

ANTIRREFLEXO CRIZAL® SAPPHIRE™*

PESQUISA SOBRE REFLEXOS MULTIANGULARES
PARA A MELHOR TRANSPARÊNCIA DA CATEGORIA



PUBLICAÇÃO ONLINE DE NOTA
TÉCNICA, POINTS DE VUE,
REVISÃO INTERNACIONAL DE
ÓPTICA OFTÁLMICA,
WWW.POINTSDEVUE.COM
NOVEMBRO DE 2017

*Maxime BOIFFIER
Aude CARREGA
Dr. Tito DE AYGUAVIVES
Sébastien FRICKER
Dr. Helene MAURY*

Crizal®
SAPPHIRE™

*O nome comercial pode variar dependendo do país: Antirreflexo Crizal® Sapphire™ 360° UV, antirreflexo Crizal® Sapphire™, antirreflexo Crizal® Sapphire™ UV.



MAXIME BOIFFIER

MSc, Gerente de Estudo de Experiência do Consumidor, Essilor International

Maxime se juntou à Essilor International em 2010 após um Mestrado em Optometria e Ciências da Visão na universidade de Paris Sud XI (Orsay, França).

Trabalha como gerente de estudos de experiência do consumidor, especializado na avaliação de inovações pelos consumidores. Paralelamente ele ensina optometria a oculistas atuantes desde 2012.



SÉBASTIEN FRICKER

MSc, Gerente de Estudos de R&D (Pesquisa e Desenvolvimento), Centro Essilor de Inovação e Tecnologia na Europa

Sébastien se formou em engenharia física na Ecole Polytechnique (Palaiseau, França) em 2000 e concluiu um Mestrado em engenharia elétrica na Universidade de Michigan (Ann Arbor, EUA) em 2002. Trabalhou por 10 anos em pesquisa e desenvolvimento na indústria de metrologia óptica. Sébastien se juntou a Pesquisa e Desenvolvimento da Essilor International em 2012, onde trabalha em métodos de design de lentes oftálmicas e modelagem de desempenho de lentes.



AUDE CARREGA

MSc, Gerente de Inovações para o Consumidor, Centro Essilor de Inovação e Tecnologia na Europa

Aude se juntou à Essilor International em 2012 após um Mestrado em análise sensorial e ciência do marketing. Ela gerenciou a unidade de Análise Sensorial de Pesquisa e Desenvolvimento por quatro anos. Em 2017, ela se juntou ao Seniors Roadmap de consumidores.



DRA. HÉLÈNE MAURY

PhD, Gerente do Programa de R&D, Centro Essilor de Inovação e Tecnologia na Europa

Helene se formou na Universidade Pierre & Marie Curie em Química Física em 2004 e recebeu o PhD em óptica em 2007. Ela continuou sua pesquisa em design óptico e materiais como doutora na Comissão de Energia Atômica (CEA) da França por dois anos. Depois trabalhou para o Thales Group como gerente de projeto no design e fabricação de vários sistemas ópticos para aplicações espaciais. Ela se juntou à Essilor International em 2011, onde trabalha no desenvolvimento de novos revestimentos antirreflexo e filtros para aplicações oftálmicas.



DR. TITO DE AYGUAVIVES

PhD, Gerente de Inovações para o Consumidor, Centro Essilor de Inovação e Tecnologia na Europa

Tito se formou na Universidade Pierre & Marie Curie (Paris, França) em Física de Plasmas em 1996 e obteve o PhD em física de plasmas e ciência de materiais na Ecole Supérieure d'Optique (Orsay, França) em 1999.

Trabalhou por dois anos na Universidade Estadual da Carolina do Norte (Raleigh, EUA), onde conduziu pesquisa aplicada em películas finas para aplicações microeletrônicas. Se juntou à Coherent Inc. R&D (East Hanover, NJ, EUA) em 2001. Tito começou na R&D da Essilor International em 2004, trabalhando em processos de película fina e designs antirreflexo (Crizal Forte®, Crizal® UV). Em 2016, se juntou ao Young Adult Road Map de consumidores.

INTRODUÇÃO

As pessoas estão cada vez mais expostas a múltiplas fontes de luz, resultando em uma **saturação de luz geral**. Em nossos ambientes internos e externos modernos, **a luz vem de todas as direções** e gera **reflexos nas lentes**, o que é uma fonte de desconforto para quem usa óculos.

