion in der Umwelt. **Bundesgesundheitsbl**, v. 64, p. 847–855, 2021.

GAGUIM, C. H. **Projeto de Lei n. 3098/2021**. Dispõe sobre o uso de amálgamas de mercúrio em procedimentos odontológicos. Brasília: Câmara dos Deputados, 09 set. 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2297944>. Acesso em: 29 jun. 2022.

GALLUSI, G. et al. Is dental amalgam a higher risk factor rather than resin-based restorations for systemic conditions? A systematic review. **Materials**, v. 14, n. 8, p. 1980, 2021.

GEIER, D. A.; GEIER, M. R. Dental Amalgams and the Incidence Rate of Arthritis among American Adults. **Clinical Medicine Insights: Arthritis and Musculoskeletal Disorders**, v. 14, 2021.

GRANDJEAN, P.; LANDRIGAN, P. J. Neurobehavioural effects of developmental toxicity. **Lancet Neurol**, v. 13, n. 3, p. 330-8, 2014.

HEINTZE, S. D.; ROUSSON, V. Clinical effectiveness of direct class II restorations - a meta-analysis. **The journal of adhesive dentistry**, v. 14, n. 5, p. 407–431, 2012.

HERVÁS-GARCÍA, A. et al. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. **Med Oral Patol Oral Cir Bucal**, v. 11, E215-E220, 2006.

HOLMSTRUP, P. Reactions of the oral mucosa related to silver amalgam: a review. **Journal of Oral Pathology and Medicine**, v. 20, n. 1, p. 1–7, 1991.

HOMME, K. G. et al. New science challenges old notion that mercury dental amalgam is safe. **Biometals: an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine**, v. 27, n. 1, p. 19–24, 2014.

ISHIDA, Y. et al. Effects of removal conditions on mercury amount remaining in the oral cavity and inside drainage system after removing dental amalgams. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 18, p. 13135, 2021.

JESUS, L. F.; MARINHA, M. S.; MOREIRA, F. R. Amálgama dentário: fonte de contaminação por mercúrio para a Odontologia e para o meio ambiente. **Cad. Saúde Colet.**, v. 18, n. 4, p. 509-515, 2010.

JIRAU-COLÓN, H. et al. Rethinking the Dental Amalgam Dilemma: An Integrated Toxicological Approach. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 6, p. 1036, 2019.

KAPLAN, A. E.; MACCHI, R. L. La amalgama dental en el futuro / Dental amalgam in the future. **Rev. Asoc. Odontol. Argent**, v. 107, n. 3, p. 79-81, 2019.

KARAHALIL, B. et al. Examination of urinary mercury levels in dentists in Turkey. **Hum Exp Toxicol**, v.24, n. 8, p. 383–8, 2005.

KARATASLI, B. et al (2018). Healing of oral lichenoid lesions following replacement of dental amalgam restorations with feldspathic ceramic inlay-onlay restorations: clinical results of a follow-up period varied from three months up to five years. **BioMed research international**, 7918781, 2018.

KASRAEI, S. et al. Blood mercury levels and its determinants among dental practitioners in Hamadan, Iran. **J Dent**, v. 7, n. 2, p. 55–62, 2010.

KATEEB, E. T.; WARREN, J. J. The transition from amalgam to other restorative materials in the U.S. predoctoral pediatric dentistry clinics. **Clinical and experimental dental research**, v. 5, n. 4, p. 413–419, 2019.

KAUSHIK, M.; YADAV, M. Marginal microleakage properties of activa bioactive restorative and nanohybrid composite resin using two different adhesives in non carious cervical lesions - an in vitro study. **Journal of the West African College of Surgeons**, v. 7, n. 2, p. 1–14, 2017.

KINGMAN, A. et al. Amalgam exposure and neurological function. **Neurotoxicology**, v. 26, p. 241-55, 2005.

KIRKPATRICK, M. et al. The effects of methylmercury exposure on behavior and biomarkers of oxidative stress in adult mice. **Neurotoxicology**, v. 50, p. 170–178, 2015.

KNOBELOCH, L. et al. Methylmercury exposure in Wisconsin: A case study series. **Environ. Res**, v. 101, p. 113–122, 2006.

