

Cirurgiões-Dentistas, o que estimulou o desenvolvimento do amálgama de cobre.

No final do século XIX, surgiu o cimento de fosfato de zinco, e o início do século XX marcou a entrada das ligas metálicas para confecção de restaurações indiretas. Também nesse período, no ano de 1935, a resina acrílica polimerizável passou a ser utilizada como base da prótese total, a fim de suportar os dentes artificiais. Além de focar a reposição de estruturas dentais perdidas, o século XX introduziu outro tema: a prevenção.

## ASSOCIAÇÕES E ESPECIFICAÇÕES

Para o estabelecimento de um padrão na pesquisa de materiais, foi necessário criar métodos e sistemas de testes para a avaliação de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Em 1928, a American Dental Association (ADA) encampou uma associação de pesquisa preexistente e, em conjunto com membros do National Institute of Standards and Technology (NIST), estabeleceu um grupo de pesquisa de relevância internacional. Esses métodos padronizados são conhecidos como especificações, as quais devem ser obedecidas por todos os investigadores para fins de comparações justas. Outras associações internacionais, como a International Organization for Standardization (ISO) e a Fédération Dentaire Internationale (FDI) também estabeleceram suas especificações.

### SAIBA MAIS

As principais associações vigentes para testes de materiais dentários são ADA, ISO e FDI. No Brasil, a padronização mais utilizada é a ISO.

A padronização dos protocolos de ensaios mecânicos permite uma maior confiabilidade na avaliação de materiais e dispositivos, de modo que um teste possa ser realizado em iguais condições (duplicado) em qualquer laboratório do mundo. É importante que o dentista conheça essas padronizações para compreender os limites e as indicações dos materiais utilizados. Além disso, tais especificações garantem o controle de qualidade dos materiais certificados.

## CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DENTÁRIOS

Os materiais dentários podem ser divididos basicamente em três tipos: metálicos, cerâmicos e poliméricos.

**MATERIAIS METÁLICOS:** Usados em sua forma pura, figuram principalmente constituindo as ligas metálicas presentes em peças protéticas, aparelhos ortodônticos, limas endodônticas, implantes e instrumentais odontológicos.

**MATERIAIS CERÂMICOS:** Possuem propriedades físicas semelhantes à da estrutura dental, além de ótima capacidade de reproduzir a estética dental. São resistentes à corrosão, têm excelente biocompatibilidade e apresentam dureza compatível com a do esmalte e baixa condutividade térmica.

**POLÍMEROS:** Muito utilizados em odontologia restauradora, são substâncias compostas por cadeias de monômeros. Os polímeros mais utilizados em odontologia são os metacrilatos, presentes principalmente em resinas acrílicas, resinas compostas, cimentos odontológicos, materiais de moldagem, selantes e adesivos.

## TESTES

São ensaios que buscam simular o comportamento dos materiais em condições próximas às bucais, de maneira que os resultados possam conjecturar seu desempenho clínico. Os testes mais importantes são:

- resistência à compressão;
- microdureza Knoop e Vickers;
- resistência flexural uniaxial e biaxial;
- microtração;
- resistência ao cisalhamento;
- tenacidade a fratura;
- microcisalhamento.

Também são bastante realizados os ensaios de microinfiltração e tração diametral. O preparo, as dimensões e o acabamento do corpo de prova a ser testado variam de acordo com o material e o ensaio realizado.

O grande desafio dos pesquisadores é que o resultado das avaliações ultrapasse as paredes dos laboratórios de pesquisa e chegue aos consultórios odontológicos. A simulação das condições do ambiente bucal em uma amostra laboratorial ainda é motivo de desconfiança entre os clínicos. No entanto, não raramente, estudos longitudinais corroboram os achados laboratoriais.

## PROPRIEDADES DOS MATERIAIS ODONTOLÓGICOS

Como já foi mencionado, a correta seleção do material odontológico exige que o profissional tenha uma noção básica a respeito de sua estrutura. As propriedades dos materiais usados em odontologia podem indicar sua qualidade em diferentes aplicações.

### ESTRUTURA DA MATÉRIA

A partir de estudos elementares de química e física, sabemos que toda matéria é feita de átomos e moléculas. O comportamento dos materiais está ligado diretamente à sua estrutura atômica (tipo e combinação dos átomos), à força das ligações interatômicas e à sua capacidade de regeneração após quebra. As forças coesivas das ligações interatômicas que mantêm os átomos unidos são classificadas como: iônica, covalente e metálica. As ligações intermoleculares são: pontes de hidrogênio e força de van der Waals.

## LIGAÇÕES INTERATÔMICAS

**LIGAÇÕES IÔNICAS:** Resultam da atração mútua de cargas positivas e negativas, ocorrendo a transferência do elétron da camada de valência de um átomo para outro. Originam cristais cuja configuração atômica é baseada em equilíbrio de carga e tamanho. Estão presentes em certas fases cristalinas de alguns materiais dentários como o gesso e os cimentos à base de fosfato.

**LIGAÇÕES COVALENTES:** Ocorrem quando dois elétrons da camada de valência são compartilhados por átomos adjacentes. Estão presentes em compostos orgânicos como resinas odontológicas, nas quais os compostos se ligam para formar o arcabouço estrutural das cadeias de hidrocarbonetos.

### LEMBRETE

As ligações metálicas estão presentes em metais puros, ligas metálicas odontológicas para próteses fixas e estrutura de próteses parciais removíveis, núcleos metálicos fundidos, fios e braquetes ortodônticos, barra de suporte de prótese protocolo, etc.

**LIGAÇÕES METÁLICAS:** Resultam de uma extensão espacial aumentada das ondas de elétrons da camada de valência quando se forma um agregado de átomos metálicos. Os átomos podem doar elétrons facilmente de sua camada mais externa e formar uma nuvem de elétrons livres. Essa configuração dos elétrons livres resulta na formação de íons positivos que podem ser neutralizados pela aquisição de novos elétrons livres de outros átomos adjacentes. A presença dessa nuvem eletrônica propicia alta condutibilidade térmica e elétrica dos metais. A alta capacidade de deformação está associada ao deslizamento dos átomos ao longo dos planos cristalinos.

## LIGAÇÕES INTERMOLECULARES

São ligações em que há variação de carga entre grupamentos moleculares ou atômicos, induzindo forças polares que atraem as moléculas. As intensidades dessas ligações são determinantes na relação do ponto de fusão e ebulição das substâncias.

