

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

INFLUÊNCIA DOS FATORES EXTRÍNSECOS E INTRÍNSECOS NA ESTABILIDADE DA COR DAS RESINAS COMPOSTAS – O ESTADO DA ARTE

Trabalho submetido por
Gilia Lili Ravel
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

setembro de 2025

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

INFLUÊNCIA DOS FATORES EXTRÍNSECOS E INTRÍNSECOS NA ESTABILIDADE DA COR DAS RESINAS COMPOSTAS – O ESTADO DA ARTE

Trabalho submetido por
Gilia Lili Ravel
para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutora Alexandra Pinto
e coorientado por
Prof. Doutora Inês Caldeira Fernandes

setembro de 2025

Agradecimentos

À minha orientadora, a Professora Doutora Alexandra Pinto, pela sua disponibilidade e ajuda preciosa ao longo do escrito desta tese, mas também pelo seu ensino clínico.

À minha co-orientadora, a Professora Doutora Inês Caldeira Fernandes, pelo apoio e pelas sugestões preciosas.

Ao Instituto Universitário Egas Moniz, esta academia belíssima, pela formação, pelos recursos disponibilizados e por todo o apoio institucional prestado ao longo do meu percurso académico.

À ma famille, de près comme de loin, vous avez contribué à ma réussite et m'avez permis d'aller au bout de ces cinq années d'étude, je vous aime. Maman, merci de croire en moi aussi fort et de m'apporter ton soutien au quotidien depuis toujours. Bop, merci m'avoir donné une si grande place dans ta vie et de m'avoir permis de rêver si grand. Mes petits frères, Axel et Adrien, vous êtes mes petits trésors, merci pour votre amour depuis toutes ces années. Je serai toujours là pour vous. Mes grands-parents et mon arrière-grand-mère, merci pour nos appels du dimanche. Merci de toujours me rassurer et me motiver.

À mes amis, Clara, Juliette, Edouard, Cassandra, Emma, Julia, Perrine, Flavie, Annaelle, Alfred, Thibault, Rémi, Alban, Léa, Malou, et tous les autres, vous avez rendu ces cinq dernières années inoubliables, merci pour tous ces moments de partage et de joie, j'espère que nos chemins continueront de se croiser. Une pensée particulière à la team BU.

À Camille, ma parceira, en clinique comme dans la vie de tous les jours. Tu as été là dans les moments de joie, de doute, de tristesse et tu as rendu chaque moment plus beau par ta présence. Le quotidien avec toi me manque déjà.

À mon soleil Guadeloupéen, Kohann. Merci pour ton écoute, ta compréhension et ta positivité en toute situation. Tu as été d'un grand soutien tout au long de mes années d'étude et tu les as rendues encore plus belles. Hâte de nos futures aventures.

RESUMO

As resinas compostas são amplamente utilizadas na prática clínica como materiais restauradores diretos devido às suas propriedades mecânicas, ao seu potencial estético e à sua baixa toxicidade.

Além disso, a compatibilidade estrutural e óptica das restaurações em resina composta com os dentes adjacentes é essencial para a satisfação estética dos pacientes.

Para se alcançar uma estética ideal, as restaurações em resina composta devem reproduzir a aparência dos dentes naturais e manter essa aparência ao longo do tempo.

A exposição contínua das resinas compostas ao ambiente oral favorece os fenómenos de pigmentação e descoloração, resultantes tanto de fatores intrínsecos como de fatores extrínsecos.

Este trabalho de revisão narrativa tem como objectivo analisar a literatura científica disponível, dos últimos 5 anos, para compreender e ter uma visão objetiva e actual, não só dos factores que influenciam a descoloração, mas também como prevenir e minimizar este mecanismo.

A revisão narrativa foi baseada na pesquisa de artigos científicos. A metodologia envolveu a busca criteriosa de literaturas nas plataformas: Pubmed/Medline, Scielo, Google Scholar, Cochrane Library, B-on, Web of Science, Embase, Scopus, Science Direct, Wiley Online Library como objectivo reunir artigos que correspondem aos critérios essenciais para a elaboração desta tese. A pesquisa limitar-se-á aos últimos 5 anos.

Palavras-chave: Resinas compostas; Estabilidade de cor; Agentes corantes; Estética

ABSTRACT

Composite resins are widely used in clinical practice as direct restorative materials due to their mechanical properties, aesthetic potential and low toxicity.

In addition, the structural and optical compatibility of composite resin restorations with adjacent teeth is essential for patients' aesthetic satisfaction.

To achieve optimum aesthetics, composite resin restorations must reproduce the appearance of natural teeth and maintain this appearance over time.

The continuous exposure of composite resins to the oral environment favours the phenomena of pigmentation and discolouration, resulting from both intrinsic and extrinsic factors.

The aim of this narrative review is to analyse the available scientific literature from the last 5 years in order to understand and have an objective and current view of not only the factors that influence discolouration, but also how to prevent and minimise this mechanism.

The narrative review has been based on a search of scientific articles. The methodology involved a careful search for literature on the following platforms: Pubmed/Medline, Scielo, Google Scholar, Cochrane Library, B-on, Web of Science, Embase, Scopus, Science Direct, Wiley Online Library with the aim of gathering articles that meet the essential criteria for this thesis. The search will be limited to the last 5 years.

Keywords: Composite resins; Colour stability; Colouring agents; Aesthetics

RÉSUMÉ

Les résines composites sont largement utilisées dans la pratique clinique comme matériaux de restauration directe en raison de leurs propriétés mécaniques, de leur potentiel esthétique et de leur faible toxicité.

En outre, la compatibilité structurelle et optique des restaurations en résine composite avec les dents adjacentes est essentielle pour la satisfaction esthétique des patients.

Pour obtenir une esthétique optimale, les restaurations en résine composite doivent reproduire l'apparence des dents naturelles et conserver cette apparence au fil du temps.

L'exposition continue des résines composites à l'environnement buccal favorise les phénomènes de pigmentation et de décoloration, résultant de facteurs intrinsèques et extrinsèques.

L'objectif de cette revue narrative est d'analyser la littérature scientifique disponible des cinq dernières années afin de comprendre et d'avoir une vision objective et actuelle non seulement des facteurs qui influencent la décoloration, mais aussi de la manière de prévenir et de minimiser ce mécanisme.

L'analyse narrative a été basée sur une recherche d'articles scientifiques. La méthodologie a impliqué une recherche minutieuse de littérature sur les plateformes suivantes: Pubmed/Medline, Scielo, Google Scholar, Cochrane Library, B-on, Web of Science, Embase, Scopus, Science Direct, Wiley Online Library dans le but de rassembler des articles qui répondent aux critères essentiels de cette thèse. La recherche sera limitée aux 5 dernières années.

Mots clés: Résines composites ; Stabilité de la couleur ; Agents colorants ; Esthétique

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO	15
DESENVOLVIMENTO.....	17
I. Base e contextualização	17
1. Composição das resinas compostas.....	17
2. Classificação das resinas compostas	22
3. A cor em medicina dentária.....	27
a. Os fundamentos da cor: matiz, valor e croma	27
b. As propriedades ópticas secundárias: translucidez, fluorescência, opalescência e metamerismo.....	29
c. Avaliação da cor, sistema CIELAB e ΔE	30
II. Os factores extrínsecos que influenciam a estabilidade de cor das resinas....	32
1. Os alimentos e bebidas	32
2. Os cigarros convencionais e novos produtos.....	36
3. Os produtos de higiene oral	37
4. A rugosidade da superfície	38
III. Os factores intrínsecos que influenciam a estabilidade de cor das resinas...	39
1. Os monómeros da matriz.....	39
2. O grau de conversão/polimerização.....	41
3. As partículas de carga	42
4. Os pigmentos da matriz	44
IV. Métodos de prevenção e estratégias de conservação da cor.....	44
1. Polimento inicial e repolimento.....	44
2. Protecção com selantes de superfície.....	45
3. Produtos de branqueamento	46
4. A polimerização	47
5. O pré-aquecimento	47
V. Estabilidade de cor das resinas compostas emergentes	47
CONCLUSÃO.....	51
BIBLIOGRAFIA	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes básicos das resinas compostas dentárias.....	17
Figura 2: Representação duma molécula de bis-GMA.	18
Figura 3: Representação duma molécula de UDMA.	18
Figura 4: Representação duma molécula de TEGDMA.....	19
Figura 5: Representação duma molécula de bis-EMA.....	19
Figura 6: Representação esquemática da estrutura da resina composta antes e após a fotopolimerização.	21
Figura 7: Classificação das resinas compostas.....	22
Figura 8: Sistema de color de Munsell.....	28
Figura 9: Escala de cor VITA Classical.	31

LISTA DAS ABREVIATURAS

Al₂O₃ óxido de alumínio

APO acilfosfina

AT limiar de aceitabilidade

BF Bulk-Fill

BHT 2,6-di-tert-butil-4-metilfenol

bis-MPEPP 2,2-Bis[4-(metacriloxietoxi)fenil]propano

bis-EMA bisphenol A ethoxylated dimethacrylate

bis-GMA bis-glicidil metacrilato

CIE Commission Internationale de l'Éclairage

CQ canforoquinona

GC grau de conversão

MEHQ monometiléter de hidroquinona

NBS National Bureau of Standards

PPD fenilpropanodiona

PT limiar de perceptibilidade

RDA Relative dentin abrasivity

SiO₂ sílica

TEGDMA trietilenoglicol dimetacrilato

TiO₂ dióxido de titânio

UDMA uretano dimetacrilato

UV radiação ultravioleta

ZrO₂ óxido de zircônio

γ-MPS 3-metacriloxipropiltrimetoxissilano

LISTA DAS TABELAS

Tabela 1: Resumo dos estudos sobre a coloração por alimentos e bebidas.....	35
--	----

INTRODUÇÃO

As resinas compostas representam atualmente um dos materiais mais utilizados em medicina dentária, sendo empregues numa grande diversidade de aplicações clínicas, como restaurações diretas e indiretas, selantes de fissuras, núcleos de reabilitação, dispositivos ortodônticos, entre outros (Ferracane, 2010).

Introduzidas na década de 1960, estas resinas vieram substituir os cimentos de silicato e as resinas acrílicas, cujas limitações incluíam baixa resistência à abrasão, elevada solubilidade, instabilidade dimensional e resultados estéticos insatisfatórios (Rawls, 2013).

A integração de partículas de carga inorgânicas numa matriz polimérica contribuiu para uma melhoria significativa das propriedades das resinas compostas, tanto do ponto de vista mecânico como do ponto de vista estético, através da redução do coeficiente de dilatação térmica, do aumento da estabilidade dimensional e da resistência ao desgaste (Rawls, 2013).

Ao longo do tempo, a composição destes materiais evoluiu, nomeadamente com a redução do tamanho das partículas de carga (Rawls, 2013).

Mais recentemente, os esforços da investigação científica têm-se centrado sobretudo na matriz orgânica, com o objetivo de minimizar o stress de contração de polimerização e melhorar a estabilidade global do material (Pfeifer, 2017).

Entre as diversas propriedades desejáveis, a estabilidade da cor, assume um papel crucial, uma vez que influencia diretamente a longevidade estética da restauração e a perceção de sucesso por parte do paciente. A manutenção da cor ao longo do tempo é considerada determinante para o desempenho clínico de uma restauração (Fathima et al., 2024).

A descoloração é, de facto, apontada como uma das causas mais frequentes para a substituição precoce de restaurações em resina composta (Al-Shami et al., 2023).

Este fenómeno é de natureza multifatorial e pode resultar de mecanismos classificados em duas categorias: Os fatores intrínsecos e/ou extrínsecos (Meniawi et al., 2025).

A descoloração extrínseca ocorre quando agentes externos pigmentados, como determinados alimentos, bebidas ou o tabaco, penetram na superfície da resina composta e aí permanecem retidos. Por outro lado, a descoloração intrínseca resulta da incorporação de pigmentos na matriz da resina durante a polimerização ou da formação destes através de reações químicas na cavidade oral (Islam et al., 2023).

Neste contexto, o objetivo desta revisão narrativa é apresentar uma visão atualizada sobre os fatores extrínsecos e intrínsecos que influenciam a estabilidade cromática das resinas compostas. Pretende-se, igualmente, explorar estratégias de prevenção que possam orientar a tomada de decisão clínica para soluções restauradoras mais duradouras, tanto do ponto de vista estético como funcional.

DESENVOLVIMENTO

I. Base e contextualização

1. Composição das resinas compostas

As resinas compostas usadas em medicina dentária são principalmente compostas por uma matriz orgânica de resina e uma fase dispersa inorgânica, ligadas entre si por agentes de ligação. Juntam-se a estes componentes principais diversos aditivos, como iniciadores, ativadores, opacos e pigmentos, que melhoram as suas propriedades estéticas e mecânicas (Figura 1) (Rawls, 2013).

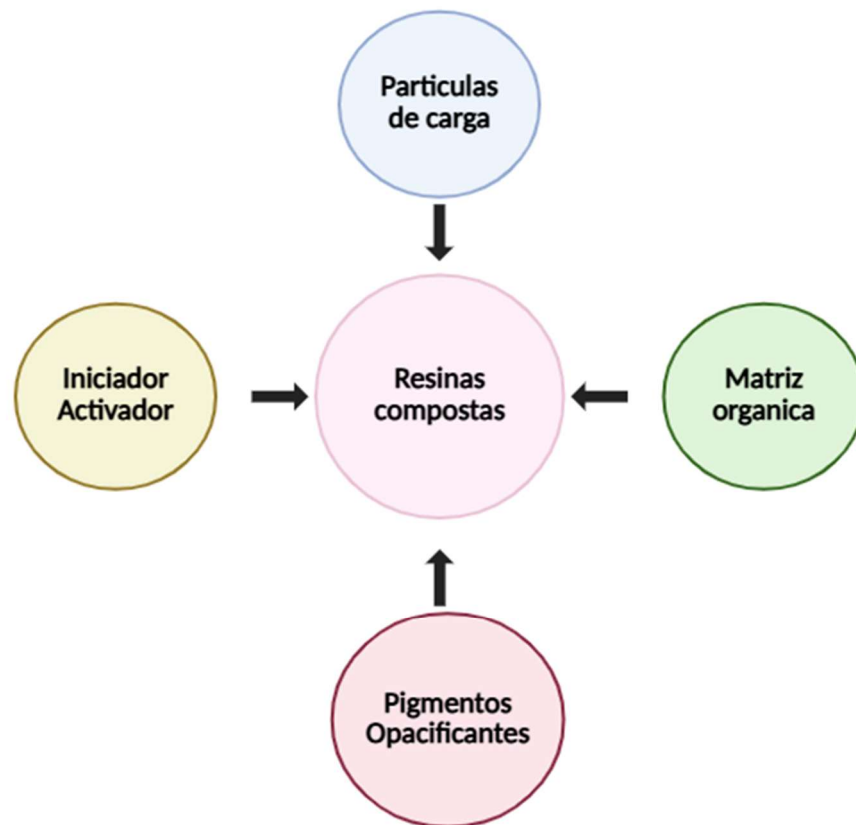


Figura 1: Componentes básicos das resinas compostas dentárias (adaptado de Ferracane, 2024).

