



Brien Holden Vision Institute

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ÓPTICAS DOS MATERIAIS DAS LENTES

AUTOR

David Wilson: Brien Holden Vision Institute (BHVI), Sydney, Australia

REVISOR

Mo Jalie: Visiting Professor: University of Ulster, Varilux University in Paris

ESTE CAPÍTULO INCLUI UMA REVISÃO DE:

- Índice de Refracção
- Número de Abbe
- Resistência ao Impacto
- Gravidade Específica
- Resistência ao Risco
- Transparência
- Absorção Ultravioleta
- Resistência Química
- Comparação dos Materiais das Lentes

ÍNDICE DE REFRAÇÃO

O índice de refração de um meio é a relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio. É utilizado um comprimento de onda de referência para representar a “luz branca”. Na Europa, este comprimento de onda é a linha *e* do Mercúrio (linha de Fraunhofer) com um comprimento de onda de 546.07 nm enquanto em outras partes do mundo, incluindo nos Estados Unidos, é utilizada a linha *d* do hélio (587.56 nm). Por esta razão os índices definidos nos diferentes países podem variar para o mesmo material. Por exemplo, os europeus, atribuem um índice de refração (n_e) ao CR-39 de 1.502 enquanto nos Estados Unidos o índice (n_d) é de 1.498.

SIGNIFICADO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO

O significado do índice de refração para o desenho da lente indica que quanto maior o índice de refração, mais fina pode ser feita a lente (Figura 1.1). Desta forma, lentes feitas de um material com índice de refração mais elevado irão ser mais finas e mais atractivas que lentes de material com menor índice de refração tais como o CR-39 ou o vidro Crown. No entanto, existem problemas, com a utilização de materiais com índices de refração mais elevados, os quais devem ser comparados com os benefícios. No caso de lentes de vidro de alto índice o material é consideravelmente mais pesado que o vidro Crown, mas a redução da massa vai implicar que o peso da lente final é muito semelhante. Segundo, todos os materiais de alto índice, vidro ou plástico, têm um número de Abbe baixo e são desta forma são mais propensos ao cromatismo. (iremos ver isto a seguir). Finalmente, os materiais são normalmente mais suaves e requerem revestimentos duros no caso de lentes de plástico.

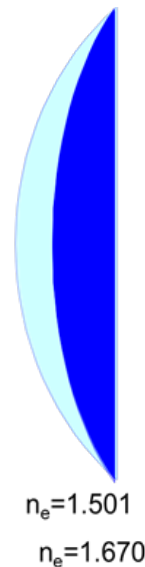


Figura 1.1: Lentes de potência e diâmetro idênticas com índices diferentes

ÍNDICE DE REFRAÇÃO (cont.)

CURVE VARIATION FACTOR

O factor de variação de curva (FVC) é utilizado para encontrar a curva equivalente do vidro Crown para o material a ser considerado. Isto permite ao laboratório seleccionar a ferramenta apropriada se possuir apenas ferramentas destinadas para o vidro. Isto irá também permitir ao clínico calcular a espessura esperada de uma lente utilizando gráficos de espessuras desenhados para vidro Crown. O FVC demonstra os benefícios do aumento do índice de refração (Figura. 1.2).

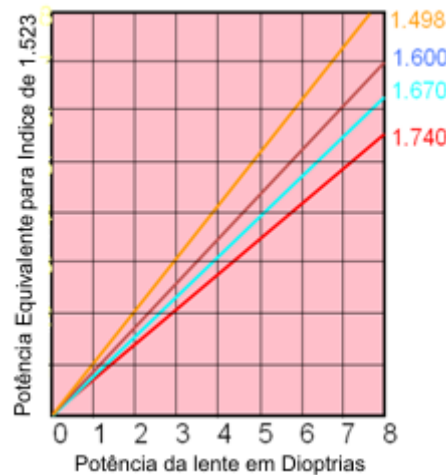


Figura 1.2: Significado do Índice de refração: Factor de Variação de Curva

$$FVC = (n_c - 1) / (n_m - 1)$$

Onde:

n_c = Índice de refração do material de base, normalmente vidro crown

n_m = Índice de refração do material da lente

Por exemplo:

Para o material, $n = 1.670$

$$FVC = \frac{(1.523-1)}{(1.670-1)} = 0.781$$

Assim, uma curva de +10.00 D fabricada neste índice iria ter o mesmo raio do que uma curva de +7.18 D em vidro Crown.

Isto é, $+10.00 \times FVC = +7.81D$

Para o material, $n = 1.498$

$$FVC = \frac{(1.523-1)}{(1.498-1)} = 1.050$$

Uma curva +10.00 D neste índice iria ter o mesmo raio de uma curva de +10.50 D em vidro Crown.