Crizal® Sapphire™ é o **antirreflexo ideal** da Essilor, projetado para reduzir reflexos, tanto na frente quanto atrás das lentes, independente do ângulo de incidência da luz.

Graças às **novas ferramentas de cálculo** e à introdução de uma **nova nanocamada**, Crizal Sapphire é capaz de gerenciar uma maior complexidade de reflexos sem precisar comprometer a eficiência do antirreflexo e a proteção UV.

Atualmente **Crizal® Sapphire™** é o produto mais sofisticado da linha Crizal®, com **Multi-angular technology™ (Tecnologia multiangular)** além de todos os benefícios do antirreflexo Crizal Forte® UV.

PALAVRAS CHAVE: poluição luminosa, revestimento antirreflexo, revestimento Crizal® Sapphire™, Multi-angular technology™, desempenho antirreflexo, eficiência multiangular, transparência.

1. O CONTEXTO



POLUIÇÃO LUMINOSA E AS NECESSIDADES DOS USUÁRIOS

A luz em nossos ambientes internos e externos mudou drasticamente nas últimas décadas. Luzes artificiais, telas de computador, LEDs, smartphones e toda uma gama de dispositivos conectados têm forte impacto em nossas rotinas. Além disso, a diversidade e intensidade das luzes não diminuirão tão cedo - ao contrário, espera-se que continuem a aumentar.

Os termos **poluição luminosa**, ou fotopoluição, frequentemente são usados para descrever esta tendência ambiental. Geralmente são definidos como luz artificial excessiva, mal direcionada ou intrusiva.

Poluição luminosa é um grande efeito colateral da urbanização e civilização industrial. Suas fontes incluem iluminação externa e interna, propagandas, propriedades comerciais, escritórios, fábricas, iluminação pública e locais de esporte iluminados. É mais grave em áreas altamente industrializadas, densamente povoadas da América do Norte, Europa, Japão e Sudeste da Ásia.

Esta **tendência vem se acelerando** conforme a tecnologia progride e os países continuam a se desenvolver. Abrange o seguinte:

- Mudanças na iluminação interna. Ex: lâmpadas de economia de energia, luzes neon e LEDs;
- Novas iluminações externas, particularmente iluminação pública;

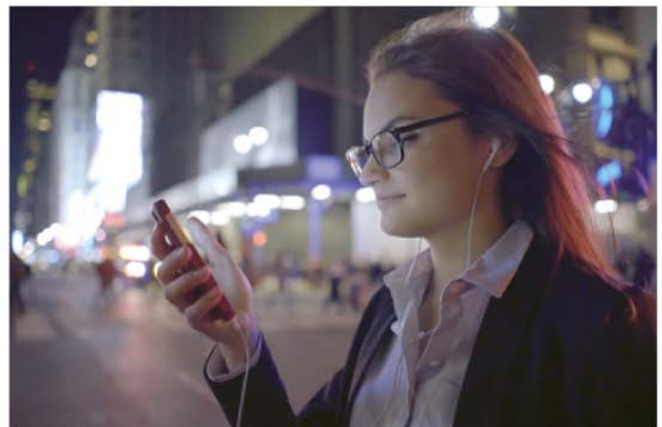
- Um enorme aumento no uso de telas de todos os tamanhos e tipos para uma gama de atividades diferentes;
- Novas telas usadas para propaganda e outras exposições públicas.

O resultado é que muitas pessoas se sentem constantemente expostas a diferentes tipos de luzes artificiais, e isto frequentemente é indesejado ou incontrollável, vindo de diversas fontes e **de todas as direções**.

Do ponto de vista de quem usa óculos, a situação é crítica. Novos problemas ópticos como **reflexos na parte interna da lente (próximo ao olho)**, **difusão óptica** causados por manchas ou arranhados e **imagens fantasma** induzidas por multirreflexos nas lentes se tornaram comuns. Isto pode levar a um **maior desconforto visual**, forçando usuários a encontrarem novas estratégias alternativas.

Se projetada adequadamente, os óculos podem limitar desvantagens intrínsecas, como reflexos e imagens fantasma.