A matriz orgânica é predominantemente constituída por monómeros dimetacrilatos, como o bis-glicidil metacrilato (bis-GMA) (Figura 2) e o uretano dimetacrilato (UDMA) (Figura 3), que conferem rigidez à rede polimérica. No entanto, devido à sua elevada viscosidade, é comum a adição de monómeros de menor peso molecular, como o trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA) (Figura 4), com o objetivo de facilitar o manuseamento clínico (Rawls, 2013).

Inúmeros sistemas comerciais utilizam monómeros alternativos como o bisphenol A ethoxylated dimethacrylate (bis-EMA) (Figura 5), um análogo hidrofóbico do bis-GMA que reduz a viscosidade da mistura (Angelis et al., 2022).

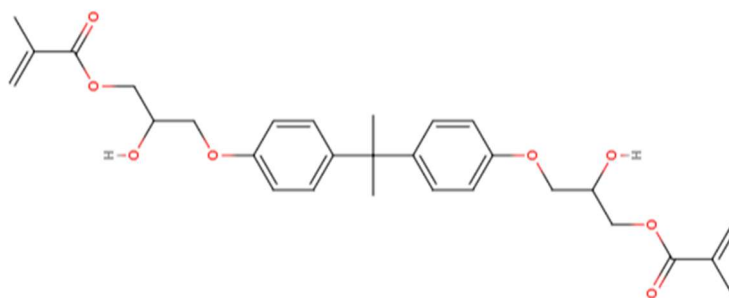


Figura 2: Representação duma molécula de bis-GMA.

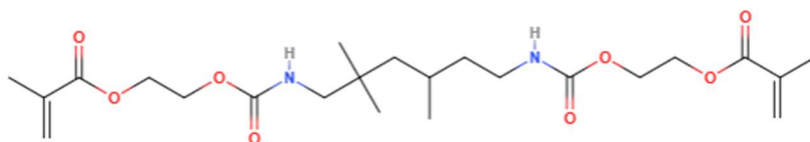


Figura 3: Representação duma molécula de UDMA.

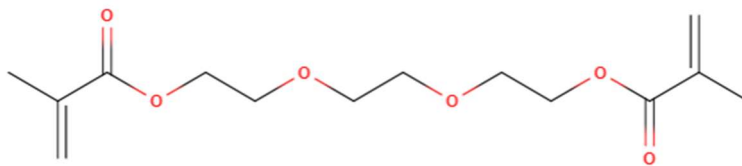


Figura 4: Representação duma molécula de TEGDMA.

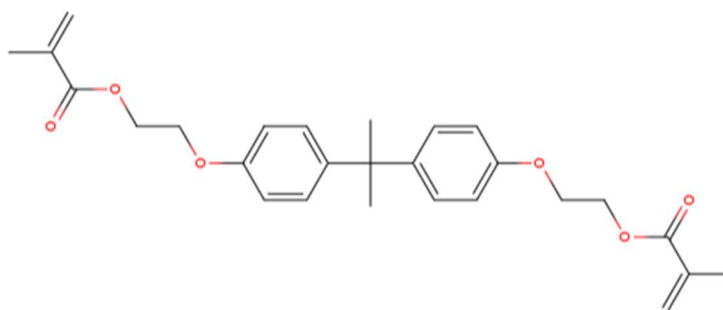


Figura 5: Representação duma molécula de bis-EMA.

As partículas de carga inorgânicas, incluindo vidro borossilicato, sílica fundida, silicato de alumínio, fluoreto de itérbio e vidros contendo bário, estrôncio, zircônio e zinco, são dispersas na matriz contínua. Contribuem para o reforço da resina, para a redução da contração de polimerização e para minimizar a limitação das variações térmicas das resinas compostas. Além disso, são fatores determinantes da viscosidade, da absorção de água e da radiopacidade do material (Rawls, 2013).

Para assegurar a adesão entre a matriz orgânica e as cargas inorgânicas, são utilizados agentes de ligação, nomeadamente o 3-metacriloxipropiltrimetoxissilano (γ -MPS) (Alsharif et al., 2024).

A estrutura bifuncional dos silanos permite-lhes formar ligações covalentes tanto com os grupos silanol das cargas à base de sílica, como com os grupos metacrilato

presentes nos monómeros da matriz orgânica, estabelecendo assim uma interface química estável entre as duas fases do compósito (Karkanis et al., 2021).

Os primeiros materiais compósitos dentários baseavam-se em sistemas de duas pastas distintas. Uma incluindo um iniciador à base de peróxido, a outra incluindo um ativador composto por aminas. A mistura manual destas duas pastas desencadeava um processo de autopolimerização apresentando limitações associadas ao tempo de trabalho reduzido e à manipulação exigente. A introdução da tecnologia de fotopolimerização com a eliminação da necessidade de misturar as pastas constituiu uma importante evolução. Inicialmente, foram utilizados sistemas ativados por radiação ultravioleta (UV), os quais, apesar de apresentarem resultados aceitáveis em estudos clínicos a longo prazo, levantaram preocupações quanto à sua segurança. A reduzida capacidade de penetração da luz UV nos tecidos e o potencial risco associado à exposição a radiações de alta intensidade conduziram à sua substituição progressiva (Ferracane, 2024).

No início da década de 1980, a fotopolimerização por luz visível foi gradualmente adotada. Esta mudança foi possibilitada pela incorporação de fotoiniciadores sensíveis à luz visível, nomeadamente a canforquinona (CQ), em combinação com um co-iniciador, geralmente uma amina terciária (Ferracane, 2024).

Nas resinas compostas dentárias, a CQ é o fotoiniciador mais frequentemente utilizado, apresentando máxima sensibilidade na zona azul do espectro visível, próxima dos 470 nm (Araújo et al., 2021).

A reação de polimerização da matriz inicia-se com a ação de um radical livre que atinge a ligação dupla, promovendo a sua abertura e a ligação subsequente com outros monómeros, o que leva ao crescimento da cadeia polimérica (Leprince et al., 2010).

Após a reação de polimerização, uma fração de monómeros livres permanece retida na rede polimérica (Figura 6) (Francois et al., 2025).

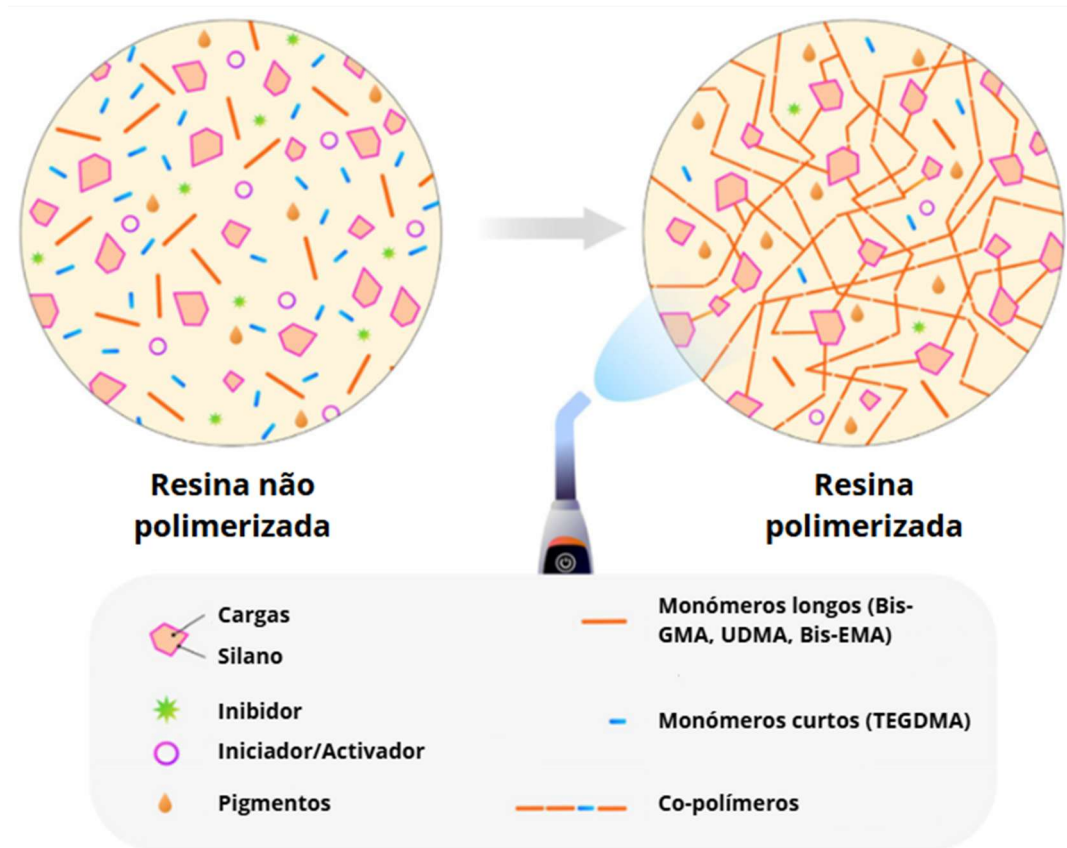


Figura 6: Representação esquemática da estrutura da resina composta antes e após a fotopolimerização (adaptado de Francois et al., 2025).

Inibidores neutralizam radicais livres formados precocemente, prevenindo a iniciação e propagação espontâneas da polimerização (Landuyt et al., 2007). Os mais frequentemente usados são o monometiléter de hidroquinona (MEHQ) e o 2,6-di-tert-butil-4-metilfenol (BHT), nos compósitos dentários (Chaput & Faure, 2019).

São adicionados pigmentos às resinas compostas para reproduzir as propriedades colorimétricas e a aparência natural dos dentes. Os pigmentos modificam o espectro da luz que refletem ao absorverem uma parte dela. A impressão de cor é, portanto, criada de maneira subtrativa: um pigmento amarelo reflete a cor amarela enquanto absorve o azul, enquanto um pigmento azul reflete a cor azul enquanto absorve a cor amarela. Geralmente, os tons que variam do amarelo ao vermelho/marrom são produzidos por óxidos de ferro, enquanto o azul e o efeito opalescente são gerados pelo dióxido de titânio (TiO_2) ou por outros, como o óxido de zircônio (ZrO_2) e o óxido de alumínio (Al_2O_3) (Ilie, 2024; Palin et al., 2018).

Os metais pesados, utilizados como agentes radiopacificantes, conferem às resinas compostas uma radiopacidade inicialmente ausente, tornando assim possível a sua visualização radiográfica (Leprince et al., 2010).

2. Classificação das resinas compostas

As resinas compostas podem ser classificadas segundo o procedimento restaurador, as capacidades funcionais, o modo de polimerização, a viscosidade e as partículas de carga (Figura 7) (Korkut et al., 2023).

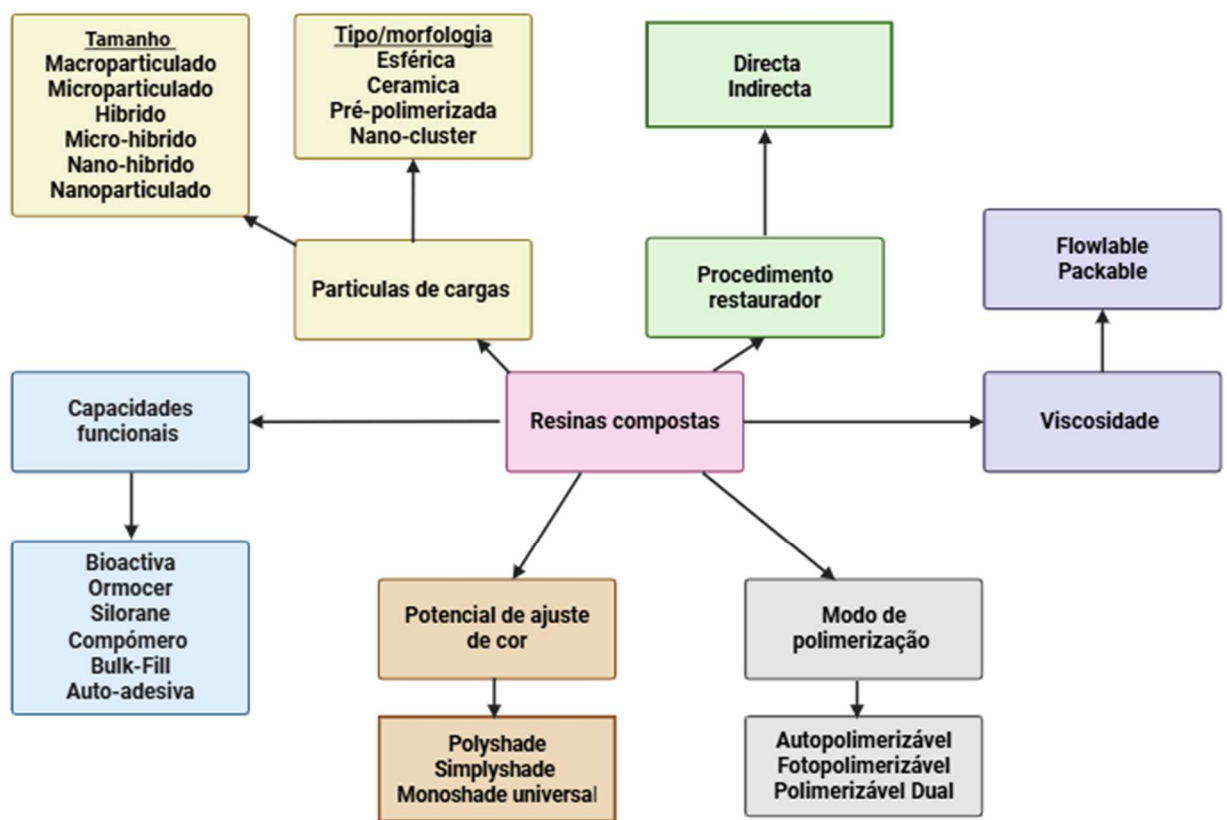


Figura 7: Classificação das resinas compostas adaptado de Korkut et al., 2023).

As restaurações diretas são aquelas realizadas numa única sessão clínica, diretamente na cavidade oral (Veiga et al., 2016).

Por outro lado, as restaurações indiretas são fabricadas fora da cavidade oral, geralmente em laboratório, sendo posteriormente aderidas ao dente com uma resina composta aquecida e embora inicialmente apresentassem baixa resistência, os

compósitos indiretos evoluíram significativamente com a introdução da segunda geração, nomeadamente no que diz respeito à resistência à flexão e ao módulo de elasticidade (Azeem & Sureshababu, 2018).