**PONTES DE HIDROGÊNIO:** Ocorrem, na molécula de água, quando os prótons dos átomos de hidrogênio não estão suficientemente protegidos pelos elétrons. Já no oxigênio os elétrons preenchem a órbita externa da molécula, criando assim um dipolo permanente que representa uma molécula assimétrica. Quando uma molécula de água encontra outras moléculas de água, a carga positiva do hidrogênio, causada pela polarização, é atraída para a porção do oxigênio, que é negativa, formando as pontes de hidrogênio. Esse tipo de polaridade é frequentemente encontrado em compostos orgânicos em fenômeno de sorção de resinas sintéticas.

### SAIBA MAIS

O átomo é uma partícula com volume e limites definidos. Seu limite é estabelecido pelo campo eletrostático que o envolve. Caso os átomos se aproximem demais uns dos outros, haverá repulsão em razão do campo eletrostático de elétrons, porém as forças de atração tendem a mantê-los próximos, de modo que a força repulsiva fica em equilíbrio com a força de atração. Nesse ponto as forças se equivalem em magnitude, mas têm direções opostas.

**FORÇAS DE VAN DER WAALS:** Constituem a base da atração dipolo. A distribuição dos elétrons ao redor do núcleo forma um campo eletrostático. Esse campo normalmente é negativo, porém podem ocorrer alterações momentâneas de carga, principalmente devido a pequenas colisões, criando dipolos instantâneos. Forma-se, então, um dipolo flutuante que atrai outros dipolos flutuantes, chamado de dipolo induzido, típico de moléculas apolares. Há também as ligações de dipolo permanente características de moléculas polares, mais intensas do que as ligações de dipolo induzido.

## ESTRUTURA CRISTALINA DOS SÓLIDOS



Denomina-se estrutura cristalina dos sólidos a maneira como os átomos, as moléculas ou os íons se encontram arranjados espacialmente. Nessa disposição, os átomos estão arranjados de forma tridimensional, de maneira periódica e longa, ou seja, a posição de ordenação dos átomos se repete em longa distância.

Os sólidos se combinam de maneira a manter uma energia interna mínima. Como consequência disso, eles formam uma grade espacial regular. Existem 14 tipos de grades espaciais, porém grande parte dos metais utilizados em odontologia segue a grade espacial cúbica.

### SÓLIDOS NÃO CRISTALINOS OU AMORFOS

Formados por átomos, moléculas ou íons que não apresentam uma ordenação de longo alcance. O vidro é um exemplo de estrutura com arranjo ordenado curto. Não apresenta energia interna tão baixa quanto os arranjos cristalinos. Esse formato é característico dos líquidos e, quando presente nos sólidos, estes são chamados de líquidos super-resfriados.

## PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Antes de especificar cada uma das principais propriedades físicas e mecânicas, é importante diferenciá-las.

**Propriedades físicas:** define-se propriedade física como qualquer propriedade usada para caracterizar matéria e energia e suas interações. Tais propriedades não estão relacionadas primariamente com aplicações de forças sobre um corpo, como no caso das propriedades mecânicas, e incluem cor, densidade, condutividade térmica e elétrica, ponto de fusão, etc.

**Propriedades mecânicas:** representam um grupo das propriedades físicas, ou seja, toda propriedade mecânica é uma propriedade física, mas não o contrário. Como elas são muito utilizadas, é importante que sejam listadas separadamente daquelas que são estritamente físicas mas não mecânicas em natureza. As propriedades mecânicas podem ser definidas como aquelas que compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis e resistirem à fratura.

## PROPRIEDADES ÓPTICAS

Existem no universo várias formas de radiação ou energia eletromagnética. A maioria dessas formas é invisível ao olho humano, como os raios X e as ondas de televisão e de rádio, que se diferem basicamente em comprimento e amplitude de onda. No entanto, dentro de uma faixa do espectro eletromagnético entre 360 e 760 nm, uma radiação é visível ao olho humano, e a chamamos de luz. A luz é uma onda eletromagnética, transversal e tridimensional. Os objetos em que a luz incide (meios ópticos) são divididos, didaticamente, em três tipos: meio óptico opaco, meio óptico translúcido e meio óptico transparente (Quadro 1.1).

### LEMBRETE

Os modelos de cristais mais frequentemente encontrados são o cúbico de corpo centrado, o cúbico de face centrada e o cúbico simples.

### Mecânica

Parte da física que estuda o movimento dos corpos e seu repouso.

### QUADRO 1.1 – Meios ópticos de acordo com a permissividade à passagem de luz

<b>Opacidade</b>	Propriedade dos materiais de obstruir a passagem da luz
<b>Translucidez</b>	Propriedade dos materiais de permitir a passagem de luz, formando feixes de luz com trajetórias irregulares. Assim, os objetos ficam pouco nítidos, não sendo distinguidos através do material (p. ex., cerâmicas e resinas compostas)
<b>Transparência</b>	Propriedade dos materiais de permitir a passagem da luz com feixes de luz bem definidos, gerando pouca distorção, possibilitando a visualização perfeita através do material (p. ex., vidro, acrílico transparente)

## COR

A percepção da cor é o resultado de uma resposta fisiológica a um estímulo físico. O feixe de luz, estímulo físico que permite a sensação à visualização das cores, é a parte definida e objetiva do processo. A reflexão da luz incidente no objeto é percebida pelos olhos e tem caráter totalmente subjetivo.

**Matiz:** Descreve a cor predominante de um objeto e depende do comprimento de onda (p. ex., vermelho, amarelo, azul).

**Luminosidade:** Indica a claridade de uma cor (p. ex., azul-escuro, verde-claro).

**Saturação:** Representa o grau de intensidade de um matiz. Diferencia cores com ou sem brilho.

## PROPRIEDADES FÍSICAS DE SUPERFÍCIE

### ADESÃO

Quando dois materiais são colocados em contato, as moléculas superficiais dos substratos sofrem atração mútua, possibilitando a adesão. O termo “adesão” é utilizado quando há contato entre moléculas de substratos diferentes. Para moléculas semelhantes, essa interação é chamada de coesão.