O novo antirreflexo **Crizal® Sapphire™** interage com a luz **levando em consideração seus comprimentos de onda** (visíveis e UV), **intensidade** (reflexos e imagens fantasma) e **direção** (multiangularidade). Como resultado, soluciona com sucesso estas questões.



2. A ABORDAGEM

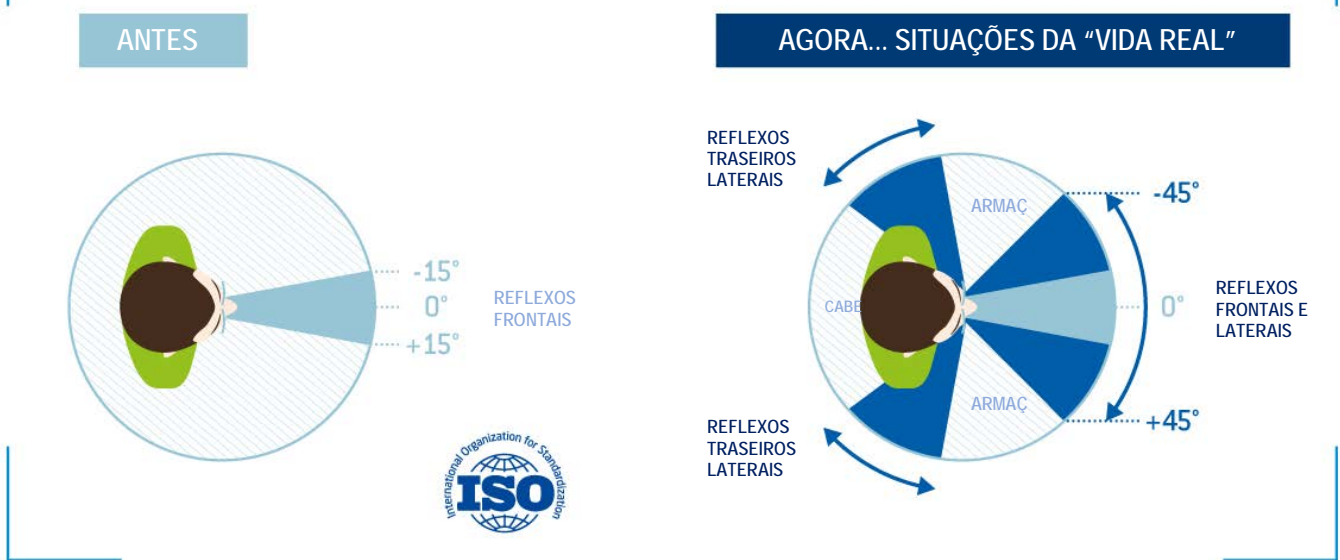


UMA NOVA FORMA DE PENSAR SOBRE REVESTIMENTO ANTIRREFLEXO

A Essilor estudou e analisou a iluminação de ambientes internos e externos, identificando vários fatores chave e insights de consumidores. Isto nos levou a repensar a forma que os antirreflexos são projetados. Até agora nossos revestimentos antirreflexo foram projetados para serem eficientes na **direção normal de incidência**, que normalmente fica abaixo de $\pm 15^\circ$, conforme exigido pelas normas oftalmológicas para serem considerados antirreflexo (norma ISO 8980-4).

Porém esta configuração não corresponde a situações da vida real já que reflexos são considerados apenas em uma estreita faixa angular - reflexos laterais e traseiros não são considerados. Na nova abordagem, ilustrada na **Figura 1**, **tanto o usuário quanto a iluminação ambiente foram considerados juntos.**

FIGURA 1. EVOLUÇÃO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DE REFLEXOS FRONTAIS, TRASEIROS E LATERAIS



UMA NOVA FORMA DE PROJETAR ANTIRREFLEXO

Durante muitos anos, produzir antirreflexo em grande escala industrial com várias funções ópticas e garantia de padrões de alta-qualidade (adesão, durabilidade, resistência a arranhões, repelência à água, etc.) exigiu especialização técnica significativa e também know-how desenvolvido ao longo de vários anos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

O principal desafio ao projetar o *Crizal® Sapphire™* foi combinar as **necessidades do usuário** e as expectativas relacionadas à poluição luminosa com alto nível de **proteção UV** (mesmo nível do *Crizal Forte® UV* com índice FPS-O® 35) tendo em mente as **limitações industriais**.