Uma das classificações mais comum das resinas compostas baseia-se no tamanho médio das partículas do componente predominante em volume (Leprince et al., 2010).

Os primeiros compósitos comercializados na década de 1960 eram macroparticulados (entre 1 e 100 μm), compostos principalmente por quartzo e eram exclusivamente autopolimerizáveis (Rawls, 2013).

Apesar da baixa contração de polimerização e de um módulo de flexão satisfatório, a sua baixa resistência ao desgaste e propriedades superficiais insuficientes representavam desvantagens significativas (Nagrle et al., 2023).

Nos anos 70, os compósitos microparticulados foram introduzidos com o objectivo de melhorar a estética dos compósitos. Estes materiais compostos por micropartículas de sílica (SiO_2) de 0,04 μm possuem uma boa resistência ao desgaste e mantêm uma superfície estética de alta qualidade, mas apresentam uma importante contração de polimerização e uma baixa resistência à flexão (Leprince et al., 2010; Raskin & Lehmann, 2009).

Os compósitos evoluíram para uma composição híbrida, combinando partículas de diferentes tamanhos e composições. O uso de cargas de tamanho diferente permite melhorar o preenchimento dos espaços deixados entre as maiores partículas com as pequenas levando a um aumento da densidade e a uma melhoria das propriedades do material (Klimek et al., 2023; Leprince et al., 2010).

Nos sistemas micro-híbridos, a manipulação, as propriedades mecânicas e o polimento são favorecidos por uma viscosidade relativamente baixa, permitida pela disposição das partículas de carga (Rodríguez et al., 2019).

As últimas evoluções relacionadas com as partículas de carga dos compósitos baseiam-se principalmente na nanotecnologia, com a integração de nanopartículas na matriz resinosa (Leprince et al., 2010).

Foram desenvolvidos compósitos nanohíbridos contendo cargas nanométricas e convencionais. Estes apresentam uma maior proporção de nanopartículas (Randolph et al., 2016).

Nos compósitos nanoparticulados, a parte inorgânica é exclusivamente constituída por partículas nanométricas (Nagrle et al., 2023).

O tamanho médio destas partículas é entre 1 e 100 nm. Com uma carga em volume de aproximadamente 60%, estas resinas apresentam uma resistência similar à das resinas híbridas e micro-híbridas, garantindo um desempenho mecânico otimizado (Lavanya et al., 2019).

Os compósitos nanoparticulados são apresentados como materiais restauradores que têm uma resistência elevada à flexão, um bom modulo de elasticidade, uma boa resistência ao desgaste e uma dureza maior do que outros materiais (Randolph et al., 2016).

Recentemente, os *nanoclusters*, que são agregados de nanopartículas, foram desenvolvidos como uma alternativa aos compósitos nano e micro-híbridos compactos (Rodríguez et al., 2019).

Segundo as aplicações clínicas, para facilitar a adaptação dos compósitos a espaços reduzidos e cavidades de difícil acesso, foram desenvolvidos os compósitos fluídos: os compósitos *flowable*. A aplicação deste tipo de resina é feita com uma seringa de ponta muito fina (Ferracane, 2011). São compósitos convencionais com teor de carga reduzido em volume, o que altera a sua viscosidade e influencia o seu comportamento clínico (Baroudi & Rodrigues, 2015).

Os compósitos *packable* são materiais que possuem uma elevada viscosidade (Raskin & Lehmann, 2009). A sua textura mais espessa resulta de uma modificação na distribuição dos tamanhos das cargas ou da adição de partículas específicas. Foram concebidos para oferecer grande resistência a instrumentos e garantir a formação de contatos interproximais firmes (Ferracane, 2011).

Devido à elevada taxa de falhas observada durante a sua utilização clínica, este tipo de compósito foi gradualmente abandonado (Chaput & Faure, 2019).

Os compómeros, também designados como compósitos modificados por ácido poliacrílico, foram desenvolvidos no início da década de 1990 com o objetivo de combinar as propriedades dos compósitos fotopolimerizáveis com as dos cimentos de ionómero de vidro (Botsali et al., 2014). Estes materiais são constituídos por partículas de vidro ionomérico incorporadas numa matriz de macromonómeros modificados por ácido, sem água, e contendo um iniciador apropriado (Saba et al., 2017).

As resinas compostas, apesar da sua boa maneabilidade e do resultado estético satisfatório, apresentam algumas limitações, como a contração de polimerização e as tensões a elas associadas, que podem provocar microfissuras no interior do material. Com o objetivo de ultrapassar estas limitações, foram desenvolvidos novos materiais compósitos, nomeadamente os compósitos *Bulk-Fill* (BF) e os Ormocer®s (Sirisha et al., 2023).

As resinas BF simplificam as restaurações, permitindo a aplicação de camadas mais espessas numa única etapa, em contraste com a técnica incremental convencional. De facto, o tempo de tratamento é reduzido e o risco de contaminação entre camadas minimizado (Alkurt et al., 2024).

Existem, dois tipos de resinas compostas BF: as fluidas (*flowable*) e as de consistência pastosa (*paste-based*) (Floriani et al., 2024).

Relativamente aos compósitos Ormocer®s, é um acrónimo que designa as “cerâmicas organicamente modificadas”. A sua síntese baseia-se em reações de hidrólise e policondensação, segundo o processo sol-gel, conduzindo à formação de uma molécula com um esqueleto inorgânico de sílica de cadeia longa, associado a cadeias laterais orgânicas. Os compósitos formulados a partir de Ormocer® distinguem-se por apresentarem um grau de conversão mais elevado e uma contração de polimerização reduzida. Para além destas características, destaca-se ainda a sua elevada biocompatibilidade, atribuída à maior densidade de ligações químicas entre os grupos metacrilatos, o que contribui para uma menor quantidade de monómeros residuais não polimerizados no material final (Ebaya et al., 2022).

Também no âmbito de reduzir a contração de polimerização, foram desenvolvidas resinas contendo monómeros com grupos funcionais epoxídicos que têm uma baixa contração de polimerização: os siloranos (Ferracane, 2024).

O nome “silorano” resulta da combinação dos seus constituintes químicos: os siloxanos e os oxiranos (Weinmann et al., 2004).

A polimerização dos siloranos ocorre por meio de uma reação catiónica de abertura de anel, em contraste com a tradicional polimerização radical dos metacrilatos. Os siloranos demonstram boas propriedades físicas e apresentam uma contração significativamente inferior à dos compósitos convencionais à base de dimetacrilato (Ferracane, 2024).

A percepção da cor apresenta uma componente subjetiva, o que pode dificultar a seleção precisa da tonalidade de uma resina composta (Leal et al., 2024).

Para responder às crescentes exigências, foram desenvolvidos novos compostos restauradores com capacidade de ajuste de cor. Esta característica, frequentemente designada como “efeito camaleão”, levou ao aparecimento de resinas *monoshade* dotadas de uma tecnologia de ajuste de cor possibilitado pela capacidade do material em captar e refletir a luz proveniente das estruturas dentárias adjacentes, promovendo uma integração visual mais natural (Leal et al., 2024).

As classificações atuais não são suficientes para descrever adequadamente esta propriedade, pelo que foi proposta uma atualização da classificação dos compósitos de resina por Korkut et al. (2023), dividindo-os em três categorias: «polyshade», «simplyshade» e «monoshade universal». Os compósitos «polyshade» estão disponíveis em várias tonalidades (geralmente mais de cinco), incluindo tonalidades de esmalte, dentina e/ou *body shades*. Os kits «simplyshade» apresentam um número reduzido de tonalidades (cerca de três a cinco), sendo cada uma capaz de reproduzir várias cores da guia de cores Vita. Já os compósitos «monoshade universal», oferecidos numa única tonalidade, não contêm pigmentos coloridos, mas baseiam-se em estruturas óticas específicas que lhes permitem adaptar-se a todas as tonalidades dentárias (Korkut et al., 2023).

Outros avanços na composição das resinas compostas conduziram, recentemente, à introdução dos compósitos auto-adesivos, que, devido à presença de monómeros ácidos na sua formulação, estabelecem ligação com os tecidos dentários sem necessidade de um sistema adesivo (Valizadeh et al., 2020).

As lesões de cáries secundárias constituem um dos principais fatores de falha das restaurações em resina composta, contribuindo significativamente para a redução da sua longevidade clínica. O desafio atual em medicina dentária é o desenvolvimento de resinas bioativas capazes de prevenir o aparecimento de lesões cariosas recorrentes. Tal objetivo exige a identificação de agentes antimicrobianos eficazes e seguros, que não comprometam as propriedades mecânicas, nem estéticas, do material (Melo et al., 2023).

3. A cor em medicina dentária

a. Os fundamentos da cor: matiz, valor e croma

A percepção visual da cor está diretamente relacionada com a luz. Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície, ele pode ser refletido, transmitido ou absorvido, dependendo da natureza do material: os materiais transparentes permitem a passagem da luz sem alterações significativas dela, os materiais translúcidos dispersam a luz, transmitindo-a parcialmente e absorvendo uma parte da radiação incidente e os materiais opacos impedem a transmissão da luz, que é essencialmente refletida ou absorvida. Além disso, a cor percebida é influenciada pela fonte de luz. A luz branca natural, com espectro que se estende aproximadamente de 380 a 770 nm, contém um conjunto de comprimentos de onda que desencadeiam diferentes sensações cromáticas. Os corantes presentes num material modificam a luz incidente ao absorver seletivamente determinados comprimentos de onda e refletir outros, gerando assim uma percepção de cor na retina humana (Sikri, 2010).

Munsell descreve a cor com base em três parâmetros: matiz, valor e croma (Figura 8). O matiz corresponde à faixa dominante de comprimentos de onda no espectro visível que dá origem à cor percebida. Permite distinguir as diferentes famílias de cores (verde, azul, amarelo, etc) (Schemling, 2016).

O valor (ou luminosidade) refere-se à quantidade de luz refletida por um objeto, representando o seu grau de claridade. Quanto maior o valor, mais claro o objeto aparenta ser; por outro lado, um valor baixo dá ao objeto uma aparência mais escura (Schemling, 2016).

O croma (ou saturação) é definido como a intensidade ou pureza da cor. Quanto maior o croma, mais vívida é a cor. No entanto, como o croma e o valor são inversamente proporcionais, um aumento no croma resulta numa diminuição do valor ou seja, uma cor mais intensa será menos clara. Na guia Vita Classic, o croma está representado por valores numéricos, sendo que um número mais elevado indica um croma mais alto (Sikri, 2010).

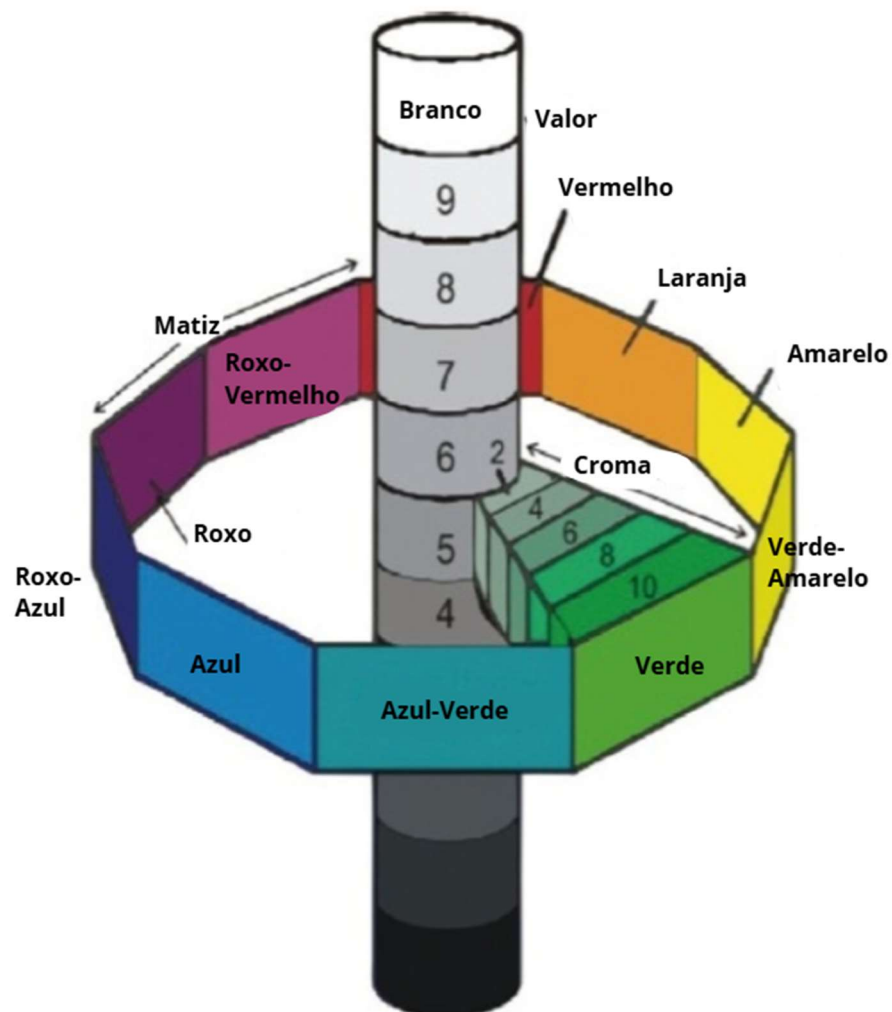


Figura 8: Sistema de color de Munsell (adaptado de Sikri, 2010).

b. As propriedades ópticas secundárias: translucidez, fluorescência, opalescência e metamerismo

Após compreender os parâmetros fundamentais da cor segundo o sistema de Munsell é essencial considerar propriedades ópticas adicionais que influenciam significativamente a estética dentária:

A translucidez é uma propriedade óptica essencial para reproduzir o aspeto natural dos dentes. Situada entre a transparência e a opacidade, permite que a luz atravesse um material, sendo ao mesmo tempo parcialmente difundida. Nos dentes naturais, esta translucidez varia consoante fatores como o ângulo de incidência da luz, a textura da superfície, o brilho, o comprimento de onda e o nível de desidratação (Sikri, 2010).

Nas resinas compostas, a translucidez depende principalmente da diferença de índice de refração entre a matriz orgânica e as partículas de carga inorgânicas. Quanto maior for essa diferença, maior será a difusão da luz na interface entre os dois componentes, resultando numa opacidade aumentada do material (Chang et al., 2025).

A fluorescência é um fenómeno óptico através do qual um material absorve luz, especialmente no espectro ultravioleta próximo, e a reemite espontaneamente com um comprimento de onda mais longo (Sikri, 2010).