Isto é, $+10.00 \times CVF = +10.50D$

NÚMERO DE ABBE (Valor V)

NÚMERO DE ABBE (VALOR V)

O número de Abbe é o inverso da potência de dispersão do material e fornece uma medida da capacidade do material em manter o espectro luminoso junto. É muitas vezes referido com a constringência do material. Quanto maior o número de Abbe, menor a probabilidade de um utilizador notar a aberração cromática transversa produzida na periferia da lente. O número do Abbe pode também ser utilizado para calcular a aberração cromática axial (Figura. 1.3 (a)) e aberração cromática transversa (Figura. 1.3 (b)).

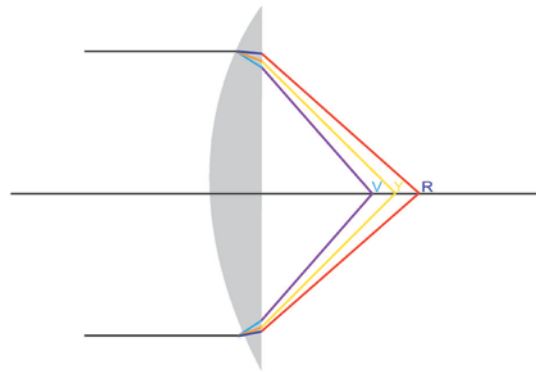


Figura 1.3(a): Aberração Cromática Longitudinal

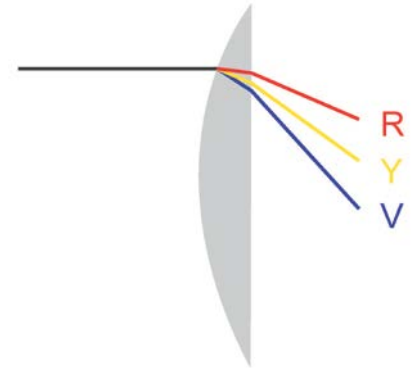


Figura 1.3(b): Aberração cromática Transversa

A fórmula para o número de Abbe é:

$$n = n_d - 1/n_F - n_C$$

Onde: n_d = Índice de refração para 587.56 nm
 n_F = Índice de refração para 486.31 nm
 n_C = Índice de refração para 656.28 nm

O número de Abbe (algumas vezes referido como o Valor V) pode ser calculado através da linha *d* do hélio (acima) ou da linha *e* do mercúrio. O cálculo para a linha *e* também requer linhas de Fraunhofer diferentes para o F e C.

SIGNIFICADO DO NÚMERO DE ABBE

A aberração cromática, ou o cromatismo, dá-se como resultado de uma refração diferente dos vários comprimentos de onda da luz. Existem dois C, o cromatismo axial e o cromatismo transversal. O cromatismo axial é criado por luz que incide de forma normal, onde a luz violeta forma um foco antecipado comparado com vermelho com restante espectro a estar espalhado entre os dois pontos. Esta forma de cromatismo é de pouca importância para os utilizadores de óculos, devido principalmente ao cromatismo axial do olho.

O cromatismo transversal é o resultado de uma maior refração de comprimentos de onda mais curtos na periferia da lente. O cromatismo transversal pode ser medido como efeito prismático em qualquer ponto da lente dividido pelo número de Abbe do material. Isto é:

$$ACT = P/v \quad \text{ou} \quad ACT = Cf/v$$

Onde:
 v = número de Abbe
 P = Efeito Prismático
 c = distância do centro óptico da lente (em cm)
 F = Potência da Lente

NÚMERO DE ABBE (Valor V) (cont.)

SIGNIFICADO DO NÚMERO DE ABBE (cont.)

A aberração cromática é directamente proporcional à potência da lente e inversamente proporcional ao número de Abbe do material da lente. Irá acontecer em qualquer lente de qualquer potência e irá ser mais notório em direcção à periferia. De acordo com Jalie (2003), o cromatismo transversal de menos que 0.1Δ , é pouco provável que seja notado, no entanto uma quantidade superior de Aberração Cromática Transversa (ACT) irá provocar cromatismo que irá incomodar.

De forma a determinar estes efeitos e a potência limite, nós devemos primeiro considerar a direcção de olhar. Estudos sobre a direcção do olhar determinaram que a maioria dos movimentos oculares (cerca de 80%) estão entre os 15° da posição primária do olhar e virtualmente nenhum excede os 30° . Assim, nós devemos ter maior preocupação com os efeitos da lente ou do material numa área de 15° em torno da posição primária do olhar.