- **Eficiência multiangular** contra poluição luminosa. O parâmetro chave usado por normas internacionais para avaliar a eficiência antirreflexo é a refletância luminosa R_v [1]. Este fator indica a intensidade da luz refletida pela lente, conforme percebida pelo olho humano:

FIGURA 2. FATOR DE REFLETÂNCIA LUMINOSA

$$R_v = \frac{\int_{380}^{780} R(\lambda) \cdot D65 \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{780} D65 \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

$R(\lambda)$ é a refletância espectral da lente, D65 é a distribuição de potência espectral do iluminante padrão e $V(\lambda)$ a função de eficiência luminosa espectral do olho humano normal para visão diurna, conforme especificado em ISO/CIE10527.

Para quantificar a eficiência antirreflexo geral independente da direção da luz, **um critério multiangular foi proposto**, definido a partir de uma integral na faixa angular (0°-45°).

FIGURA 3. NOVO CRITÉRIO MULTIANGULAR

$$\alpha = \int_{0^{\circ}}^{45^{\circ}} R_v(\theta) \cdot \sin\theta \cdot d\theta$$

θ é o ângulo de incidência da luz;

- **Proteção UV.** Apesar de as lentes absorverem UV e protegerem os olhos da luz que vem da frente do usuário, foi demonstrado que a radiação UV pode afetar o olho pela lateral, ao se refletir na superfície interna da lente (próxima ao olho) [2]. A última geração de antirreflexo Crizal oferece **uma maior proteção do olho contra os perigos da radiação ultravioleta**, levando em consideração o reflexo UV na superfície traseira da lente. Portanto, o antirreflexo otimizado para proteção UV é o que fica no lado côncavo da lente. Um fator de reflexão UV R_{UV} [3] foi proposto pelos especialistas da P&D da Essilor para medir a eficiência antirreflexo UV.

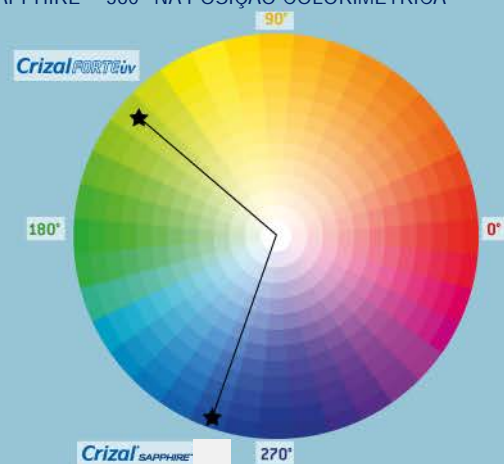
FIGURA 4. FATOR DE REFLEXÃO UV

$$R_{UV} = \frac{\int_{280}^{380} W(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{280}^{380} W(\lambda) \cdot d\lambda}$$

$R(\lambda)$ é a refletância traseira da lente e $W(\lambda) - E_s(\lambda) \cdot S(\lambda)$ é a função de exposição do olho a UV.

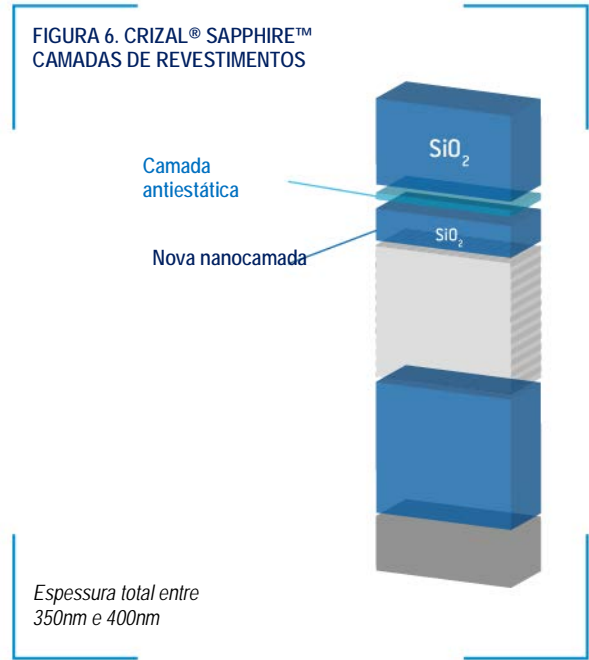
- **Limitações industriais.** Cada antirreflexo exibe uma cor residual de reflexo. Uma representação matemática da cor é usada, e o matiz é expresso como ângulo (h°). A saturação da cor ou croma (C*) é a distância que separa o centro do círculo da posição da cor do revestimento [4]. Para desenvolver produtos que podem ser fabricados em várias instalações de produção, camadas de antirreflexo são otimizadas com **altos padrões em termos de estabilidade colorimétrica**, chamada de robustez colorimétrica por especialistas em P&D. A robustez colorimétrica é definida como dispersão do ângulo de matiz ao aplicar uma variação aleatória das espessuras das camadas. Até agora, o melhor compromisso que pode ser feito em termos de estabilidade colorimétrica ficou na área verde (h-135°).