A estrutura dentária natural, quando exposta à luz ultravioleta, emite um brilho visível que contribui para o seu aspeto naturalmente luminoso. Este efeito confere aos dentes uma aparência clara e ligeiramente azulada. A reprodução do fenómeno de fluorescência nos materiais restauradores influencia diretamente a luminosidade percebida da restauração final (Hirata et al., 2023).

A opalescência é um fenómeno óptico no qual um material apresenta uma cor diferente consoante a luz seja refletida ou transmitida através dele. Os cristais de hidroxiapatite, presentes no esmalte do dente, dispersam preferencialmente a luz azul, conferindo aos dentes um aspeto azulado quando iluminados por reflexão e alaranjado quando observados por transmissão (Sikri, 2010).

A opalescência dos compósitos de resina resulta geralmente da diferença entre os índices de refração da matriz orgânica e das partículas de carga inorgânicas que os compõem (Chang et al., 2025).

O metamerismo é um fenômeno óptico em que duas cores podem parecer idênticas sob uma determinada fonte de luz, embora apresentem refletâncias espectrais diferentes. Na escolha de uma tonalidade para restaurações, este fenômeno pode ser evitado ao verificar a cor sob diferentes tipos de iluminação (Sikri, 2010).

c. Avaliação da cor, sistema CIELAB e ΔE

Em dentisteria, a cor pode ser avaliada por métodos visuais ou por dispositivos instrumentais. Embora o método visual seja o mais comum no contexto clínico, a sua precisão é limitada, dado que depende de fatores subjetivos como a acuidade visual do observador, a fadiga ocular, a iluminação ambiente e a experiência profissional (Sikri, 2010).

Ao contrário, as técnicas instrumentais, como os espectrofotômetros e os colorímetros, permitem quantificar de forma objetiva as alterações de cor em materiais restauradores (Erdemir et al., 2012).

Os espectrofotômetros, em particular, funcionam medindo a luz refletida por uma superfície dentária ao longo do espectro visível, em intervalos entre 1 e 25 nm.

São compostos por uma fonte de luz, um sistema de dispersão da luz, um conjunto ótico para recolha da luz refletida, um detetor e um módulo eletrónico que converte os sinais óticos em dados numéricos (Chu et al., 2010).

Na medicina dentária, o espectrofotómetro mede a intensidade da luz refletida pela superfície de um dente ou de um disco de resina composta (Alvarado-Lorenzo et al., 2024).

Os resultados obtidos requerem um tratamento digital apropriado. Para facilitar a interpretação clínica, os valores são frequentemente associados a guias de cor dentária convencionais como VITA Classical (Figura 9) (Chu et al., 2010).



Figura 9: Escala de cor VITA Classical.

A Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) desenvolveu o sistema CIELAB, concebido para converter as medições espectrofotométricas em valores numéricos. Esta conversão baseia-se em três elementos: o espectro luminoso da fonte de iluminação (iluminante), o espectro refletido ou transmitido pelo material analisado, e as características espectrais do observador humano (Johnston, 2009).

Este sistema inclui três coordenadas: L^* , a^* e b^* . A coordenada L^* expressa a luminosidade, numa escala de 0 (preto absoluto) a 100 (branco absoluto). A coordenada a^* situa a cor no eixo vermelho-verde: valores positivos indicam predominância de vermelho, enquanto valores negativos indicam predominância de verde. A coordenada b^* representa o eixo amarelo-azul, com valores positivos associados ao amarelo e negativos ao azul (Sikri, 2010).

As diferenças de cor entre duas medições são calculadas segundo a seguinte fórmula, que considera as variações de cada parâmetro:

$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$, onde ΔL^* , Δa^* e Δb^* representam, respetivamente, as variações de L^* , a^* e b^* entre duas amostras comparadas (Johnston, 2009).

A variação da tonalidade ΔE pode ser interpretada pelo olho humano como uma alteração na luminosidade ou intensidade (abordagem quantitativa), ou como uma

modificação da tonalidade propriamente dita (abordagem qualitativa) (Pérez et al., 2022).

Na avaliação das diferenças de cor, distinguem-se habitualmente dois limiares: o limiar de perceptibilidade (PT), que determina o valor a partir do qual uma diferença é detetável pelo olho humano, e o limiar de aceitabilidade (AT), que corresponde ao valor acima do qual a diferença de cor é considerada clinicamente inaceitável (Paravina et al., 2015).

O National Bureau of Standards (NBS) classifica os valores de ΔE da seguinte forma: $0,0 - 0,5$ = alteração extremamente ligeira; $0,5 - 1,5$ = alteração ligeira; $1,5 - 3,0$ = alteração perceptível; $3,0 - 6,0$ = alteração marcada; $6,0 - 12,0$ = alteração muito marcada; $12,0$ = mudança para uma cor diferente (Domingos et al., 2011).

Contudo, não existe um consenso claro entre os diferentes valores encontrados na literatura (Schürmann & Olms, 2018).

A revisão sistemática de Slaboseviciute et al. (2021) indica que, de catorze estudos analisados, onze relataram que a diferença de cor perceptível pelo olho humano variava entre $\Delta E = 1,2$ e $\Delta E = 3,7$ (Slaboseviciute et al., 2021).

No seu artigo, Usta an Keskin (2024) refere que um ΔE superior a 3,3 é considerado uma descoloração clinicamente detetável (Usta & Keskin, 2024).

Por fim, Paravina et al. (2015) definem os seguintes valores: PT: $\Delta E = 1,2$ e AT: $\Delta E = 2,7$ (Paravina et al., 2015).

II. Os factores extrínsecos que influenciam a estabilidade de cor das resinas

1. Os alimentos e bebidas

Os hábitos alimentares, nomeadamente o consumo regular de bebidas e alimentos com elevado potencial pigmentante, são considerados fatores extrínsecos importantes que afetam a estabilidade da cor das restaurações em resina composta (Uctasli et al., 2023).

Diversos estudos demonstraram o impacto de determinadas bebidas na estabilidade cromática dos compósitos (Tabela 1):

O café, contém melanoidinas e cafeína, compostos que conseguem penetrar profundamente na matriz resinosa, provocando descoloração do material restaurador (Alex & Venkatesh, 2024). O café atua por absorção e adsorção, o que torna a remoção da mancha particularmente difícil (Valizadeh et al., 2020).

O vinho tinto, rico em taninos e antocianinas, possui um elevado potencial pigmentante (Meneghel et al., 2023).

Nos estudos de Zhang et al. (2024) e Uctasli et al. (2023), o vinho foi responsável pela maior alteração de cor das resinas compostas, considerada clinicamente inaceitável (Uctasli et al., 2023; Zhang et al., 2024).

Além disso, o etanol presente no vinho pode favorecer a dissolução dos monómeros residuais na matriz polimérica, facilitando a penetração de agentes corantes (Meneghel et al., 2023).

O chá preto, embora menos agressivo a curto prazo do que o café, atua principalmente por adsorção de corantes polares na superfície do material. Contudo, a longo prazo, pode também causar descolorações significativas (Valizadeh et al., 2020).

No estudo de avaliação da estabilidade de cor realizada por Bedir e Karadas (2024), o chá preto revelou-se a bebida com maior potencial de descoloração para todos os materiais testados : Filtek™ Z250 (microhíbrido), Clearfil™ Majesty™ Esthetic (nanohíbrido) e Estelite® Bulk Fill Flow (compósito Flow, BF) (Bedir & Karadas, 2024).

A Coca-Cola, devido ao seu pH ácido, contribui para uma alteração rápida da superfície das resinas compostas, aumentando a sua capacidade de retenção de pigmentos. De acordo com o estudo de Hajdu et al. (2024), ao quarto dia, a Coca-Cola foi a bebida que causou a maior alteração de cor em todos os compósitos. No entanto, o seu efeito pigmentante foi inferior ao do café e do vinho tinto ao décimo dia, momento em que o vinho tinto causou a maior descoloração do Herculite™ Ultra XRV (nanohíbrido universal) e o café a maior descoloração do G-ænial™ A'chord

(nanohíbrido universal) e do Omnicroma® (nanoparticulado universal) (Hajdu et al., 2024).

Além das bebidas, alimentos ricos em fitopigmentos, como os pós de curcuma, beterraba e tomate, utilizados no estudo de Geethanjali et al. (2024), demonstraram um elevado potencial de descoloração sobre resinas nanohíbridas (Geethanjali et al., 2024).

O caril, particularmente rico em curcumina, é outro alimento com forte capacidade de coloração. No estudo de Huang et al. (2022), o caril causou uma descoloração clinicamente inaceitável em todos os compósitos testados após apenas um dia de imersão (Huang et al., 2022).

Alimentos ácidos, como molho de tomate ou condimentos asiáticos, também podem influenciar a estabilidade da cor dos compósitos. As alterações de cor provocadas pelo molho de tomate no estudo de Meneghel et al. (2023) foram consideradas clinicamente inaceitáveis (Meneghel et al., 2023).

Os resultados destes estudos confirmam a importância do médico dentista informar o seu paciente sobre a influência da sua alimentação na coloração das suas restaurações (Fathima et al., 2024).

Tabela 1: Resumo dos estudos sobre a coloração por alimentos e bebidas

<i>Autor, ano, tipo</i>	<i>Objectivo</i>	<i>Amostras</i>	<i>Imersão</i>	<i>Resultados e Conclusão</i>
<i>Zhang et al., 2024</i> <i>IN VITRO</i>	Avaliar a diferença de cor em blocos CAD/CAM de resina composta após exposição a soluções pigmentantes	Brilliant Crios®, Lava™ Ultimate, Hyramic®, Shofu HC	Saliva artificial, cola, chá preto, café, vinho tinto; 37 °C, 3, 7 e 14 dias; Escovagem - 24 h	ΔE_{00} inaceitável(> 1.8) para Lava™ Ultimate e Hyramic® no vinho tinto; Há que considerar os hábitos alimentares do paciente na escolha do material
<i>Uctasli et al., 2023</i> <i>IN VITRO</i>	Avaliar a estabilidade de cor de seis compósitos restauradores comerciais após exposição a bebidas comuns e o impacto do repolimento	Filtek™ Universal Restorative, SDR® Flow+, everX Flow™, G-ænial A'CHORD, G-ænial Universal Flo, G-ænial Universal Injectable	Água destilada, café, vinho tinto, bebida energética, refrigerante	Café e vinho causaram maior ΔE ; O repolimento foi eficaz para eliminar a coloração
<i>Meneghel et al., 2023</i> <i>IN VITRO</i>	Investigar a influência de soluções pigmentantes em compósitos de baixa contração e convencionais	Filtek Z350 XT®, Point 4®, N'Durance®, Venus® Diamond	Vinho tinto, molho de tomate, café; ciclos diários de 15 min, durante 28 dias	As soluções pigmentantes aumentaram a descoloração nos compósitos analisados; Café causou maior alteração em Point 4® e N'Durance®
<i>Valizadeh et al., 2020</i> <i>IN VITRO</i>	Avaliar o efeito de diferentes soluções pigmentantes na estabilidade de cor de resinas compostas	Vertise™ Flow, Filtek™ Z250, Premise Flow	Café, chá, refrigerante e saliva artificial	A estabilidade de cor é influenciada por hábitos alimentares; Todas as resinas sofreram descoloração : maior ΔE em Vertise™ Flow no chá e a menor em Filtek™ Z250 em saliva artificial
<i>Bedir & Karadas, 2024</i> <i>IN VITRO</i>	Investigar as alterações de cor de resinas compostas imersas em diferentes bebidas após exposição ao álcool	Filtek™ Z250, Clearfil™, Majesty™ Esthetic, Estelite® Bulk Fill Flow	Com ou sem exposição ao álcool; água, chá preto, café; 24 h, 1 semana e 3 semanas	O álcool influencia a descoloração dependendo do compósito : aumentou descoloração em Filtek™ Z250 e Estelite® Bulk Fill Flow no chá preto; Chá causou maior alteração em todos os materiais
<i>Hajdu et al., 2024</i> <i>IN VITRO</i>	Avaliar a sensibilidade à pigmentação e alterações superficiais em resinas compostas recentes	Herculite Ultra XRV®, G-ænial A'CHORD, Omnichroma®	Café, vinho tinto e Coca-Cola; 10 dias	Bebidas têm efeitos na estabilidade de cor; ΔE maior na Coca-Cola para Herculite Ultra XRV®, no vinho para G-ænial A'CHORD e no café para Omnichroma®
<i>Geethanjali et al., 2024</i> <i>IN VITRO</i>	Comparar a descoloração de compósito nanohíbrido por quatro fitopigmentos diferentes	Filtek Z350 XT®	Pó de tomate, beterraba, jambo e cúrcuma; 3h diárias; 7 e 28 dias	Fitopigmentos têm potencial de descolorir compósitos nanohíbridos; Todos os grupos apresentaram alteração de cor; Beterraba causou maior ΔE
<i>Huang et al., 2022</i> <i>IN VITRO</i>	Avaliar a estabilidade de cor, sorção e solubilidade em água de resinas compostas comerciais	Beautifil II®, Beautifil Flow Plus®, Ceram-X® One Universal, Charisma® Diamond, Denfil®, DX.Universal®, Filtek Z250™, Filtek Z350 XT®, Magnafill Putty®, Tetric N-Ceram®	Caril, café, vinho e água destilada; 28 dias	Menor descoloração: Ceram-X® One Universal; maior: DX.Universal® e Filtek Z350 XT®; Correlação positiva entre ΔE , sorção e solubilidade.

2. Os cigarros convencionais e novos produtos

A exposição ao fumo do cigarro é amplamente reconhecida como um dos fatores extrínsecos mais significativos na alteração da cor das resinas compostas. Vários estudos mostram que o cigarro convencional induz uma coloração intensa, escura e clinicamente inaceitável das resinas, afetando tanto os dentes naturais como os materiais restauradores (Karanjkar et al., 2022).

A descoloração observada é atribuída principalmente à presença de alcatrão, uma fração particulada sem nicotina presente no fumo do tabaco, composta por resíduos negros viscosos. Esses componentes aderem fortemente à superfície dos materiais restauradores, penetrando na matriz da resina e causando uma coloração amarelada que pode variar até ao castanho-escuro (Makkeyah et al., 2024; Paolone et al., 2023c).

Além disso, compostos como açúcares e aditivos (ex. cacau) também contribuem para a formação de depósitos pigmentares na superfície da resina (Zayed et al., 2024).

A descoloração induzida pelo fumo de cigarros pode afetar também a translucidez dos materiais, tornando-os visualmente mais opacos (Alnasser et al., 2021).

Os cigarros eletrônicos também provocam alterações de cor, ainda que de menor intensidade. Estudos indicam que a descoloração causada por cigarros eletrônicos se mantém geralmente abaixo dos limiares clínicos de aceitabilidade e pode ser reversível com intervenções clínicas leves (Karanjkar et al., 2022).