Estudos nos Estados Unidos demonstraram que uma ACT de 0.16Δ induz uma perda de uma linha de acuidade, medida com uma carta de Snellen (uma descida de AV de 6/6 para 6/7.5). O gráfico seguinte mostra o limiar para perda de uma linha em acuidade. Em adição Jalie argumenta ser pouco provável que a ACT seja notada quando menor que 0.10Δ . O limiar de Jalie é também mostrado na Figura 1.4.

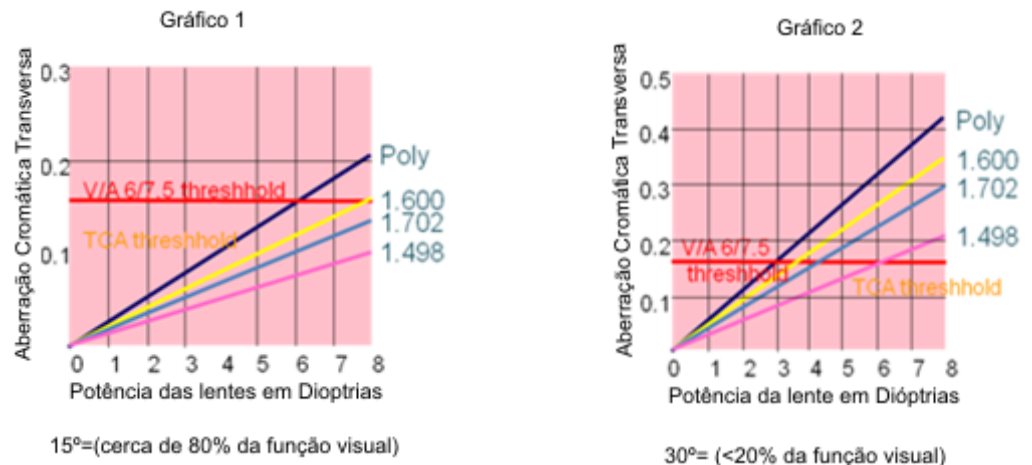


Figura 1.4: Significado de um número de Abbe

Ao escolher o material de uma lente com referência ao número de Abbe e à ACT, podem ser aplicados os seguintes critérios:

- Se o material para uma determinada potência de lente cai dentro dos 0.10Δ de Jalie dentro dos 15° do gráfico, então é, a área da lente que contem mais de 80% dos movimentos oculares, é improvável que exista algum problema criado pela ACT. Isto iria servir como um critério útil para decidir quanto à compatibilidade do material.
- Uma abordagem mais conservadora seria utilizar o critério para uma dada potência de lente ACT cairia dentro do limiar de 0.16Δ nos 30° . Existem muito poucas probabilidades de que a ACT seja um problema sob tais circunstâncias.

Enquanto a degradação da imagem devido ao cromatismo ocorre, em alguns materiais mais do que em outros, deve ser tido em conta que os efeitos do cromatismo são normalmente muito menores que os efeitos do astigmatismo oblíquo (dependo, é claro, da forma da lente).

RESISTÊNCIA AO IMPACTO

RESISTÊNCIA AO IMPACTO

A resistência ao impacto dos materiais das lentes é raramente apresentada em termos absolutos. A resistência ao impacto relativa de vários materiais irá variar, dependendo do tamanho e forma do projectil utilizado no teste. O teste standard utilizado pela Food and Drug Administration (FDA) nos Estados Unidos envolve a queda de uma bola de aço de 5/8 polegadas na lente de uma altura de 50 polegadas (Figura. 1.5).

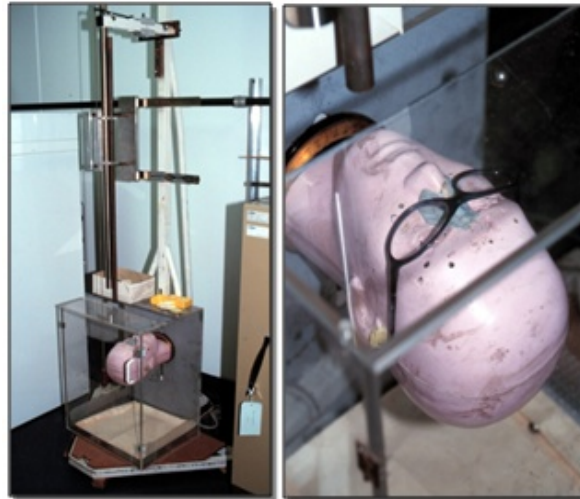


Figura 1.5: Teste do impacto à resistência

A legislação americana requer que todas as lentes sejam capazes de resistir a este teste. O vidro sem tratamento não irá resistir; no entanto o vidro endurecido irá resistir ao teste. Outro teste comum envolve o disparo de uma bola de aço de 1/4 polegadas (6.35 mm) a várias velocidades para determinar a velocidade de quebra. Este teste é utilizado para a tabela na Figura 1.6 (a) e Figura 1.6 (b).

