



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Pedro Eduardo Pires Simões Gomes

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS
DE SISTEMAS ADESIVOS UTILIZADOS NAS
RESTAURAÇÕES DENTÁRIAS**

**Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, ramo de
Energia e Ambiente orientada pela Professora Doutora Ana Paula Bettencourt
Martins Amaro e pelo Professor Doutor Paulo Jorge Rocha Palma e apresentada
ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Coimbra**

Setembro de 2022

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Avaliação das propriedades mecânicas de sistemas adesivos utilizados nas restaurações dentárias

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Evaluation of the mechanical properties of adhesive systems used in dental restorations

Autor

Pedro Eduardo Pires Simões Gomes

Orientadores

Ana Paula Bettencourt Martins Amaro

Paulo Jorge Rocha Palma

Júri

Presidente	Professora Doutora Maria Augusta Neto Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra
Orientadores	Professor Doutor Paulo Jorge Rocha Palma Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Rui Isidro Falacho da Fonseca Almeida
Vogais	Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luís Roseiro Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Coimbra

Colaboração com Centro de Investigação e Inovação em Ciências Dentárias – CIROS, Linha de investigação Biomecânica oral

Coimbra, setembro de 2022

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar os meus agradecimentos.

Ao meu orientador Professor Doutor Paulo Jorge Rocha Palma pelo material que me disponibilizou e pelos ensinamentos que me transmitiu ao longo da realização deste trabalho.

À minha orientadora Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro pelo material disponibilizado e pela sua disponibilidade sempre que precisei.

À Dr. Joana Marques e à D. Cláudia Brites por toda a disponibilidade e auxílio crucial na preparação e na realização dos ensaios laboratoriais.

Ao Professor Doutor Luís Vilhena pela disponibilidade para a realização da análise microscopia de varrimento (MEV).

Ao Professor Doutor João Carlos Ramos responsável da linha de investigação de “Oral Biomechanics, Center for Innovation and Research in Oral Sciences (CIROS)”, Faculty of Medicine, University of Coimbra e do Laboratório de ensaios mecânicos da mesma instituição, agradeço pela forma como nos recebeu e ajuda crucial para a execução deste trabalho experimental.

Ao Professor Doutor Rui Isidro Falacho da Fonseca Almeida pela disponibilidade para a revisão deste trabalho e pelo convite para visitar a clínica de Medicina Dentária, onde pude ver procedimentos clínicos ao vivo que me permitiram ter outra perspetiva durante a realização deste estudo.

À Professora Doutora Ana Messias pelo auxílio crucial na realização da análise estatística dos resultados obtidos neste estudo.

Às amigas que criei ao longo destes anos, laços que sei que ficarão para a vida.

E por último, mas não menos importante, à minha família que ao longo de todos este ano me apoiou e acreditou em mim em todos os momentos, sem o vosso apoio isto não seria possível.

Resumo

O objetivo deste estudo é avaliar a resistência adesiva de restaurações diretas e semidiretas em resina composta à dentina quando aplicado o mesmo sistema adesivo. Os valores de resistência adesiva serão obtidos através do ensaio de microtração (μ TBS) realizado no laboratório de ensaios Mecânicos da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Os resultados obtidos serão posteriormente utilizados num outro trabalho com o objetivo de realizar uma modelação das interfaces adesivas criadas em ambas as estratégias de restauração com recurso ao programa ADINA, segundo o Método de Elementos Finitos. Para este estudo, 16 molares humanos inferiores intactos e sem evidência microscópica de lesões são aleatoriamente distribuídos pelos dois grupos de ensaio de acordo com a estratégias de restauração definidas. Para a realização de ambas a estratégia de restauração foi utilizado o mesmo sistema adesivo Clearfil SE Bond 2 de acordo com a técnica “*Self-Etch*” de 2 passos e o mesmo material restaurador, a resina composta Ceram x Spectra ST HV. Após a realização de ambas as estratégias de restauração foram obtidos os bastonetes com recurso a uma serra elétrica e em seguida ensaiados à microtração numa máquina de testes universal para avaliação da resistência adesiva. Para a análise estatística dos resultados obtidos, foi considerada como hipótese nula (h_0) que os valores de resistência adesiva apresentam a mesma distribuição entre os grupos de ensaio, e para os tipos de fratura considerou-se como hipótese nula (h_0) que o tipo de fratura não está relacionado com a estratégia utilizada. A análise estatística foi realizada através do programa SPSS com uma confiança de 95% segundo o T-test. Foi então obtido para a estratégia de restauração direta uma resistência adesiva média de 38.156 ± 10.750 MPa e um tipo de fratura dos bastonetes principalmente do tipo coesivo no compósito (69.5%). Para a estratégia de restauração semidireta, foi obtida uma resistência adesiva média de 25.449 ± 10.193 MPa e a maioria das fraturas dos bastonetes é do tipo adesivo (92.3%). Verificou-se ainda que os valores de resistência adesiva de ambos os grupos não apresentam a mesma distribuição e que o tipo de fratura dos bastonetes é dependente da estratégia de restauração utilizada pelo que ambas as hipóteses nulas foram rejeitadas. Considerando as limitações existentes neste estudo e os resultados obtidos, podemos concluir que o sistema adesivo Clearfil SE Bond 2 é um adesivo

que permite obter elevadas forças de resistência adesiva independentemente da estratégia de restauração.

Palavras-chave: microtração, restauração direta, sistemas adesivos, restauração indireta, dentina, resina composta.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the adhesive strength of direct and semi-direct composite resin restorations to dentin when the same adhesive system is applied. The adhesive strength values will be obtained through microtensile stress testing (μ TBS) performed in the Mechanical Testing Laboratory of the Faculty of Medicine of the University of Coimbra. The results obtained will be further used in another study with the aim of modeling the adhesive interfaces created in both restoration strategies using the ADINA program according to the Finite Element Method. For this study, 16 intact human mandibular molars without microscopic evidence of lesions are randomly assigned to the two test groups according to the defined restoration strategies. For both restorative strategies the same Clearfil SE Bond 2 adhesive system according to the 2-step Self-Etch technique and the same restorative material, Ceram x Spectra ST HV composite resin, were used. After both restorative strategies had been performed, the rods were obtained using a power saw and then tested for microtensile bond strength in a universal testing machine. For the statistical analysis of the results obtained, it was considered as null hypothesis (h_0) that the adhesive strength values present the same distribution between the test groups, and for the fracture types it was considered as null hypothesis (h_0) that the fracture type is not related to the strategy used. The statistical analysis was performed using the SPSS program with 95% confidence according to the T-test. An average adhesive strength of 38.156 ± 10.750 MPa and a mainly cohesive type of rod fracture in the composite (69.5%) was obtained for the direct restoration strategy. For the semi-direct restoration strategy, an average adhesive strength of 25.449 ± 10.193 MPa was obtained and most of the rod fractures are of the adhesive type (92.3%). It was also found that the adhesive strength values of both groups do not have the same distribution and that the type of rod fracture is dependent on the restoration strategy used so both null hypotheses were rejected. Considering the limitations of this study and the results obtained, we can conclude that the Clearfil SE Bond 2 adhesive system is an adhesive that provides high adhesive strengths regardless of the restoration strategy

Keywords: microtensile, direct restorations, adhesive systems, indirect restorations, dentin, resin composite.

Índice

Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
ACRÓNIMOS	1
1. INTRODUÇÃO	2
1.1. REVISÃO DA LITERATURA	4
1.1.1. Restaurações dentárias	4
1.1.2. Estrutura e morfologia do dente	8
1.1.3. Classificação das cavidades e denominação dos preparos cavitários	9
1.1.4. Adesão	9
1.1.5. Adesão ao Esmalte	11
1.1.6. Adesão à dentina	11
1.1.7. <i>Smear Layer</i> e camada híbrida	12
1.1.8. Sistemas adesivos	13
1.1.9. Tratamento da superfície	18
1.1.10. Cimentos	18
1.1.11. Degradação da interface adesiva	19
1.1.12. Ensaio de avaliação da adesão	21
2. MATERIAIS E MÉTODOS	23
2.1. Materiais	23
2.2. Métodos	25
2.2.1. Preparação das amostras	25
2.2.2. Protocolo da restauração Direta	28
2.2.3. Protocolo da restauração semidireta	29
2.2.4. Formação dos bastonetes	31
2.2.5. Ensaio de microtração	34
2.2.6. Análise da microscopia eletrônica de varrimento (MEV)	35
3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	38
3.1. Análise da força de resistência adesiva	40
3.1.1. Valores de tensão obtidos	40
3.1.2. Análise estatística	44
3.2. Análise dos tipos de fratura	46
3.2.1. Tipos de fratura obtidos	46
3.2.2. Análise Estatística	48
3.3. Análise microscopia eletrônica de varrimento (MEV)	49
4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
5. Referências bibliográficas	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. A: Estrutura do dente; B: Faces do molar.....	8
Figura 1.2. Sistemas adesivos disponíveis (Sezinando, 2014b).....	14
Figura 2.1. Radiografia de um molar.	25
Figura 2.2. A-Máquina cortadora de gesso (Zenit); B-Serra elétrica (Struers Accutom-5).27	
Figura 2.3. A: base para criação dos suportes de acrílico; B: molar com dentina exposta fixo no suporte.	28
Figura 2.4. Restauração dentária.....	30
Figura 2.5. A: Instalação do molar restaurado para realização do 1º corte longitudinal; B: Molar restaurado após 1º corte longitudinal.	31
Figura 2.6. A: Molar preenchido com silicone; B: Instalação do molar restaurado para realização 2ª corte longitudinal.....	32
Figura 2.7. A: Molar restaurado com ambos os cortes longitudinais efetuados, B: Seleção dos bastonetes para ensaio μ TBS.....	33
Figura 2.8. Bastonete sendo:1-Resina fluida;2: Dentina;3Interface adesiva;4-Resina composta.	33
Figura 2.9. A: Bastonete colado ao suporte de aço, B: Instalação do suporte de aço na máquina de ensaio μ TBS; C: Máquina universal de testes μ TBS (Shimadzu Autograph AG-I).....	34
Figura 2.10. Resumo do tipo de fraturas possíveis sendo R: material restaurador e D: dentina(Carolina Beatriz & Gomes, 2016.....	35
Figura 2.11. A: Instalação das amostras no suporte; B: Observação da orientação da interface da fratura.	37
Figura 2.12. Equipamento de revestimento Cressington 108 Sputter Coater B: Microscópio HITACHI SU3800.....	37
Figura 3.1. Comparação frequência de fraturas dos bastonetes dos diferentes grupos de ensaios.....	44
Figura 3.2. Análise segundo teste não paramétrico Mann-Whitney U.....	45
Figura 3.3. Comparação da frequência que ocorrem os diversos tipos de fratura para ambos os grupos de ensaio.	48
Figura 3.4. Percentagens e frequência de cada tipo de fratura para ambos os grupos de ensaio.	49
Figura 3.5. Teste de Chi-Square.....	49
Figura 3.6. Fratura do tipo adesiva sendo que A: adesivo; D: dentina.	49

Figura 3.7. Fratura do tipo coesivo na dentina, sendo D: Dentina. 50

Figura 3.8. Fratura do tipo coesiva no compósito, sendo A: Adesivo, C: Compósito. 50

Figura 3.10. Fratura do tipo mista, sendo A: Adesivo e D:Dentina. 51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Materiais utilizados.	24
Tabela 3.1. Resumo dos dados obtidos para cada grupo de ensaio, excluindo as falhas pré-teste.	40
Tabela 3.2. Frequência do tipo de fratura excluindo as FPT.....	46

ACRÓNIMOS

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

μ TBS – Micro Tensile Bonding Testing

μ SBS – Micro Shear Bonding Testing

MEV – Microscopia Eletrónica de Varrimento

FPT- Falhas pré-teste

1. INTRODUÇÃO

Uma restauração dentária tem como objetivo reabilitar os problemas dentários causados não só pela presença de lesões de cárie, mas também pela ocorrência de fraturas e desgaste dentário, correspondendo à maior parte do trabalho clínico em Medicina Dentária.

A utilização de amálgama como material restaurador permitiu, durante um longo período temporal, a execução de restaurações dentárias dotadas de propriedades mecânicas e longevidade aceitáveis. No entanto, devido a fatores estéticos mas principalmente com o intuito de realizar restaurações que prevenissem um maior desgaste dentário para a confecção de cavidades retentivas, bem como os efeitos deletérios da presença de amálgama para a resistência biomecânica da estrutura dentária, foram desenvolvidos materiais sintéticos (resinas compostas e cerâmicas) com possibilidade de retenção micromecânica e química por adesão às estruturas dentárias através da aplicação de sistemas adesivos (Chesterman, Jowett, Gallacher, & Nixon, 2017). As restaurações efetuadas com estes materiais sintéticos proporcionam melhores propriedades estéticas comparativamente à restauração efetuada com recurso a amálgama e propriedades mecânicas semelhantes à estrutura dentária original.

Existem 3 estratégias de restauração: direta, semidireta e indireta e, consoante o caso clínico do paciente, o médico dentista terá que decidir que estratégia de restauração será a mais adequada para alcançar uma boa longevidade. Para uma restauração apresentar longevidade é essencial utilizar um sistema adesivo adequado, pois este irá funcionar como elo de adesão entre o material restaurador e o substrato dentário. Existem 3 tipos principais de sistemas adesivos: “Etch-and-Rinse”, “Self-Etch” e Universal, sendo que o sistema adesivo mais adequado depende das características da lesão e do substrato envolvido.

Na área da reabilitação oral, a longevidade das restaurações é influenciada pelos esforços a que a restauração se encontra sujeita e a manutenção efetuada. No entanto, especialmente nas restaurações efetuadas na dentina, a sua longevidade permanece um grande desafio pois a longevidade obtida está diretamente relacionada com a qualidade da interface adesiva criada com a aplicação do sistema adesivo. Este substrato é mais complexo

comparativamente ao esmalte, tornando a interface adesiva criada mais propensa à degradação, representando um maior desafio.

Em algumas estratégias de restauração como a indireta e a semidireta é ainda realizada a cimentação da peça restauradora, recorrendo a um cimento, de modo a aderir os dois substratos distintos.

O objetivo deste estudo é a avaliação da interface adesiva criada e das forças de resistência adesivas entre a dentina e o material restaurador com a aplicação do sistema adesivo segundo duas estratégias de restauração distintas, a direta e a semidireta. Ambas as estratégias de restauração serão efetuadas com recurso ao mesmo material restaurador e o mesmo sistema adesivo e a avaliação da resistência adesiva será efetuada através de ensaios de microtração (μ TBS). Este estudo apresenta uma revisão de literatura relativa ao tema das restaurações dentárias de modo que haja familiarização com os termos técnicos que serão posteriormente desenvolvidos nos materiais e métodos. No capítulo da discussão serão analisados os resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais realizados.

Como continuação de uma investigação, os resultados obtidos a partir deste estudo serão posteriormente utilizados num outro estudo que tem como objetivo a realização de uma modelação da interface adesiva com recurso ao programa ADINA. O ADINA é um programa usado na indústria e em investigação para desenvolver análises lineares e não-lineares através do Método de Elementos Finitos (MEF). Esta modelação segundo o MEF visa avaliar e estudar a interface adesiva criada bem como as tensões exercidas nesta, pois permite modelar estruturas de geometria complexa tendo em consideração as suas propriedades mecânicas (Neto et al., 2021)..

1.1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1.1. Restaurações dentárias

As restaurações dentárias são um dos tratamentos mais realizados na prática clínica diária de um Médico Dentista. Estas são realizadas através de materiais sintéticos com o objetivo de repor a estrutura perdida do dente, sendo que esta perda estrutural normalmente resulta de um trauma ou cárie. As restaurações podem ser efetuadas segundo 3 estratégias: a direta, a semidireta e a indireta (Opdam et al., 2016).

A principal diferença entre a restauração direta e a indireta consiste no facto de as restaurações diretas serem efetuadas pelo clínico diretamente na boca do paciente, sendo realizadas numa única consulta. Por outro lado, as restaurações indiretas são realizadas num laboratório através do molde da boca do paciente e, posteriormente, instaladas na sua boca pelo clínico numa outra consulta, pelo que necessitam no mínimo de 2 consultas (Opdam et al., 2016) (Vasconcelos Monteiro et al., 2017).

Na estratégia de restauração semidireta, a criação da peça restauradora é efetuada na clínica com recurso a um molde do preparo cavitário realizado e cimentada em seguida, não sendo necessário recorrer a um clínico de laboratório para a construção da peça restauradora e por consequente uma segunda consulta para a posterior cimentação desta. Outra das opções para restaurações semidiretas é a confeção da mesma sobre o dente a restaurar, sem utilização de sistema adesivo, com a posterior remoção da restauração e cimentação da mesma com sistema adesivo e cimento resinoso (Vasconcelos Monteiro et al., 2017).

O material restaurador utilizado em restaurações diretas bem como semidiretas é resina composta, no entanto com a estratégia de restauração indireta as restaurações também podem ser realizadas em cerâmica (da Veiga et al., 2016; Opdam et al., 2016; Vasconcelos Monteiro et al., 2017).

As restaurações indiretas e semidiretas são classificadas como parciais ou totais dependendo da sua extensão. As restaurações parciais indiretas são divididas em: Inlays (sem recobrimento das cúspides); Onlays (com recobrimento de pelo menos uma cúspide); Overlays (com recobrimento de todas as cúspides) (Gaile et al., 2022).