Fatores como a cor e o aroma do líquido utilizados nos cigarros eletrônicos, bem como a concentração de nicotina, influenciam o grau de descoloração. Por exemplo, líquidos aromatizados com tabaco aumentam a tonalidade amarelada, enquanto os de mentol promovem um ligeiro aumento do azul (Erdogan et al., 2025; Ibrahim et al., 2025).

Por outro lado, os produtos de tabaco aquecido demonstraram causar descoloração, mas com intensidade muito inferior à dos cigarros convencionais e ligeiramente superior à dos cigarros eletrônicos (Karanjkar et al., 2022).

A susceptibilidade à descoloração varia significativamente entre os tipos de resina composta. Estudos indicam que os compositos nanohíbridos e nanocompósitos são mais afetados do que os híbridos ou microhíbridos, devido a uma maior proporção de matriz resinosa, mais permeável à penetração de pigmento (Karanjkar et al., 2022; Theobaldo et al., 2025).

3. Os produtos de higiene oral

A estabilidade da cor das resinas compósitas é influenciada pelos hábitos de higiene oral. A escovagem, embora essencial na prevenção de manchas, pode paradoxalmente favorecer o seu aparecimento. Foi demonstrado que a abrasão causada pela escovagem altera a matriz polimérica das resinas compostas, modificando a sua dureza superficial e aumentando a sua suscetibilidade à descoloração (Elmalawany et al., 2023).

O índice de abrasividade do dentífrico, expresso em *relative dentin abrasivity* (RDA), influencia fortemente este fenómeno: um RDA elevado (90) provoca uma alteração de cor significativamente maior do que um RDA baixo (30), conforme demonstrado num estudo de Paolone et al. (2023) (Paolone et al., 2023b).

Por exemplo, os dentífricos à base de carvão ativado, abrasivos devido à forma e dureza das suas partículas, para além de provocarem um desgaste superficial significativo, contêm pigmentos escuros suscetíveis de serem absorvidos pela resina, resultando num escurecimento visível (Torso et al., 2021).

No que respeita aos colutórios, certas formulações podem também comprometer a estética das restaurações. Embora a maioria dos estudos conclua que a maior parte dos colutórios não provoca alterações de cor clinicamente inaceitáveis, alguns dos seus componentes podem ter impacto nos materiais restauradores (Sampaio et al., 2020).

O álcool presente em algumas formulações degrada a matriz da resina por ação solvente, favorecendo a permeabilidade do material e facilitando a penetração de pigmentos. Este fenómeno é particularmente acentuado em resinas compostas baseadas em dimetacrilatos, que são sensíveis ao etanol (Bansal et al., 2025).

Além disso, os colutórios que contêm clorohexidina são conhecidos por induzir manchas extrínsecas de tonalidade acastanhada, amarelada ou alaranjada. Esta molécula catiónica liga-se às superfícies negativamente carregadas das resinas compostas, promovendo a fixação de cromogéneos alimentares, como os presentes no chá ou no café, especialmente em casos de utilização prolongada (Bansal et al., 2025).

4. A rugosidade da superfície

A rugosidade da superfície desempenha um papel essencial na estabilidade da cor das restaurações em resina composta. Está bem estabelecido que superfícies rugosas favorecem a adesão de agentes corantes, o que leva a uma descoloração extrínseca ao longo do tempo (Islam et al., 2023).

Este fenómeno explica-se, nomeadamente, pela dispersão aleatória da luz em superfícies irregulares, o que provoca perda de brilho e alteração da perceção cromática (Erturk-Avunduk et al., 2024).

Por outro lado, uma superfície bem polida reflete a luz de forma mais uniforme e foi demonstrado que as superfícies rugosas promovem a adesão de agentes de coloração, aumentando assim a descoloração da superfície (Islam et al., 2023).

Por exemplo, no estudo de Karaaslan et al. (2025), o compósito GrandioSO® apresentou valores de rugosidade mais baixos e uma variação cromática mais moderada, o que ilustra a importância de uma superfície lisa para limitar a descoloração (Karaaslan et al., 2025).

Contudo, esta relação não é sempre linear. Dervisevic et al. (2025) observaram que o compósito N'Durance®, embora apresentasse uma rugosidade inferior à do Gradia® Direct, revelou uma variação cromática mais elevada, sugerindo que as superfícies mais polidas nem sempre são as menos suscetíveis à pigmentação (Dervisevic et al., 2025).

Do ponto de vista biológico, também foi demonstrado que valores de rugosidade superiores a 0,2 µm favorecem a acumulação de placa bacteriana, que por sua vez está igualmente associada à descoloração das resinas compostas (Bataweel et al., 2025).

III. Os factores intrínsecos que influenciam a estabilidade de cor das resinas

1. Os monómeros da matriz

A natureza química dos monómeros que compõem a matriz orgânica influencia diretamente a estabilidade da cor das resinas compostas. Os monómeros hidrofílicos, devido à sua forte afinidade com a água, tendem a absorver uma quantidade significativa de humidade, o que pode facilitar a incorporação de agentes corantes na rede polimérica (Yazkan & Recen, 2020).

A água absorvida pode ainda comprometer a ligação entre a matriz orgânica e as partículas de carga, originando microfissuras que favorecem a penetração de pigmentos externos na estrutura da resina (Huang et al., 2022).

Entre os monómeros mais utilizados destaca-se o bis-GMA, cuja estrutura contém grupos hidroxilo, responsáveis pela sua elevada capacidade de absorção de água (Nezir & Özcan, 2024).

O TEGDMA, frequentemente incorporado para reduzir a viscosidade do bis-GMA, é considerado o monómero mais hidrofílico. Mesmo em baixas concentrações, aumenta significativamente a absorção de água e de pigmentos, afetando negativamente a estabilidade cromática do material (Sensi et al., 2021).

Por contraste, monómeros como o UDMA apresentam uma menor absorção de água, reduzindo o risco de descoloração (Yazkan & Recen, 2020).

O bis-EMA, um dimetacrilato etoxilado derivado do bis-GMA, não possui grupos hidroxilo nem ligações ureia, sendo mais hidrofóbico. Este monómero tende a incorporar menos pigmentos do que o UDMA ou o bis-GMA (Backes et al., 2020; Osiceanu et al., 2025).

Outro exemplo é o 2,2-Bis[4-(methacryloxyethoxy)phenyl]propano (bis-MPEPP), cuja estrutura sem grupos hidroxilo e baixa viscosidade contribui para uma menor tendência à descoloração (Huang et al., 2022).

Na sua investigação *in vitro*, Huang et al. (2022) compararam a estabilidade de cor, a sorção e a solubilidade em água de onze resinas compostas atualmente

comercializadas, e constataram que os materiais com matriz baseada em monómeros hidrofóbicos, como o bis-MPEPP e o UDMA no Magnafill Putty®, ou o bis-EMA e o esqueleto de polissiloxano no Ceram·X® One Universal, apresentaram não só uma menor absorção de água, como também uma maior resistência à descoloração. Pelo contrário, os compósitos com elevada proporção de monómeros hidrofílicos, como o Filtek Z350 XT®, demonstraram uma maior sensibilidade à alteração de cor (Huang et al., 2022).

No estudo de Arnez et al. (2023), que comparou a estabilidade de cor de diferentes resinas BF submetidas a condições simuladas de refluxo gastroesofágico e bulimia, concluiu-se que, entre os compósitos analisados, a Tetric EvoCeram® foi a mais suscetível à descoloração. Este resultado foi atribuído à presença, na sua matriz, de monómeros hidrofílicos como o bis-GMA e o TEGDMA (Arnez et al., 2023).

No estudo *in vitro* de Osiceanu et al. (2025), que investigou a influência da imersão em água em resinas compostas diretas em comparação com resinas compostas processadas por subtração (CAD/CAM), concluiu-se que as resinas diretas contendo monómeros como bis-GMA e TEGDMA apresentaram menor estabilidade cromática e maior absorção de água. Do ponto de vista clínico, os autores consideraram mais vantajosa a utilização de materiais CAD/CAM, por proporcionarem maior durabilidade e precisão nas restaurações (Osiceanu et al., 2025).

É comum que, na superfície da resina composta, permaneçam monómeros não polimerizados. Estes monómeros favorecem a adesão de pigmentos, pelo que o médico dentista deve recomendar aos pacientes que evitem bebidas cromogénicas nos dias seguintes à colocação de uma restauração em resina composta (Islam et al., 2023).

Os monómeros dos compósitos auto-adesivos contêm grupos hidroxilo, carboxilo e fosfato, o que os torna mais hidrofílicos do que outros compósitos e, conseqüentemente, com maior absorção de água e, potencialmente, uma maior variação de cor (Valizadeh et al., 2020).

No entanto, o estudo de David et al. (2022) concluiu que, embora o compósito convencional tenha apresentado a melhor estabilidade de cor, situando-se abaixo do

limite de aceitabilidade, os compósitos auto-adesivos demonstraram igualmente uma estabilidade de cor considerada clinicamente aceitável (David et al., 2022).

2. O grau de conversão/polimerização

O grau de conversão (GC), também designado grau de polimerização, influencia diretamente a estabilidade de cor das resinas compostas (Ersöz & Ari, 2025).

Este parâmetro representa a proporção de monómeros que são transformados em polímeros durante a reação de polimerização da resina (Alkurt et al., 2024).

Um elevado GC resulta numa menor quantidade de monómeros residuais livres, o que reduz a solubilidade do material e aumenta, consequentemente, a sua resistência à descoloração. Por outro lado, a presença de monómeros não convertidos, retidos na estrutura polimérica, torna a resina composta mais suscetível à pigmentação por agentes externos e presentes no meio oral (Sensi et al., 2021).

O GC é determinado por múltiplos fatores. O tipo de monómeros utilizados, bem como a sua proporção relativa na matriz, influenciam significativamente o grau de conversão. De forma geral, o bis-GMA apresenta o grau de conversão mais baixo, seguido do bis-EMA e, posteriormente, do UDMA, sendo que o TEGDMA atinge os valores de conversão mais elevados (Yazkan & Recen, 2020).

O teor e o tipo de carga inorgânica influenciam o grau de conversão (GC); uma elevada concentração de cargas pode resultar numa diminuição do GC (Kosewski et al., 2022).

Um exemplo relevante encontra-se no estudo *in-vitro* de Sensi et al. (2021), onde uma das resinas compostas apresentou uma alteração de cor significativa associada a um grau de conversão inferior, quando comparado com outras avaliadas (Sensi et al., 2021).

O sistema foto-iniciador, elemento essencial na iniciação da polimerização, tem um impacto direto sobre o GC (Kim et al., 2022).

A CQ quando permanece parcialmente livre, pode alterar a cor final do material. Além disso, as aminas terciárias associadas à CQ podem originar subprodutos com

tonalidade amarelada ou acastanhada quando expostas à luz ou ao calor (Ahmed et al., 2025).

No entanto, devido a esta coloração amarela, que pode comprometer a estética final do material, surgiram alternativas de tonalidade mais clara, capazes de desaparecer completamente após a fotopolimerização. Entre estas opções encontram-se compostos como o fenilpropanodiona (PPD), o óxido de acilfosfina (APO), o Lucirin e o Ivocerin (Araújo et al., 2021).

Estes sistemas, ao limitarem a formação de subprodutos coloridos, demonstraram promover um maior grau de conversão, reduzindo a quantidade de monómeros residuais e, conseqüentemente, a tendência para a descoloração progressiva. Iniciadores mais recentes, como compostos à base de germânio, também se mostram promissores em termos estéticos (Kowalska et al., 2021).

O GC é igualmente condicionado pelas condições clínicas de fotopolimerização como a intensidade e a duração da luz, o tipo de fonte, a distância e o ângulo da luz em relação à superfície do material (Pisano et al., 2024).

Contudo, os dados da literatura sobre o impacto dessas variáveis ainda são divergentes. Pisano et al. (2024) não observaram diferenças estatisticamente significativas na estabilidade de cor entre diferentes estratégias de fotopolimerização (Pisano et al., 2024).

Em contraste, Unsal & Karaman (2021) demonstraram que a fotopolimerização adicional após o polimento resultou numa redução significativa da alteração cromática em compósitos microhíbridos, nanohíbridos, nanoparticulados e BF, independentemente da fonte de luz utilizada. Estes resultados sugerem que uma ativação suplementar pode contribuir (Unsal & Karaman, 2021).

3. As partículas de carga

As características das partículas de carga desempenham um papel determinante na estabilidade cromática dos compostos de resina. É geralmente aceite que os compósitos que contêm partículas nanométricas oferecem um acabamento de superfície

superior e um brilho acrescido, o que contribui para limitar a adesão de pigmentos (Meneghel et al., 2023).

No entanto, não existe um consenso claro, e esta hipótese é desmentida por vários estudos recentes. Huang et al. (2022) observaram que os compósitos microhíbridos apresentavam melhor estabilidade de cor do que os compósitos nanohíbridos (Huang et al., 2022).

De forma semelhante, outro estudo revelou que compósitos microhíbridos, como o GrandioSO, absorviam menos corantes do que certos nanohíbridos, sugerindo que as partículas de carga mais pequenas podem ser mais facilmente removidas durante o polimento, deixando microcavidades na superfície propícias à retenção de pigmentos (Karaaslan et al., 2025).

A percentagem de carga representa outro fator chave. Um teor elevado de carga reduz a proporção da matriz orgânica, limitando assim as interações com substâncias alimentares e terapêuticas. Esta redução da matriz está associada a uma diminuição da absorção de água melhorando a resistência à penetração de pigmentos. No entanto, um excesso de carga pode levar a um aumento da rugosidade superficial, o que facilita, pelo contrário, a adsorção de agentes corantes (Islam et al., 2023).

A distribuição e a integração das cargas também desempenham um papel essencial: compósitos como o GC Kalore™, com dispersão não uniforme de cargas pré-polimerizadas, apresentam espaços interfaciais não ligados à matriz, favorecendo a sorção de água e a descoloração (Sensi et al., 2021).

Foi também observado que os nanoaglomerados apresentam microporos que facilitam a absorção de líquidos e a retenção de pigmentos (Colak & Katirci, 2023).

Dado que o silano possui uma elevada capacidade de sorção de água, a qualidade da silanização das partículas inorgânicas pode influenciar a estabilidade cromática (Uctasli et al., 2023). Por exemplo, o Filtek™ Supreme é mais suscetível à coloração superficial devido a nanoaglomerados mal silanizados, enquanto o Tetric EvoCeram®, contendo fragmentos pré-polimerizados não silanizados, é mais afetado por uma penetração de pigmentos em profundidade (Cinelli et al., 2022).

Por fim, a incorporação de nanopartículas inorgânicas específicas (ZrO_2 , TiO_2 , SiO_2) demonstrou ter um efeito positivo. A adição de 3% em peso destas cargas nos compósitos melhora a sua estabilidade cromática, provavelmente graças a uma redução da porosidade, o que limita a absorção de água e de pigmentos (Al-Dulaijan et al., 2023).