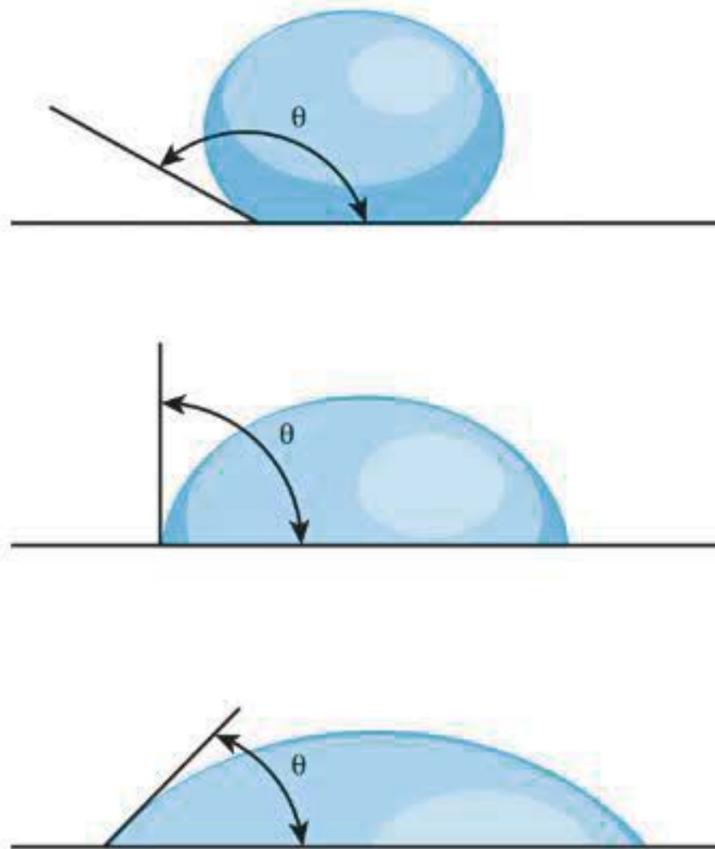
**Podem ocorrer adesão química e adesão mecânica.** Há adesão química em nível atômico e molecular, já a mecânica baseia-se na retenção por embricamento. Ambas podem ocorrer simultaneamente. Quando se utiliza outro material para produzir adesão, chamamos de adesivo, enquanto os substratos a serem unidos são chamados de aderentes.

**ENERGIA DE SUPERFÍCIE:** Ocorre em razão da impossibilidade de os átomos situados na superfície dos materiais estarem em completo equilíbrio, ou seja, não estão igualmente atraídos em todas as direções. No interior dos materiais, os átomos possuem energia mínima em virtude da presença de outros átomos ao seu redor. O aumento de energia por unidade de área de superfície é referido como energia de superfície ou tensão superficial, o que está presente na superfície de todos os materiais, independentemente da fase (sólido, líquido ou gasoso), desde que haja uma interface, excetuando-se portanto, entre dois gases.

**MOLHAMENTO:** É a medida da afinidade de um líquido por um sólido. Em escala molecular, a superfície de um sólido é extremamente rugosa. Ao aproximar duas superfícies sólidas, somente os átomos de maior relevo irão se aderir, gerando uma força de adesão insignificante. Para aumentar a força de atração entre dois sólidos, acrescenta-se um fluido que penetre pelas rugosidades, permitindo o contato com uma porção maior da superfície do sólido. É necessário que o líquido possua fácil escoamento sobre toda a superfície, aderindo ao sólido aderente. A limpeza da superfície do aderente é de fundamental importância para a eficácia de um adesivo.

**ÂNGULO DE CONTATO:** É indicado pela forma de uma gota de líquido sobre a superfície do sólido. Essa relação determina um ângulo em suas margens. A presença de um baixo ângulo indica um bom molhamento. Um alto ângulo de contato caracteriza um material hidrófobo (Fig. 1.1).

**ABSORÇÃO E ADSORÇÃO:** A absorção refere-se à capacidade de um volume de sólido captar líquido do meio. A adsorção indica a concentração de moléculas na superfície de um líquido ou de um sólido. Essas propriedades são aferidas de duas maneiras: (1) porcentagem de peso de material solúvel ou sorvido e (2) como o peso do material dissolvido ou sorvido por unidade de área de superfície.



#### SAIBA MAIS

Os líquidos orgânicos e grande parte dos inorgânicos possuem relativa baixa energia de superfície, o que permite que se espalhem com facilidade nos sólidos de alta energia de superfície.

#### LEMBRETE

É importante observar o ângulo de contato em materiais de moldagem, nos quais se busca um bom escoamento para copiar detalhes.

#### SAIBA MAIS

O termo "sorção" refere-se à ocorrência simultânea de adsorção e absorção. A sorção da água de um material representa a quantidade de água adsorvida na superfície e em seguida absorvida para dentro do corpo do material durante a sua confecção ou durante o uso.

Figura 1.1 – Relação entre ângulo de contato de um líquido e uma superfície plana.

## PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

### CONDUTIVIDADE TÉRMICA



A transmissão de calor em materiais sólidos ocorre preferencialmente por condução. **A condutividade térmica é uma medida termofísica de transferência de calor através do fluxo de energia.** É definida pelo número de calorias que passa por segundo através de uma área de  $1 \text{ cm}^2$ , e a alteração de temperatura através do corpo de prova corresponde a  $1^\circ\text{C}/\text{cm}$ .

#### LEMBRETE

A condutividade térmica dos cimentos restauradores equivale à das estruturas dentárias, razão pela qual esses materiais são utilizados como forros em preparos cavitários profundos para restaurações de amálgama ou ligas de ouro.

**ATENÇÃO**

Os materiais restaurados sofrem alterações dimensionais em diferentes temperaturas no meio bucal, contraindo-se e expandindo-se inúmeras vezes. Esse dinamismo pode gerar infiltrações decorrentes da diferença entre o comportamento da estrutura dentária e o do material restaurador

Em geral, os metais apresentam maiores valores de condução de calor do que plásticos e cerâmicas. Esmalte e dentina são maus condutores térmicos quando comparados às ligas metálicas. As resinas compostas possuem condutibilidade térmica semelhante à das estruturas dentárias.

*COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA*

É a medida da alteração da dimensão de uma estrutura por unidade de sua estrutura inicial, quando a temperatura é aumentada em 1°C. Esse coeficiente normalmente é maior para líquidos do que para os sólidos.

*PROPRIEDADES MECÂNICAS*

É a ciência física que trata de energia e forças, e de seus efeitos nos corpos, os quais, geralmente, encontram-se estáticos. As propriedades mecânicas são as respostas dos materiais a influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis, irreversíveis e de resistirem à fratura. Portanto, são medidas tanto na fase elástica quanto na fase plástica de um material, sob uma força aplicada, distribuição de forças ou pressão. Estas características são avaliadas por meio de ensaios e geralmente são expressas em unidades de tensão e/ou deformação.