SIGNIFICADO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO

Enquanto a resistência impacto relativa entre materiais pode variar em termos quantitativos dependendo do método de teste, as suas posições na escala da menor à maior resistência ao impacto não se irão alterar. O policarbonato é de longe o mais resistente ao impacto, seguido das lentes de plástico de alto índice de refração, CR-39, vidro endurecido e finalmente, vidro comum. Um material lançado recentemente, o Trivex, o qual não está representado no gráfico (Figura 1.6 (a)) tem uma resistência ao impacto muito semelhante ao policarbonato. O Trivex é fabricado pelas indústrias PPF (a companhia que desenvolveu o CR-39) e é vendido por vários fabricantes de lentes sob os seus próprios nomes comerciais.

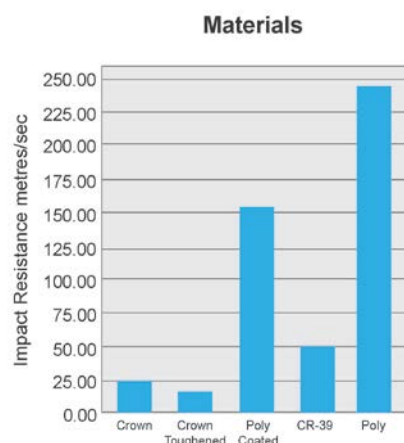


Figura 1.6(a): Resistência ao impacto em materiais de lentes

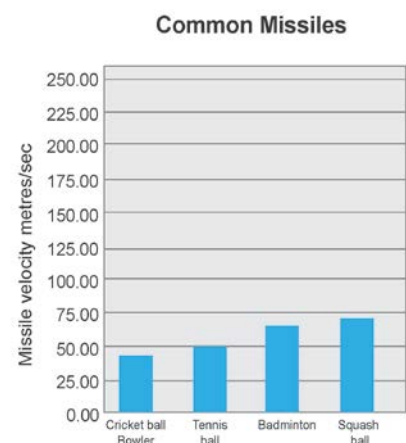


Figura 1.6(b): Comparação das velocidades de quebra

RESISTÊNCIA AO IMPACTO (cont.)

SIGNIFICADO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO (cont.)

Material	Velocidade ao Impacto (6.35 mm bola de aço)
Vidro Crown	12 metros por segundo
Vidro Endurecido	18 metros por segundo
CR-39 sem tratamento	49 metros por segundo
Polycarbonato revestido	153 metros por segundo
Polycarbonato sem revestimento	244 metros por segundo

A resistência ao impacto é um critério importante para a selecção das lentes, particularmente em casos onde pode existir perigo de dano físico para o olho. Tais circunstâncias iriam incluir crianças, trabalhadores de fábricas, jardineiros comerciais e desportistas.

Compare as velocidades de quebra de tabela anterior com alguns projéteis comuns (Figura 1.6(b)):

Projétil	Velocidade do Projétil
Bola de Cricket (lançador)	42 mps
Bola de Ténis	50 mps
Badmington (pena)	60 mps
Bola de Squash	70 mps

GRAVIDADE ESPECIFICA

GRAVIDADE ESPECIFICA

A gravidade específica é a medida da densidade física do material. É a relação entre um centímetro cúbico de um material e um centímetro cúbico de água. Como um centímetro cúbico de água pesa um grama, a grandeza adimensional gravidade específica é também uma medida do peso de um centímetro cúbico de material. Assim, é muitas vezes encontrado com e sem as unidades em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

Por exemplo, a gravidade específica do CR-39 é 1.31 a qual pode também ser utilizada para indicar que um centímetro cúbico de CR-39 pesa 1.31g.