4. Os pigmentos da matriz

A tonalidade do compósito de resina é um fator que influencia a estabilidade de cor dos materiais compostos. Os compósitos universais, desprovidos de pigmentos, são mais vulneráveis às variações de cor do que os materiais que contêm pigmentos (Uctasli et al., 2023).

No entanto, esta relação entre pigmentação e estabilidade não é sempre linear: por exemplo, no estudo de Fidan and Yağcı (2024), o Charisma Diamond® ONE Shade, embora contenha pigmentos, demonstrou uma maior sensibilidade à descoloração do que os compósitos Omnicroma® e ZenChroma®, que apresentam uma tonalidade única sem pigmentos convencionais (Fidan & Yağcı, 2024).

IV. Métodos de prevenção e estratégias de conservação da cor

1. Polimento inicial e repolimento

O polimento e o repolimento desempenham um papel essencial na prevenção e na correção da descoloração das restaurações em resina composta. Desde a fase inicial, um polimento adequado permite suavizar a superfície restaurada, eliminando irregularidades e microrriscos suscetíveis de favorecer a retenção de pigmentos extrínsecos (Aktu & Ulusoy, 2024). Foi demonstrado que *in-vitro*, o polimento com discos abrasivos ou a aplicação de um gel de glicerina antes da polimerização final pode melhorar a estabilidade cromática das resinas compostas (Islam et al., 2022).

Quando a descoloração já se encontra instalada, sobretudo a nível superficial, o repolimento constitui uma estratégia eficaz para eliminar ou atenuar as manchas adsorvidas (Dervisevic et al., 2025; Paolone et al., 2022)

Contudo, a sua eficácia depende do tipo e da profundidade da coloração: manchas mais profundamente infiltradas na matriz podem persistir apesar da intervenção (Paolone et al., 2023a).

O repolimento pode, assim, servir como uma alternativa conservadora, evitando a substituição prematura da restauração e prolongando a sua longevidade clínica (Karademir et al., 2024).

Nem todos os sistemas de polimento apresentam, no entanto, a mesma eficácia. O sistema Twist Dia, realizado em duas fases e contendo partículas de diamante, demonstrou ser significativamente eficaz na eliminação de manchas de café no estudo de Vaizoğlu et al. (2023) (Vaizoğlu et al., 2023).

A melhoria das propriedades físicas dos compósitos através de sistemas de polimento em duas etapas revelou-se também significativa com o uso de Twist Dia™ no estudo de Altınışık and Özyurt (2024), bem como com os sistemas Polishettes® e DIATECH ShapeGuard no trabalho de Dennis et al. (2021) (Altınışık & Özyurt, 2024; Dennis et al., 2021).

No entanto, dada a divergência dos resultados entre os estudos, um único sistema de polimento pode não ser ideal para todos os materiais à base de resina, sendo o seu uso dependente do tipo específico de compósito envolvido (Erturk-Avunduk et al., 2024).

2. Proteção com selantes de superfície

A aplicação de selantes de superfície constitui uma estratégia para limitar a descoloração das restaurações em resina composta. Estes produtos, à base de resina fluida e de baixa viscosidade, penetram nas micro-irregularidades da superfície restaurada e formam uma película protetora fina com o objetivo de reduzir a absorção de água e a retenção de pigmentos (Korkut et al., 2022).

No entanto, a sua eficácia é variável consoante o material utilizado. *In vitro*, foi demonstrado que o selante BisCover LV® pode inibir a descoloração, enquanto o PermaSeal® demonstrou, pelo contrário, um efeito agravante (Korkut et al., 2022).

Várias investigações sublinham a ausência de um benefício sistemático. Assim, num estudo comparando seis agentes de revestimento, nenhum deles melhorou significativamente a estabilidade da cor de um compósito nanoparticulado submetido à coloração (Hojo et al., 2025).

Nos compósitos *single-shade*, Fidan and Yağcı (2024) concluíram que provavelmente devido a interações óticas ou químicas específicas deste tipo de resina a aplicação dum selante de superfície pode acentuar a descoloração sugerindo que o uso de selantes de superfície deve ser considerado com discernimento (Fidan & Yağcı, 2024).

3. Produtos de branqueamento

Embora os agentes branqueadores possam atenuar a descoloração superficial das resinas compostas, não permitem restaurar completamente a sua tonalidade original. O estudo conduzido por Chen et al. (2024), demonstrou, nomeadamente, que apesar de uma melhoria parcial do aspeto cromático, a cor inicial dos compósitos nunca foi totalmente recuperada após imersão em café e aplicação de produtos de branqueamento (Chen et al., 2024).

Os trabalhos de outros autores indicaram que as pastas dentífricas à base de peróxido de hidrogénio podem reduzir a descoloração das resinas compostas (Gömlöksiz & Okumuş, 2024).

Além disso, a ação oxidante dos agentes branqueadores pode alterar a matriz da resina, aumentar a libertação de monómeros e comprometer as propriedades tanto mecânicas como a biocompatibilidade do material restaurador (Demirel et al., 2022).

Do ponto de vista clínico, é importante sublinhar que os dentes naturais e os compósitos não reagem da mesma forma aos agentes branqueadores, o que pode provocar discrepâncias cromáticas visíveis após o tratamento. Esta diferença de resposta pode acentuar visualmente a distinção entre o tecido dentário e a restauração, por vezes a tal ponto que se torna clinicamente inaceitável, levando os pacientes a solicitar a substituição das suas restaurações (Vidal et al., 2022).

Assim, os profissionais devem informar os pacientes de que o branqueamento dentário pode resultar numa incompatibilidade estética entre os seus dentes naturais e as restaurações existentes (Irusa et al., 2022).

4. A polimerização

Sendo a polimerização adequada essencial para garantir boas propriedades físicas e mecânicas das resinas compostas, o estudo realizado por Unsal e Karaman (2021) avaliou o efeito de uma fotopolimerização adicional, com ou sem a realização prévia de polimento. Concluíram que a aplicação de uma fotopolimerização suplementar leva a uma redução da descoloração, independentemente do tipo de resina composta ou da fonte de luz utilizada (Unsal & Karaman, 2021).

A exposição ao oxigénio atmosférico durante a fotopolimerização da resina composta pode levar a formação duma camada superficial não polimerizada mais sensível a pigmentação e ao desgaste, de facto a aplicação do gel de glicerina pode atuar como barreira, otimizando o GC (Gaviria-Martinez et al., 2022).

5. O pré-aquecimento

Os dados disponíveis sobre o pré-aquecimento das resinas compostas são ainda limitados, mas alguns estudos indicam que esta técnica pode aumentar o grau de conversão e melhorar a polimerização, reduzindo a absorção de água e, consequentemente, contribuindo potencialmente para uma maior resistência à descoloração (Ersöz & Ari, 2025).

No entanto, os resultados permanecem contraditórios e devem ser interpretados com cautela. Num estudo *in vitro*, foi concluído por Raposo et al. (2022), que o pré-aquecimento teve pouco ou nenhum benefício no que respeita ao GC, sorção ou estabilidade cromática das resinas compostas, conclusão que também foi relatada na investigação de Bueno et al. (2024) (Bueno et al., 2024; Raposo et al., 2022).

V. Estabilidade de cor das resinas compostas emergentes

Os compostos à base de Ormocer® têm sido objeto de estudos com resultados contraditórios no que diz respeito à sua estabilidade cromática. Num estudo que avaliou

o efeito da termociclagem, apenas o Ormocer® e um compósito nanohíbrido apresentaram valores de ΔE considerados clinicamente aceitáveis (Yazkan et al., 2021).

No entanto, outras investigações relataram alterações de cor inaceitáveis em compósitos formulados com Ormocer® após processos de envelhecimento (Ebaya et al., 2022).

De forma ainda mais expressiva, um estudo comparativo concluiu que a resina à base de Ormocer® apresentou a maior variação de cor entre todos os materiais testados após imersão em soluções pigmentantes (Sherif et al., 2020).

Relativamente aos compósitos BF, Alkurt et al. (2024) relataram que as soluções coloridas influenciam a sua estabilidade cromática. Alguns estudos, como o de Yazkan e Recen (2020), referem que estes materiais apresentaram a menor resistência à pigmentação entre os materiais testados após imersão em café (Alkurt et al., 2024; Yazkan & Recen, 2020).

Apesar desta suscetibilidade aos agentes pigmentantes, as resinas compostas BF demonstraram um desempenho clínico globalmente comparável ao dos compostos convencionais (Silva et al., 2023).

Em alguns casos, este desempenho revelou-se até superior: num ensaio clínico, a menor alteração de cor foi registada num compósito BF fluido (Moda et al., 2021).

As resinas compostas monocromáticas, concebidas para se adaptarem a uma ampla gama de tonalidades dentárias, demonstraram, num estudo clínico realizado ao longo de quatro anos, uma longevidade satisfatória com alterações de cor globalmente aceitáveis (Korkut & Türkmen, 2020).

Entre estes compósitos, o Omnicroma® apresentou, juntamente com o Venus® Pearl, uma alteração de cor significativamente inferior em comparação com o GC Kalore™ e o Harmonize®, que sofreram uma alteração cromática considerada clinicamente inaceitável (Sensi et al., 2021).

Contudo, um estudo que avaliou cinco compósitos monocromáticos (Omnichroma®, ZenChroma®, Vittra APS Unique®, Charisma® One e Essentia Universal®) e um compósito multi-shade (Filtek® Z550) revelou uma elevada variabilidade consoante as formulações: o grupo Charisma® One apresentou os maiores níveis de descoloração, enquanto o Filtek® Z550 e o ZenChroma® registaram os valores de ΔE mais baixos, evidenciando assim a sensibilidade de certos compósitos monocromáticos à descoloração (Tepe et al., 2025).

Uma revisão sistemática e meta-análise concluiu, além disso, que a correspondência e a estabilidade cromática das restaurações com compósitos *mono-shade* eram comparáveis às dos materiais *multi-shade* ao longo de doze meses, embora a reduzida dimensão da amostra imponha alguma cautela na interpretação destes resultados (Leal et al., 2024).

Entre os compósitos bioativos recentemente desenvolvidos, foi introduzido um material baseado numa carga denominada “alkasite”, composta por fluorsilicato de cálcio (Cention N®), considerado aceitável para restaurações posteriores num período de dois anos (Ferracane, 2024). No entanto, o material alkasite demonstrou uma alteração de cor clinicamente inaceitável após termociclagem, ao contrário do Ormocer® e do compósito nanohíbrido comparados no estudo *in-vitro* de Naz et al. (2020), que mantiveram valores de ΔE dentro dos limites clinicamente aceitáveis. Esta instabilidade cromática poderá estar associada a uma elevada absorção de água (Naz et al., 2020).

CONCLUSÃO

A estabilidade cromática das resinas compostas constitui uma temática complexa e de origem multifatorial. Apesar do número significativo de estudos existentes, a heterogeneidade dos protocolos e a diversidade na composição dos materiais não permitem alcançar uma conclusão única.

Desencadeada pelo desenvolvimento contínuo de novas formulações e tecnologias, as resinas compostas estão em constante evolução, o que exige uma atualização permanente por parte da investigação científica. A realização de estudos *in vivo* com um *follow-up* dos pacientes, em conjunto com a uniformização dos protocolos laboratoriais, poderá contribuir para um aprofundamento do conhecimento e para decisões clínicas mais fundamentadas.

A resina composta ideal deve reunir propriedades estética e funcionais. De ponto de vista estético deve ter a capacidade de mimetizar as propriedades ópticas e a cor dos dentes mantendo uma elevada resistência a descoloração.

No contexto da estabilidade cromática, sua composição química incluiria monómeros hidrofóbicos, uma elevada percentagem de carga inorgânica e fotoiniciadores estáveis, mas também propriedades físico-mecânicas, como um elevado grau de conversão, uma baixa contração de polimerização, uma elevada dureza, uma boa resistência ao desgaste e à abrasão, além de ser de fácil manuseio, polimento e repolimento.

Além disso, deve apresentar biocompatibilidade, propriedades antimicrobianas e ajudar a remineralização dos dentes.

Para além da seleção do material restaurador, o papel do médico dentista é fundamental no acompanhamento do paciente, esclarecendo-o quanto aos diversos fatores que podem influenciar a descoloração das resinas compostas. Entre esses fatores controláveis pelo paciente, destaca-se o consumo de bebidas como o café e o vinho tinto, frequentemente associados a alterações cromáticas significativas nas investigações analisadas. A colaboração do paciente é igualmente determinante, sendo essencial a manutenção de uma higiene oral rigorosa, bem como a realização de consultas periódicas no médico dentista, com o objetivo de monitorizar a integridade das restaurações estéticas ao longo do tempo.