**TENSÃO:** É a resistência de um material a uma força externa aplicada sobre ele. É definida como a razão da força aplicada sobre a área do corpo. A unidade de tensão mais usada é N/mm<sup>2</sup> ou MPa (mega Pascal), onde 1 N/mm<sup>2</sup> = 1 MPa. Outras unidades usadas são Kg/cm<sup>2</sup> e lb/pol<sup>2</sup>, também conhecida por psi.

**FÓRMULA**  $Tensão = \frac{Força}{Área}$

**DEFORMAÇÃO:** É a alteração no comprimento quando o material é submetido a uma força. É uma grandeza adimensional, expressa em porcentagem.

**FÓRMULA**  $Deformação = \frac{Alteração}{Comprimento}$

*CURVA DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO*

A curva de tensão-deformação é a descrição gráfica do comportamento de um material submetido a uma carga. Ao carregar um corpo de prova em uma máquina de ensaios, são aferidos continuamente os valores de carga e deslocamento, os quais permitem traçar a curva de comportamento.

Existem duas fases características dessa curva (Fig. 1.2):

**FASE ELÁSTICA:** Aumento progressivo da tensão e deformação com padrão de proporcionalidade da curva na relação das grandezas.

**FASE PLÁSTICA:** Aumento progressivo da tensão com perda do padrão de proporcionalidade da curva.

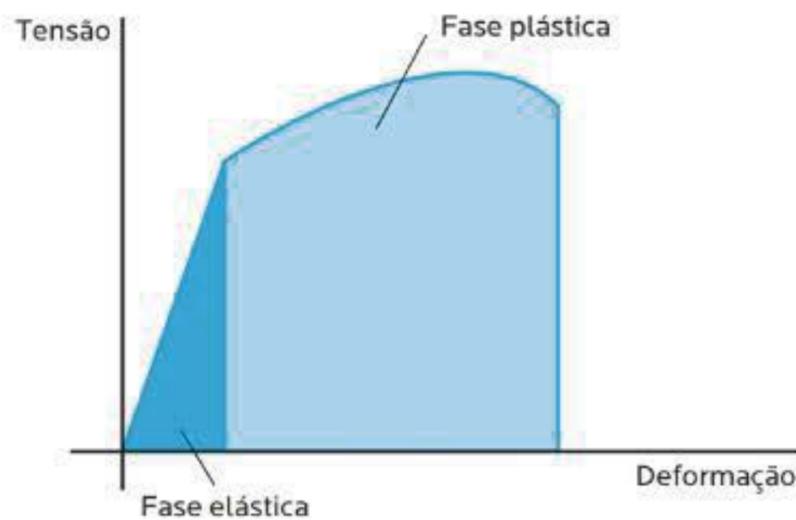


Figura 1.2 – Representação gráfica da curva de tensão-deformação na fase elástica e na fase plástica.

## RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

É a capacidade de os materiais acomodarem as tensões às quais são submetidos. Ao referir-se a propriedades de resistência, busca-se a tensão máxima necessária para causar uma fratura ou a tensão necessária para uma deformação pré-determinada. As propriedades de resistência são avaliadas a partir do limite de proporcionalidade, pois, a partir dessa fase, os materiais apresentam alterações permanentes.

### RESISTÊNCIA MÁXIMA

É a tensão máxima que um material pode suportar antes de fraturar. Pode ser aferida em testes de tração e de compressão, buscando a tensão máxima de tração ou tensão compressiva máxima. É obtida pela divisão da carga máxima aplicada pela área da secção transversal inicial do corpo de prova. De maneira geral, considera-se a dimensão do corpo no início de ensaio, porém, durante um teste de tração ou de compressão, o diâmetro da secção altera-se de acordo com o aumento progressivo da carga. Pequenas alterações no valor final do cálculo de resistência máxima são aceitas quando essas discrepâncias são insignificantes.

## PROPRIEDADES MECÂNICAS DA FASE ELÁSTICA

São as propriedades mecânicas dos materiais medidas durante a fase elástica da deformação. Durante essa fase, ao remover-se a carga aplicada sobre o corpo de prova, este volta às suas dimensões originais.

### MÓDULO DE ELASTICIDADE (E)

**FÓRMULA**  $E = \frac{\text{Tensão}}{\text{Deformação}}$

É a medida da elasticidade de um material representando sua rigidez dentro da fase elástica. Ao projetar a tensão sobre a correspondente deformação no gráfico da curva tensão-deformação (Fig. 1.2), obtém-se o mesmo valor, para tensões abaixo do limite de proporcionalidade. Nessa fase, a deformação é totalmente reversível ou recuperada quando removida a força. Por não possuir dimensões de deformações, o módulo de elasticidade é registrado em MPa.

**LEMBRETE**

A inclinação da curva tensão-deformação indica a rigidez do material. Quanto menor a deformação ao progressivo aumento de carga, maior será o E, portanto, mais rígido é o material.

**ATENÇÃO**

O ponto P é o ponto crítico para o estudo dos materiais, pois indica o quanto um material pode suportar as cargas mastigatórias sem deformar-se e perder sua função.

**LEMBRETE**

A resiliência é importante na avaliação da quantidade de trabalho esperado de fios e molas ortodônticas durante a movimentação dos dentes.

O módulo de elasticidade de um material é uma constante, não sendo afetado pela quantidade de tensão plástica ou elástica que possa ser induzida. Para o mesmo material, geralmente é encontrado o mesmo valor de E tanto em ensaios de compressão quanto em ensaios de tração, pois essa característica está diretamente relacionada às forças de ligações intermoleculares (Fig. 1.2).

*LIMITE DE PROPORCIONALIDADE (P)*

É a maior tensão que um material sustentará sem desvios da proporcionalidade linear entre a tensão e a deformação. No diagrama tensão-deformação, a partir do ponto P, a curva torna-se não linear, portanto o material entrou em sua fase plástica. Antes do ponto P, indica que o material sofre uma deformação elástica (Fig. 1.4).

*LIMITE DE ELASTICIDADE*

É o máximo de tensão que o material suportará sem ocorrer deformação permanente. O limite de proporcionalidade e o limite de elasticidade representam a mesma tensão dentro de uma estrutura sendo utilizados como sinônimos quando se refere à tensão. No entanto, eles diferem, porque enquanto um lida com a proporcionalidade da deformação, o outro descreve o comportamento elástico (Fig. 1.4).