A escolha do tipo de restauração a adotar para cada caso clínico é efetuada pelo profissional, sendo baseada, principalmente, na dimensão da cavidade/lesão (de Kuijper et al., 2021). Por exemplo, um fator que influencia a escolha do tipo de restauração é a presença de paredes finas em redor de uma cavidade extensa. Quando isto se verifica o médico dentista deve optar por realizar uma restauração indireta em vez de direta, já que se optar pela última, ao efetuar polimerização do material restaurador na boca do paciente pode ocorrer a deformação das estruturas remanescentes dentárias finas, originando fissuras, fraturas e deformação das cúspides devido à contração de polimerização do material restaurador (de Kuijper et al., 2021; Demarco et al., 2012)

Tendo isto em consideração, em casos em que os preparos cavitários apresentem uma dimensão considerada pequena ou média, é recomendado que seja efetuada uma restauração direta. Para casos em que os preparos excedam 2/3 da distância entre as pontas das cúspides, apresentando uma maior profundidade, é recomendado efetuar restaurações indiretas (Cetin Unlu N Cobanoglu, n.d.).

Um fator crucial a ter em consideração no momento da realização das restaurações, mais especialmente nas restaurações diretas, é o fator de contração de polimerização, ou fator C). Este fator é a principal desvantagem da estratégia de restauração direta, pois afeta o material de restauração ao provocar uma redução do volume da restauração no momento da sua polimerização, colocando em risco o selamento marginal e, conseqüentemente, a adesão entre o substrato dentário e o material restaurador (Ferracane & Hilton, 2016).

Por este motivo, um dos cuidados que o clínico deve ter em consideração ao realizar uma restauração dentária é a redução do fator C. Ao criar a peça restauradora, se o clínico efetuar incrementos de material muito grandes aderindo o material restaurador a todas as superfícies da cavidade, o fator C irá aumentar. O material restaurador, ao ser fotopolimerizado, irá sofrer alterações de volume contraindo para o seu centro e romper o selamento marginal criado devido às forças de tração exercidas nas superfícies. No entanto, se o clínico recorrer a pequenos incrementos -técnica incremental - de modo a deixar um maior número de superfícies livres por aderir, a tensão de contração do material no momento de polimerização será menor nas superfícies aderidas, pois o material tenderá a contrair na direção destas, melhorando a integridade da restauração (Ferracane & Hilton, 2016)(Pallesen et al., 2013)

Estas alterações de volume do material restaurador provocadas pela polimerização originam a maioria dos problemas clínicos existentes nas restaurações como cáries secundárias e infiltrações marginais que, por conseguinte, levam à degradação da interface adesiva (por hidrólise e contaminação) bem como à descoloração (Sabbagh et al., 2017)(Demarco et al., 2012)

Por outro lado, ao efetuar-se uma restauração indireta, é possível minimizar a contração de polimerização (Fator C) e melhorar a adaptação marginal, algo que as restaurações diretas ainda não permitem contornar (Zhang & Kelly, 2017). A diminuição do fator C deve-se ao facto de nesta estratégia de restauração, a contração de polimerização estar limitada à fina camada de cimento resinoso, pois a fotopolimerização do material restaurador é efetuada no exterior da boca do paciente. Ao efetuar a polimerização do material restaurador no laboratório, este será aderido à estrutura dentária com a sua forma final, não sendo prejudicada a adesão e o selamento marginal da restauração pois esta não sofre alterações de volume na boca do paciente (da Veiga et al., 2016).

Para combater este obstáculo ao selamento marginal e longevidade das restaurações é crucial que o clínico opte pelo uso da técnica incremental ao efetuar o incremento do material restaurador para diminuição do Fator C, independentemente da estratégia de restauração. A técnica incremental consiste em realizar o incremento de material restaurador em pequenas camadas e efetuar a fotopolimerização do material restaurador entre a aplicação de camadas até ser obtida a peça restauradora final pretendida (de Kuijper et al., 2021).

1.1.1.1. Comparação das diferentes estratégias de restauração

Comparando as duas estratégias de restauração verifica-se que as restaurações diretas apresentam algumas vantagens, quando comparadas com as restaurações indiretas, nomeadamente (1) maior preservação da estrutura dentária e (2) baixo custo. No entanto, apresentam diversas desvantagens, tais como (1) sensibilidade pós-operatória, (2) maior desgaste, (3) maior fator de contração de polimerização, (4) pior selamento marginal e (5) maior risco de formação de cáries secundárias (Kuijper et al., 2021).

A técnica de restauração semidireta pode ser uma excelente estratégia de restauração em dentes posteriores em cavidades amplas, pois combina as vantagens das estratégias de restauração direta e indireta.

Uma das vantagens que a técnica semidireta apresenta em relação à técnica direta é a facilidade de adaptação marginal por permitir acesso direto e visualização direta da restauração nas margens do preparo (Vasconcelos Monteiro et al., 2017).

1.1.1.2. Restaurações indiretas: Resina composta VS cerâmica

No âmbito desta estratégia de restauração, de acordo com a literatura, não há evidências de que restaurações indiretas em cerâmica apresentem uma taxa de sobrevivência superior às restaurações efetuadas em resina composta.

Algumas das vantagens da utilização de resinas compostas relativamente às cerâmicas neste tipo de restauração são o baixo custo, o facto de permitir reparos intraorais mais fáceis, a obtenção de peças restauradoras mais finas e o facto de a resina composta apresentar menor risco de fraturas marginais devido à maior capacidade de absorção de carga, possibilitando uma maior longevidade da restauração (Gaile *et al.*, 2022, Reymus et al., n.d.).

1.1.1.3. Aspetos que influenciam a longevidade de uma restauração

Previamente à realização de uma restauração, o clínico deve efetuar o seu planeamento e ter alguns aspetos em consideração de modo a possibilitar uma maior longevidade da restauração tais como: a uniformização da camada híbrida (redes de colágeno expostas aos fluidos dentários serão mais suscetíveis a degradação por hidrólise), o diagnóstico prévio de cáries, a preservação da vitalidade pulpar do dente utilizando técnicas menos agressivas, a realização de preparos cavitários minimamente invasivos, a qualidade do material restaurador, o tamanho da cavidade e número de faces afetadas, a obtenção de um bom selamento marginal através de uma interface adesiva de qualidade e a aplicação correta do sistema adesivo segundo as indicações do fabricante (da Veiga et al., 2016; Demarco et al., 2012; Pallesen et al., 2013)

Tanto o paciente como o clínico são intervenientes na longevidade das restaurações devido a fatores como: idade, grau de qualificação e experiência do operador; fator socioeconómico do paciente; predisposição do paciente para desenvolvimento de lesões ou cáries (Demarco et al., 2012, Pallesen et al., 2013).

1.1.2. Estrutura e morfologia do dente

Para a realização de uma restauração dentária de qualidade é essencial que o operador possua um bom conhecimento da estrutura e morfologia do dente e dos diferentes tipos de cavidades.

1.1.2.1. Estrutura do dente

A estrutura do dente é dividida em 2 partes principais (Tóth, n.d.) sendo estas a coroa (constituída pelo esmalte e dentina) e a raiz (constituída pelo ápice, cimento e camara pulpar (polpa)). Os dentes molares apresentam 6 faces: vestibular(V),oclusal, cervical (em contacto com a gengiva), lingual(L) e proximais (face distal(D) e face mesial (M)) como demonstrado na Figura 1.1.

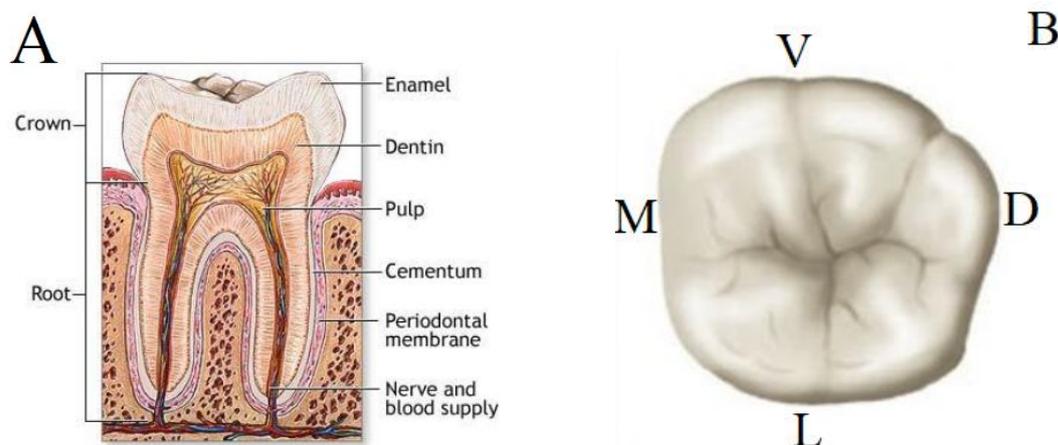


Figura 1.1. A: Estrutura do dente; B: Faces do molar(Tóth, n.d.).

1.1.3. Classificação das cavidades e denominação dos preparos cavitários

1.1.3.1. Classificação das cavidades e denominação dos preparos cavitários

O conhecimento da classificação das cavidades é essencial para a atividade de um clínico, pois permite um bom entendimento entre os profissionais, uma correta identificação das cavidades existentes e a identificação do procedimento mais adequado para a sua reparação. A classificação artificial de Black é a classificação mais utilizada para identificar o tipo de cavidade, e encontra-se dividida em 5 classes (I, II, III, IV, V), sendo que em todas as classes as cavidades requerem a mesma técnica de instrumentação e restauração (Mandarino et al., 2003)

Com o tipo de cavidade identificado, o clínico passará à realização do preparo cavitário. O seu planeamento é importante, pois consoante a dimensão e faces intervenientes do preparo, o profissional de saúde terá de decidir entre a realização de uma restauração direta ou restauração indireta. Os preparos cavitários podem ser denominados segundo o número de faces em que ocorrem, as faces envolvidas recebendo o nome destas, e a forma e extensão das cavidades (Mandarino et al., 2003)

1.1.4. Adesão

A adesão é um dos temas mais importantes na Medicina Dentária, no qual materiais sem afinidade natural são ligados com o objetivo de criar contacto íntimo entre as duas superfícies distintas (Zakir et al., 2016, (Sezinando, 2014a).

A adesão é obtida segundo um processo em que os minerais presentes no substrato dentário são substituídos por monómeros de resina, e estabelecem retenções micromecânicas e ligações químicas, originando a camada híbrida. Aderir duas superfícies distintas é um desafio, mas em 1955 Michael Buonocore revolucionou a área da Odontologia Restauradora ao apresentar a técnica de condicionamento ácido da superfície, ao introduzir o uso de ácido fosfórico a 37% na superfície dentária. Este condicionamento da superfície promove a sua desmineralização a fim de criar porosidades e aumenta a sua energia de superfície para uma melhor adesão entre os substratos (Sezinando, 2014a).

A adesão entre as duas superfícies pode ocorrer de forma mecânica ou química, sendo que no esmalte a adesão é maioritariamente mecânica enquanto que na dentina a adesão pode ser mecânica, química ou uma junção de ambas (Ritter et al., 2018)

A adesão mecânica consiste na criação de retenções no tecido mineral, devido às microporosidades criadas a partir do condicionamento ácido da superfície, onde serão formados tags de resina que aderem mecanicamente à superfície. Por outro lado, a adesão química é alcançada a partir ligações químicas de monómeros funcionais unindo íons de cálcio da hidroxiapatite (presentes no esmalte e dentina) ao material sintético (Matos et al., 2017)(Perdigão et al., 2021).

Esta adesão entre os diferentes substratos ocorre através da aplicação de um sistema adesivo adequado a cada caso clínico sendo que existem 3 tipos principais de sistemas “*Etch-and-Rinse*”, “*Self-Etch*” e Universal, apresentando na sua constituição um condicionador (ácido), um *primer* e adesivo (bond), podendo estes encontrarem-se na mesma solução ou em separado (Perdigão, 2020; (Sezinando, 2014b)).

O adesivo é uma solução de monómeros de resina que possibilita a interação entre o composto resinoso e o substrato dentário, apresentando na sua composição monómeros hidrofílicos (atuam no substrato dentário), e monómeros hidrofóbicos (atuam no material restaurador). Os monómeros hidrofílicos constituem os monómeros funcionais, sendo responsáveis por aumentar a molhabilidade do substrato e iniciar a desmineralização. Por outro lado, os monómeros hidrofóbicos atuam na formação da matriz polimérica, que é responsável pelas propriedades biomecânicas e copolimerização com o material restaurador (Sezinando, 2014b), (Vinagre & Ramos, 2016).

O *primer* é uma solução de monômeros em solventes orgânicos pelo que, quando ocorre a evaporação do seu solvente (porção hidrofílica), fica aderida à superfície uma película fina de monômero hidrofóbico. O *primer* tem como função aumentar a energia de superfície para a infiltração do monômero hidrófobo do adesivo no substrato sendo a aplicação do *primer* na dentina fundamental, uma vez que estabiliza a rede de colágeno, remove o excesso de água e prepara a dentina para a aplicação do adesivo (Galamba et al., n.d.; L. dos S. Rodrigues et al., 2021).

1.1.5. Adesão ao Esmalte

A estrutura do esmalte é composta predominantemente por partículas inorgânicas (entre 94-96%) com elevada força intermolecular, e elevada energia de superfície, sendo a adesão neste substrato menos complexa do que na dentina. (Perdigão, 2020; Vinagre & Ramos, 2016).

O passo do condicionamento ácido é considerado *gold standard* para a adesão de materiais sintéticos ao esmalte, pois este efetua uma desmineralização adequada deste substrato e aumenta a rugosidade da superfície do esmalte e a sua energia de superfície. A interação micromecânica do adesivo com a superfície do esmalte resulta da difusão e interligação dos monómeros resinosos nas microporosidades criadas através do condicionamento ácido (Perdigão, 2020).

Em seguida, com a penetração do material restaurador nas microporosidades criadas através do condicionamento ácido, ao efetuar a fotopolimerização do material os seus monómeros entreligados criam microtags dentro das microporosidades (resin tags), fenómeno responsável pela adesão dos compostos resinosos ao esmalte (adesão micromecânica) (Perdigão, 2020; Ritter et al., 2018)

1.1.6. Adesão à dentina

Contrariamente ao esmalte, a adesão à dentina é mais complexa por apresentar uma maior quantidade de partículas orgânicas e um teor de humidade superior. Para além disso, a sua morfologia muda conforme a sua profundidade, visto que à medida que o preparo cavitário se aproxima da polpa os túbulos dentinários apresentam um diâmetro superior, e o teor de humidade e densidade também aumentam (Miyazaki et al., 2012).

Enquanto que a retenção micromecânica no esmalte ocorre através da interligação do material resinoso nas porosidades criadas pelo condicionamento ácido, na dentina existe hibridização entre os compostos resinoso e a rede de colagénio, definida como camada híbrida (Abad-Coronel et al., 2019) (Sofan et al., 2017).

Para realizar uma adesão de qualidade à dentina é preciso ter em consideração alguns aspetos importantes. Um destes é que a dentina, devido ao seu maior teor de partículas orgânicas, deve permanecer húmida, devendo ser evitada a sua secagem excessiva (*Overdry*) pois irá destruir as microporosidades criadas através da desidratação do substrato

e provocar o colapso das fibras de colagénio, resultando numa diminuição da infiltração dos monómeros resinosos no substrato. Por outro lado, um teor de água muito elevado na dentina (*Overwet*) afeta negativamente a infiltração dos monómeros, atuando como barreira física ecausando a diluição dos componentes do adesivo separando-os em fases hidrofóbicas e hidrofílicas, dificultando a polimerização dos monómeros (Perdigão, 2020)

É importante realçar que, ao realizar o condicionamento ácido da dentina, se verifica uma desmineralização excessiva deste substrato que potencia a degradação da interface adesiva. Esta desmineralização excessiva alcança uma profundidade superior à capacidade de penetração dos monómeros resinosos do adesivo, expondo as fibras de colagénio. A exposição dessas fibras não permite que ocorra hibridação completa entre os monómeros e a dentina, tornando a interface adesiva mais suscetível à degradação por hidrólise provocando o colapso da camada híbrida, e reduzindo assim a longevidade da restauração (Abad-Coronel et al., 2019; Perdigão, 2020)

1.1.7. *Smear Layer* e camada híbrida

A *Smear Layer* são os detritos resultantes da realização do preparo cavitário, desempenhando um papel importante na ligação entre o substrato, adesivo e material restaurado (Abad-Coronel et al., 2019). É descrita como uma camada fina que cobre a superfície da dentina, constituída por fibras de colagénio, saliva, cristais de hidroxiapatite e sangue, podendo penetrar os tubos dentinários formando os *Smear Plugs*. Porém, esta camada comporta-se como uma barreira física reduzindo a permeabilidade da dentina. Os sistemas adesivos são classificados conforme interagem com a *Smear Layer* podendo dissolvê-la ou torná-la permeável, dependendo do sistema adesivo (Sezinando, 2014a)

Segundo Oliveira et al., 2003, o tipo de broca utilizada durante o preparo cavitário influencia as características da *Smear Layer* criada, contribuindo, ou não, para uma melhor adesão. Os preparos realizados recorrendo a brocas de elevada velocidade originam uma *Smear Layer* de maior espessura, enquanto que quando utilizadas em baixa rotação, é formada uma *Smear Layer* mais aderida ao tecido dentinário e de menor espessura, sendo esta menos suscetível à rotura por criação de fissuras. De referir que quanto mais espessa for

a *Smear Layer* mais difícil será a penetração dos monómeros resinosos ao substrato dentário, como se pode ver na Figura 2.2.

A camada híbrida é uma estrutura formada nos tecidos dentários, pela desmineralização da superfície seguida pela infiltração e polimerização dos monómeros do adesivo (monómeros resinosos). Esta camada é composta por colagénio, resina, hidroxiapatite residual (mineral presente na estrutura dentária) e vestígios de água (S. Rodrigues et al., 2015; Saikaew et al., 2022)

A formação da camada híbrida possibilita um melhor ajuste marginal, previne a sensibilidade pós-operatória e cárie secundária, bem como o amortecimento das tensões resultantes da contração de polimerização do compósito (S. Rodrigues et al., 2015; Saikaew et al., 2022).