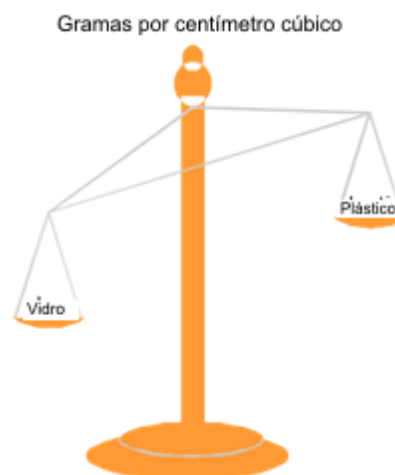


Figura 1.7: Gravidade Específica vidro vs plástico

SIGNIFICADO DA GRAVIDADE ESPECÍFICA	<p>Enquanto a gravidade específica fornece uma pista quanto ao peso relativo de vários materiais de lente, ele não prevê de forma precisa os pesos relativos das lentes acabadas, pois materiais mais densos normalmente têm índices de refração mais elevados e assim têm uma massa mais pequena. Assim, é possível para uma lente feita de um material mais denso ser mais leve em peso que uma lente da mesma potência feita de um material menos denso, porque o material mais denso tem consideravelmente menos massa.</p>
--	---

Tabela 1.1: Peso das lentes em gramas para um dado I.R. e Gravidade Específica

Índice de refração	Gravidade Específica	Plano	+3.00D F1 = +8.00D	+6.00D F1 = +10.00D	+9.00D F1 = +12.00D
1.498	1.32	5.60	11.59	18.16	25.88
1.523	2.54	10.77	21.59	33.33	46.61
1.600	1.36	5.77	10.61	15.74	21.34
1.701	3.21	13.61	23.11	32.90	43.37
1.802	3.65	15.47	24.78	34.16	44.17
1.586	1.20	5.09	9.49	14.17	19.31

RESISTÊNCIA AO RISCO

RESISTÊNCIA AO RISCO	<p>Têm sido desenvolvidos vários testes para medir a resistência ao risco dos materiais de lentes. O mais antigo e mais citado em livros é a escala de dureza de Moh's. Ela classifica a dureza da superfície do material entre 1 a 10 com o talco a ter uma classificação de 1 e o diamante 10. A maioria dos materiais de lentes está classificada entre 4 e 5 nesta escala.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O teste de Taber: É aplicada uma roda de abrasão na superfície sob uma determinada quantidade de pressão. Foi originalmente desenvolvido para testar pintura. 2. O teste de Bayer: As lentes são fixas num recipiente oscilatório que contém material abrasivo. É utilizada uma lente padrão como controlo. 3. O teste da lã de Aço: Uma almofada de lã de aço de um determinado grau é aplicada com uma pressão fixa na superfície e a superfície riscada é comparada com a escala. 4. O teste de queda: As lentes são revolvidas num barril contendo uma mistura abrasiva. 5. O teste da borracha: Uma borracha abrasiva é friccionada na superfície da lente a uma dada pressão. <p>Em todos os casos as lentes são comparadas contra um controlo e uma escala de classificação de risco.</p>
-----------------------------	---

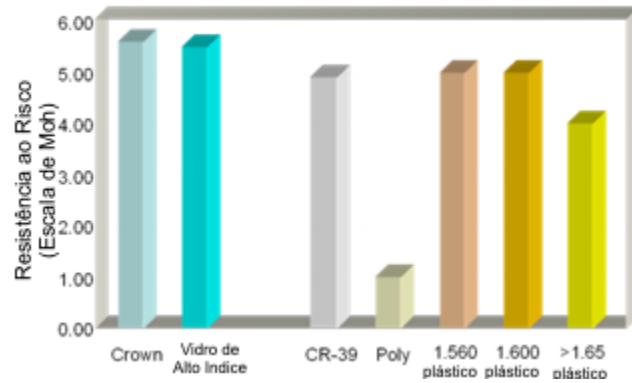


Figura 1.8: Resistência ao risco em diferentes materiais de lentes oftálmicas

A Figura 1.8 mostra a diferença relativa na resistência ao risco entre vários materiais de lentes com a exceção do policarbonato. No entanto deve ser registado que a maioria das lentes de plástico tem revestimento de endurecimento, fazendo com que a durabilidade da superfície seja superior a um material sem revestimento (Figura 1.9). O revestimento de superfície é considerado essencial no caso do policarbonato.

A maioria dos riscos nas lentes é devida à fricção de poeira/partículas na superfície da lente ou colocar a face dos óculos para baixo. Os danos potenciais podem ser virtualmente eliminados com instruções próprias ao paciente.