FIGURA 5. REVESTIMENTOS CRIZAL FORTE® UV E CRIZAL® SAPHIRE™ 360° NA POSIÇÃO COLORIMÉTRICA



A INOVAÇÃO POR TRÁS DO CONCEITO

A otimização do antirreflexo **Crizal® Sapphire™** é resultado da inovação nos últimos quatro anos ao combinar eficiência antirreflexo multiangular e um alto nível de proteção UV dos dois lados da lente, com alta estabilidade da cor para atender nossas limitações industriais. Graças a um esforço especial e contínuo, especialistas em P&D da Essilor desenvolveram **algoritmos mais rápidos e poderosos**, permitindo a exploração de novas possibilidades de design e encontrar novas soluções fora da região verde, particularmente na região azul, onde o nível de Rv é menor (Figura 5). Adicionalmente, a introdução de uma **nova nanocamada SiO₂** abaixo da camada antiestática permite o desempenho ideal. A Essilor solicitou patentes para proteger esta nova estrutura em camadas.



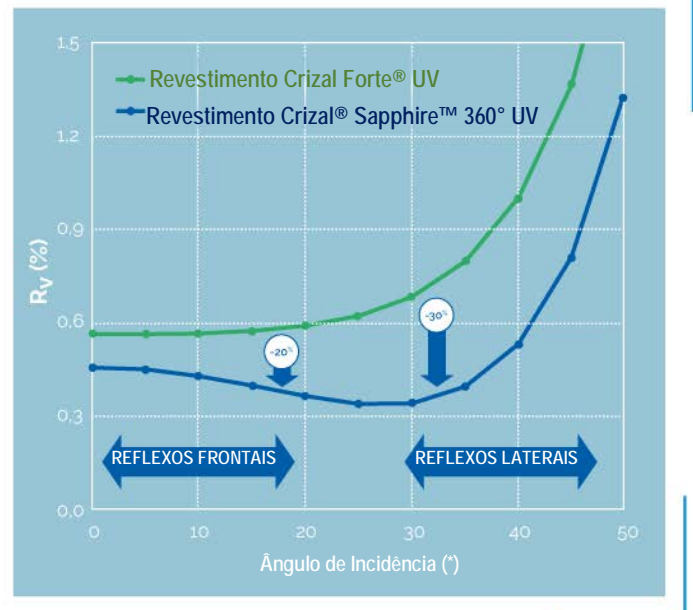
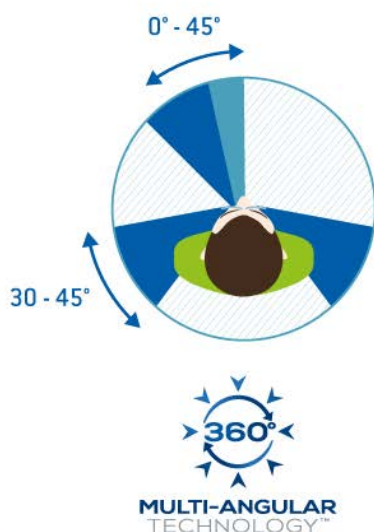
3. DESEMPENHO DO ANTIRREFLEXO CRIZAL® SAPPHIRE™

EFICIÊNCIA MULTIANGULAR

A Figura 7 representa a eficiência antirreflexo multiangular do **Crizal® Sapphire™ 360°** em comparação com o revestimento **Crizal Forte® UV**. A curva mostra a evolução de Rv de acordo com o ângulo de incidência.