BIBLIOGRAFIA

- Ahmed, H., Yousif, A., Ibrahim, A., & Jameel, D. (2025). The color stability of different composite shades using variable light-curing times. *Al-Rafidain Dental Journal/Mağallaġ Al-rāfidayn Li-ṭibb Al-asnān*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.33899/rdenj.2025.156690.1295>
- Aktu, A., & Ulusoy, N. (2024). Effect of polishing systems on the surface roughness and color stability of aged and stained Bulk-Fill resin composites. *Materials*, 17(14), 3576. <https://doi.org/10.3390/ma17143576>
- Al-Dulaijan, Y. A., AlGhamdi, M. A., Azmy, E., Al-Kholy, M. R. Z., Almulhim, K. S., & Helal, M. A. (2023). Color stability of Nanoparticles-Modified Dental Resin-Based composites. *Applied Sciences*, 13(6), 3870. <https://doi.org/10.3390/app13063870>
- Alex, A., & Venkatesh, V. (2024). Comparative evaluation of surface roughness and color stability between Single-Shade composite and Multi-Shade composite: an in vitro study. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.65396>
- Alkurt, S., Gönder, H. Y., Fidancıoğlu, Y. D., & Göktolga, E. G. (2024). Evaluation of color stability after the coloring process in bulk-fill composites. *International Dental Research*, 14(Suppl. 1), 50–54. <https://doi.org/10.5577/indentres.560>
- Alnasser, H. A., Elhejazi, A. A., Al-Abdulaziz, A. A., Alajlan, S. S., & Habib, S. R. (2021). Effect of conventional and electronic cigarettes smoking on the color stability and translucency of tooth colored restorative materials: an in vitro analysis. *Coatings*, 11(12), 1568. <https://doi.org/10.3390/coatings11121568>
- Al-Shami, A. M., Alshami, M. A., Al-Kholani, A. I., & Al-Sayaghi, A. M. (2023). Color stability of nanohybrid and microhybrid composites after immersion in common coloring beverages at different times: a laboratory study. *BDJ Open*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41405-023-00161-9>

- Alsharif, N. S., Alhareb, N. A., & Abudalazez, N. A. (2024). Components of Dental Resin Composites: A literature review. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*, 427–440. <https://doi.org/10.54361/ajmas.247301>
- Altınışik, H., & Özyurt, E. (2024). Effect of different polishing systems on surface roughness and gloss values of single-shade resin composites. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05163-z>
- Alvarado-Lorenzo, A., Criado-Pérez, L., Cano-Rosás, M., Lozano-García, E., López-Palafox, J., & Alvarado-Lorenzo, M. (2024). Clinical Comparative Study of Shade Measurement Using Two Methods: Dental Guides and Spectrophotometry. *Biomedicines*, 12(4), 825. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12040825>
- Angelis, F., Sarteur, N., Buonvivere, M., Vadini, M., Šteffl, M., & D’Arcangelo, C. (2022). Meta-analytical analysis on components released from resin-based dental materials. *Clinical Oral Investigations*, 26(10), 6015–6041. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04625-4>
- Araújo, J. L. N., De Melo Alencar, C., Barbosa, G. M., Silva, C. M., & Turbino, M. L. (2021). Effect of LEDs with Different Wavelengths on the Microhardness and Nanohardness of Nanohybrid Composite Resins. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 22(2), 122–127. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3032>
- Arnez, M. M., Dotta, T. C., De Pádua Andrade Almeida, L., Castelo, R., Ugarte, D. E., Reis, A. C. D., & Catirse, A. B. C. E. B. (2023). Changes in the properties of bulk-fill resins under conditions of gastroesophageal reflux and bulimia. *Brazilian Journal of Oral Sciences/Brazilian Journal of Oral Sciences*, 22, e230282. <https://doi.org/10.20396/bjos.v22i00.8670282>
- Azeem, R. A., & Sureshababu, N. M. (2018). Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review. *PubMed*, 21(1), 2–9. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_213_16

- Backes, C. N., França, F. M. G., Turssi, C. P., Amaral, F. L. B. D., & Basting, R. T. (2020). Color stability of a bulk-fill composite resin light-cured at different distances. *Brazilian Oral Research*, 34. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2020.vol34.0119>
- Bansal, S., Gupta, S., Gupta, S., Bogra, P., Bansal, R., Grover, V., & Gupta, S. (2025). Comparative Evaluation of color stability and surface roughness of Bulk-Fill and Nanohybrid composites following Long-Term Mouthrinse Exposure: an In vitro study. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.84320>
- Baroudi, K., & Rodrigues, J. C. (2015). Flowable resin Composites: A systematic review and clinical considerations. *Journal of clinical and diagnostic research*. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2015/12294.6129>
- Bataweel, O. O., Roulet, J., Rocha, M. G., Zoidis, P., Pereira, P., & Delgado, A. J. (2025). Effect of simulated tooth brushing on surface roughness, gloss, and color stability of milled and printed permanent restorative materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. <https://doi.org/10.1111/jerd.13450>
- Bedir, F., & Karadas, M. (2024). Evaluation of color stability and translucency of different composite resins exposed to alcohol. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 27(3), 394–400. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_90_23
- Botsali, M. S., Kuşgöz, A., Altıntaş, S. H., Ülker, H. E., Tanriver, M., Kiliç, S., Başak, F., & Ülker, M. (2014). Residual HEMA and TEGDMA Release and Cytotoxicity Evaluation of Resin-Modified Glass Ionomer Cement and Compomers Cured with Different Light Sources. *The Scientific World JOURNAL*, 2014, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2014/218295>
- Bueno, T., Masoud, N., Akkus, A., Silva, I., McPherson, K., Furuse, A. Y., & Rizzante, F. (2024). Effects of pre-heating on physical–mechanical–chemical properties of contemporary resin composites. *Odontology*. <https://doi.org/10.1007/s10266-024-00953-x>

- Chang, J., Lim, B., Chung, S. H., & Moon, W. (2025). Effect of opalescence in resin-based dental composites on the active color matching ability. *BMC Oral Health*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05233-2>
- Chaput, F., & Faure, A. (2021). Composites dentaires. HAL Open Science. <https://doi.org/10.51257/a-v2-med7500>
- Chen, S., Zhu, J., Yu, M., Jin, C., & Huang, C. (2024). Effect of aging and bleaching on the color stability and surface roughness of a recently introduced single-shade composite resin. *Journal of Dentistry*, 143, 104917. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104917>
- Chu, S. J., Trushkowsky, R. D., & Paravina, R. D. (2010). Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of Dentistry*, 38, e2–e16. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.001>
- Cinelli, F., Russo, D. S., Nieri, M., & Giachetti, L. (2022). Stain susceptibility of composite resins: Pigment Penetration analysis. *Materials*, 15(14), 4874. <https://doi.org/10.3390/ma15144874>
- Colak, G., & Katirci, G. (2023). In Vitro evaluation of the effects of whitening toothpastes on the color and surface roughness of different composite resin materials. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03277-4>
- David, C., Cuevas-Suárez, C., De Cardoso, G., Isolan, C., De Moraes, R., Da Rosa, W., Münchow, E., & Da Silva, A. (2022). Characterization of contemporary conventional, bulk-fill, and self-adhesive resin composite materials. *Operative Dentistry*, 47(4), 392–402. <https://doi.org/10.2341/21-063-1>
- Demirel, M. G., Gönder, H. Y., & Tunçdemir, M. T. (2022). Analysis of Monomer Release from Different Composite Resins after Bleaching by HPLC. *Life*, 12(11), 1713. <https://doi.org/10.3390/life12111713>

- Dennis, T., Zoltie, T., Wood, D., & Altaie, A. (2021). Reduced-step composite polishing systems - a new gold standard? *Journal of Dentistry*, 112, 103769. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103769>
- Dervisevic, M., Dramicanin, M., Todorovic, A., Lazic, Z., & Manojlovic, D. (2025). Influence of staining on the optical properties and surface topography of low-shrinkage and conventional dental composites. *Vojnosanitetski Pregled*, 00, 36. <https://doi.org/10.2298/vsp240214036d>
- Domingos, P. a. D. S., Garcia, P. P. N. S., De Oliveira, A. L. B. M., & Palma-Dibb, R. G. (2011). Composite resin color stability: influence of light sources and immersion media. *Journal of Applied Oral Science*, 19(3), 204–211. <https://doi.org/10.1590/s1678-77572011000300005>
- Ebaya, M. M., Ali, A. I., El-Haliem, H. A., & Mahmoud, S. H. (2022). Color stability and surface roughness of ormocer- versus methacrylate-based single shade composite in anterior restoration. *BMC Oral Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02423-8>
- Elmalawany, L. M., El-Refai, D. A., & Alian, G. A. (2023). Change in surface properties of two different dental resin composites after using various beverages and brushing. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03710-8>
- Erdemir, U., Yıldız, E., & Eren, M. M. (2012). Effects of sports drinks on color stability of nanofilled and microhybrid composites after long-term immersion. *Journal of Dentistry*, 40, e55–e63. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.06.002>
- Erdogan, M. A., Kalyoncuoğlu, Ü. T., & Erdemli, B. Y. (2025). Comparative effects of conventional and electronic cigarettes on discoloration and surface roughness of gingiva-colored dental materials. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.14054>

- Ersöz, B., & Arı, B. (2025). The effect of heat application on dental composite materials. In IntechOpen eBooks. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1009245>
- Erturk-Avunduk, A. T., Atılan-Yavuz, S., Filiz, H., & Cengiz-Yanardag, E. (2024). A comparative study of polishing systems on optical properties and surface roughness of additively manufactured and conventional resin based composites. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77449-9>
- Fathima, J. N., Hashir, M. M. J., & Padmanabhan, K. (2024). Spectrophotometric evaluation of color stability of composite resin after exposure to cold drinks: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(2), 195–199. https://doi.org/10.4103/jcde.jcde_230_23
- Ferracane, J. L. (2010). Resin composite—State of the art. *Dental Materials*, 27(1), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>
- Ferracane, J. L. (2024). A historical perspective on dental composite restorative materials. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(7), 173. <https://doi.org/10.3390/jfb15070173>
- Fidan, M., & Yağcı, Ö. (2024). Effect of surface sealant on the color stability and whiteness index of single-shade resin composites after staining and bleaching. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 49(3). <https://doi.org/10.5395/rde.2024.49.e30>
- Floriani, F., Jurado, C. A., Madhu, N., Lackey, M. A., Azpiaz-Flores, F. X., & Lopes, G. C. (2024). Color stability of Bulk-Fill flowable resin composites after artificial aging. *Dentistry Journal*, 12(11), 350. <https://doi.org/10.3390/dj12110350>

- Francois, P., Izart, M., Fasham, T., Smail, Y., Jannot, M., Goff, S. L., Beres, F., Troizier-Cheyne, M., Bergman, S., Moussally, C., Abdel-Gawad, S., Dursun, E., Ceinos, R., Caussin, E., & Attal, J. (2025). Proposal of a modular classification system for direct dental resin composites based on clinical applications. *Polymers*, 17(5), 564. <https://doi.org/10.3390/polym17050564>
- Gaviria-Martinez, A., Castro-Ramirez, L., Ladera-Castañeda, M., Cervantes-Ganoza, L., Cachay-Criado, H., Alvino-Vales, M., Garcia-Luna, G., López-Gurreonero, C., Cornejo-Pinto, A., & Cayo-Rojas, C. F. (2022). Surface roughness and oxygen inhibited layer control in bulk-fill and conventional nanohybrid resin composites with and without polishing: in vitro study. *BMC Oral Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02297-w>
- Geethanjali, R., Krishnamurthy, M., Natanasabapathy, V., Kumar, V. N., Leburu, A., & Elangovan, S. K. (2024). Effect of phytopigments on discoloration of nanohybrid composite: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(5), 552–555. https://doi.org/10.4103/jcde.jcde_169_24
- Gömleksiz, S., & Okumuş, Ö. F. (2024). The effect of whitening toothpastes on the color stability and surface roughness of stained resin composite. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04654-3>
- Hajdu, A. I., Dumitrescu, R., Balean, O., Jumanca, D., Sava-Rosianu, R., Floare, L., Bolchis, V., Vlase, T., & Galuscan, A. (2024). Microscopic and Color Changes in Direct Dental Restorative Composite Resins upon Immersion in Beverages: Characterization by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). *Biomedicines*, 12(8), 1740. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12081740>
- Hirata, R., De Abreu, J., Jalkh, E., Atria, P., Cascales, Á., Cantero, J., & Sampaio, C. (2023). Analysis of translucency parameter and fluorescence intensity of 5 resin composite systems. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e71–e77. <https://doi.org/10.4317/jced.61174>

- Hojo, Martins, T., Vieira-Junior, W., França, F., Turssi, C., & Basting, R. (2025). Coating agents for resin composites: Effect on color stability, roughness, and surface micromorphology subjected to brushing wear. *Operative Dentistry*, 50(1), 101–114. <https://doi.org/10.2341/24-069-1>
- Huang, W., Ren, L., Cheng, Y., Xu, M., Luo, W., Zhan, D., Sano, H., & Fu, J. (2022). Evaluation of the color stability, water sorption, and solubility of current resin composites. *Materials*, 15(19), 6710. <https://doi.org/10.3390/ma15196710>
- Ibrahim, M. S., Alatiyyah, F. M., Alsalman, A. M., Alzenidi, R. F., Albattat, A. A., & Alkhaldi, A. S. (2025). Nicotine-induced changes in surface properties of restorative materials and dental enamel: An in vitro study on flavored e-cigarette exposure. *Tobacco Induced Diseases*, 23(May), 1–11. <https://doi.org/10.18332/tid/202876>
- Ilie, N. (2024). The dependence on hue, value and opacity of Real-Time- and Post-Curing light transmission in a Nano-HybridOrmocer. *Materials*, 17(2), 496. <https://doi.org/10.3390/ma17020496>
- Irusa, K., Alrahaem, I. A., Ngoc, C. N., & Donovan, T. (2022). Tooth whitening procedures: A narrative review. *Dentistry Review*, 2(3), 100055. <https://doi.org/10.1016/j.dentre.2022.100055>
- Islam, M. S., Aal-Fatlah, A. A., Alkhan, N. S., Ac, S. A., Sadr, A., & Rehman, M. M. (2022). The effect of different finishing polishing protocols on stain absorption and color stability of resin composite restorations. *PubMed*, 35(2), 141–145. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35798709>
- Islam, M. S., Nassar, M., Elsayed, M. A., Jameel, D. B., Ahmad, T. T., & Rahman, M. M. (2023). In Vitro Optical and Physical Stability of Resin Composite Materials with Different Filler Characteristics. *Polymers*, 15(9), 2121. <https://doi.org/10.3390/polym15092121>

- Johnston, W. M. (2009). Color measurement in dentistry. *Journal of Dentistry*, 37, e2–e6. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.03.011>
- Karaaslan, G., Fidan, M., & Ayar, M. K. (2025). Effect of Caps Warmer and VisCalor Dispenser preheating on the color stability and surface roughness of resin composites after coffee immersion: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06237-2>
- Karademir, S. A., Atasoy, S., & Yılmaz, B. (2024). Effect of bleaching and repolishing on whiteness change and staining susceptibility of resin-based materials. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05328-w>
- Karanjkar, R. R., Preshaw, P. M., Ellis, J. S., & Holliday, R. (2022). Effect of tobacco and nicotine in causing staining of dental hard tissues and dental materials: A systematic review and meta-analysis. *Clinical and Experimental Dental Research*, 9(1), 150–164. <https://doi.org/10.1002/cre2.683>
- Karkanis, S., Nikolaidis, A. K., Koulaouzidou, E. A., & Achilias, D. S. (2021). Effect of silica nanoparticles silanized by Functional/Functional or Functional/Non-Functional silanes on the physicochemical and mechanical properties of dental nanocomposite resins. *Applied Sciences*, 12(1), 159. <https://doi.org/10.3390/app12010159>
- Kim, G., Go, H., Yu, J., Yang, S., Kim, K., Choi, S., & Kwon, J. (2022). Cytotoxicity, Colour Stability and Dimensional Accuracy of 3D Printing Resin with Three Different Photoinitiators. *Polymers*, 14(5), 979. <https://doi.org/10.3390/polym14050979>
- Klimek, L., Kopacz, K., Śmielak, B., & Kula, Z. (2023). An evaluation of the mechanical properties of a hybrid composite containing hydroxyapatite. *Materials*, 16(13), 4548. <https://doi.org/10.3390/ma16134548>