*RESILIÊNCIA*

Resiliência é a capacidade de um material absorver energia enquanto é deformado elasticamente. É mensurada por meio do cálculo da área abaixo da porção elástica da curva tensão-deformação (Fig. 1.3).

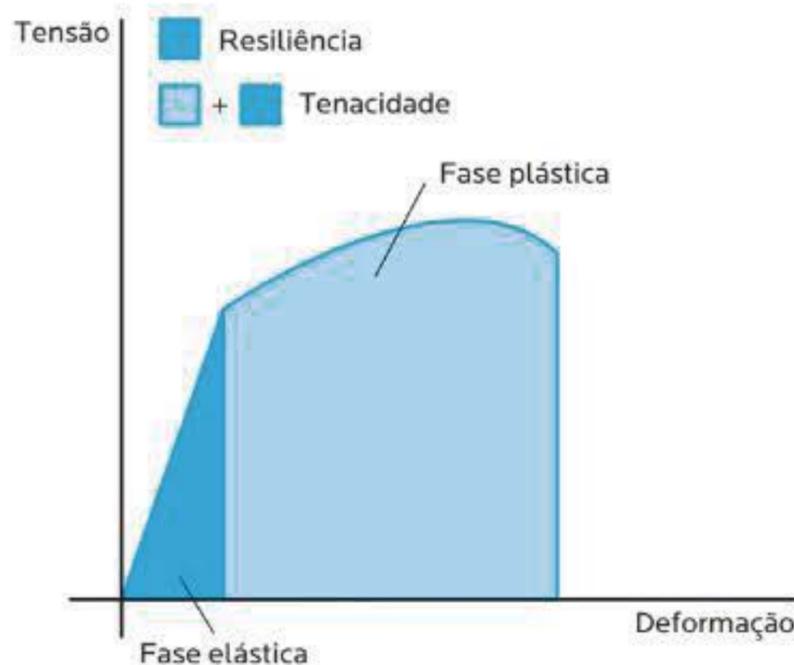


Figura 1.3 – Representação gráfica da resiliência e da tenacidade. Comportamentos elástico e plástico do material.

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DA FASE PLÁSTICA**

As propriedades mecânicas da fase plástica são aquelas presentes a partir do limite de elasticidade. A partir desse ponto, o material passa a apresentar deformações permanentes.

## LIMITE CONVENCIONAL DE ESCOAMENTO

É uma propriedade que representa o valor de tensão no qual uma pequena quantidade (até 0,2%) de deformação plástica tenha ocorrido. O valor percentual médio de deformação plástica de 0,1 ou 0,2% é convencionado arbitrariamente e atribuído como **percentual de deformação estabelecido**. É determinado traçando uma linha paralela e abaixo da curva de tensão-deformação em sua porção constante, que parte do ponto de deformação preestabelecido (p. ex., 0,2%). O ponto onde a linha intercepta a curva de tensão-deformação é o limite de escoamento (Fig. 1.4).

## TENACIDADE

É a quantidade de energia aplicada sobre um material para que ocorra fratura. Corresponde à área total abaixo das porções elástica e plástica da curva tensão-deformação (Fig. 1.3). Até o momento da fratura, os materiais podem apresentar comportamento frágil e dúctil (Fig. 1.5). O valor da tenacidade depende da resistência e da ductibilidade. Quanto maior a resistência e maior a ductibilidade, maior será a tenacidade. Para situações dinâmicas com grandes taxas de deformação, a tenacidade pode ser avaliada mediante ensaios de impacto.

## TENACIDADE À FRATURA ( $K_{IC}$ )

A tenacidade à fratura é uma medida da absorção de energia de materiais friáveis, relacionada ao nível de estresse (tensão) antes de a fratura ocorrer. Características como resistência mecânica, resistência ao choque térmico e suscetibilidade ao desgaste erosivo são controladas por essa propriedade. Trata-se de um teste muito útil e simples, uma vez que a tenacidade está mais ligada aos fatores intrínsecos do material do que às variáveis na superfície do espécime, decorrentes do preparo da amostra (Quadro 1.2).

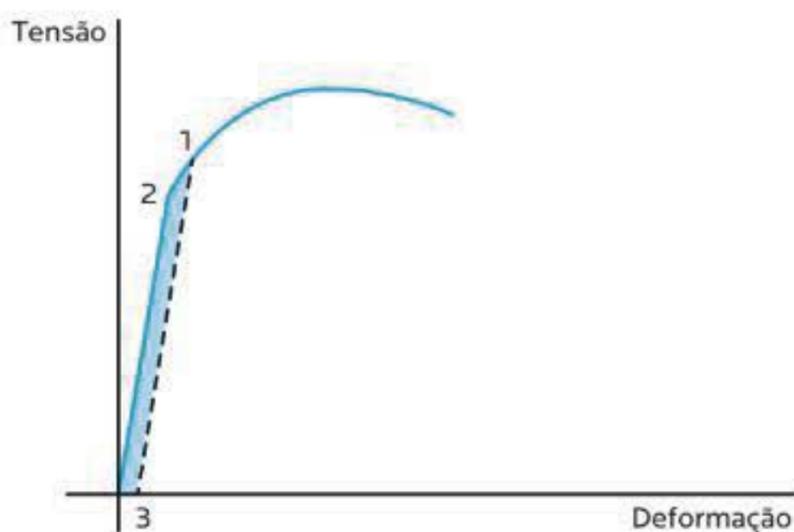


Figura 1.4 – Gráfico da tensão decorrente da deformação. 2, limite de proporcionalidade e limite de elasticidade; 1, limite convencional de escoamento; 3, projeção do limite de escoamento preestabelecido sobre o eixo de deformação.