Os **reflexos laterais são reduzidos em até 30%** e os **frontais em até 20%** para configurações similares de substrato/revestimento duro.

FIGURA 7. EVOLUÇÃO DE Rv COM O ÂNGULO DE INCIDÊNCIA





AVALIAÇÃO SENSORIAL

Análise sensorial é uma disciplina científica que aplica princípios de design experimental e análise estatística do uso dos cinco sentidos para fins de avaliação de produtos do consumidor. A disciplina exige painéis de avaliadores humanos que testem os produtos e que suas respostas sejam registradas.

A análise sensorial é usada durante o projeto de um novo produto para medir o impacto de uma nova propriedade ou otimizar sua formulação. O objetivo é **traduzir a percepção do consumidor em palavras** (indicadores) e **correlacioná-la às propriedades físicas mensuráveis do produto**. Enquanto um dispositivo mede apenas um aspecto de um produto, as pessoas fornecem informações multidimensionais, que incluem uma ampla variedade de dados visuais, táteis, olfativos, gustativos e auditivos ^[5, 6].

Na indústria oftálmica, a Essilor foi a primeira a utilizar análise sensorial para avaliar a eficiência de suas novas lentes. No contexto do *Crizal® Sapphire™*, **dois indicadores foram desenvolvidos** para avaliar a eficiência antirreflexo multiangular:

➤ Reflexo Frontal (Ponto de vista do Usuário e do Observador)

O usuário se olha no espelho ou um observador olha para o ele e vê o reflexo de seu ambiente na lente com maior ou menor intensidade.

FIGURA 8. USUÁRIO AVALIANDO REFLEXOS FRONTAIS LATERAIS



➤ Reflexo Traseiro

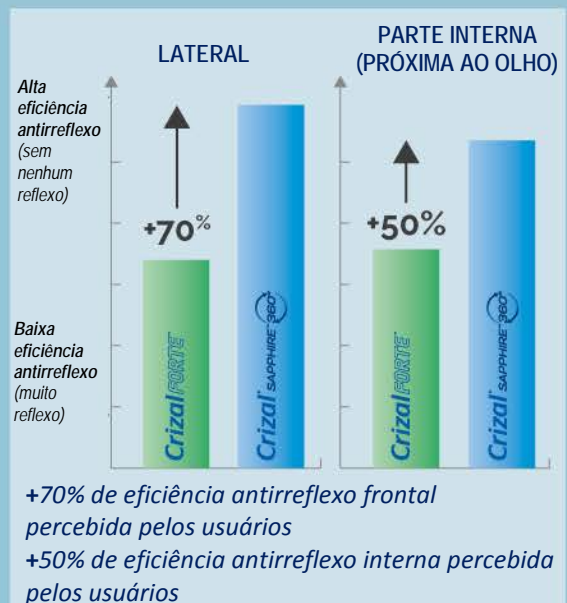
O usuário vê seus cílios, olhos, bochechas e rugas na lente com maior ou menor intensidade.

FIGURA 9. USUÁRIO AVALIANDO REFLEXOS TRASEIROS LATERAIS



Os resultados da avaliação mostraram que **Crizal® Sapphire™ tem melhor percepção do que o Crizal Forte® UV** no painel de especialistas. Estes resultados foram confirmados nos substratos 1.5, 1.6 e 1.67.

FIGURA 10. EFICIÊNCIA ANTIRREFLEXO PERCEBIDA PELOS USUÁRIOS



Em 2017 a Essilor organizou um teste com usuários das *Crizal® Sapphire™*. O objetivo deste estudo foi validar o desempenho **geral** das lentes com o novo antirreflexo, além do **desempenho em várias situações rotineiras onde a luz pode ser um problema**. O estudo foi conduzido nos EUA por terceiro independente. Antes de participar do estudo, os 107 usuários usavam lentes diariamente com revestimento antirreflexo (n=53) ou sem revestimento antirreflexo (n=54).