- Korkut, B., Bud, M., Kukey, P., & Sancakli, H. (2022). Effect of surface sealants on color stability of different resin composites. *Medicine and Pharmacy Reports*, 95(1), 71–79. <https://doi.org/10.15386/mpr-1973>
- Korkut, B., Tarçın, B., Atalı, P. Y., & Özcan, M. (2023). Introduction of a New Classification for Resin Composites with Enhanced Color Adjustment Potential. *Current Oral Health Reports*, 10(4), 223–232. <https://doi.org/10.1007/s40496-023-00351-2>
- Korkut, B., & Türkmen, C. (2020). Longevity of direct diastema closure and recontouring restorations with resin composites in maxillary anterior teeth: A 4-year clinical evaluation. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(4), 590–604. <https://doi.org/10.1111/jerd.12697>
- Kowalska, A., Sokolowski, J., & Bociong, K. (2021). The photoinitiators used in resin based Dental Composite—A review and future Perspectives. *Polymers*, 13(3), 470. <https://doi.org/10.3390/polym13030470>
- Kosewski, J., Kosewski, P., & Mielczarek, A. (2022). Influence of instrument lubrication on properties of dental composites. *European Journal of Dentistry*, 16(04), 719–728. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1743144>
- Landuyt, K. L., Snauwaert, J., De Munck, J., Peumans, M., Yoshida, Y., Poitevin, A., Coutinho, E., Suzuki, K., Lambrechts, P., & Van Meerbeek, B. (2007). Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials*, 28(26), 3757–3785. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.04.044>
- Lavanya, D., Buchi, D., Mantena, S. R., K, M. V., Rao, D. B., & Chandrappa, V. (2019). Recent Advances in Dental Composites: An Overview. *International Journal of Dental Materials*, 01(02), 48–54. <https://doi.org/10.37983/ijdm.2019.1202>

- Leal, C., Miranda, S. B., De Alves Neto, E. L., Freitas, K., De Sousa, W. V., Lins, R. B. E., De Andrade, A. K. M., & Montes, M. a. J. R. (2024). Color Stability of Single-Shade resin composites in direct Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Polymers*, 16(15), 2172. <https://doi.org/10.3390/polym16152172>
- Leprince, J., Leloup, G., Vreven, J., Weiss, P., & Raskin, A. (2010, October 28). Polymères et résines composites. <https://hal.science/hal-03431703v1>
- Makkeyah, F., Sergany, O. E., Shamel, M., & Ankily, M. A. (2024). Effect of conventional cigarette smoking and recent heated tobacco products on CAD/CAM restorative materials. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04423-2>
- Melo, M., Garcia, I., Mokeem, L., Weir, M., Xu, H., Montoya, C., & Orrego, S. (2023). Developing bioactive dental resins for restorative dentistry. *Journal of Dental Research*, 102(11), 1180–1190. <https://doi.org/10.1177/00220345231182357>
- Meneghel, L. L., Fugolin, A. P., Berger, S. B., Correr, A. B., Pellizzaro, D., Fernandes, K. B., Genovez-Júnior, G., Piauilino, A. I., & Guiraldo, R. D. (2023). Influence of pigment solutions on color stability and surface properties in low-shrinkage and conventional composites. *Acta Odontológica Latinoamericana/Acta Odontológica Latinoamericana*, 36(1), 58–65. <https://doi.org/10.54589/aol.36/1/58>
- Meniawi, M., Şirinsükan, N., & Can, E. (2025). Color stability, surface roughness, and surface morphology of universal composites. *Odontology*. <https://doi.org/10.1007/s10266-025-01108-2>
- Moda, M., Briso, A., Hoshino, I., Frascino, S., Santos, P., Gonçalves, D., & Fagundes, T. (2021). Three-year randomized prospective clinical trial of Class II restorations using flowable bulk-fill resin composites. *Operative Dentistry*, 46(5), 516–528. <https://doi.org/10.2341/20-031-c>

- Nagrale, A., Nevrekar, S., Kawle, S., Gawande, H., Gupte, J., & Gaikwad, S. (2023). Influence of filler particle sizes on the physical properties of Bulk-Fill composites compared to conventional composites. *Cureus*.
<https://doi.org/10.7759/cureus.36032>
- Naz, F., Khan, A. S., Kader, M. A., Gelban, L. O. S. A., Mousa, N. M. A., Asiri, R. S. H., & Hakeem, A. S. (2020). Comparative evaluation of mechanical and physical properties of a new bulk-fill alkasite with conventional restorative materials. *The Saudi Dental Journal*, 33(7), 666–673.
<https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.04.012>
- Nezir, M., & Özcan, S. (2024). In Vitro Evaluation of Mechanical, Surface, and Optical Properties of Restorative Materials Applied with Different Techniques. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(5), 128. <https://doi.org/10.3390/jfb15050128>
- Osiceanu, G., Bejan, F., Vasiliu, R., Porojan, S., & Porojan, L. (2025). The evaluation of water sorption effects on surface characteristics and color changes in direct and CAD/CAM subtractively processed resin composites. *Materials*, 18(8), 1812. <https://doi.org/10.3390/ma18081812>
- Palin, W. M., Leprince, J. G., & Hadis, M. A. (2018). Shining a light on high volume photocurable materials. *Dental Materials*, 34(5), 695–710.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.02.009>
- Paolone, G., Formiga, S., De Palma, F., Abbruzzese, L., Chirico, L., Scolavino, S., Goracci, C., Cantatore, G., & Vichi, A. (2022). Color stability of resin-based composites: Staining procedures with liquids—A narrative review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(6), 865–887.
<https://doi.org/10.1111/jerd.12912>
- Paolone, G., Mandurino, M., Scotti, N., Cantatore, G., & Blatz, M. B. (2023a). Color stability of bulk-fill compared to conventional resin-based composites: A scoping review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(4), 657–676.
<https://doi.org/10.1111/jerd.13017>

- Paolone, G., Mazzitelli, C., Boggio, F., Breschi, L., Vichi, A., Gherlone, E., & Cantatore, G. (2023b). Effect of different artificial staining procedures on the color stability and translucency of a Nano-Hybrid Resin-Based composite. *Materials*, 16(6), 2336. <https://doi.org/10.3390/ma16062336>
- Paolone, G., Pavan, F., Mandurino, M., Baldani, S., Guglielmi, P. C., Scotti, N., Cantatore, G., & Vichi, A. (2023c). Color stability of resin-based composites exposed to smoke. A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(2), 309–321. <https://doi.org/10.1111/jerd.13009>
- Paravina, R. D., Ghinea, R., Herrera, L. J., Bona, A. D., Igiel, C., Linninger, M., Sakai, M., Takahashi, H., Tashkandi, E., & Del Mar Perez, M. (2015). Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(S1). <https://doi.org/10.1111/jerd.12149>
- Pérez, M. M., Carrillo-Perez, F., Tejada-Casado, M., Ruiz-López, J., Benavides-Reyes, C., & Herrera, L. J. (2022). CIEDE2000 lightness, chroma and hue human gingiva thresholds. *Journal of Dentistry*, 124, 104213. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104213>
- Pfeifer, C. S. (2017). Polymer-Based direct filling materials. *Dental Clinics of North America*, 61(4), 733–750. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2017.06.002>
- Pisano, M., Iandolo, A., Abdellatif, D., Chiacchio, A., Galdi, M., & Martina, S. (2024). Effects of different curing methods on the color stability of composite resins. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 49(4). <https://doi.org/10.5395/rde.2024.49.e33>
- Randolph, L. D., Palin, W. M., Leloup, G., & Leprince, J. G. (2016). Filler characteristics of modern dental resin composites and their influence on physico-mechanical properties. *Dental Materials*, 32(12), 1586–1599. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.034>

- Raposo, C. C., Nery, L. M. S., Carvalho, E. M., Ferreira, P. V. C., Ardenghi, D. M., Bauer, J., & Lima, D. M. (2022). Effect of preheating on the physicochemical properties and bond strength of composite resins utilized as dental cements: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 129(1), 229.e1-229.e7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.11.007>
- Raskin, A., & Lehmann, N. (2009). Résines composites en technique directe.. Les Cahiers de prothèse. <https://hal.science/hal-03467912v1>
- Rawls, H. R. (2013). Resin-based composites. In K. J. Anusavice, C. Shen e H. R. Rawls (Eds.), *Phillips' science of dental materials* (pp. 275-306). Gainesville, Florida: Elsevier Saunders.
- Rodríguez, H. A., Kriven, W. M., & Casanova, H. (2019). Development of mechanical properties in dental resin composite: Effect of filler size and filler aggregation state. *Materials Science and Engineering C*, 101, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.090>
- Saba, D., Gawad, F. A., & Ellatif, M. A. (2017). In vitro assessment of water sorption, solubility and surface roughness of compomer and giomer materials after immersion in different beverages. *Egyptian Dental Journal /Egyptian Dental Journal*, 63(1), 205–214. <https://doi.org/10.21608/edj.2017.74388>
- Sampaio, G. A., Peixoto, L. R., De Vasconcelos Neves, G., & Barbosa, D. D. N. (2020). Effect of mouthwashes on color stability of composite resins: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 126(3), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.08.001>
- Schmeling, M. (2016). Color Selection and Reproduction in Dentistry. Part 1: Fundamentals of Color. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 18(1), 23. <https://doi.org/10.15517/ijds.v18i1.23486>

- Schürmann, M. G., & Olms, C. (2018). Shade stability of Polymer-Infiltrated and resin nano ceramics. *The Open Dentistry Journal*, 12(1), 791–800.
<https://doi.org/10.2174/1745017901814010791>
- Sensi, L., Winkler, C., & Geraldeli, S. (2021). Accelerated aging effects on color stability of potentially color adjusting resin-based composites. *Operative Dentistry*, 46(2), 188–196. <https://doi.org/10.2341/20-099-1>
- Sherif, R., El-Fattah, W. A., & Afifi, R. (2020). Color stability and surface roughness of an organically modified ceramic (ormocer) and a methacrylate based composite resins (an in-vitro study). *Alexandria Dental Journal*, 45(1), 100–105.
<https://doi.org/10.21608/adjalexu.2020.79967>
- Sikri, V. (2010). Color: Implications in dentistry. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), 249. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.73381>
- Silva, G., Marto, C. M., Amaro, I., Coelho, A., Sousa, J., Ferreira, M. M., Francisco, I., Vale, F., Oliveiros, B., Carrilho, E., & Paula, A. B. (2023). Bulk-Fill Resins versus Conventional Resins: An Umbrella Review. *Polymers*, 15(12), 2613.
<https://doi.org/10.3390/polym15122613>
- Sirisha, S., Vinay, C., Alla, R. K., Uloopi, K., Chaitanya, P., & Chandana, N. (2023). Physico-Mechanical Characteristics of Ormocer and Bulk Fill Composite Resin Restorative Materials: An in-vitro Study. *Journal of clinical and diagnostic research*. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2023/62857.18107>
- Slaboseviciute, M., Vasiliauskaite, N., Drukteinis, S., Martens, L., & Rajasekharan, S. (2021). Discoloration Potential of Biodentine: A Systematic Review. *Materials*, 14(22), 6861. <https://doi.org/10.3390/ma14226861>
- Tepe, H., Celiksoz, O., & Yaman, B. C. (2025). Evaluation of color stability in single-shade composite resins using spectrophotometer and cross-polarized mobile photography. *BMC Oral Health*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05651-w>

- Theobaldo, J. D., Vieira-Junior, W. F., Ferretti, M. A., Costa, L. B., Marchi, G. M., Lima, D. a. N. L., & Aguiar, F. H. B. (2025). Color Alteration of Resin Composites by Cigarette Smoke with Various Levels of Tar, Nicotine, and Carbon Monoxide. *Pesquisa Brasileira Em Odontopediatria E Clínica Integrada*, 25. <https://doi.org/10.1590/pboci.2025.054>
- Torso, V. H., Fraga, M. a. A., Lopes, R. M., Aranha, A. C. C., Correr-Sobrinho, L., & Correr, A. B. (2021). Charcoal-based dentifrices: Effect on color stability and surface wear of resin composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(5), 815–823. <https://doi.org/10.1111/jerd.12741>
- Uctasli, M., Garoushi, S., Uctasli, M., Vallittu, P., & Lassila, L. (2023). A comparative assessment of color stability among various commercial resin composites. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03515-9>
- Unsal, K. A., & Karaman, E. (2021). Effect of additional light curing on colour stability of composite resins. *International Dental Journal*, 72(3), 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2021.06.006>
- Usta, S. N., & Keskin, C. (2024). Color stability and solubility of Biodentine and NeoPutty in contact with different irrigation solutions. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 49(3). <https://doi.org/10.5395/rde.2024.49.e25>
- Vaizoğlu, G. A., Ulusoy, N., & Alagöz, L. G. (2023). Effect of coffee and polishing systems on the color change of a conventional resin composite repaired by universal resin composites: an in vitro study. *Materials*, 16(17), 6066. <https://doi.org/10.3390/ma16176066>
- Valizadeh, S., Asiaie, Z., Kiomarsi, N., & Kharazifard, M. (2020). Color stability of self-adhering composite resins in different solutions. *Dental and Medical Problems*, 57(1), 31–38. <https://doi.org/10.17219/dmp/114099>

- Veiga, A. M. A., Cunha, A. C., Ferreira, D. M. T. P., Da Silva Fidalgo, T. K., Chianca, T. K., Reis, K. R., & Maia, L. C. (2016). Longevity of direct and indirect resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 54, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.08.003>
- Vidal, M., Pecho, O., Collares, K., Brandeburski, S., & Della Bona, A. (2022). Color change of resin-based composites after in vitro bleaching protocols: A systematic review and meta-analysis. *Operative Dentistry*, 47(2), 149–162.
<https://doi.org/10.2341/20-234-lit>
- Weinmann, W., Thalacker, C., & Guggenberger, R. (2004). Siloranes in dental composites. *Dental Materials*, 21(1), 68–74.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.10.007>
- Yazkan, B., Celik, E., & Recen, D. (2021). Effect of Aging on Surface Roughness and Color Stability of a Novel Alkasite in Comparison with Current Direct Restorative Materials. *Operative Dentistry*, 46(5), E240–E250.
<https://doi.org/10.2341/20-195-l>
- Yazkan, B., & Recen, D. (2020). Color stability comparisons of different type composite resins after curing and when aged in various staining solutions. *Annals of Medical Research*, 27(10), 2574.
<https://doi.org/10.5455/annalsmedres.2020.04.384>
- Zayed, M. M., Ibrahim, H. M., Kabil, S. H., & Farouk, H. (2024). Effect of cigarette smoking and carbonated beverages on the surface roughness and color change of two single-shade resin composite: In-vitro study. *Egyptian Dental Journal* /*Egyptian Dental Journal*, 70(4), 3953–3966.
<https://doi.org/10.21608/edj.2024.304192.3119>

Zhang, L., Yu, Y., Li, S., Yang, F., Liang, S., & Xing, W. (2024). Effect of staining solutions on color and translucency stability of resin-composite computer-aided design and computer-aided manufacturing blocks. The Journal of the American Dental Association. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2024.09.003>