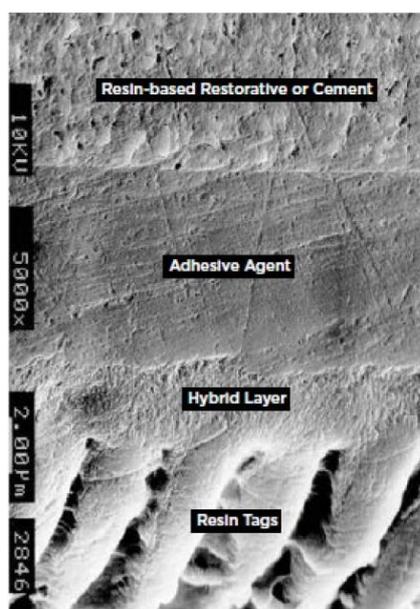


Figura 1.2. Imagem da interface adesiva (Carolina Beatriz & Gomes, 2016).

1.1.8. Sistemas adesivos

O fator adesivo é um ponto crítico no sucesso clínico e na longevidade das restaurações, sendo o seu objetivo alcançar um contacto íntimo entre o material restaurador e o substrato dentário. Para tal, foram desenvolvidos os sistemas adesivos que tornam isto possível sendo o adesivo um constituinte crucial destes sistemas. O adesivo é o elemento de ligação constituído por monómeros resinosos que contém grupos hidrofóbicos e hidrofílicos,

promovendo a interação entre o substrato dentário e o material restaurador (Sezinando, 2014b).

Se o processo adesivo for bem sucedido, a restauração apresentará melhor adesão entre os diferentes substratos e maior longevidade, visto que haverá menor microinfiltração marginal, menor risco de aparecimento de cáries secundárias e de rutura devido à existência de fissuras. Os sistemas adesivos eram classificados de acordo com a sua geração, mas devido a esta classificação ser mais propensa a confusão, atualmente são classificados de acordo com o modo de como interagem com a *Smear Layer* e número de passos clínicos. Assim, estes podem ser classificados em “*Etch-and-Rinse*” de 3 ou 2 passos, “*Self-Etch*” de 2 ou 1 passos, e Universais Figura 1.2 (Sezinando, 2014b)(Abad-Coronel et al., 2019)

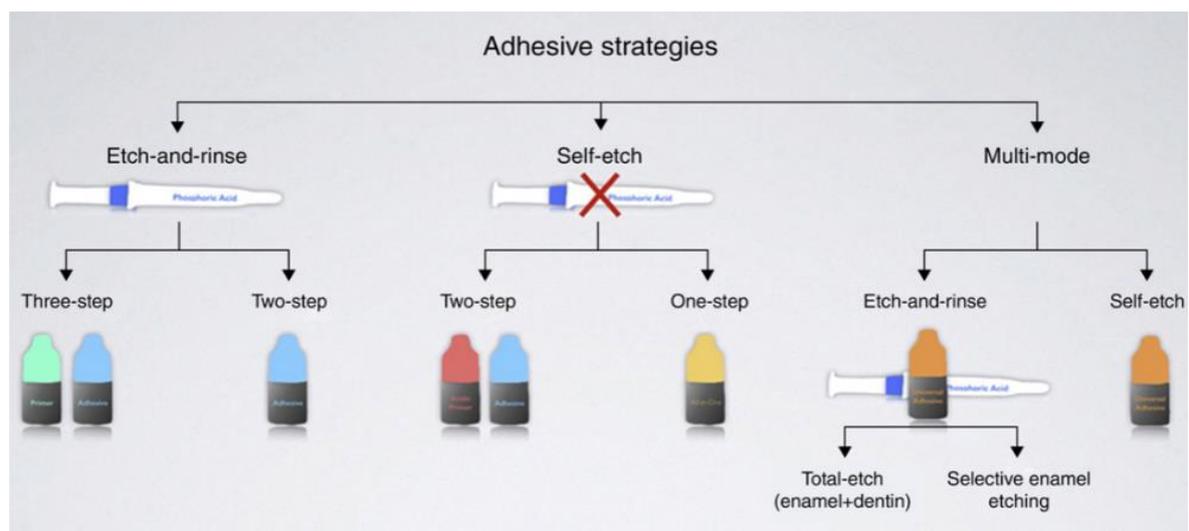


Figura 1.2. Sistemas adesivos disponíveis (Sezinando, 2014b).

1.1.8.1. Sistema adesivo Convencional ou “Etch-and-Rinse”

No sistema adesivo *Etch-and-Rinse* também denominado *Convencional* ou *Total-Etch*, recorre-se ao condicionamento prévio da superfície dentária através de um gel de ácido fosfórico a 37% para a desmineralização da superfície e remoção total da *Smear Layer*, quando aplicado na dentina. Este tipo de sistema adesivo é constituído por ácido fosfórico a 37%, *primer* e um adesivo (*bond*), e pode ser aplicado em 3 ou 2 passos, dependendo se o *primer* e o adesivo se encontram separados ou juntos no mesmo frasco, respetivamente (Perdigão, 2020; Vinagre & Ramos, 2016).

Quando este sistema adesivo é aplicado no esmalte, a desmineralização devido ao condicionamento ácido irá criar microporosidades na superfície que serão preenchidas por monómeros resinosos hidrofóbicos presentes no adesivo formando os denominados *tags* resinosos (*resin tags*) fundamentais para a retenção micromecânica (Perdigão, 2020).

O sistema adesivo “Etch-and-Rinse” de 3 passos é considerado o *gold standart* para a adesão à superfície do esmalte, porém ainda apresenta algumas desvantagens quando aplicado na dentina. Isto deve-se ao facto de o condicionamento ácido provocar uma desmineralização excessiva, promovendo a degradação da interface adesiva por hidrólise. Outra desvantagem que a aplicação deste sistema adesivo apresenta, quando aplicado na dentina, é que após a aplicação do ácido fosfórico para desmineralização da superfície, esta é lavada com um jato de água e secada em seguida. A dentina é um substrato que apresenta maior teor de humidade pelo que ao ser utilizado o jato de ar para a secar, a matriz de fibras de colágeno colapsa (*Overdry*) inviabilizando a penetração do *primer* e do adesivo (*bond*) (Perdigão, 2020; Vinagre & Ramos, 2016).

1.1.8.2. Sistema adesivo “Self-Etch”

Este tipo de sistema adesivo foi desenvolvido com o objetivo de permitir a diminuição de número de passos clínicos e, ao mesmo tempo, evitar complicações que se verificam quando o sistema adesivo “*Etch-and-Rinse*” é aplicado na dentina, como referido anteriormente (Vinagre & Ramos, 2016).

Ao contrário da técnica anteriormente descrita, este tipo de sistema não realiza a remoção total da *Smear Layer* através do condicionamento ácido. Pelo contrário, a *Smear Layer* é incorporada à camada híbrida, visto que não é realizado o condicionamento ácido isolado da superfície. Os monómeros acídicos encontram-se incorporados no *primer*, permitindo, simultaneamente, a desmineralização e a infiltração do adesivo no substrato, evitando, deste modo, a desmineralização excessiva e fibras de colagénio desprotegidas. Este tipo de sistema de adesivo pode apresentar 1 ou 2 passos, sendo que no primeiro o *primer* e o adesivo se encontram no mesmo frasco (Vinagre & Ramos, 2016)(Muñoz et al., 2013).

Outra diferença entre os sistemas adesivos “*Etch-and-Rinse*” e “*Self -Etch*” é que no segundo é possível controlar o nível de desmineralização através do nível de acidez do *primer*. O *primer* existe em 3 níveis: forte ($\text{pH} \leq 1$), intermédio ($\text{pH} = 2$), e leve ($\text{pH} > 2$). Os

primers fortes apresentam um potencial de desmineralização semelhante aos adesivos *Etch-and-Rinse*, sendo mais adequados para aplicação no esmalte, já os leves desmineralizam a dentina apenas superficialmente evitando a sua desmineralização excessiva (Sofan et al., 2017)

Apesar de ser considerada a melhor escolha de sistema adesivo para aplicação na dentina, este não apresenta tão bons resultados quando aplicado no esmalte. Por este motivo, diversos estudos testaram a adesão à superfície do esmalte utilizando a técnica *Selective Enamel Etching* e obtiveram melhores resultados (Muñoz et al., 2013; Perdigão, 2020). Esta técnica acrescenta um passo na aplicação do sistema adesivo “*Self-Etch*”, pois em primeiro lugar é efetuado o condicionamento ácido das margens da cavidade que apresentam esmalte para uma desmineralização adequada, e posteriormente aplicado o sistema adesivo “*Self-Etch*” em ambos os substratos para a adesão da restauração, revelando melhores resultados a longo prazo quando se pretende aderir a ambos os substratos (Muñoz et al., 2013; Perdigão, 2020).

Os sistemas adesivos simplificados, “*Etch-and-Rinse*” de 2 passos e “*Self-Etch*” de 1 passo, apesar de permitirem uma redução do número de passos clínicos, não apresentam tão boas propriedades como o “*Self-Etch*” de 2 passos, e “*Etch-and-Rinse*” de 3 passos (van Meerbeek et al., 2011). Os sistemas adesivos simplificados apresentam uma grande quantidade de monómeros hidrofílicos, e não possuem uma resina hidrofóbica sobre a camada de *Smear-Layer*. Isto gera uma camada híbrida que funciona como membrana semipermeável, permitindo o movimento de água através das interfaces, mesmo após polimerização. Consequentemente, ocorre uma degradação da camada híbrida com hidrólise da resina e rutura do colagénio, comprometendo o mecanismo de adesão ao longo do tempo. Por este motivo entre os 4 tipos de sistemas adesivos o sistema “*Etch-and-Rinse*” de 3 passos e o sistema “*Self-Etch*” de 2 passos são considerados uma melhor opção permitindo restaurações com maior longevidade e com melhores propriedades (Chasqueira et al., 2013)(van Meerbeek et al., 2011)

1.1.8.3. Sistema adesivo Universal

Os sistemas adesivos universais foram introduzidos em 2011 e destacam-se através da sua versatilidade, pois podem ser aplicados através das técnicas “*Self-Etch*”, “*Etch-and-Rinse*” ou através do “*Selective Enamel Etching*” sendo adequados para ambas as estratégias de restauração e em ambos os substratos (Muñ Oz et al., 2015; Muñoz et al., 2013)

Estes tipos de sistemas adesivos contêm todos os seus componentes num único frasco e combinam, na mesma solução, o primer ácido com o adesivo (*bond*). A versatilidade deste sistema adesivo pode ser explicada pela presença do monómero 10-MDP pois sendo altamente hidrofóbico, é menos solúvel possibilitando que a interface adesiva seja menos suscetível à degradação por hidrólise (Amin, Fareed, Sohail Zafar, et al., 2022; Muñ Oz et al., 2015; T. F. de Souza et al., 2018a).

Este tipo de sistema adesivo foi introduzido no mercado com o intuito de tornar o procedimento clínico mais simples, rápido e *user-friendly*, permitindo ao profissional escolher a estratégia de aplicação mais indicada para cada situação clínica (Muñ Oz et al., 2015; Perdigão et al., 2021)

Ao permitir a realização da técnica do condicionamento seletivo ao esmalte, “*Selective Enamel Etching*”, este sistema adesivo apresenta vantagens uma vez que combina a utilização de um sistema adesivo simplificado (“*Self-Etch*” de um passo) tanto na dentina como no esmalte, após condicionamento seletivo ao esmalte com ácido ortofosfórico. Uma das desvantagens da realização da técnica “*Selective Enamel Etching*” é a possibilidade de ocorrer o condicionamento involuntário da dentina com ácido provocando a sua desmineralização excessiva o que poderá causar a degradação da interface adesiva como mencionado anteriormente (Perdigão et al., 2021; Sezinando, 2014a).

Neste tipo de sistema adesivo, à semelhança dos sistemas adesivos simplificados “*Etch-and-Rinse*” de 2 passos e “*Self-Etch*” de 1 passo, a sua camada híbrida funciona como membrana semipermeável devido à grande quantidade de monómeros hidrofílicos, permitindo o movimento de água através das interfaces, mesmo após a realização da polimerização, promovendo a degradação por hidrólise da camada híbrida (Muñ Oz et al., 2015)

1.1.9. Tratamento da superfície

O sucesso das restaurações diretas, bem como das indiretas, depende muito da qualidade de adesão que se estabelece entre a superfície e o remanescente dentário. Porém, ao contrário do que acontece nas restaurações diretas, nas restaurações indiretas e nas semidiretas a peça restauradora já se encontra polimerizada no momento da sua instalação na boca do paciente (Scherer et al., 2018). Isto faz com que a aplicação de apenas sistema adesivo como elemento de ligação não seja suficiente para uma adesão duradoura entre o material restaurador e o substrato, pois não ocorre a hibridação entre os substratos (formação da camada híbrida). De modo a contornar este obstáculo, foi desenvolvida a técnica de tratamento de superfície de ambas as superfícies a aderir, antes de ser realizada a cimentação. Ao efetuar-se o tratamento das superfícies é possível criar uma adesão química e micromecânica entre ambas, aumentando a longevidade da restauração (Scherer et al., 2018).

Como se irá ver posteriormente, a aplicação de compostos resinosos de cimentação (cimentos) de adesão e a adesão a estes é um passo crucial no procedimento e longevidade das restaurações indiretas e semidiretas, independentemente do tipo de material restaurador utilizado. Uma adesão forte depende da adesão química que se estabelece e da retenção micromecânica obtida através do tratamento de superfície, que irá aumentar a rugosidade da interface adesiva e a energia da superfície. (Park & Choi, 2016)

Existem diversos tipos de tratamentos de superfície, sendo que o tipo de tratamento a realizar depende da composição química da peça restauradora a cimentar. Existem diversos tratamentos de superfície tais como o ácido hidrofúorídrico, óxido de alumínio (com ou sem revestimento por sílica), laser e silanização. (Abad-Coronel et al., 2019).

1.1.10. Cimentos

Os cimentos dentários foram desenvolvidos com objetivo de aderir as restaurações semidiretas e indiretas à estrutura dentária de forma estável e duradoura, após o tratamento da superfície e aplicação do sistema adesivo, podendo esta adesão ser química, micromecânica, ou ambas, dependendo da natureza do cimento e do substrato dentário (Pegoraro et al., 2007).

Existem dois tipos de cimentos, os resinosos e os convencionais, sendo que o tipo de cimento a utilizar depende do material de restauração selecionado. Os cimentos resinosos são, geralmente, os mais utilizados devido ao seu comportamento mecânico superior, pela possibilidade de adesão ao material restaurador à estrutura dentária com ou sem sistema adesivo, e pelas propriedades óticas superiores. Estes podem ser classificados de acordo com a sua estratégia de aplicação adesiva na estrutura dentária em cimentos resinosos “Etch-and-Rinse”, “Self-Etch” ou autoadesivos (Abad-Coronel et al., 2019; Pegoraro et al., 2007).

O tipo de cimento a usar depende do material, da restauração e da configuração geométrica do dente. Se as características da preparação cavitária conferirem uma retenção mecânica e resistência à restauração, um cimento convencional é o indicado. Caso contrário, um cimento à base de resina deve ser utilizado para criar uma forte adesão entre o substrato dentário e a restauração (Abad-Coronel et al., 2019).

Os cimentos podem ainda ser classificados, de acordo com o seu mecanismo de polimerização, em autopolimerizáveis (para restaurações de maior espessura ou opacas), fotopolimerizáveis ou uma combinação de ambos - dupla polimerização (dual). É recomendada a utilização de cimentos autopolimerizáveis em restaurações opacas ou espessas devido ao acesso restrito da luz. É importante considerar que para realizar uma restauração indireta ou semidireta de qualidade, a polimerização adequada do cimento é um dos fatores cruciais bem como a espessura da camada de cimento aplicado, uma vez que a resistência de união entre a restauração e os cimentos resinosos é diretamente inversa ao aumento da espessura da camada de cimento (G. de Souza et al., 2015; Falacho et al., 2022).

1.1.11. Degradação da interface adesiva

Como se viu, a longevidade da restauração é influenciada diretamente pelo clínico que a realizou e pelo comportamento e manutenção efetuada pelo paciente. Porém, dependente do substrato dentário a aderir, a degradação da interface adesiva é um fator importante a ser em consideração (Amin, Fareed, Sohail Zafar, et al., 2022).

A dentina, como referido anteriormente, é um substrato dentário ao qual a adesão é mais complexa devido ao seu conteúdo superior de água e matéria orgânica, e à sua variação regional. Deste modo, a durabilidade da adesão a este tecido é uma das grandes inquietações

atuais na área da Ortodontia, por ser o substrato mais suscetível à degradação da interface adesiva (Abad-Coronel et al., 2019)

A instabilidade da interface adesiva está associada à natureza porosa da camada híbrida que forma uma estrutura permeável, permitindo a circulação de água ao longo da interface adesiva, mesmo após a sua polimerização. Como a adesão à dentina é dependente da qualidade da camada híbrida formada, a longevidade da restauração encontra-se também naturalmente ligada à qualidade da camada híbrida (T. F. de Souza et al., 2018b).