KOPPERUD, S. E. et al. The post-amalgam era: norwegian dentists' experiences with composite resins and repair of defective amalgam restorations. **Int J Environ Res Public Health**, v. 22, n. 13, p. 441, 2016.

LACERDA, L. J. R.; DAMASO, L. P.; GRAJEDA, F. M. C. O amálgama dentário: proibição devido a presença de mercúrio. **Revista de Iniciação Científica da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 8, n. 1, 2018.

LAUTERBACH, M. et al. Neurological outcomes in children with and without amalgam-related mercury exposure: seven years of longitudinal observations in a randomized trial. **J Am Dent Assoc**, v. 139, n. 2, p. 138-45, 2008.

LINDBOHM, M. L. et al. Occupational exposure in dentistry and miscarriage. **Occup Environ Med**, v. 64, n. 2, p. 127–33, 2007.

LYGRE, G. et al. Exposição pré-natal ao amálgama dentário e risco de sintomas de transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH). **Community Dent Oral Epidemiol.**, v. 46, n. 5, p. 472-81, 2018.

MACKEY, T. K.; CONTRERAS, J. T.; LIANG, B. A. The Minamata Convention on Mercury: attempting to address the global controversy of dental amalgam use and mercury waste disposal. **The Science of the total environment**, v. 472, p. 125–129, 2014.

MCCRACKEN, M. S. et al. A 24-month evaluation of amalgam and resin-based composite restorations: Findings from The National Dental Practice-Based Research Network. **Journal of the American Dental Association**, v. 144, n. 6, p. 583–593, 2013.

MCPARLAND, H.; WARNAKULASURIYA, S. Oral lichenoid contact lesions to mercury and dental amalgam--a review. **Journal of biomedicine & biotechnology**, 589569, 2012.

MÉNDEZ-VISAG, C. Manejo responsable del mercurio de la amalgama dental: una revisión sobre sus repercusiones en la salud. **Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica**, v. 31, n. 4, p. 725-732, 2014.

MENEZES, I. M. et al. Principais causas de falhas em restaurações de resina composta direta. **SALUSVITA**, Bauru, v. 39, n. 2, p. 493-508, 2020.

MORASCHINI, V. et al. Amalgam and resin composite longevity of posterior restorations: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Dentistry**, 2015.

MONTEBUGNOLI, M. et al. Clinical and histologic healing of lichenoid oral lesions following amalgam removal: a prospective study. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 113, n. 6, p. 766–772, 2012.

MONDELLI, J. O que o cirurgião-dentista que prática a Odontologia deve saber a respeito do amálgama dentário. **Full Dent. Sci**, v. 5, n. 19, p. 511-26, 2014.

MOTA, M. S. et al. Odontologia atual: Fundamentação teórica e as aspectos clínicos da resina bulk fill. **Odontologia clínico-científica (IMPRESSO)**, v. 18, p. 1, 2018.

MOTA, M. S. et al. Reparos e substituições de restaurações: como avaliar as restaurações, quando e como reparar ou substituí-las. **Odontol. Clín.-Cient.**, Recife, v. 18, n. 4, p. 265-271, 2019.

MUTTER, J. Is dental amalgam safe for humans? The opinion of the scientific committee of the European Commission. **J. Occup. Med. Toxicol.**, v. 6, n. 2, 2011.

NAGPAL, N. A Review of Mercury Exposure and Health of Dental Personnel. **Saf Health**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2017.

NAZ, F. et al. Avaliação comparativa de propriedades mecânica e física de um novo alcasite bulk-fill com materiais restauradores convencionais. **Saudi Dental Journal**, v. 33, p. 666-673, 2020.

SILVA NETO, M. A. et al. Os avanços da odontologia minimamente invasiva nos dias atuais. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 13, n. 2, e6267, 2021.

NEVES, J. N. **Riscos ocupacional e ambiental do amálgama dentário: uma revisão sistemática**. 2020. 80 f. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas em Saúde)—Escola Fiocruz de Governo, Fundação Oswaldo Cruz, Brasília, 2020.

OGLIARI, P. G. **Longevidade das restaurações de resina composta em dentes posteriores – revisão de literatura**. 2015. 38 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Odontologia) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Departamento de Odontologia, 2015.