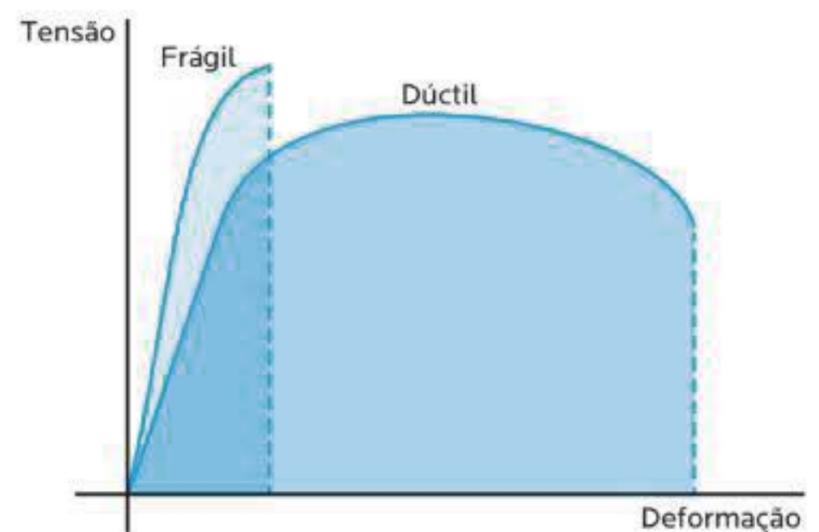


Figura 1.5 – Diferença de comportamento dúctil e frágil.

### ATENÇÃO

Trincas decorrentes do uso em materiais restauradores, falhas no procedimento de acabamento e polimento e contatos prematuros podem potencializar o surgimento de fraturas catastróficas.

### ATENÇÃO

Materiais com comportamento dúctil em testes estáticos podem apresentar comportamento frágil em ensaios dinâmicos.

### SAIBA MAIS

Normas:<sup>1,2</sup>

- Izod: ASTM D256 (Método A) e ISO R180-A (entalhe em v) – espécime vertical;
- Charpy: ASTM D256 (Método B) e ISO R179-A (entalhe em v) – espécime horizontal.

## QUADRO 1.2 – Ensaio de resistência ao impacto

Os ensaios mais utilizados para materiais odontológicos são o de Charpy e o de Izod. Em ambos, um pêndulo com peso é liberado de uma determinada altura e atinge o corpo de prova situado na porção mais inferior da curva do pêndulo. Após o impacto, o pêndulo continua seu movimento, e seu deslocamento revelará a energia absorvida pelo material. Quanto menor o deslocamento do martelo após o impacto, maior a energia absorvida. Os corpos de prova possuem um entalhe predeterminado geralmente em forma de "V" ou "U". A diferença entre os dois tipos de ensaio é o posicionamento do corpo de prova.

### DUCTILIDADE

É a capacidade de um material de resistir à força de tração, formando uma estrutura afilada, sem haver ruptura. Pode ser aferido por meio do percentual de alongamento após a fratura, calculando a redução do diâmetro do corpo na região fraturada, ou do teste de flexão a frio. Assim como a maleabilidade, é uma propriedade característica de metais e ligas metálicas. Entre os metais, destacam-se o ouro, a prata e a platina.

### MALEABILIDADE

É a propriedade de um material de resistir a cargas de compressão formando uma estrutura de disco (laminado ou chapa), sem haver ruptura. Entre os materiais de interesse na odontologia, o ouro e a prata são os metais nobres mais maleáveis. O cobre também apresenta significativa maleabilidade.

## MECÂNICAS DE SUPERFÍCIE

### ATENÇÃO

Atualmente os ensaios de dureza, tração e cisalhamento são realizados com corpos de prova e dispositivos testes com escalas menores, sendo, portanto, chamados de microdureza, microtração e microcisalhamento.

### LEMBRETE

A fricção está presente na rugosidade superficial dos implantes dentários, o que, dentre outros fatores importantes, diminui a movimentação e favorece a osseointegração. Em ortodontia, o deslize do fio metálico dentro da canaleta do braquete também gera atrito e resistência friccional, sendo determinante para a mecânica e andamento do tratamento.

### DUREZA

É definida como a resistência à endentação ou à penetração permanente na superfície, ou seja, é a medida da resistência superficial de um material à deformação plástica. É uma maneira simplificada de definir se um material é duro ou macio, mensurada como força por unidade de área. Em odontologia, pode ser um bom indicativo de facilidade de acabamento de materiais restauradores e de resistência de uso. Tratamentos restauradores com bons polimentos superficiais são menos acometidos por rugosidades e, conseqüentemente, menos suscetíveis a trincas e falhas, além de proporcionar melhor estética.

### FRICÇÃO

Resulta da união de moléculas de duas superfícies em contato, sendo definida como a força de oposição ao movimento de dois objetos em contato. A direção de força é tangente à interface comum de duas superfícies. É classificada como atrito cinético, durante o deslocamento do objeto, e atrito estático, que previne o início da movimentação.

### QUADRO 1.3 – Ensaio de microdureza

O ensaio de microdureza é aplicado em odontologia para produzir endentações microscópicas, considerando as dimensões dos procedimentos realizados.

Os métodos utilizados são microdureza **Vickers** e **Knoop** (Fig. 1.6). São utilizadas cargas menores pelo fato de a maioria dos materiais utilizados possuírem fases de partículas menores, como as resinas nanoparticuladas, as quais possuem nanopartículas que seriam “desconsideradas” na leitura de um ensaio de dureza tradicional.

A realização do teste consiste em penetrar um indentedor de tamanho e forma conhecida em uma superfície plana. O preparo do corpo de prova deve ser criterioso para gerar uma superfície plana e lisa, permitindo que a leitura da endentação seja clara e facilitando a visualização das margens da endentação ao microscópio.