São os fatores envolvidos na degradação da interface adesiva: a hidrofiliabilidade de alguns monómeros presentes nos adesivos, a presença de água nos sistemas adesivos “*Self-Etch*”, essencial para a ionização dos monómeros hidrofílicos, a realização da técnica *wet-water-bonding* nos sistemas adesivos “*Etch-and-Rinse*” e o fluido dentinário presente nos túbulos da dentina responsável pela sua permeabilidade. Estes fatores podem promover deterioração da camada híbrida, degradação da fibra de colagénio por ação das metaloproteinases da matriz da dentina (MMPs) levando à diminuição da resistência adesiva (Amin, Fareed, Sohail Zafar, et al., 2022). A degradação hidrolítica das fibras de colagénio expostas deve-se à impregnação imperfeita da resina na dentina desmineralizada, o que pode dever-se ao facto de ser não ser efetuada a uniformização da camada de resina aplicada sobre a superfície da dentina ou a uma desmineralização excessiva da dentina. (Pashley *et al.*, 2011; Mazzoni *et al.*, 2012b). A degradação hidrolítica provoca a degradação da camada híbrida formada, levando à diminuição dos valores de resistência adesiva.

Existem técnicas que permitem a diminuição da degradação da interface adesiva, tais como: a aplicação do adesivo de uma forma vigorosa, permitindo uma melhor difusão dos monómeros do adesivo para o interior do substrato; os solventes serem difundidos para o exterior, pois a rede de colagénio expande quando a pressão mecânica é aliviada; a aplicação de múltiplas camadas de adesivo, especialmente nos sistemas “*Self-Etch*”, para uma melhor capacidade de condicionamento do substrato; aumento do tempo de polimerização para a diminuição da permeabilidade das interfaces adesivas, já que a presença de monómeros não polimerizados aceleram a absorção de água na interface; e a aplicação de uma camada adicional de resina hidrofóbica tornando a interface adesiva mais espessa e uniforme com menores valores de água e solvente (Amin, Fareed, Zafar, et al., 2022; T. F. de Souza et al., 2018b).

1.1.12. Ensaios de avaliação da adesão

A norma ISO/TS 11405:2015 descreve as orientações para a realização dos testes que permitem avaliar a interface adesiva, sendo estes testes à tração, testes ao corte, testes de medição de fendas marginais e testes de micro e nano infiltração (Sirisha et al., 2014).

Segundo a norma ISO/TS 11405:2015, a resistência adesiva corresponde à força necessária (N), por unidade de área (mm^2), para quebrar a união adesiva, através da formação de uma falha ao nível da interface adesiva, sendo influenciada por fatores como: (1) o tamanho da área de adesão; (2) o substrato; (3) o sistema adesivo aplicado (Cardoso et al., 2011).

A eficácia adesiva pode ser avaliada através de macro ou micro testes de resistência adesiva, dependendo da área de união a ser analisada. Os macro-testes de resistência adesiva são utilizados em áreas adesivas superiores a $3mm^2$ e englobam o corte (SBS-Shear Bond Strength), a tração (TBS-Tensile Bond Strength) (Palma, Marques, Antunes, et al., n.d.; Palma, Marques, Falacho, et al., n.d.; Xavier et al., 2021) e Push-out (Rodrigues Paulo et al., 2021). Os micro-testes de resistência adesiva permitem medição de forças de ligação que utilizam superfícies adesivas com uma área de secção transversal na gama de 0,5 a $1,5 mm^2$ e compreendem a microtração (μ TBS); o microcorte (μ SBS) e testes de micro-push-out (Park & Choi, 2016; Sirisha et al., 2014);

Os ensaios de resistência à tração convencionais (TBS) apresentam valores de resistência adesiva sobrestimados e uma maior probabilidade do tipo de fratura dos bastonetes ser do tipo coesivo, devido às maiores dimensões do material podendo apresentar maior quantidade de fissuras e defeitos que resultarão em fratura coesiva quando ensaiados. Por este motivo, surgiram os ensaios de microtração (μ TBS) de modo a ultrapassar estes obstáculos e melhorar a qualidade da avaliação da adesão, apresentando melhor precisão, e menor percentagem de fraturas coesivas devido à menor dimensão das amostras. Com a diminuição da probabilidade da ocorrência deste tipo de fraturas é possível obter valores de resistência adesiva superiores. (Eveline De Lima Ribeiro et al., 1234; Park & Choi, 2016)

O teste de microtração apresenta diversas vantagens perante o ensaio à tração convencional, nomeadamente: a possibilidade de se estudar diferentes regiões do mesmo dente; a obtenção de um grande número de amostras (bastonetes) a partir de um só dente; uma distribuição mais uniforme do stress aplicado; a redução da área de interface o que facilita a análise microscópica de varrimento (SEM) do tipo de fratura ocorrido. No entanto,

o protocolo tipo de testes (μ TBS) é um pouco mais complexo devido à necessidade de obtenção de amostras geometricamente semelhantes de reduzidas dimensões, à potencial desidratação das amostras e dificuldade da medição de valores de resistência adesiva baixos (Armstrong et al., 2010; Sano et al., 2020)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal objetivo deste estudo, conforme referido na introdução é avaliar a resistência adesiva de restaurações diretas e semidiretas em resina composta ao substrato dentinário através de ensaios de microtração(μ TBS).

2.1. Materiais

Para este estudo, 23 terceiros molares permanentes humanos foram obtidos de indivíduos de 16 a 40 anos de idade, extraídos num período de seis meses. Apenas foram selecionados dentes sem cárie e sem fissuras, não restaurados. Após limpeza da superfície com curetas periodontais, os dentes foram armazenados a 4°C em 1% de Cloramina-T durante uma semana e posteriormente transferidos para água destilada até ao início dos procedimentos experimentais, como indica a norma ISO/TS 11405:2015.

Neste estudo, para avaliar a resistência adesiva à dentina segundo duas estratégias de restauração diferentes, foram criados dois grupos de ensaio: Restauração Direta e Restauração Semidireta. Em ambos os grupos de ensaio foi utilizado o mesmo sistema adesivo “*Self-Etch*” de 2 passos (Clearfil SE Bond 2, Kuraray), e o mesmo material restaurador, resina composta (Ceram x Spectra ST HV, Dentsply Sirona) na realização das restaurações.

Dos iniciais 23, foram selecionados 16 e aleatoriamente distribuídos pelos dois grupos de ensaio para posterior realização das restaurações.

Após a realização das restaurações, para ambos os grupos de ensaio foram obtidos os bastonetes com recurso à serra elétrica (Struers Accutom-5), e em seguida ensaiados à tração na máquina de testes universal (Shimadzu Autograph AG-I) para avaliação da resistência adesiva. Na tabela 1 estão indicados os materiais utilizados durante o procedimento experimental e a sua constituição.

Tabela 2.1. Materiais utilizados.

Material/fabricante	Composição	Classificação	Lote
Clearfil SE Bond 2 (Kuraray)	Primer: 10-Metacrilóiloxidecil di-hidrogenofosfato (MDP), Metacrilato de 2-hidroxi-etil (HEMA), Dimetacrilato alifático hidrofílico, dl-canforquinona, Água	Sistema adesivo Self-Etch de 2 passos	Primer: 30 D145
	Bond: 10-Metacrilóiloxidecil di-hidrogenofosfato (MDP) Metacrilato de 2-hidroxi-etil (HEMA), Bisfenol A diglicidilmetacrilato (Bis-GMA), Dimetacrilato alifático hidrofóbico, dl-canforquinona, Iniciadores, Aceleradores, Sílica coloidal silanada		Bond: 3P0 212
Prime&Bond active (Dentsply Sirona)	Resina acrílica modificada com ácido fosfórico, acrilato multifuncional, acrilato bifuncional, acrilato ácido, isopronanol, água, iniciador, estabilizador	Sistema adesivo universal	20010008 22
Ceram x Spectra ST HV (Dentsply Sirona)	Metacrilato de polisiloxano modificado (cerâmica organicamente modificada), Resinas de dimetacrilato, Pigmento fluorescente, Estabilizador UV, Estabilizador, Camphorquinona, Etil4(dimetilamino)enzoato, Bis-(4-metilfenil)iodônio hexafluorofosfato de bis(4-metilfenil)iodônio, Vidro de bário-alumínio-borosilicato, Fluoreto de itérbio, Pigmentos de óxido de ferro e pigmentos de óxido de titânio de acordo com a tonalidade	Resina composta	22040008 69
Surefil SDR Flow (Dentsply Sirona)	vidro de bário-alumino-fluoro-borossilicato, vidro de estrôncio-alumino-fluoro-silicato, resina de dimetacrilato de uretano modificado, EBPADMA, TEGDMA, CQ, fotoacelerador, BHT, estabilizador UV, dióxido de titânio,	Resina Fluida	

	pigmentos de óxido de ferro, agente fluorescente		
Variolink Esthetic LC,Ivoclar Vivadent	uretano ,dimetacrilato, monómeros de metacrilato, iniciadores, estabilizadores, pigmentos, óxido misto de esferoides	Cimento Resinoso	Z00965

2.2. Métodos

2.2.1. Preparação das amostras

Obtidos os 23 molares inferiores estes foram numerados de 1 a 23 e, posteriormente, cada um destes foi sujeito a uma radiografia com o objetivo de localizar a sua dentina e observar a sua espessura, como se pode observar na Figura 2.1.



Figura 2.1. Radiografia de um molar.

Para normalização destas radiografias, foram aplicados nos eixos Oxx e eixo Oyy dois *sticks* radiopacos de 5 mm de comprimento, de modo a ser possível localizar a dentina na estrutura do dente, e ter uma perceção da espessura e comprimento da dentina de cada molar.

Posteriormente, foi realizado um acesso apical à camara pulpar para remoção do conteúdo recorrendo a uma broca esférica diamantada #12, com recurso a um microscópio (Leica M300) com a ampliação definida em 6,4 vezes. Esta intervenção através da zona apical(raiz) de cada molar teve como objetivo a preservação da coroa do dente. Em seguida

efetuou-se uma limpeza da cavidade criada para a remoção dos detritos de matéria orgânica da câmara pulpar de cada molar, recorrendo-se se a uma solução de hipoclorito de sódio a 2,5% com auxílio do microscópio a uma ampliação de 16X.

Efetuada a limpeza da cavidade de cada molar foi realizada a lavagem destes com água bidestilada para a solução de hipoclorito de sódio não permanecer no dente, visto que esta degrada matéria orgânica podendo degradar a dentina.

Dos 23 molares, foram selecionados 16 segundo critério de seleção em que segundo o qual os molares deviam apresentar uma geometria adequada à obtenção do maior número de bastonetes possível e a dentina não devia estar muito próxima da coroa, de modo a que quando se efetuasse a remoção do esmalte não se interferisse com a estrutura deste substrato.

Selecionados os 16 molares que irão ser utilizados no estudo da interface adesiva, passou-se ao preenchimento da cavidade com resina composta (Surefil SDR Flow, Dentsply Sirona). Antes de efetuar o preenchimento da cavidade, esta é lavada com jato de água e secada em seguida com jato de ar. É importante referir que para a realização do preenchimento, tanto a cavidade como as luvas do clínico devem encontrar-se completamente secas, de modo a evitar a degradação do adesivo por hidrólise.

Em seguida, através da cavidade foi aplicado o sistema adesivo universal (Prime&Bond Active, Dentsply Sirona) de forma ativa com recurso a um pincel de aplicação, para uma penetração máxima na face inferior da dentina durante 20 segundos.

O sistema adesivo foi aplicado em todas as superfícies da cavidade para uma distribuição uniforme. e, ao ser aplicado na face superior da cavidade face interior da dentina), o adesivo universal é secado recorrendo a um jato de ar de modo a evitar irregularidades, como poças de adesivo indesejadas, e para eliminação do solvente.

É importante referir que durante a aplicação e uniformização da camada de adesivo universal, esta não foi sujeita a observação através do microscópio para evitar a sua polimerização.

Após a secagem da camada de adesivo, esta foi fotopolimerizada durante 20 segundos recorrendo a um fotopolimerizador de potência $1200W/cm^2$, (Bluephase Style 20i, Ivoclar vivadent). Efetuada a fotopolimerização do adesivo universal, iniciou-se o preenchimento da cavidade com resina fluida (Surefil SDR Flow, Dentsply Sirona) pelos cornos pulpares, de modo a evitar a formação de bolhas de ar devido ao não preenchimento adequado das

extremidades da cavidade, permitindo assim a criação de uma base uniforme para o preenchimento da cavidade.

Cada incremento de resina para o preenchimento da cavidade apresenta cerca de 1 mm de espessura sendo aplicado utilizando a técnica de incrementação oblíqua com recurso a uma espátula. Após cada incremento de resina, este é fotopolimerizado durante 20 segundos, sendo que a fotopolimerização é efetuada o mais próximo possível do dente.

Ao aplicar-se cada incremento de resina, através da técnica de incrementação oblíqua, é possível minimizar o número de superfícies aderidas pela resina, o que resulta numa diminuição do fator de contração de polimerização (Fator C). É repetido este processo até a cavidade se encontrar totalmente preenchida. Efetuado o preenchimento da cavidade pulpar de todos os 16 molares selecionados, estes são armazenados em água destilada para evitar a desidratação da dentina. Em seguida, preenchidas as cavidades de todos os molares, é realizada a remoção do esmalte em cada um, visto que o presente estudo pretende avaliar a adesão do material restaurador apenas à dentina. Esta remoção do esmalte foi realizada através de um equipamento de cortar gesso (Zenit, Spain) (Figura 2.2) com um fluxo de água corrente para a remoção dos detritos. Nos molares em que ainda se verificava a presença de esmalte, para uma remoção completa deste, recorreu-se à serra elétrica (Stuers Accutom-5) (Figura 2.2) com um disco diamantado sendo efetuado o seu refinamento com recurso a uma lixa de rugosidade 600 nos molares em que foi necessário.



Figura 2.2. A-Máquina cortadora de gesso (Zenit); B-Serra elétrica (Stuers Accutom-5).

Após a remoção do esmalte de todos os 16 molares, estes foram divididos aleatoriamente em 2 grupos de 8 molares cada, com o objetivo de randomizar as amostras. Foram criados então dois grupos de amostras, o grupo Restauração Direta, constituído pelos molares em que será efetuada a restauração direta, e o grupo Restauração Semidireta, constituído pelos molares nos quais será efetuada a restauração semidireta.

Para a realização das restaurações recorreu-se a um molde com orifícios circulares para a criação de uma base de acrílico, servindo como suporte fixo para cada molar, garantindo a sua imobilização e estabilização, como é possível observar na Figura 2.3.

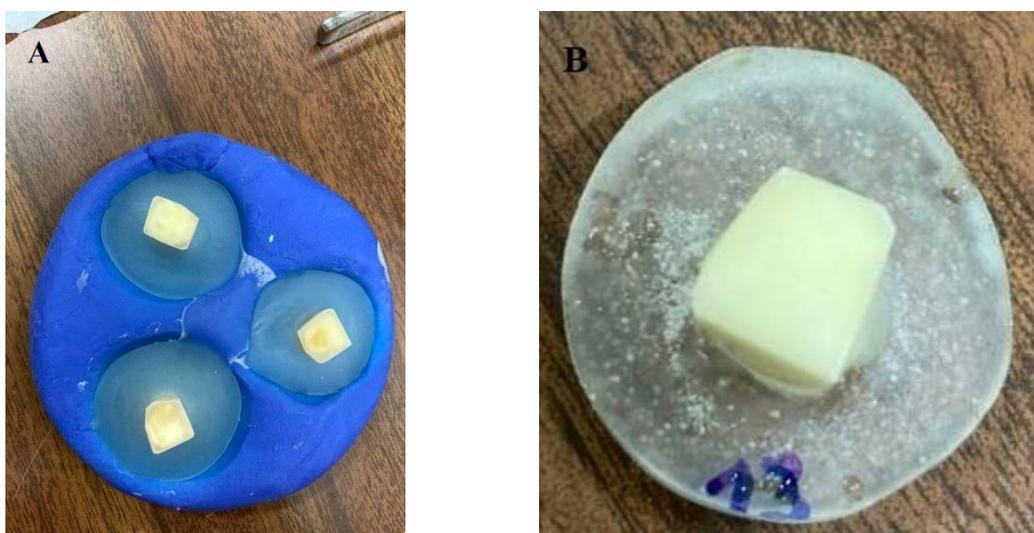


Figura 2.3. A: base para criação dos suportes de acrílico; B: molar com dentina exposta fixo no suporte.

2.2.2. Protocolo da restauração Direta

Com os molares do grupo A fixos no suporte de acrílico, foram então iniciadas as restaurações diretas. Previamente à realização da restauração direta dos molares, a superfície de dentina é seca com um jato de ar para eliminar a humidade existente na superfície devido ao seu armazenamento na solução de água bidestilada.

Com a superfície da dentina seca o passo seguinte foi a aplicação do sistema adesivo “Self-Etch” de 2 passos (Clearfil SE BOND 2, Kuraray). Para isso, foi inicialmente efetuada uma aplicação ativa do *primer* ácido na dentina com recurso a um pincel de aplicação

durante 20s para o condicionamento da superfície. É efetuada a secagem com recurso a um jato de ar para garantir uma distribuição uniforme deste sobre a superfície da dentina e a eliminação do solvente. Em seguida, foi aplicado o adesivo de modo ativo durante 20s e efetuada a remoção dos seus excessos com o jato de ar para uniformização da camada de adesivo. Por fim, a camada de adesivo foi fotopolimerizada durante 20s com recurso ao fotopolimerizador (Bluephase Style 20i, Ivoclar vivadent), sendo este processo repetido para todos os 8 molares.

Em seguida foi , iniciada a aplicação da resina composta (Ceram x Spectra ST HV) selecionada como material restaurador na superfície preparada. É importante que, ao realizar cada incremento de resina, se realize uma distribuição do material para a formação de uma camada uniforme em toda a superfície da dentina, de modo a evitar falhas coesivas da restauração. Entre cada incremento de material aplicado é efetuada a fotopolimerização deste durante 20s para uma diminuição do fator C. A fotopolimerização de cada incremento de material foi realizada o mais próximo possível da superfície sem ocorrer contacto entre a superfície e o fotopolimerizador. A restauração encontra-se finalizada quando a sua espessura atinge 4mm, recorrendo-se a uma régua para verificação da espessura da peça restauradora. Após finalizada, a peça foi fotopolimerizada 20 segundos em cada uma das suas faces. Este processo foi repetido para todos os 8 molares do grupo da restauração direta.