OIKAWA, T. et al. Avaliação dos teores de mercúrio na urina dos graduandos de Odontologia. **Revista Paraense de Medicina**, Belém, v. 21, n. 3, 2007.

OLIVEIRA, O. L. et al. The future of dental amalgam. What do Dentistry students think?. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. e57511629530, 2022.

OPDAM, N. J., et al. 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. **Journal of dental research**, v. 89, n. 10, p. 1063–1067, 2010.

OPDAM, N. J. et al. A retrospective clinical study on longevity of posterior composite and amalgam restorations. **Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials**, v. 23, n. 1, p. 2–8, 2007.

OPDAM, N. J. et al. Longevity of posterior composite restorations: a systematic review and meta-analysis. **J Dent Res**, v. 93, p. 943-9, 2014.

PALOTIE, U. et al. Longevity of 2- and 3-surface restorations in posterior teeth of 25- to 30-year-olds attending public dental service—a 13-year observation. **Journal of dentistry**, v. 62, p. 13–17, 2017.

PARK, J. D.; ZHENG, W. Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. **J. Prev. Med. Public Health**, v. 45, p. 344–352, 2012.

PATINI, R. et al. Clinical effects of mercury in conservative dentistry: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis of randomized controlled trials. **International journal of dentistry**, 8857238, 2020.

PEREIRA, A. C. et al. Abordagem conservadora em restaurações posteriores com compósitos: acompanhamento clínico de 2 anos. **Ustasalud**, v. 17, p. 67-74, 2018.

- POORNIMA, P. et al. Avaliação comparativa da resistência à compressão e microdureza superficial de EQUIA Forte, cimento de ionômero de vidro modificado por resina com cimento de ionômero de vidro convencional. **J Indian Soc Pedod Prev Dent**, v. 37, p. 265-70, 2019.
- PO-YEN, L. et al. Risk of subsequent attentiondeficit/hyperactivity disorder among children and adolescents with amalgam restorations: A nationwide longitudinal study. **Community Dent Oral Epidemiol**, v. 46, p. 47–53, 2018.
- RASINES, A. et al. Amalgam or composite fillings – hich material lasts longer?. **Cochrane Reviews**, p. 50-51, 2014.
- RATHORE, M. et al. The dental amalgam toxicity fear: a myth or actuality. **Toxicol Int**, v. 19, p. 81-88, 2012.
- RATHKE, A. et al. One-year clinical results of restorations using a novel self-adhesive resin-based bulk-fill restorative. **Sci Rep**, v. 12, p. 3934, 2022.
- REDHE, O.; PLEVA, J. Recover from amyotrophic lateral sclerosis and from allergy after removal of dental amalgam fillings. **Int J Risk Saf Med**, v. 4, p. 229–236, 1994.
- REIS, A.; LOGUERCIO, A. D. **Materiais dentários restauradores diretos: dos fundamentos à aplicação clínica**, 2. ed. – Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.
- RIBEIRO, M. D. F.; PAZINATTO, F. B. Critérios clínicos para decisão entre substituição ou reparo de restaurações em resina composta – revisão de literatura. **Rev. bras. odontol.**, Rio de Janeiro, v. 73, n. 3, p. 223-30, 2016.
- ROONEY, J.P.K. The retention time of inorganic mercury in the brain—A systematic review of the evidence. **Toxicol. Appl. Pharm**, v. 274, p. 425–435, 2014.
- SADASIVA, K., et al. Recovery of mercury from dental amalgam scrap-indian perspective. **Journal of pharmacy & bioallied sciences**, v. 9, S79–S81, 2017.
- SANTOS, J. A. et al. Uso atual e futuro do amálgama dental. **Oral Sci.**, v. 9, n. 1, 2017.
- SANTOS, D. T.; DIAS, K. R. H. C.; DOS SANTOS, M. P. A. Amálgama dental e seu papel na Odontologia atual. **Rev. Bras. Odontol**, v. 73, n.1, 2016.
- SCHLOSSER, B. J. Lichen planus and lichenoid reactions of the oral mucosa. **Dermatologic Therapy**, v. 23, n. 3, p. 251–267, 2010.
- SCHWENDICKE, F. et al. Amalgam Alternatives: Cost-Effectiveness and Value of Information Analysis. **Journal of dental research**, v. 97, n. 12, p. 1317–1323, 2018.
- SHENOI, P. R. et al. Comparando a microinfiltração marginal em cavidades Classe V restauradas com resina composta fluida e Cention-N usando microscópio confocal - um estudo in vitro. **Indian J Dent Res**, v. 32, p. 348-353, 2021.