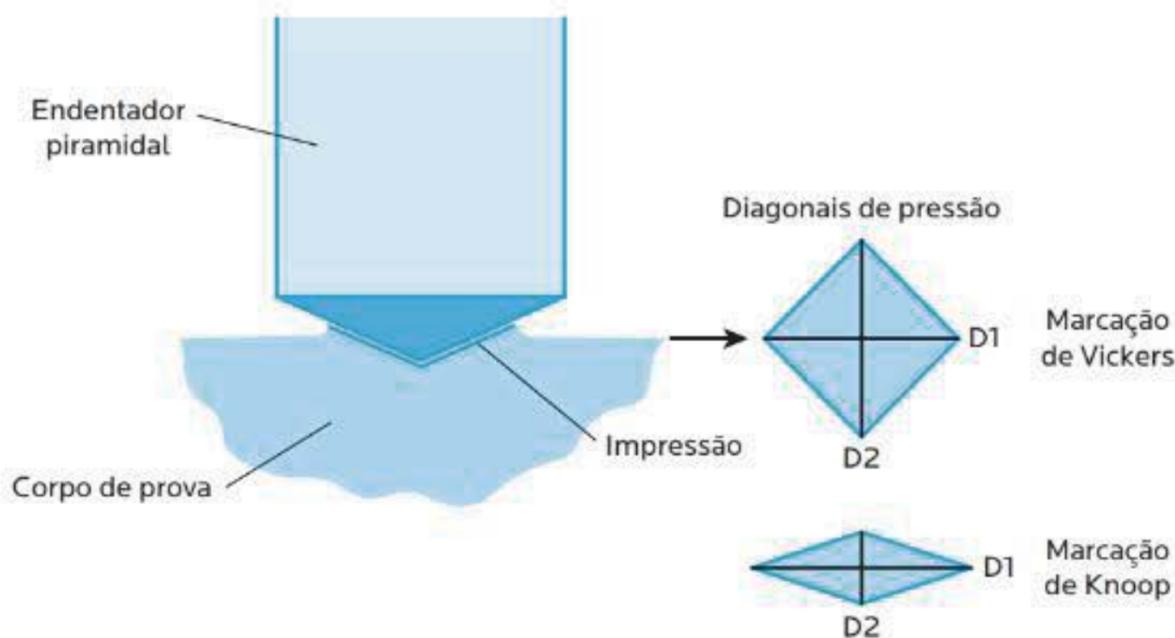


Figura 1.6 – Endentação de Vickers e Knoop.

### DESGASTE

É a perda de material resultante do contato entre dois ou mais materiais. No caso dos sólidos, apenas as porções mais salientes entram em contato. Quando em função no meio bucal, o desgaste não é uma propriedade desejada. Já em procedimentos de acabamento e polimentos de restaurações, essa propriedade é desejada. Observa-se frequentemente nos pacientes um desgaste dentário ocasionado pela escovação inadequada. O uso concomitante de escovas com cerdas duras e cremes dentais com abrasivos, associado à utilização de força durante a escovação, pode causar um tipo de desgaste conhecido como desgaste por abrasão.

### Bruxismo

É a perda de estrutura dentária. Processo patológico multifatorial, geralmente ligado a estresse e má-oclusão, que acarreta o desgaste das estruturas dentais em elementos antagonistas por pressão e fricção constante.

## TENSÃO E ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

### TENSÃO DE TRAÇÃO

É causada por uma força que tende a alongar o corpo e está sempre acompanhada por uma deformação de tração. As forças aplicadas estão na mesma direção, porém com sentidos opostos de afastamento.

### QUADRO 1.4 – Ensaio de resistência à microtração

O ensaio de tração é realizado em interfaces adesivas buscando quantificar a resistência de união que um adesivo pode proporcionar entre duas superfícies.

A realização do ensaio de microtração consiste em posicionar um corpo de prova em um dispositivo e gerar uma carga afastando as extremidades. O momento da fratura indica a resistência máxima adesiva. Ensaios de menores proporções são muito utilizados em Odontologia (Quadro 1.5).

### QUADRO 1.5 – Fatores que levaram as pesquisas para uma escala menor

#### Microtração e microcislhamento

Superfície menor e conseqüente menor possibilidade de defeitos na superfície adesiva, reduzindo as variáveis decorrentes do uso de áreas extensas

Possibilidade de usar um menor número de dentes e um maior número de corpos de prova

#### Microdureza

Maior aproveitamento da superfície de cada corpo de prova

Considera as microestruturas dos materiais

#### LEMBRETE

A tensão de compressão é aplicada principalmente em amálgama, cerâmicas, resinas e substratos dentários.

### TENSÃO DE COMPRESSÃO

Ocorre quando um corpo é colocado sob uma carga com tendência de encurtá-lo. Portanto, as forças aplicadas devem estar na mesma direção e com sentidos opostos de aproximação (Fig. 1.8). Está presente no ambiente bucal, principalmente durante o processo mastigatório, porém não totalmente isolada.

### TENSÃO DE CISALHAMENTO

Ocorre quando uma porção plana de um material desliza sobre outra porção. É produzida por duas forças paralelas de mesmo sentido, porém com direções opostas.

Em uma situação clínica, dificilmente ocorrerá uma fratura puramente por tensão de cisalhamento, em razão da ausência de uma superfície totalmente plana, e também da ausência de uma força que seja aplicada exatamente na interface adesiva.

### TENSÃO POR FLEXÃO

Ocorre quando se pressiona um corpo de prova ancorado inferiormente ou quando se aplica uma força sobre a extremidade de uma barra com a extremidade oposta fixa. A forma do corpo de prova (barra ou disco), o número de pontos de aplicação de força (um ou dois) e o tipo de ancoragem inferior estabelecem variações no ensaio flexural (dois rolamentos ou três esferas). A tensão por flexão é importante para avaliar materiais utilizados em bases de próteses, materiais cerâmicos para próteses fixas e resinas para restaurações diretas e indiretas, além de resinas utilizadas para confecção de provisórios.

#### LEMBRETE

A tensão por flexão está presente durante a mastigação em pacientes que utilizam próteses fixas de três ou mais elementos com dois pilares e em casos protéticos nos quais há cantilever.

### QUADRO 1.6 – Ensaio de resistência à compressão

Aplica-se uma força axial em um corpo de prova com tamanho pré-definido, com o objetivo de encurtá-lo. Geralmente o corpo de prova possui forma cilíndrica, sendo que uma das bases é apoiada em um dispositivo da máquina, enquanto a outra base recebe a carga.

Durante a realização do teste, o corpo de prova recebe uma carga que é distribuída uniformemente pela secção transversal do espécime. O conhecimento das características dúctil ou frágil do material é extremamente necessário antes de realizar o ensaio de compressão (Fig. 1.7). Esse ensaio é utilizado para gerar um dado comparativo em materiais frágeis. O atrito gerado entre o corpo de prova e o dispositivo de ensaio, além da aferição da força compressiva em materiais dúcteis, é a maior dificuldade do ensaio.