2.2.3. Protocolo da restauração semidireta

Após a secagem da superfície, foi efetuada a criação da peça restauradora na superfície da dentina, também realizada em resina composta (Ceram x Spectra ST HV, Dentsply Sirona). O protocolo de criação da peça restauradora é idêntico ao do grupo das restaurações diretas, mas não existe a aplicação do sistema adesivo na dentina. Esta foi originada através de pequenos incrementos de 1 mm de resina composta aplicados sobre a superfície da dentina, e espalhados de forma a criar uma camada uniforme de material restaurador sobre esta. Entre cada incremento aplicado de material restaurador foi efetuada a sua fotopolimerização durante 20s com recurso ao fotopolimerizador (Bluephase Style 20i, Ivoclar Vivadent), até a peça restauradora totalizar uma espessura de 4mm, sendo que

atingida a espessura desejada, a peça é sujeita a fotopolimerização em todas as suas faces por mais 20s.

Finalizada a peça restauradora, esta foi descolada da superfície da dentina com recurso a um alicate, para uma posterior cimentação da peça restauradora, sendo este processo repetido para cada molar do grupo de ensaio.

Com a peça restauradora separada do molar, foi efetuada a sua cimentação recorrendo a um cimento resinoso (Variolink Esthetic LC, Ivoclar Vivadent). Para isso, a superfície da dentina é lavada, e secada, para eliminação de alguns detritos que possam ter permanecido. Em seguida, a superfície interior da restauração foi tratada com um jato de óxido de alumínio de modo a aumentar a sua rugosidade e energia de superfície. Depois foi aplicado apenas o adesivo(bond) do sistema adesivo que foi também utilizado na realização das restaurações diretas (Clearfil SE BOND 2, Kuraray) sem efetuar a sua polimerização. Posteriormente, na superfície da dentina foi efetuada a aplicação do sistema adesivo “Self-Etch” de 2 passos também sem efetuar a sua polimerização. Finalizada a aplicação do sistema adesivo no substrato dentário foi aplicado o cimento resinoso (Variolink Esthetic LC, Ivoclar Vivadent) na superfície interna da restauração, sendo esta colocada na superfície da dentina e pressionada de modo a expulsar os excessos de cimento. Não sendo detetados mais excessos foi efetuada a fotopolimerização de cada face da restauração durante 20s com recurso ao fotopolimerizador (Bluephase Style 20i, Ivoclar vivadent). Encontra-se então finalizada a restauração semidireta (Figura 2.4) e este processo foi repetido para os restantes molares.



Figura 2.4. Restauração dentária

2.2.4. Formação dos bastonetes

Realizadas todas as restaurações de ambos os grupos, estes são armazenados numa solução de água bidestilada a 37 °C durante cerca de 1 mês para envelhecimento das amostras.

Após este período foi passado-se então à formação dos bastonetes, recorrendo à serra (Struers Accutom-5) com uma velocidade de avanço de 0,075mm/s a 3000rpm. Para a obtenção dos bastonetes de secção quadrada foram realizados 2 cortes longitudinais ortogonais entre si segundo o eixo XX e YY.

Inicialmente realizou-se um corte longitudinal segundo o eixo vertical de cada molar sem atingir o suporte de acrílico, para evitar a destruição deste e da amostra, como se pode ver na Figura 2.5.

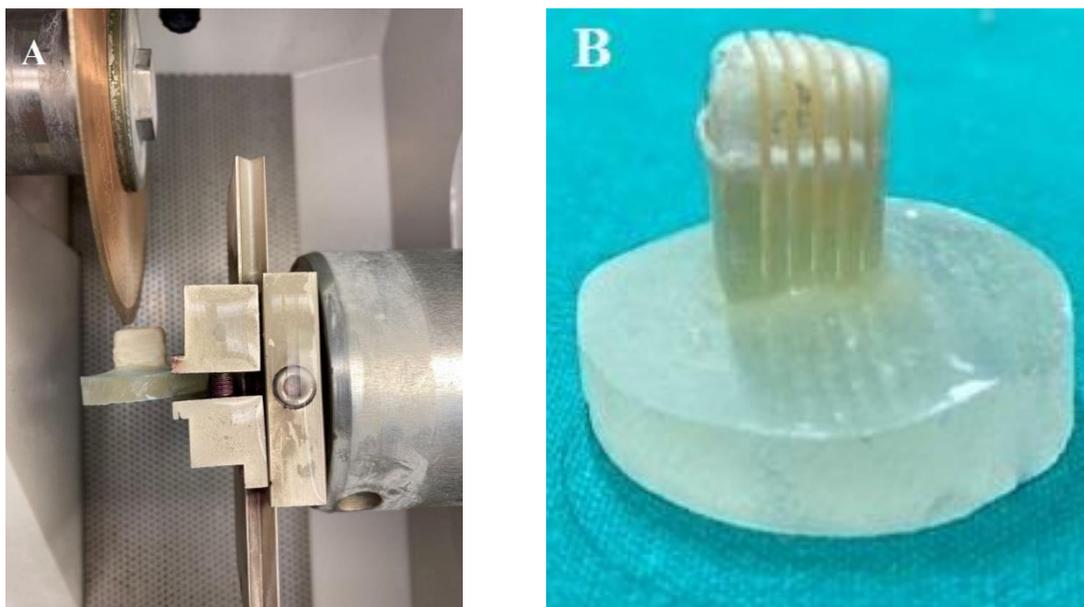


Figura 2.5. A: Instalação do molar restaurado para realização do 1º corte longitudinal; B: Molar restaurado após 1º corte longitudinal.

Após a realização do 1º corte longitudinal em todas as amostras (Figura 2.5.B), o passo seguinte foi a preparação das amostras para o 2º corte segundo o eixo dos YY, de modo a obter os provetes de secção quadrada geometricamente iguais como pretendido.

Para a preparação do segundo corte, cada um dos molares foi preenchido com silicone, (Figura 2.6), de modo a evitar uma vibração excessiva do molar no momento de realização

do 2º corte longitudinal. Esta aplicação de silicone foi necessária visto que a estrutura do dente já se encontrava instável após o primeiro corte, pelo que se não for tida em consideração a vibração da serra no momento do 2º corte longitudinal, pode ocorrer a fratura do dente, o que provoca a obtenção de bastonetes de geometria irregular ou até mesmo a sua fratura prematura.

Aplicado o silicone nos molares, foi efetuado o segundo corte longitudinal com recurso novamente à serra (Struers Accutom-5)(Figura 2.6).

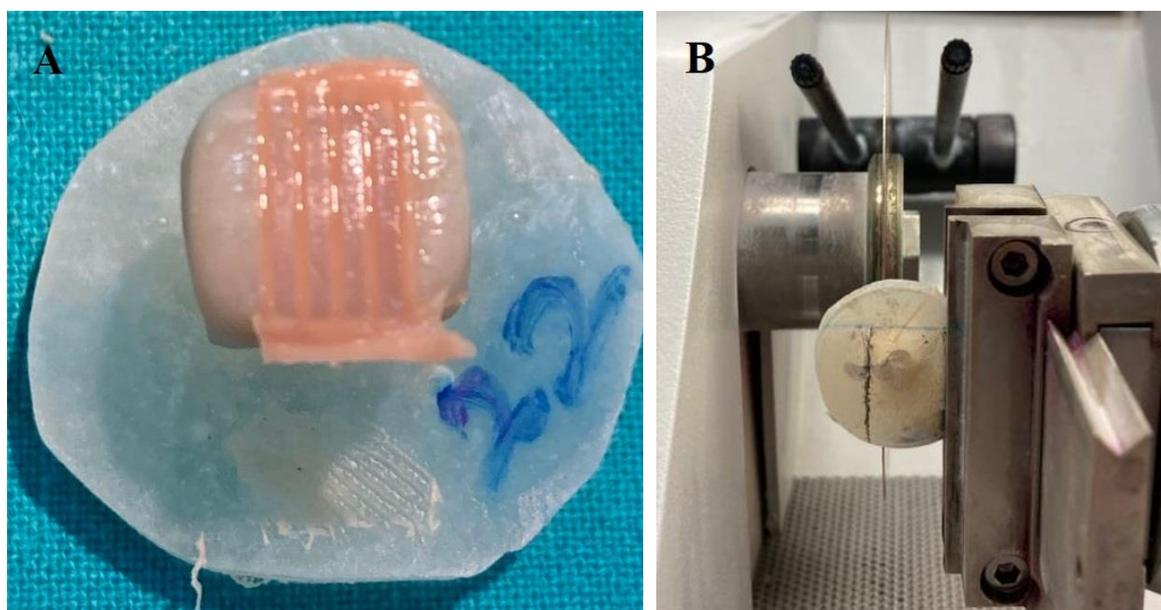


Figura 2.6. A: Molar preenchido com silicone; B: Instalação do molar restaurado para realização 2ª corte longitudinal

Efetuados os respetivos cortes, e posteriormente à realização do corte transversal na zona apical para obtenção dos bastonetes, foi efetuada a seleção dos bastonetes que foram utilizados nos ensaios e os que foram descartados com recurso a marcadores de diferentes cores (preto e vermelho). Como se pode ver na Figura 2.7, os bastonetes que se encontram marcados a cor preta se foram alvo de estudo da interface adesiva através do ensaio à microtração, enquanto que os que se encontram marcados a vermelho foram desprezados, pois ainda apresentavam vestígios de esmalte marginal. Contudo, mesmo efetuando um

manuseamento adequado das amostras para a obtenção de um número máximo de bastonetes, devido à complexidade deste processo de obtenção dos bastonetes ocorreram perdas involuntárias, seja devido à serra à estrutura do dente ou devido a uma adesão entre os substratos insuficientes, como podemos ver na Figura 2.7.



Figura 2.7. A: Molar restaurado com ambos os cortes longitudinais efetuados, B: Seleção dos bastonetes para ensaio μ TBS

Após diferenciar os provetes que serão selecionados dos que irão ser descartados através dos marcadores para ambos os grupos de ensaio, foi realizado um último corte transversal (na parte apical) junto ao suporte de acrílico sendo, por fim, obtidos os bastonetes pretendidos para o ensaio à microtração (μ TBS) como podemos ver na Figura 2.8.

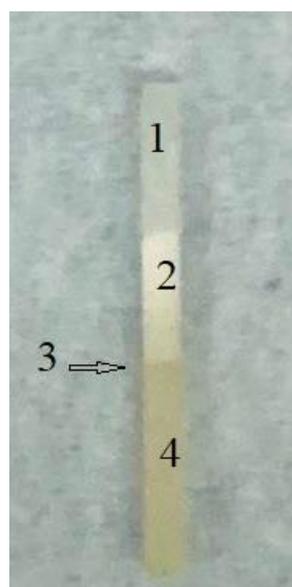


Figura 2.8. Bastonete sendo:1-Resina fluida;2: Dentina;3Interface adesiva;4-Resina composta.

2.2.5. Ensaios de microtração

Obtidos os bastonetes, estes foram colados com cola (Instant Adhesive,Permabond) a suportes de aço (Figura 2.9) para serem ensaiados e para redução do tempo de secagem da cola é utilizado um ativador (CSA,Permabond).

De referir que, na escolha da cola, foi tida em consideração a sua cor e a sua viscosidade, apresentando elevada viscosidade e uma cor preta. Estas características são importantes pois ao apresentar uma cor preta, se ocorrer infiltração da cola na interface adesiva quando o bastonete é colado ao suporte, esta é facilmente visível. A elevada viscosidade evita que, no momento da colagem, a cola se espalhe para a interface adesiva, o que iria provocar valores de adesão não válidos ao alterar o comportamento do bastonete sobre esforço durante o ensaio. Após colagem dos bastonetes nos suportes, estes foram instalados e submetidos ao ensaio de microtração (μ TBS) a uma velocidade de 0,5m/min até fraturarem, recorrendo a uma máquina de testes universal (Shimadzu Autograph AG-I) de acordo com a norma ISO/TS 11405:2015 utilizando uma célula de carga de 5 kN Figura 2.9.

Ao fraturar cada bastonete foi registado o valor de força (N) exercido numa folha de cálculo Excel, e em seguida o bastonete fraturado é sujeito a observação por microscopia eletrónica de varrimento, com recurso ao microscópio (Leica M300) com uma ampliação de 10x para identificação do seu modo de fratura.

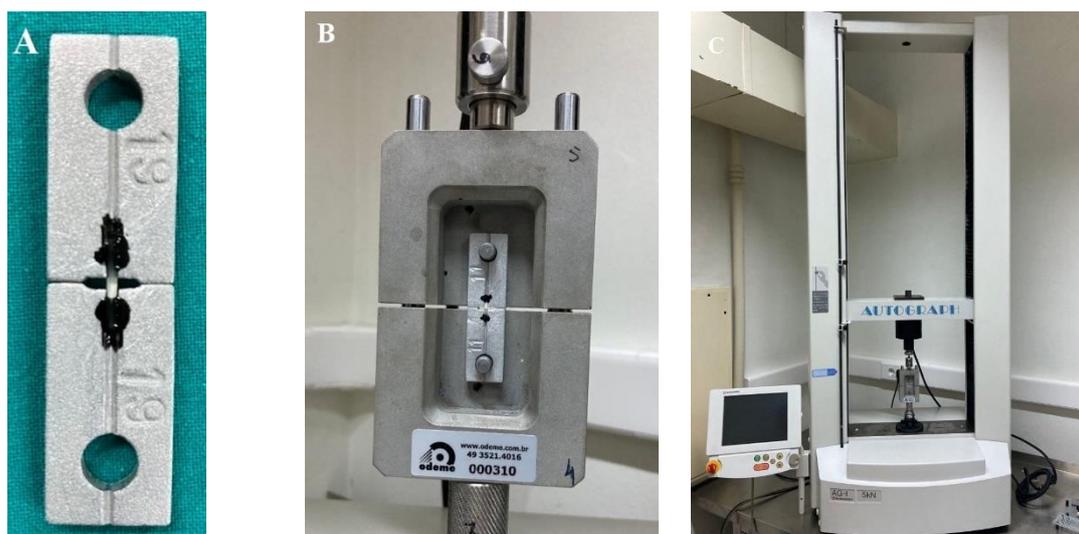


Figura 2.9. A: Bastonete colado ao suporte de aço, B: Instalação do suporte de aço na máquina de ensaio μ TBS; C: Máquina universal de testes μ TBS (Shimadzu Autograph AG-I).

O tipo de fratura do bastonete pode ser identificado como um de 4 modos de fratura possível: adesiva (A), coesiva na dentina (CD), coesiva no compósito (CC) ou mista (M), como se pode ver na Figura 2.10.

Ao efetuar a medição de alguns provetes fraturados verificou-se que a dimensão da interface adesiva rondava os $0,8\text{mm}^2$, sendo esta a medida assumida para todos provetes. Com os valores de força de fratura e área da interface adesiva definidos é possível então determinar as tensões de resistência à tração de cada bastonete em MPa.

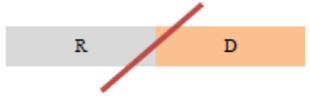
Tipo de Fratura	Imagem ilustrativa
Adesiva Ocorre na interface resina-dentina	
Coesiva na Dentina Ocorre apenas na dentina	
Coesiva na Resina Ocorre apenas na resina	
Mista Ocorre na interface adesiva e na resina ou dentina	

Figura 2.10. Resumo do tipo de fraturas possíveis sendo R: material restaurador e D: dentina (Carolina Beatriz & Gomes, 2016)

2.2.6. Análise da microscopia eletrónica de varrimento (MEV)

Um microscópio eletrónico de varrimento é um tipo de microscópio que cria imagens de uma determinada amostra por varrimento da sua superfície, com um feixe focado de eletrões que são geralmente produzidos num filamento de tungsténio. Os eletrões interagem com átomos na superfície da amostra, produzindo vários sinais que contêm informação sobre a topografia da superfície e a composição da amostra. O modelo utilizado foi um HITACHI SU3800 (Figura 2.12) (Luís et al., 2021).

As amostras selecionadas para a realização da análise MEV foram embebidas em 6Mol/L HCL durante 30s, lavadas com água, e depois imersas em hipoclorito de sódio a 5%

durante 10 min. Todas as amostras foram lavadas bem com água, secas ao ar e, sequencialmente, desidratadas em concentrações crescentes de etanol (50% - 75% - 95% - 100%), sendo que cada banho de etanol foi de 15 min. No final, secaram-se as amostras com jato de ar e armazenaram-se em papel absorvente, num recipiente fechado e com sílica, até ao momento da análise microscopia eletrónica de varrimento (MEV). Para serem observadas segundo a análise MEV, as amostras foram aderidas a um suporte e para verificação de que a interface de fratura se encontrava orientada corretamente, de modo a ser analisada, recorreu-se a um microscópio para a sua instalação correta no suporte (Figura 2.11). Com as amostras (bastonetes fraturados) orientadas corretamente, foi possível passar ao revestimento das mesmas-

As amostras não são naturalmente condutoras elétricas, pelo que foi necessário fazer o seu revestimento com um material condutor para observação no microscópio. Para isso, recorreu-se a uma máquina de revestimento (Cressington 108 Sputter Coater) (Figura 2.12), que colocou as partículas em vácuo e posteriormente efetuou o seu revestimento em ouro de cerca de 3-5 nm para assegurar a condução com um mini-sputtering.