SIGNIFICADO DA RESISTÊNCIA AO RISCO

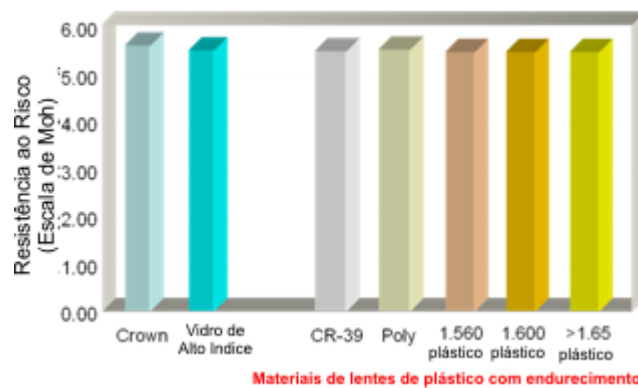


Figura 1.9: Resistência ao risco em materiais de lentes oftálmicas com revestimento de endurecimento contra matéria sem revestimento

TRANSPARÊNCIA

A transparência é uma função do índice de refração. Quanto maior o índice de refração mais luz é perdida como resultado da reflexão em cada superfície. A quantidade de reflexão é determinada pelo **factor de reflexão de Fresnel**.

FRESNEL REFLECTION FACTOR

$$r = [(n' - n) / (n' + n)]^2$$

Onde:

r = Refletância como decimal

n' = Índice de refração do Segundo meio (meio no qual a luz está a viajar)

n = Índice de refração do primeiro meio

Exemplo: Para CR-39 no ar;

$$\begin{aligned} r &= [(1.498 - 1) / (1.498 + 1)]^2 = 0.0397 \\ &= 3.97\% \text{ é reflectido em cada superfície} \end{aligned}$$

Lentes de maiores índices de refração criam têm mais reflexão em cada superfície. Por exemplo:
Para vidros de alto índice (n = 1.806) no ar;

$$\begin{aligned} r &= [(1.806 - 1) / (1.806 + 1)]^2 \\ &= 0.0825 \\ &= 8.25\% \text{ é reflectido em cada superfície} \end{aligned}$$

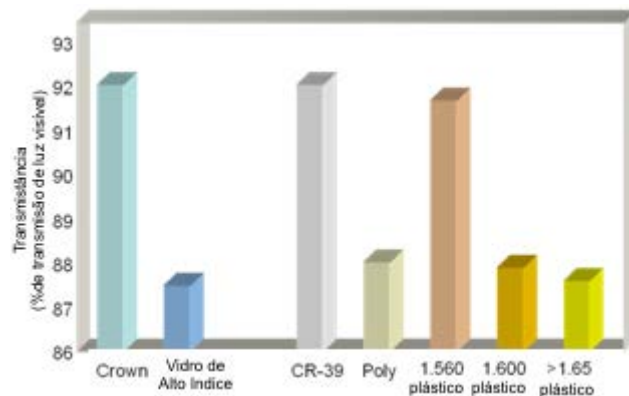


Figura 1.10: Transmitância através de diferentes materiais de lentes oftálmicas

SIGNIFICADO DA TRANSPARÊNCIA

O aumento da transmitância resulta na:

- Redução de imagem fantasma problemáticas
- Redução da aparência envidraçada das lentes
- Aumento da transmitância

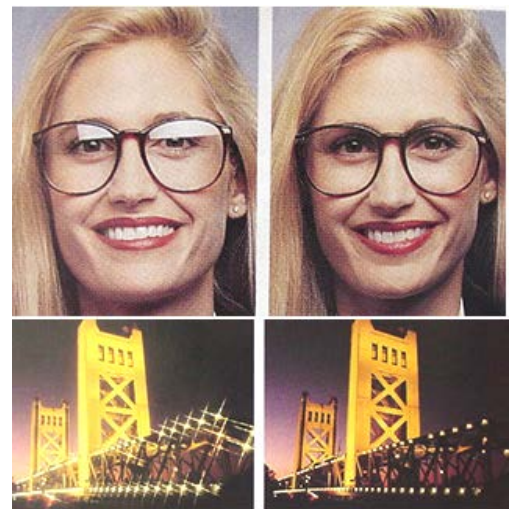


Figure 1.11: Diferença na transmitância com óculos com e sem revestimento anti-reflexo

ABSORÇÃO ULTRAVIOLETA

ABSORÇÃO ULTRAVIOLETA

Os materiais das lentes variam na capacidade de absorção de radiação ultravioleta (Figura 1.12). As lentes de plástico absorvem mais UV que o vidro, com o policarbonato a cortar toda a radiação abaixo dos 390 nanômetros. O CR-39 irá cortar os UV abaixo dos 360 nm mas requer um revestimento de UV transparente para absorver todos os comprimentos de onda do UV.