SHERMAN, L. S. et al. New insight into biomarkers of human mercury exposure using naturally occurring mercury stable isotopes. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 7, p. 3403–3409, 2013.

SILVA, F. J. V. et al. Técnicas para reduzir os efeitos da contração de polimerização das resinas compostas fotoativadas. **SALUSVITA**, Bauru, v. 36, n. 1, p. 187-203, 2017.

SILVA, A. F.; LUND, R. G. **Dentística restauradora | Do planejamento à execução**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Santos, 2016.

SILVA, A. S. F. et al. **Biossegurança em Odontologia e ambientes de saúde**. 2ª ed. rev. e ampl. São Paulo: Ícone; 2009.

STONE, M. E. et al. Determination of methyl mercury in dental-unit wastewater. **Dent Mater**, v. 19, n. 7, p. 675-9, 2003.

TAUT, C. Dental amalgam: is this the end. **Journal of the Irish Dental Association**, v. 59, n. 4, p. 311-17, 2013.

TIBAU, A. V.; GRUBE, B. D. Mercury contamination from dental amalgam. **Journal of health & pollution**, v. 9, n. 22, p. 190612, 2019.

TSENG, C. F. et al. Dental amalgam fillings and multiple sclerosis: a nationwide population-based case-control study in taiwan. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 8, p. 2637, 2020.

TUMENAS, I. et al. Odontologia minimamente invasiva. **Rev. Assoc. Paul. Cir. Dent**, v. 68, n. 4, p. 283-295, 2014.

UNEP. **Minamata Convention on Mercury**. UNEP: Nairobi, Kenya, 2013.

US Food and Drug Administration. **Dental amalgam. About dental amalgam fillings**. Disponível em: <https://www.fda.gov/medical-devices/dental-amalgam/about-dental-amalgam-fillings>. Acesso em: 27. mai. 2022.

VAN DE SANDE, F. H. et al. Is composite repair suitable for anterior restorations? A long-term practice-based clinical study. **Clinical oral investigations**, v. 23, n. 6, p. 2795–2803, 2019.

VERMA, V. et al. Avaliação dos valores de resistência à compressão, resistência ao cisalhamento e microdureza do cimento de ionômero de vidro Tipo IX e Cention N. **Conserv Dent**, v. 23, p. 550-553, 2020.

VIEIRA, A. R., et al. A pragmatic study shows failure of dental composite fillings is genetically determined: a contribution to the discussion on dental amalgams. **Frontiers in medicine**, v. 4, p. 186, 2017.

WARWICK, D. et al. Mercury vapor volatilization from particulate generated from dental amalgam removal with a high-speed dental drill - a significant source of exposure. **Journal of occupational medicine and toxicology**, v. 14, n. 22, 2019.

WILSON, N. H.; LYNCH, C. D. Dental amalgam-time to move on. **Eur J Gen Dent**, v. 3, p. 1-2, 2014.

WOODS, J. S. et al. Genetic polymorphisms affecting susceptibility to mercury neurotoxicity in children: summary findings from the casa pia children's amalgam clinical trial. **Neurotoxicology**, v. 44, p. 288–302, 2014.

WORTHINGTON, H. V. et al. Direct composite resin fillings versus amalgam fillings for permanent posterior teeth. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, 2021.

XUE, J. (2020). Hua xi kou qiang yi xue za zhi = Huaxi kouqiang yixue zazhi = West **China journal of stomatology**, v. 38, n. 3, p. 233–239.

YILMAZ, H. et al. Exposure to Mercury among dental health workers in Turkey: correlation with amalgam work and own fillings. **Toxicol Ind Health**, v. 31, p. 951–4, 2015.

YOUSEFI, H. Replacing dental amalgam by mercury-free restorative materials; it's time to take action. **Daru: journal of Faculty of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences**, v. 26, n. 1, p. 1–3, 2018.

ZHOU, X. et al. Development and status of resin composite as dental restorative materials. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 136, 48180, 2019.