Depois de efetuado o revestimento das amostras com material condutor, realizou-se a análise MEV para a identificação do tipo de fraturas de ambos os grupos com recurso ao microscópio HITACHI SU3800 (Figura 2.12). De referir que, para uma análise mais eficaz da interface da fratura quando possível, para cada bastonete fraturado, uma metade do bastonete foi instalada ao alto para analisar a vista transversal deste e a outra metade deitada para uma vista longitudinal.

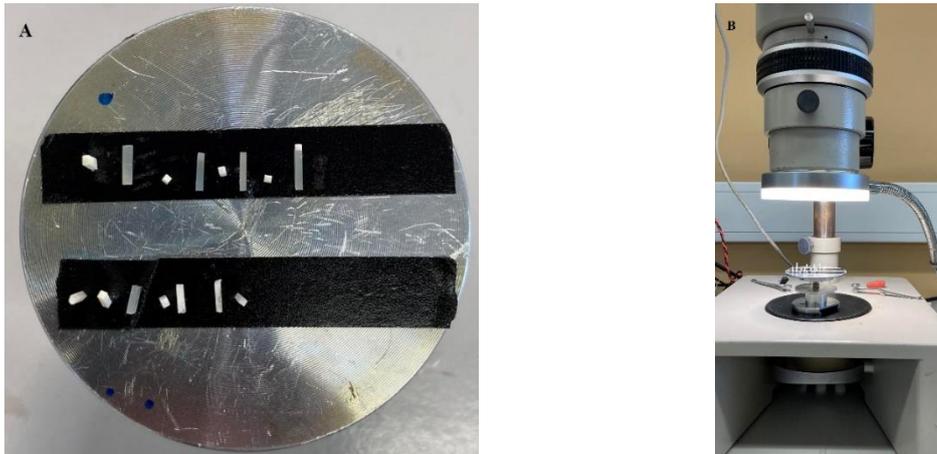


Figura 2.11. A: Instalação das amostras no suporte; B: Observação da orientação da interface da fratura.



Figura 2.12. Equipamento de revestimento Cressington 108 Sputter Coater B: Microscópio HITACHI SU3800

3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O desenvolvimento de sistemas adesivos que proporcionem uma adesão estável e duradoura, permitindo um número reduzido de passos clínicos, permanece um dos temas mais importantes na área de reabilitação oral.

Devido à enorme variedade de sistemas adesivos e materiais restauradores desenvolvidos no mercado, é necessário estudá-los e avaliar a sua capacidade de criar uma restauração estável de forma a aumentar a longevidade das mesmas.

Para tal, recorre-se à realização de estudos *in vitro* que permitem a avaliação da resistência adesiva da interface criada e estudo do comportamento da restauração, bem como a comparação de restaurações realizadas com recurso a sistemas adesivos, materiais restauradores ou estratégias de restauração diferentes. Este tipo de testes permite perceber quais os fatores que poderão contribuir para uma interface adesiva deficiente e uma longevidade da restauração reduzida. Ao identificar estes problemas, é possível desenvolver novas técnicas e materiais para a sua resolução e melhorar a qualidade e longevidade das restaurações.

Para relacionar os dados obtidos nos ensaios *in vitro*, realizados pela Doutora Joana Marques e pelo Professor Doutor Paulo Palma, com o comportamento real da restauração na boca do paciente, é necessário seguir em conformidade com uma norma registada. Ao longo deste estudo, a norma respeitada foi a ISO 11405:2015, que apresenta indicações relativamente à seleção e armazenamento das amostras, bem como informações dos diferentes testes que permitem avaliar a qualidade da adesão e da interface adesiva.

Neste estudo, foi selecionado o teste de microtração (μ TBS) para avaliar a interface adesiva criada pelo sistema adesivo aplicado e o comportamento da restauração quando sujeito a esforços em ambos os grupos de ensaio. Este teste, como referido anteriormente, permite o estudo de diferentes regiões de um mesmo dente, fornece um grande número de amostras (bastonetes) a partir de um único dente e, ao utilizar amostras de menor dimensão, permite uma distribuição uniforme da força exercida ao longo do material. Por outro lado, o teste de resistência à tração convencional (TBS), apenas permite realizar um ensaio a partir

de cada dente. Além disso, verifica-se um maior número de ocorrência de fraturas coesivas devido à maior dimensão das amostras, havendo uma maior probabilidade de existirem defeitos e fissuras no material restaurador criado.

Existem outros tipos de teste aos quais é possível recorrer para avaliar a interface adesiva, tais como os testes ao corte convencionais (SBS - *Shear bond Strenght*) ou testes ao microcorte (μ SBS). Porém, estes apresentam uma taxa de fraturas do tipo coesivo superior ao teste μ TBS e não permitem uma análise tão precisa da interface adesiva criada. (Palma, Marques, Antunes, et al., n.d.; Palma, Marques, Falacho, et al., n.d.; Xavier et al., 2021).

Para este estudo ambos os grupos de ensaio, de restauração direta e restauração semidireta, foram realizados com recurso ao mesmo material restaurador -resina composta - (Ceram x Spectra ST HV, Dentsply Sirona) e foitambém aplicado o mesmo sistema adesivo, do tipo “*Self-Etch*” de 2 passos (Clearfil SE BOND 2, Kuraray) como referido anteriormente.

Previamente à realização do teste de microtração observou-se um número pequeno de fracassos prematuros, ou falhas pré teste (FPT), que ocorreram durante o protocolo de formação dos bastonetes. A ocorrência da perda de bastonetes está relacionada com diversos fatores como a preparação e manipulação destes, parâmetros de corte para obtenção dos bastonetes, variação da estrutura mais homogênea do substrato dentário e o protocolo complexo devido às reduzidas dimensões dos bastonetes.

De notar que, apesar de terem sidos utilizados o mesmo material restaurador e o mesmo sistema adesivo em ambas as estratégias de restauração, foram obtidos valores de resistência adesiva e padrão de fratura significativamente diferentes, o que poderá dever-se ao protocolo realizado em cada restauração, como será descrito em seguida.

3.1. Análise da força de resistência adesiva

3.1.1. Valores de tensão obtidos

Os valores de resistência adesiva obtidos através do ensaio de microtração (μ TBS) foram registados numa folha de Excel após a fratura de cada bastonete. Como referido anteriormente, ocorreram falhas pré teste, o que era expectável devido à complexidade do protocolo de obtenção de bastonetes. Porém estas devem ser evitadas ao máximo, através da realização adequada do protocolo.

A máquina universal de testes de microtração (*Shimadzu Autograph AG-I*) fornece os valores de resistência adesiva de cada bastonete em Newton (N), no entanto, como foi admitida uma área de interface de $0,8 \text{ mm}^2$ para todos os bastonetes obtidos ($n=168$, sendo 88 para restauração direta e 80 para restauração semidirecta), é possível determinar as tensões exercidas na interface adesiva em MPa, sendo a tensão o resultado da divisão da força obtida pela área de interface .

Através das funções integradas no Excel, Média() e DESVPAD.S(), é possível determinar as tensões resistivas médias, e o desvio padrão para cada grupo de ensaio (Tabela 3.1).

Na análise dos valores de resistência adesiva e na sua análise estatística não foram consideradas as falhas pré-teste para cada grupo de ensaio, no entanto, encontram-se na Tabela 3.1 os dados obtidos, bem como o respetivo número de falhas para cada restauração.

Tabela 3.1. Resumo dos dados obtidos para cada grupo de ensaio, excluindo as falhas pré-teste.

	Nº de bastonetes (n)	Falhas pré-teste	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Max (MPa)	Min (MPa)
Restauração Direta	82	6	38,16	10,75	72,17	14,04
Restauração Semidireta	65	15	25,45	10,19	48,80	3,16

Através da Tabela 3.1 verifica-se que os valores de resistência adesiva médios à dentina bem como os seus valores máximos e mínimos diferem, significativamente, entre as duas estratégias de restauração, mesmo sendo utilizando o mesmo sistema adesivo e o mesmo compósito como material restaurador. Relativamente ao grupo de restauração direta, é possível observar através Tabela 3.1 que a tensão máxima registada é de 72,17 MPa, sendo um valor bastante elevado o que revela a existência de uma forte adesão entre os substratos distintos. No entanto, é possível que na realidade esta fosse superior, visto que o tipo de fratura para esta tensão foi coesivo no compósito, tendo o material restaurador fraturado para uma tensão inferior à tensão máxima suportada pela interface adesiva.

Para as tensões mínimas registadas para cada grupo de ensaio verificou-se que, enquanto o valor de resistência adesiva mínima para restaurações diretas é de 14,04 MPa, no grupo de restaurações semidiretas é de 3,16 MPa, sendo 4,44 vezes inferior ao valor mínimo de tração registado no grupo de restaurações diretas. A ocorrência de fraturas do grupo de restauração semidireta para valores tão reduzidos não era esperado, visto que a aplicação dos materiais foi feita de acordo com o protocolo recomendado pelos fabricantes. Uma possível justificação para esta diferença significativa de valores de resistência mínima é que poderá dever-se ao protocolo da obtenção da peça da restauração, assunto que irá ser discutido mais adiante.

No que diz respeito aos valores de tensão médios para o grupo de restauração direta, estes encontram-se em concordância com a literatura (Jacques & Hebling, 2005; Scherrer et al., 2010a). Nestes é utilizado o sistema adesivo Clearfil SE Bond, considerado um sistema adesivo *Self Etch* de referência para adesão à dentina, sendo que única diferença entre este e o sistema adesivo utilizado neste estudo (Clearfil SE Bond 2) é que o último apresenta a possibilidade de ser aplicado em todas as estratégias de restauração (direta, semidireta e indireta) (Sebond2_brochure, n.d.).

Este sistema adesivo, ao apresentar na sua constituição o monómero funcional 10-MDP como podemos verificar na Tabela 2.1, promove uma interação química mais estável na presença de água, visto que a superfície da dentina não é secada após a aplicação do sistema adesivo entre os substratos o que poderá contribuir para o aumento das forças de adesão à dentina (Sezinando, 2014a).

O HEMA é outro monómero funcional também presente na constituição como podemos ver na Tabela 2.1 deste sistema adesivo, e apresenta propriedades hidrofílicas o

que permite a diminuição da viscosidade do adesivo e, aumentando assim a capacidade de impregnação deste no substrato dentário e permitindo a obtenção de uma melhor resistência adesiva entre os substratos (van Meerbeek et al., 2011).

. Apesar de para o grupo de ensaio de restauração semidirecta a tensão média de resistência adesiva obtida ter sido menor que aquela obtida para o grupo de restauração directa Tabela 3.1, o valor é concordante com os valores obtidos noutros estudos em que foram realizadas restaurações indirectas (de Andrade et al., 2007; Hironaka et al., n.d.; Mak et al., n.d.; Suzuki et al., n.d.). Esta concordância de valores é compreensível visto que a única diferença entre estas estratégias de restauração é o protocolo para obtenção da peça restauradora (Eveline De Lima Ribeiro et al., 1234; Opdam et al., 2016).

O valor de resistência adesiva médio inferior para o grupo da restauração semidireta comparando com o grupo de restauração directa pode dever-se à camada de cimento resinoso, utilizado para cimentação da peça restauradora. Como já referenciado na literatura (Jongsma, n.d.; Scherer et al., 2018), o cimento é considerado o “elo mais fraco” das estratégias de restauração em que seja efetuada a cimentação da peça restauradora. Isto pode dever-se ao facto de a camada de cimento ser o elemento mais sujeito a alterações devido à contração de polimerização quando é efetuada polimerização da restauração após a cimentação da peça restauradora, de modo a criar uma adesão entre os dois substratos. Estas alterações devido à contração colocam em causa o selamento marginal e a integridade da restauração. Outro fator que poderá influenciar as propriedades mecânicas da camada de cimento é a sua tendência para absorção de água, pelo que a realização da polimerização adequada do mesmo é muito importante para evitar a sua degradação hidrolítica.(Jongsma, n.d.).

No entanto, para o grupo de ensaio da restauração semidireta verifica-se uma grande variação entre os valores máximos e mínimos de tensão de fratura do bastonete (48,8 MPa e 3,16 MPa respetivamente). É possível que esta oscilação dos valores de resistência adesiva obtidos se deva a algum passo do protocolo da realização das restaurações deste grupo de ensaio.

Esta oscilação de valores de resistência adesiva pode dever-se ao facto de de a criação da peça restauradora ter sido efetuada utilizando a superfície de dentina exposta como base. A restauração semidireta não é efetuada diretamente na boca do paciente, podendo a peça restauradora ser criada através de um molde do preparo cavitário ou utilizando o dente

isolado como base para em seguida realizar a cimentação da peça restauradora na boca do paciente. No presente estudo não se utilizou um molde do preparo cavitário para a criação da peça restauradora, sendo esta criada diretamente na superfície da dentina exposta sem efetuar o seu isolamento, o que poderá ter provocado uma interferência com a matriz de colagénio desta com a impregnação de composto resinoso, e posterior fotopolimerização deste no interior dos túbulos dentinários.

Finalizada a peça restauradora, ao efetuar o seu descolamento da dentina com recurso a um alicate, existe a possibilidade de se alterar a estrutura da dentina, e, possivelmente, provocar a obliteração dos seus túbulos, o que irá prejudicar a cimentação posterior da peça restauradora e a capacidade de criar uma interface adesiva de qualidade, influenciando os valores de resistência adesiva. Isto ocorre pois já não será possível a criação de uma camada híbrida adequada, através da impregnação do sistema adesivo nos túbulos dentinários, promovendo retenção química e micromecânica entre os dois substratos distintos, visto que os túbulos se encontrariam danificados.

Pode, então, assumir-se que este tipo de protocolo para realização de uma restauração semidireta não apresenta bom um prognóstico, quando comparado com o protocolo para a realização de uma restauração semidireta em que se recorre a um molde para a criação da peça restauradora fora da boca do paciente.

Através da Figura 3.1 é possível observar o comportamento de ambos os grupos de ensaio para diferentes gamas de tensão. Pode verificar-se que, para os grupos de restauração direta, se verifica uma elevada frequência de fratura dos bastonetes para tensões de tração mais elevadas, o que comprova que este grupo de ensaio apresenta fortes valores de adesão. Por outro lado, o grupo das restaurações semidiretas apresenta uma elevada frequência de fratura para valores de tensão reduzidos, o que contribui para a confirmação da possibilidade de que a estrutura da dentina se encontra danificada, pelo que influencia a adesão entre os substratos.

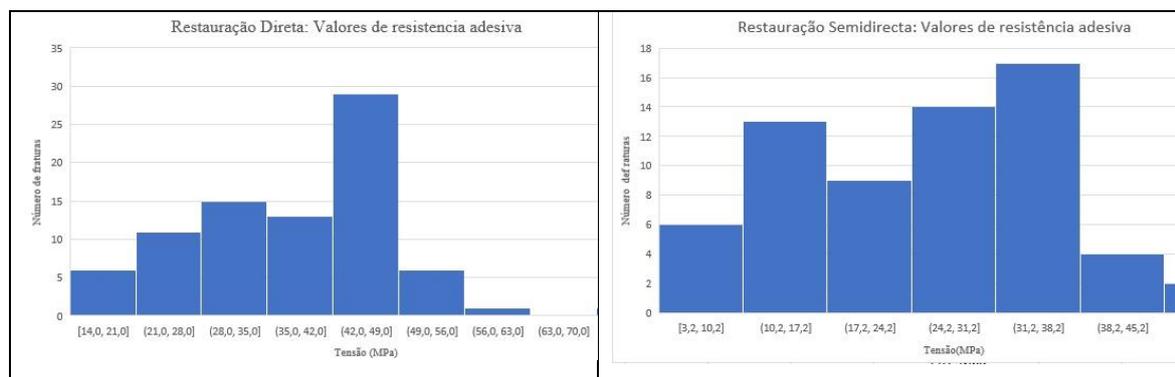


Figura 3.1. Comparação frequência de fraturas dos bastonetes dos diferentes grupos de ensaios.

3.1.2. Análise estatística

Foram realizadas análises estatísticas em dois cenários diferentes, um em que foram consideradas as falhas pré testes (FPT) a 0, e num cenário em que se exclui as FPT da análise estatística. No entanto, como através da análise estatística foram obtidos resultados semelhantes, apenas será discutido o cenário em que as falhas pré testes foram excluídas da análise estatística. Para a realização da análise estatística dos dados obtidos através do ensaio μ TBS, recorreu-se ao programa SPSS Statistics (Neto et al., 2021; Palma, Marques, Falacho, et al., n.d.; Xavier et al., 2021), com um intervalo de confiança de 95%, para a realização do T-test, se a suposição de distribuição normal se verificasse válida.

Como hipótese nula (h_0) foi assumido que ambos os grupos de ensaio apresentam a mesma distribuição de valores de resistência adesiva, e como hipótese alternativa (h_1) foi assumido que os grupos de ensaio não apresentam a mesma distribuição de valores de resistência adesiva.

Para verificar se existe uma distribuição normal dos valores de resistência obtidos foi realizado o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, sendo obtido um valor de $p < 0,05$. Isto significa que os valores de resistência adesiva de ambos os grupos não apresentam uma distribuição normal, sendo que a suposição de normalidade para os valores obtidos de resistência adesiva para ambos o grupo se verifica falsa.

Como não se verifica uma distribuição normal dos valores obtidos, a análise estatística foi realizada através do teste não paramétrico Mann-Whitney U, com intervalo de confiança de 95%, com recurso ao programa de software SPSS Statistics (Neto et al., 2021; Palma, Marques, Falacho, et al., n.d.; Xavier et al., 2021).