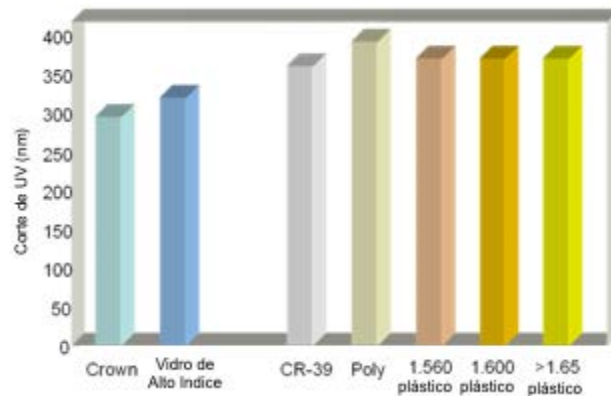


Figura 1.12: Absorção de raios UV em diferentes materiais de lentes oftálmicas

SIGNIFICADO DA ABSORÇÃO UV

O ultravioleta é responsável por uma quantidade condições oculares, tais como pterígio e cataratas. Portanto a sua absorção é desejável. Esta é uma das principais vantagens das lentes de plástico contra o vidro. Elas são mais eficientes na absorção solar da radiação ultravioleta (Figura 1.13).

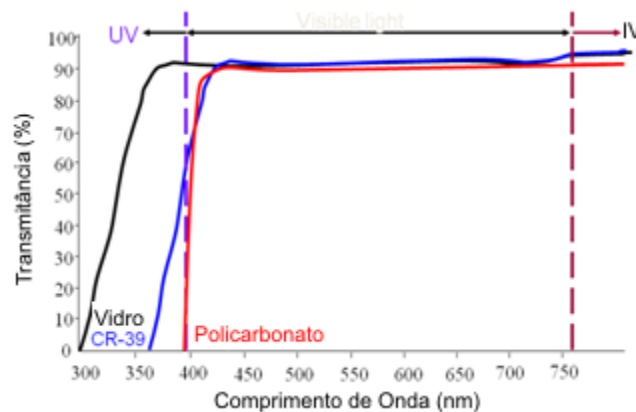


Figura 1.13: Absorção dos comprimentos de onda de diferentes raios luminosos em lentes oftálmicas de diferente material

RESISTÊNCIA QUÍMICA

RESISTÊNCIA QUÍMICA

Os materiais de lentes variam na sua composição química e desta forma no seu tempo de vida. A medida utilizada para resistência química é designada por Teste de “Termodine” e foi desenvolvido por Chance-Pilkington. O teste simula exposição prolongada a condições atmosféricas usando calor e humidade.

Na Figura 1.14, quanto maior a figura, menor é a resistência química.

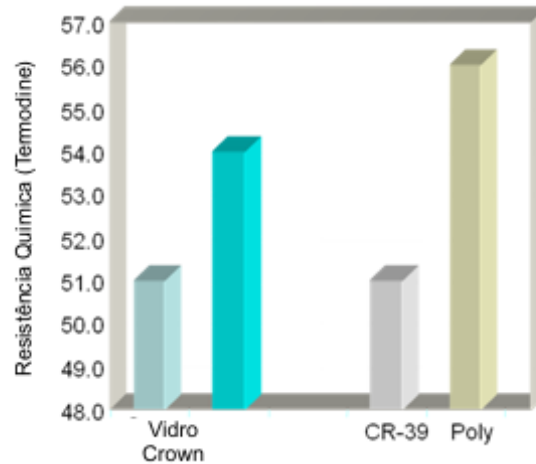


Figura 1.14: Resistência química em materiais de diferentes lentes oftálmicas

SIGNIFICADO DA RESISTÊNCIA QUÍMICA

A medida da resistência química fornece alguma indicação sobre a esperança de vida da lente. Ela também dá uma indicação da resistência do material a vários solventes. Por exemplo, policarbonato tem pouca resistência a vários solventes em especial à acetona. Tem também uma classificação de resistência térmica baixa.

No entanto, enquanto a medida do teste de “termodine” irá dar uma indicação da resistência dos materiais das lentes ao ataque atmosférico ao longo do tempo, ele não tem em conta os efeitos dos revestimentos anti-risco os quais irão proteger o substrato da lente.

No entanto uma palavra de precaução; enquanto um revestimento anti-risco irá proteger o policarbonato do ataque da acetona, a acetona pode escorrer para o bisel da armação e atacar a lente através dos bordos da lente sem revestimento.