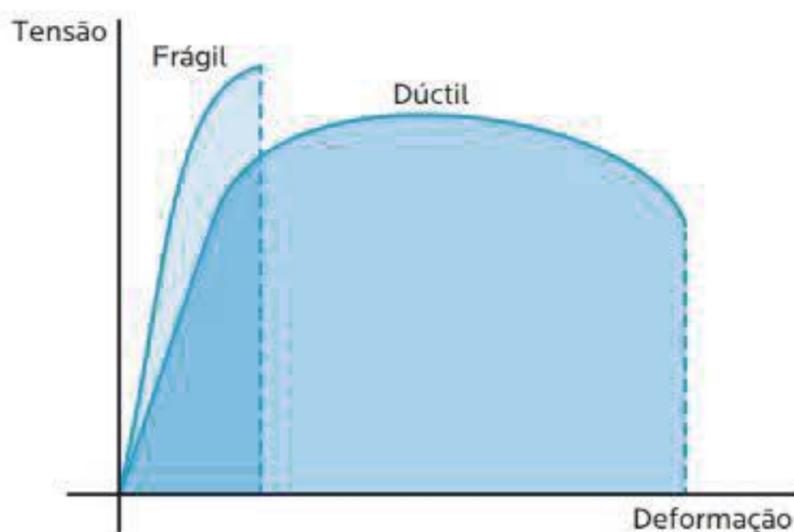


Figura 1.7 – Diferença de comportamento dúctil e frágil.

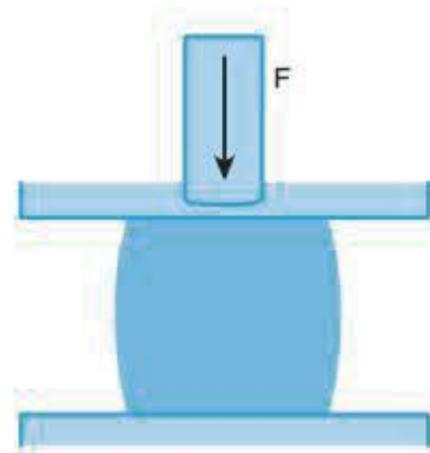


Figura 1.8 – Aplicação de carga em um ensaio de compressão.

### QUADRO 1.7 – Ensaio de resistência ao microcisalhamento

Ao aplicar uma força em uma interface adesiva de um braquete ortodôntico, paralela ao esmalte dental, o braquete poderá se soltar por uma falha gerada por tensão de cisalhamento. Em casos de interface adesiva, para alcançar uma falha puramente por tensão de cisalhamento, a força deve ser aplicada o mais próximo possível da interface. Quanto mais distante desta interface, maior a chance de falha por indução de tensão de tração.

Não há padrão de forma para o corpo de prova. Cada corpo de prova é desenhado de maneira a atender as necessidades do ensaio e do dispositivo disponível para o teste. Assim como ocorre na maioria dos ensaios, a velocidade de aplicação da carga deve ser lenta, para não afetar os resultados.

### QUADRO 1.8 – Ensaio de resistência à flexão (resistência transversa)

Representado por uma **barra** apoiada inferiormente em pontos próximos de suas extremidades (resistência flexural uniaxial) (Fig. 1.9) ou por um **disco** apoiado em três pequenas esferas equidistantes de maneira triangular (resistência flexural biaxial).

O teste de resistência à flexão em barra cria três tipos de tensões no corpo de prova. Na parte superior da barra, onde a força é aplicada, ocorre aproximação das moléculas, caracterizando uma tensão compressiva. Na porção inferior, ocorre um afastamento das moléculas, gerando uma tensão de tração. Na parte média do corpo de prova, encontra-se o eixo neutro, formado pelo encontro das tensões das porções superior e inferior. Na região dos apoios, ocorrem tensões de cisalhamento, porém não são determinantes para a falha do espécime.

Normas ISO 4049 para resinas<sup>3</sup> e ISO 6872 para materiais cerâmicos.<sup>4</sup>

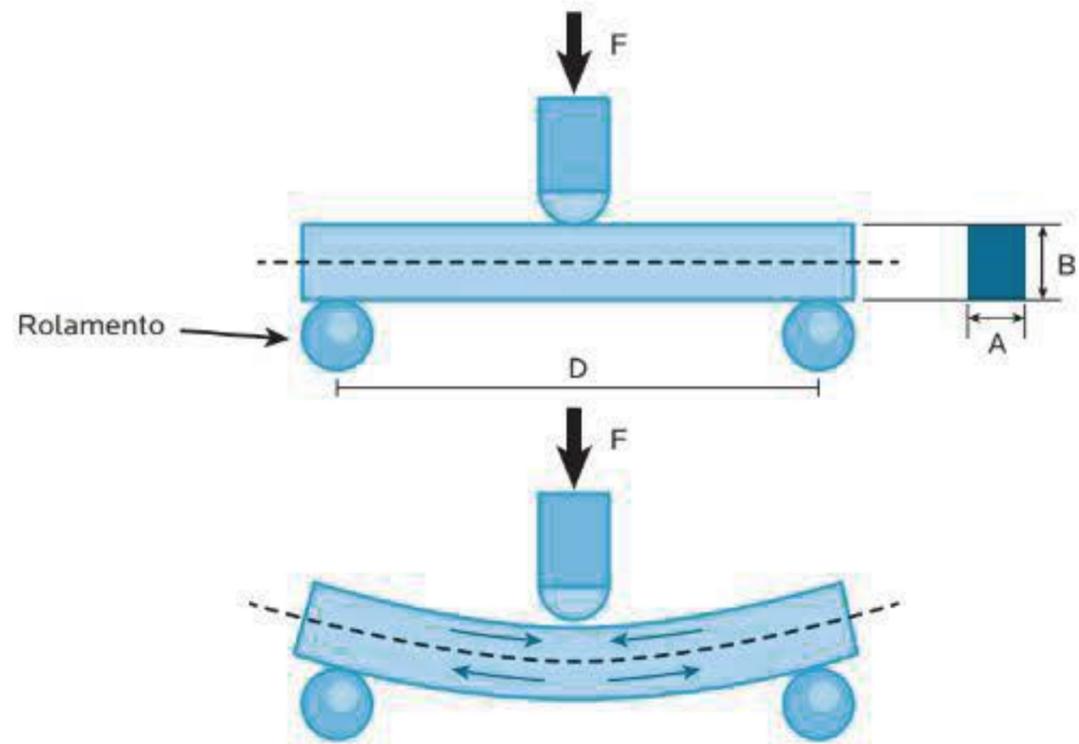


Figura 1.9 – Representação da distribuição das forças em um ensaio de flexão uniaxial de três pontos.

### TENSÃO POR TORÇÃO

Resulta da rotação das extremidades de um corpo com sentidos opostos. Os resultados da torção resultam em tensão de cisalhamento e rotação do espécime.

Quando os instrumentos endodônticos são colocados em função e girados dentro do canal do dente, estão submetidos à torção.