Após se verificar que não existe distribuição normal dos valores, foi realizado o teste de Levene, para determinar se existe homogeneidade de variância entre ambos os grupos de ensaio com uma confiança de 95%, o que se verificou ser válido pois obteve-se um valor de $p > 0,05$. Após a verificação da homogeneidade de variância entre ambos os grupos, os valores da resistência adesiva foram analisados através do teste Mann-Whitney U com uma confiança de 95%. Foi então obtido um $p < 0,05$, como podemos ver na Figura 3.2, o que significa que existe uma diferença estaticamente significativa entre os valores de resistência adesiva de ambos os grupos.

Total N	147
Mann-Whitney U	1114,000
Wilcoxon W	3259,000
Test Statistic	1114,000
Standard Error	256,392
Standardized Test Statistic	-6,049
Asymptotic Sig. (2-sided test)	0,000

Figura 3.2. Análise segundo teste não paramétrico Mann-Whitney U

Para determinar se a diferença estatística entre os valores de resistência adesiva de ambos os grupos é elevada ou reduzida, recorreu-se ao teste *de Independent Samples Effect Sizes* através de Cohen's d. O valor obtido foi de 1,102. Segundo a escala de Cohen's d se o valor de d obtido for entre (0,2;0,5) a diferença é pequena, entre (0,5-0,8) a diferença é média. Tendo em conta que o valor de Cohen's d foi superior a 0,8, significa que a diferença entre ambos os grupos é elevada, pois $1,102 > 0,8$.

Resumindo, os valores de resistência adesiva de ambos os grupos ensaiados não apresentam a mesma distribuição pois verifica-se uma diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos para ambos os grupos, pelo que a hipótese nula (h_0) é rejeitada.

3.2. Análise dos tipos de fratura

3.2.1. Tipos de fratura obtidos

Através da Tabela 3.2 é possível analisar a frequência com que ocorreu cada tipo de fratura de ambos os grupos de ensaio, num cenário em que são excluídas as falhas pré teste. A partir da tabela 5.2 constata-se que existe uma grande diferença relativamente aos tipos de fratura dos bastonetes entre os 2 grupos de ensaio. Enquanto que no grupo de restaurações diretas a grande maioria (69,5%) das fraturas é do tipo coesiva, nas restaurações indiretas a maioria das fraturas (92,3%) é do tipo adesivo

Tabela 3.2. Frequência do tipo de fratura excluindo as FPT

Tipo de fratura	Restauração Direta	Restauração Semidireta	Total
A	23(28,0%)	60(92,3%)	83(56,5%)
CC	40(48,8%)	1(1,5%)	41(27,9%)
CD	17(20,7%)	1(1,5%)	18(12,2%)
M	2(2,4%)	3(4,6%)	5(3,4%)
Total	85(100%)	80(100%)	165(100%)

Esta percentagem tão elevada de fraturas do tipo coesivo no grupo de restauração direta (69,5%) era expectável, tendo em consideração que a maioria dos bastonetes para a estratégia de restauração direta fraturou para gamas de tensões consideradas já elevadas, como se pode observar na Tabela 3.2. No entanto, é de considerar que ambos os substratos poderão apresentar pequenos defeitos ou fissuras resultantes do protocolo da realização da restauração, e que quando sujeitos a tensões elevadas, fraturam de forma coesiva.

Fraturas coesivas nem sempre indicam boa resistência adesiva criada pelo sistema adesivo aplicado. Em casos em que a restauração resultou da realização de um protocolo menos adequado, e se verificarem grandes quantidades de fissuras, deformações e falhas num substrato, é expectável que estes fraturem para tensões mais baixas. Isto impede a avaliação da resistência adesiva real, pois o substrato fragilizado fratura primeiro do que a interface

adesiva, pelo que deve ser sempre tido em conta um protocolo e manuseamento adequado das amostras de modo a evitar falhas coesivas.

No presente estudo uma justificação possível para uma maior percentagem de fraturas coesivas na dentina (CD), especialmente no grupo Restauração Direta (20,7%) é que estas terão resultado de fissuras provocadas no substrato dentário, no momento de remoção do esmalte com recurso à máquina cortadora de gesso (Figura 2.2). Esta máquina, ao desgastar o esmalte através de fricção intensa, faz o molar vibrar o que poderá resultar em formações de fissuras no substrato dentário.

Relativamente às fraturas coesivas no compósito (CC) para o grupo de ensaio restauração direta (48,8%), podem dever-se a defeitos ou fissuras formadas durante o protocolo, como por exemplo a não uniformização da camada de compósito aplicada de modo a evitar irregularidades na criação da peça restauradora, ou a serra causar defeitos no material na formação dos bastonetes. Estas fraturas também podem ocorrer devido a erros de alinhamento da amostra na máquina de teste utilizada, ou a uma distribuição não uniforme das tensões exercidas no bastonete, promovendo o início da formação de uma fenda que, devido à concentração localizada de tensões, leva à fratura do material. A fratura mista não é conclusiva, uma vez que não permite saber com exatidão que tipo de fratura ocorreu (Scherrer et al., 2010b).

Se estes substratos não apresentarem fissuras ou deformações de relevância, a fratura coesiva também poderá significar que a tensão de tração ultrapassou o módulo de elasticidade dos materiais, sendo que o cenário procurado é a fratura coesiva no substrato, visto que nem a interface adesiva nem a peça restauradora criada fraturaram (Scherrer et al., 2010b).

Um tipo de falha adesiva significa que o sistema adesivo não suportou a tensão de tração aplicada à interface, o que geralmente permite a obtenção de dados realistas acerca da interface adesiva. Porém, no grupo Restauração Semidireta isso não se verifica, devido à adesão deficiente que se apurou, com a possível alteração da estrutura da dentina durante a realização da restauração. Neste caso, avaliar com precisão o tipo de fratura para este grupo de ensaio não é possível, pois a tendência será sempre uma fratura adesiva como podemos ver através da Tabela 3.2. e da Figura 3.3.

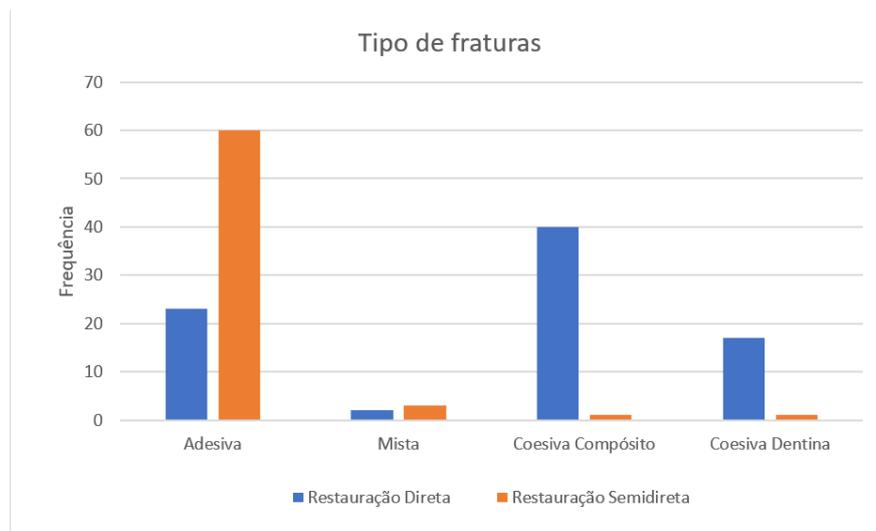


Figura 3.3. Comparação da frequência que ocorrem os diversos tipos de fratura para ambos os grupos de ensaio.

3.2.2. Análise Estatística

Para a análise estatística dos padrões de fratura excluindo as FPT, recorreu-se ao teste Chi-Square Test com uma confiança de 95% através do programa SPSS (Neto et al., 2021; Palma, Marques, Falacho, et al., n.d.; Xavier et al., 2021). A partir deste teste pretende determinar-se se existe relação entre o tipo de estratégia de restauração (direta ou semidireta) e o tipo de fratura que ocorreu. Como hipótese nula (H_0), foi assumido que não há relação entre o tipo de fratura e a estratégia de restauração, e como hipótese alternativa (H_1) foi assumido que há relação entre o tipo de estratégia e o tipo de fratura verificado.

Como suposição, foi considerado que cada tipo de fratura ocorreu pelos menos 5 vezes em cada estratégia de restauração, porém esta não é respeitada, como se observa na Figura 3.4. Em seguida, através do Chi-Square Test Likelihood Ratio Figura 3.5, foi obtido $p < 0,05$, o que significa que entre os grupos existe uma diferença estatística significativa relativamente aos tipos de fratura, pelo que o tipo de fratura dos bastonetes se encontra relacionado com o tipo de estratégia efetuado.

Sendo assim, é rejeitada a hipótese nula (H_0).

			Restauração Direta	Restauração Semidirecta	Total
Padrão de fratura	A	Count	23 _a	60 _b	83
		% within Grupo_recode	28,0%	92,3%	56,5%
	CC	Count	40 _a	1 _b	41
		% within Grupo_recode	48,8%	1,5%	27,9%
	CD	Count	17 _a	1 _b	18
		% within Grupo_recode	20,7%	1,5%	12,2%
	M	Count	2 _a	3 _a	5
		% within Grupo_recode	2,4%	4,6%	3,4%
Total	Count	82	65	147	
	% within Grupo_recode	100,0%	100,0%	100,0%	

Each subscript letter denotes a subset of Grupo_recode categories whose column proportions do not differ significantly from each other at the .05 level.

Figura 3.4. Percentagens e frequência de cada tipo de fratura para ambos os grupos de ensaio.

Chi-Square Tests									
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Monte Carlo Sig. (2-sided)			Monte Carlo Sig. (1-sided)		
				Significance	99% Confidence Interval		Significance	99% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound		Lower Bound	Upper Bound
Pearson Chi-Square	66.943 ^a	3	0.000	.000 ^b	0.000	0.000			
Likelihood Ratio	79.985	3	0.000	.000 ^b	0.000	0.000			
Fisher-Freeman-Halton Exact Test	76.297			.000 ^b	0.000	0.000			
Linear-by-Linear Association	32.982 ^c	1	0.000	.000 ^b	0.000	0.000	.000 ^b	0.000	0.000
N of Valid Cases	147								

a. 2 cells (25.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.21.
 b. Based on 10000 sampled tables with starting seed 957002199.
 c. The standardized statistic is -5.743.

Figura 3.5. Teste de Chi-Square

3.3. Análise microscopia eletrônica de varrimento (MEV)

Através da análise SEM das amostras, foi possível obter as seguintes imagens dos 4 tipos de fratura: adesiva (Figura 3.6), coesiva na dentina (Figura 3.7), coesiva no compósito (Figura 3.8) e mista (Figura 3.9).

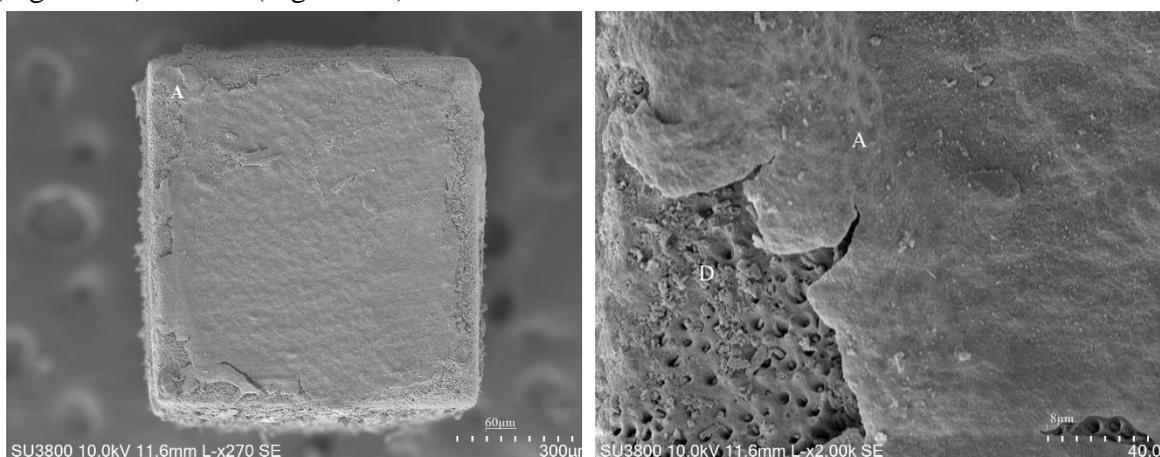


Figura 3.6. Fratura do tipo adesiva sendo que A: adesivo; D: dentina.

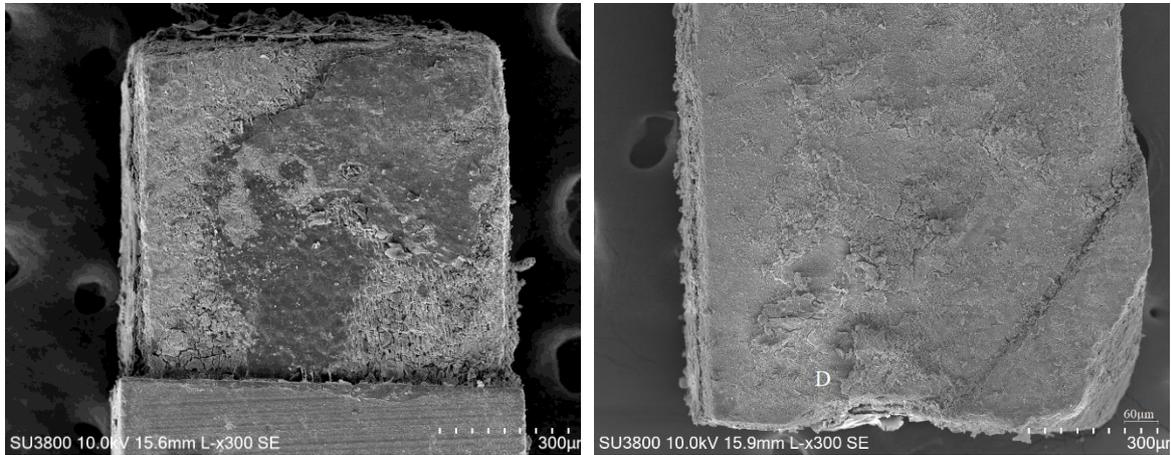


Figura 3.7. Fratura do tipo coesivo na dentina, sendo D: Dentina.

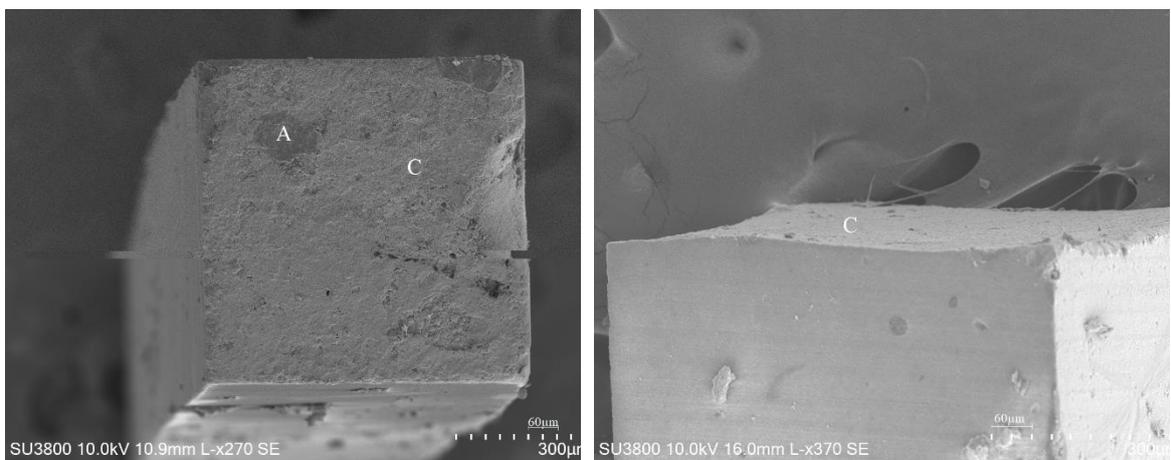


Figura 3.8. Fratura do tipo coesiva no compósito, sendo A: Adesivo, C: Compósito.

Na Figura 3.9 a fratura é do tipo misto, pois verifica-se a existência de >10% de adesivo sobre a superfície da dentina.

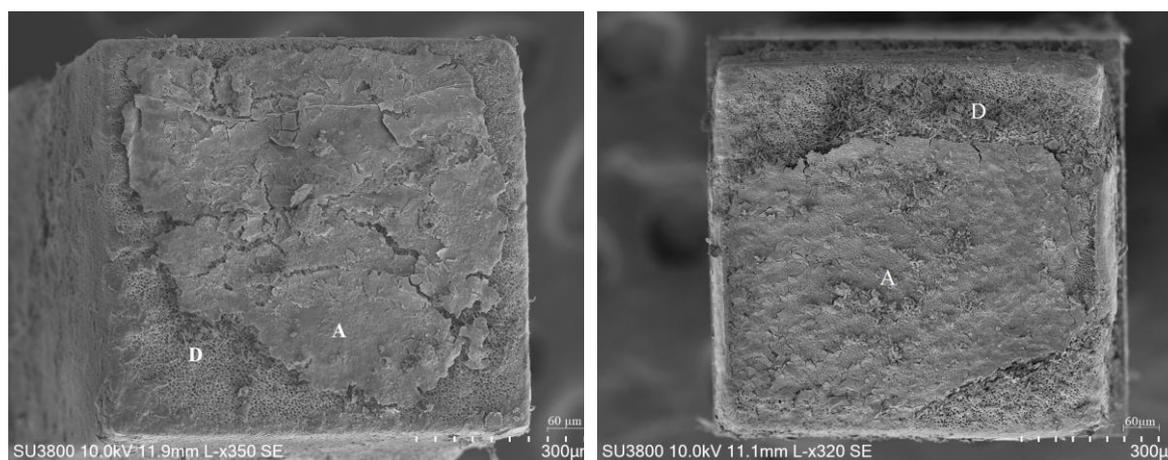


Figura 3.9. Fratura do tipo mista, sendo A: Adesivo e D:Dentina.