COMPARAÇÃO DE MATERIAIS DE LENTES

Os materiais das lentes variam quanto às suas características: índice de refração, constringência, gravidade específica, resistência ao impacto, absorção de UV etc. Ao analisar os diferentes materiais, pode ser interessante compará-los (Tabela 1.2)

Tabela 1.2: Comparação de diferentes materiais de lentes

Material	Índice, n_d	Índice, n_e	Nº de Abbe V_d	Gravidade específica (g/cm ³)	Factor de Variação de Curva
Vidro Crown	1.523	1.525	58.9	2.54	1.000
CR-39	1.498	1.502	58.0	1.32	1.050
Polycarbonato	1.586	1.591	30.0	1.20	0.892
Plástico Índice Médio	1.557	1.561	37.0	1.23	0.939
Plástico de Índice Alto	1.595	1.599	36.0	1.36	0.879
Vidro de Índice Médio	1.701	1.705	42.0	3.21	0.746
Vidro de Índice Alto	1.802	1.807	35.0	3.65	0.652

NB: n_d é um valor Americano e n_e é um valor Europeu

PLÁSTICO VS. VIDRO

Peso

Todas as lentes de plástico são consideravelmente mais leves que as de vidro. O CR-39 é um dos materiais de plástico mais pesados com uma gravidade específica de 1.31, enquanto o vidro Crown é o vidro mais leve com uma gravidade específica de 2.51. A redução significativa do peso dos óculos alcançada com lentes de plástico e o conforto óbvio para o utilizador é um dos principais benefícios das lentes de plástico.

Resistência ao Impacto

O polycarbonato e o Trivex são de longe os melhores materiais para a resistência ao impacto, sendo quase inquebráveis. Algumas das lentes de plástico de alto índice também têm uma resistência ao impacto significativa. O CR-39 tem uma resistência ao impacto consideravelmente superior ao vidro Crown sem tratamento mas não difere muito do vidro endurecido quimicamente. O aumento da resistência ao impacto é claramente uma característica desejável dos materiais das lentes e a dureza do polycarbonato beneficia aqueles que têm necessidade de uma resistência superior ao impacto, tais como crianças, pacientes monoculares, pessoas que praticam desportos perigosos e pessoas a trabalhar na indústria.

Durabilidade da Superfície

A durabilidade da superfície é uma área onde o vidro Crown se destaca. No entanto, revestimentos de endurecimento melhorados permitiram às lentes de plástico, incluindo as de polycarbonato muito suave ter um comportamento quase semelhante. Aliás, os revestimentos resistentes ao risco disponíveis para lentes de plástico devem fornecer às lentes acabadas a resistência suficiente para a utilização normal para o tempo de vida esperado dos óculos.

Facilidade de Coloração

Lentes de Plástico são tingidas com corante. Elas são suspensas numa câmara de coloração quente (a cerca de 92°C) até que densidade de tinta desejada é alcançada. Esta forma de colocação é muito simples e barata. No entanto, o vidro transparente é colorido depositando uma camada muito fina de óxido de metal na superfície da lente numa câmara de vácuo. Isto requer maquinaria de grandes dimensões e dispendiosa. A colocação de plásticos pode, desta forma ser muito mais rápida com o benefício de uma

entrega mais rápida para o paciente.

Absorção UV

O vidro transparente não absorve bem UVA, enquanto, que o CR-39 sem tratamento absorve cerca de 90% do UVA e policarbonato, quase 100%.

Resistência ao embaçamento

A condutividade de térmica do vidro faz com que este se embacie muito rapidamente e desembacie lentamente. Os plásticos, por outro lado, são mais lentos a embaciar e a mais rápidos a desembaciar. Isto é um benefício significativo para pessoas que trabalham em climas frios ou pessoas que passem de ambiente frios para edifícios quentes.

SUMÁRIO

Os fabricantes de lentes estão continuamente a criar novos materiais de lentes para preencher o que eles consideram falhas no grupo actual de materiais ou para melhorar as características dos materiais actuais. Nas aulas seguintes iremos considerar os critérios pelos quais nós podemos decidir quanto a estes materiais.

Num capítulo futuro, iremos também considerar métodos pelos quais nós iremos poder distinguir entre materiais e determinar o índice de um material desconhecido.

BIBLIOGRAFIA

- Jalie M. 2003. *Ophthalmic Lenses and Dispensing*. Butterworth Heinemann, London.
- Jalie M. 1984. *Principles of Ophthalmic Lenses*, ABDO, London.
- Wakefield KG and Bennet AG. 2000. *Bennett's Ophthalmic Prescription Work*, Butterworth-Heinemann.
- Brooks CW and Borish IM. 2006. *System of Ophthalmic Dispensing*. Butterworth Heinemann.
- Brooks CW. 2005. *Essentials of Ophthalmic Lens Finishing*. Butterworth-Heinemann.
- Wilson D. 2006. *Practical Optical Dispensing 2nd Edition*. Open Training and Education Network, Sydney.
- Wilson D and Stenersen S. 2002. *Practical Optical Workshop*. Open Training and Education Network, Sydney.