4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O principal desafio na adesão aos tecidos dentários é a interação com o substrato dentário, sendo necessário um sistema adesivo para criar a adesão entre o material restaurador e o substrato dentário.

Considerando as limitações existentes neste estudo e os resultados obtidos, pode concluir-se que o sistema adesivo Clearfil SE Bond 2 é um adesivo que permite obter elevadas forças de resistência adesiva independentemente da estratégia de restauração, sendo que a restauração direta apresenta valores de resistência adesiva superiores relativamente à restauração semidireta.

Como sugestão, seria interessante avaliar a resistência adesiva segundo as estratégias de restauração semidireta e indireta, visto que em ambas se efetua a cimentação da peça restauradora criada. Como em ambas a estratégia se verifica este passo, seria possível realizar uma melhor comparação da resistência adesiva entre os substratos. Poderia também comparar-se estas duas estratégias de restauração quando realizadas com materiais restauradores diferentes, como cerâmica e resina, de modo a estudar o comportamento destas sob tensão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Coronel, C., Naranjo, B., & Valdiviezo, P. (2019). *dentistry journal Adhesive Systems Used in Indirect Restorations Cementation: Review of the Literature*. <https://doi.org/10.3390/dj7030071>
- Amin, F., Fareed, M. A., Sohail Zafar, M., Khurshid, Z., Palma, P. J., & Kumar, N. (2022). Degradation and Stabilization of Resin-Dentine Interfaces in Polymeric Dental Adhesives: An Updated Review. *Coatings* 2022, 12, 1094. <https://doi.org/10.3390/coatings12081094>
- Armstrong, S., Geraldeli, S., Maia, R., Raposo, L. H. A., Soares, C. J., & Yamagawa, J. (2010). Adhesion to tooth structure: A critical review of “micro” bond strength test methods. *Dental Materials*, 26(2), e50–e62. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2009.11.155>
- Cardoso, M. v. De, A., Neves, A., Mine, A., Coutinho, E., Landuyt, V., de Munck, J., & Meerbeek, V. (2011). Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Australian Dental Journal*, 56(1), 31–44. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2011.01294.x>
- Carolina Beatriz, & Gomes. (2016). *INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE EGAS MONIZ MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA ESTUDO IN VITRO DA RESISTÊNCIA ADESIVA À DENTINA, POR MICROTRAÇÃO, DE SISTEMAS ADESIVOS SELF-ETCH E UNIVERSAIS*.
- Cetin Unlu N Cobanoglu, A. N. (n.d.). *A Five-Year Clinical Evaluation of Direct Nanofilled and Indirect Composite Resin Restorations in Posterior Teeth*. <https://doi.org/10.2341/12-160-C>
- Chasqueira, A. F., Arantes-Oliveira, S., & Portugal, J. (2013). Effect of changes to the manufacturer application techniques on the shear bond strength of simplified dental adhesives. *Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials*, 11(2), 117–121. <https://doi.org/10.5301/JABFM.5000156>
- da 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>
- de Andrade, O. S., de Goes, M. F., & Montes, M. A. J. R. (2007). Marginal adaptation and microtensile bond strength of composite indirect restorations bonded to dentin treated with adhesive and low-viscosity composite. *Dental Materials*, 23(3), 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.01.028>
- de Kuijper, M. C. F. M., Cune, M. S., Özcan, M., & Gresnigt, M. M. M. (2021). Clinical performance of direct composite resin versus indirect restorations on endodontically treated posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2021.11.009>
- de Souza, G., Ruggiero Braga, R., Cesar, P. F., & Lopes, G. C. (2015). Correlation between clinical performance and degree of conversion of resin cements: a literature review. *J Appl Oral Sci*, 358(4), 358–368. <https://doi.org/10.1590/1678-775720140524>
- Demarco, F. F., Corrêa, M. B., Cenci, M. S., Moraes, R. R., & Opdam, N. J. M. (2012). Longevity of posterior composite restorations: Not only a matter of materials. *Dental Materials*, 28(1), 87–101. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2011.09.003>

- Eveline De Lima Ribeiro, A., Da, J., Dias, N., Margarida, A., Melo, S., Castillo, B., Borges, D., & Vieira De Assunção, I. (2013). Direct and semi-direct resin composite restoration in large cavity preparations: analysis of dentin bond strength stability and bottom/ top microhardness ratio in a cavity model. *Odontology*, *110*, 482–488. <https://doi.org/10.1007/s10266-021-00680-7>
- Falacho, R. I., Marques, J. A., Palma, P. J., Roseiro, L., Caramelo, F., Ramos, J. C., Guerra, F., & Blatz, M. B. (2022). Luting indirect restorations with resin cements versus composite resins: Effects of preheating and ultrasound energy on film thickness. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, *34*(4), 641–649. <https://doi.org/10.1111/jerd.12851>
- Ferracane, J. L., & Hilton, T. J. (2016). Polymerization stress – Is it clinically meaningful? *Dental Materials*, *32*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2015.06.020>
- Gaile, M., Papia, E., Zalite, V., Locs, J., & Soboleva, U. (2022). *Resin Cement Residue Removal Techniques: In Vitro Analysis of Marginal Defects and Discoloration Intensity Using Micro-CT and Stereomicroscopy*. <https://doi.org/10.3390/dj10040055>
- Galamba, E., Abreu1, F., Fonseca, P., Filho2, M., Heliomar, C., Silva3, V., & Para, E. (n.d.). *SISTEMAS ADESIVOS AUTOCONDICIONANTES: UMA REVISÃO DA LITERATURA SELF ETCH ADHESIVES SYSTEMS: A LITERATURE REVIEW*.
- Hironaka, N. G. L., Ubaldini, A. L. M., Sato, F., Giannini, M., Terada, R. S. S., & Pascotto, R. C. (n.d.). *Influence of immediate dentin sealing and interim cementation on the adhesion of indirect restorations with dual-polymerizing resin cement*.
- Jacques, P., & Hebling, J. (2005). Effect of dentin conditioners on the microtensile bond strength of a conventional and a self-etching primer adhesive system. *Dental Materials*, *21*(2), 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.12.004>
- Jongsma, L. (n.d.). *Cementation in adhesive dentistry THE WEAKEST LINK*.
- Luís, D., Cardoso, M., Pereira Da Silva, V., Amílcar, D., & Ramalho, L. (2021). *Tribological Behaviour of CoCrMo Alloys Influence of Strain Hardening Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica orientada por*.
- Mak, Y.-F., Lai, S. C. N., Cheung, G. S. P., Chan, A. W. K., Tay, F. R., & Pashley, D. H. (n.d.). *Micro-tensile bond testing of resin cements to dentin and an indirect resin composite*. www.elsevier.com/locate/dental
- Mandarino, F., Rastelli, A. N. S., Magnani, C., Conti, E. C. G., Emanuel, ;, Alencar, A., Laura, ;, de Andrade, E. H., Liz, ;, Sierpinski, M. G., Oliveira, L. C., Patrícia, A. ;, & Jardim, S. (2003). *Nomenclatura e Classificação das Cavidades*.
- Matos, A. B., Trevelin, L. T., da Silva, B. T. F., Francisconi-Dos-Rios, L. F., Siriani, L. K., & Cardoso, M. V. (2017). Bonding efficiency and durability: Current possibilities. In *Brazilian Oral Research* (Vol. 31, pp. 3–22). Sociedade Brasileira de Hematologia e Hemoterapia. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0057>
- Miyazaki, M., Tsubota, K., Takamizawa, T., Kurokawa, H., Rikuta, A., & Ando, S. (2012). Factors affecting the in vitro performance of dentin-bonding systems. *Japanese Dental Science Review*, *48*(1), 53–60. <https://doi.org/10.1016/J.JDSR.2011.11.002>
- Muñ Oz, M. A., Malaquias, P., Hass, V., Reis, A., Campanha, N. H., & Loguercio, A. D. (2015). In Vitro Longevity of Bonding Properties of Universal Adhesives to Dentin. *Operative Dentistry*, 282–292. <https://doi.org/10.2341/14-055-L>

- Muñoz, M. A., Luque, I., Hass, V., Reis, A., Loguercio, A. D., & Bombarda, N. H. C. (2013). Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine. *Journal of Dentistry*, *41*(5), 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.03.001>
- Neto, M. A., Roseiro, L., Messias, A., Falacho, R. I., Palma, P. J., & Amaro, A. M. (2021). *Influence of Cavity Geometry on the Fracture Strength of Dental Restorations: Finite Element Study*. <https://doi.org/10.3390/app11094218>
- Oliveira, S. S. A., Pugach, M. K., Hilton, J. F., Watanabe, L. G., Marshall, S. J., & Marshall, G. W. (2003). The influence of the dentin smear layer on adhesion: A self-etching primer vs. a total-etch system. *Dental Materials*, *19*(8), 758–767. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(03\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(03)00023-X)
- Opdam, N. J. M., Frankenberger, R., & Magne, P. (2016). From “direct versus indirect” toward an integrated restorative concept in the posterior dentition. *Operative Dentistry*, *41*, S27–S34. <https://doi.org/10.2341/15-126-LIT>
- Pallesen, U., van Dijken, J. W. V., Halken, J., Hallonsten, A. L., & Höigaard, R. (2013). Longevity of posterior resin composite restorations in permanent teeth in Public Dental Health Service: A prospective 8 years follow up. *Journal of Dentistry*, *41*(4), 297–306. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2012.11.021>
- Palma, P. J., Marques, J. A., Antunes, M., Falacho, R. I., Sequeira, D., Roseiro, L., Santos, J. M., Ramos, J. C., & Pt, P. (n.d.). Effect of restorative timing on shear bond strength of composite resin/calcium silicate-based cements adhesive interfaces. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03640-7/Published>
- Palma, P. J., Marques, J. A., Falacho, R. I., Vinagre, A., Santos, J. M., & Ramos, J. C. (n.d.). *materials Does Delayed Restoration Improve Shear Bond Strength of Different Restorative Protocols to Calcium Silicate-Based Cements?* <https://doi.org/10.3390/ma11112216>
- Park, J. H., & Choi, Y. S. (2016). Microtensile bond strength and micromorphologic analysis of surface-treated resin nanoceramics. *Journal of Advanced Prosthodontics*, *8*(4), 275–284. <https://doi.org/10.4047/jap.2016.8.4.275>
- Pegoraro, T. A., da Silva, N. R. F. A., & Carvalho, R. M. (2007). Cements for Use in Esthetic Dentistry. *Dental Clinics of North America*, *51*(2), 453–471. <https://doi.org/10.1016/J.CDEN.2007.02.003>
- Perdigão, J. (2020). Current perspectives on dental adhesion: (1) Dentin adhesion – not there yet. *Japanese Dental Science Review*, *56*(1), 190–207. <https://doi.org/10.1016/J.JDSR.2020.08.004>
- Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R. Q., Gomes, G., & Pizzolotto, L. (2021). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. In *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* (Vol. 33, Issue 1, pp. 51–68). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jerd.12692>
- Reymus, M., Roos, M., Eichberger, M., Edelhoff, D., Hickel, R., & Stawarczyk, B. (n.d.). *Bonding to new CAD/CAM resin composites: influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy*. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2461-7>
- Ritter, A., Boushell, L. W., & Walter, R. (2018). *Sturdevant’s Art and Science of Operative Dentistry - 7th Edition (2018)*. www.konkur.in
- Rodrigues, L. dos S., Assis, P. S. de M., Martins, A. C., & Finck, N. S. (2021). Sistemas adesivos atuais e principais desafios na adesão: revisão narrativa. *Research, Society and Development*, *10*(10), e543101019206. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.19206>

- Rodrigues Paulo, C., Marques, J. A., Sequeira, D. B., Diogo, P., Paiva, R., Palma, P. J., & Miguel Santos, J. (2021). *Influence of Blood Contamination on Push-Out Bond Strength of Three Calcium Silicate-Based Materials to Root Dentin*. <https://doi.org/10.3390/app11156849>
- Rodrigues, S., Oliveira, N., Chasqueira, F., Portugal, J., & Arantes-Oliveira, S. (2015). Permeabilidade dentinária e morfologia da interface adesiva de diferentes sistemas adesivos. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial*, 56(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/J.RPEMD.2015.01.001>
- Sabbagh, J., McConnell, R. J., & McConnell, M. C. (2017). Posterior composites: Update on cavities and filling techniques. *Journal of Dentistry*, 57, 86–90. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2016.11.010>
- Saikaew, P., Sattabanasuk, V., Harnirattisai, C., Chowdhury, A. F. M. A., Carvalho, R., & Sano, H. (2022). Role of the smear layer in adhesive dentistry and the clinical applications to improve bonding performance. *Japanese Dental Science Review*, 58, 59–66. <https://doi.org/10.1016/J.JDSR.2021.12.001>
- Sano, H., Chowdhury, A. F. M. A., Saikaew, P., Matsumoto, M., Hoshika, S., & Yamauti, M. (2020). The microtensile bond strength test: Its historical background and application to bond testing. In *Japanese Dental Science Review* (Vol. 56, Issue 1, pp. 24–31). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.10.001>
- Scherer, M. M., Prochnow, C., Venturini, A. B., Pereira, G. K. R., Burgo, T. A. de L., Rippe, M. P., & Valandro, L. F. (2018). Fatigue failure load of an adhesively-cemented lithium disilicate glass-ceramic: Conventional ceramic etching vs etch & prime one-step primer. *Dental Materials*, 34(8), 1134–1143. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2018.04.012>
- Scherrer, S. S., Cesar, P. F., & Swain, M. v. (2010a). Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: A critical literature review. In *Dental Materials* (Vol. 26, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.12.002>
- Scherrer, S. S., Cesar, P. F., & Swain, M. v. (2010b). Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: A critical literature review. In *Dental Materials* (Vol. 26, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.12.002>
- sebond2_brochure*. (n.d.).
- Sezinando, A. (2014a). Looking for the ideal adhesive – A review. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial*, 55(4), 194–206. <https://doi.org/10.1016/J.RPEMD.2014.07.004>
- Sezinando, A. (2014b). Looking for the ideal adhesive - A review. In *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentaria e Cirurgia Maxilofacial* (Vol. 55, Issue 4, pp. 194–206). Elsevier Doyma. <https://doi.org/10.1016/j.rpemd.2014.07.004>
- Sirisha, K., Rambabu, T., Ravishankar, Y., & Ravikumar, P. (2014). Validity of bond strength tests: A critical review-Part II. In *Journal of Conservative Dentistry* (Vol. 17, Issue 5, pp. 420–426). Wolters Kluwer Medknow Publications. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.139823>
- Sofan, E., Sofan, A., Palaia, G., Tenore, G., Romeo, U., & Migliau, G. (2017). -. In *Annali di Stomatologia: Vol. VIII* (Issue 1).
- Souza, T. F. de, João, S. A. R. O., Pizi, E. C. G., & Catelan, A. (2018a). Alternativas para minimizar a degradação da interface adesiva de restaurações dentais: revisão da

- literatura. *ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION*, 7(3).
<https://doi.org/10.21270/archi.v7i3.2435>
- Souza, T. F. de, João, S. A. R. O., Pizi, E. C. G., & Catelan, A. (2018b). Alternativas para minimizar a degradação da interface adesiva de restaurações dentais: revisão da literatura. *ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION*, 7(3).
<https://doi.org/10.21270/archi.v7i3.2435>
- Suzuki, T. Y. U., Godas, A. G. L., Guedes, A. P. A., Catelan, A., Pavan, S., Briso, A. L. F., & dos Santos, P. H. (n.d.). *Clinical Implications Microtensile bond strength of resin cements to caries-affected dentin*.
- Tóth, Z. (n.d.). *Tooth and Pulp Anatomy*.
- van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Yoshida, Y., Mine, A., de Munck, J., & van Landuyt, K. L. (2011). State of the art of self-etch adhesives. *Dental Materials*, 27(1), 17–28.
<https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2010.10.023>
- Vasconcelos Monteiro, R., Mayumi Cavalcanti Taguchi, C., Monteiro Junior, S., Doutor, P., Karina Bernardon, J., Doutora, P., & Vasconcelos Monteiro Rua, R. (2017). TÉCNICA SEMIDIRETA: ABORDAGEM PRÁTICA E EFICAZ PARA RESTAURAÇÃO EM DENTES POSTERIORES Semidirect technique: practical and effective approach to restoration in posterior teeth Autora responsável pela correspondência. In *Revista Ciência Plural* (Vol. 3, Issue 1).
- Vinagre, A., & Ramos, J. (2016). Adhesion in Restorative Dentistry. In *Adhesives - Applications and Properties*. InTech. <https://doi.org/10.5772/65605>
- Xavier, M. T., Luísa Costa, A., Caramelo, F. J., Palma, P. J., Ramos, J. C., & Velasco-Ortega, E. (2021). *materials Evaluation of the Interfaces between Restorative and Regenerative Biomaterials Used in Vital Pulp Therapy*.
<https://doi.org/10.3390/ma14175055>
- Zakir, M., Ashraf, U., Tian, T., Han, A., Qiao, W., Jin, X., Zhang, M., Kit-Hon Tsoi, J., & Pekka Matinlinna, J. (2016). The Role of Silane Coupling Agents and Universal Primers in Durable Adhesion to Dental Restorative Materials - a Review. *Current Oral Health Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40496-016-0108-9>
- Zhang, Y., & Kelly, J. R. (2017). Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. *Dental Clinics of North America*, 61(4), 797–819.
<https://doi.org/10.1016/J.CDEN.2017.06.005>

Erro! A origem da referência não foi encontrada.