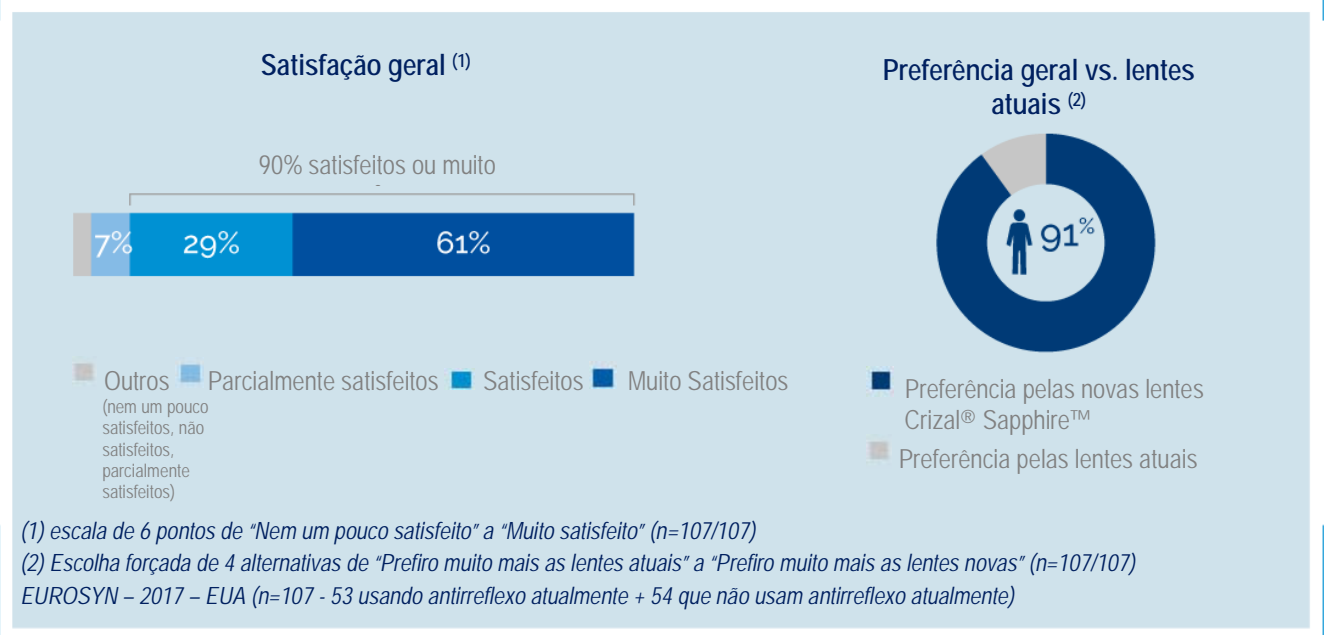
Durante o estudo, os participantes receberam lentes para um período de uso diário de três semanas, sem instruções específicas. Após esse período, responderam um questionário, fornecendo uma avaliação geral e uma mais específica com relação aos principais benefícios do revestimento *Crizal® Sapphire™*.

Como podemos observar na Figura 11, **9 entre 10 usuários declararam estar satisfeitos ou muito satisfeitos** com as lentes *Crizal® Sapphire™* e **91% preferiram estas lentes** em comparação às suas lentes atuais.

Além da avaliação geral, usuários também avaliaram a transparência das lentes em dois tipos de condições:

- Ao olhar para as lentes como observador para avaliar a **“transparência estética”** (por exemplo, quando o usuário se vê no espelho ou em uma foto).
- Ao olhar através das lentes para avaliar a **“transparência visual”**

FIGURA 11. SATISFAÇÃO GERAL COM AS LENTES CRIZAL® SAPHIRE™ E PREFERÊNCIA EM COMPARAÇÃO COM AS LENTES ATUAIS



Conforme visto na Figura 12, **84% dos usuários consideraram as lentes transparentes ou muito transparentes** do ponto de vista estético. Esta porcentagem aumentou para **95% quando os usuários avaliaram a transparência ao olhar através da lente.**

Por fim, usuários avaliaram seu nível de satisfação ao realizar várias atividades durante as quais foram particularmente expostos à poluição luminosa, isto é, foram expostos a múltiplas fontes de luz ao mesmo tempo. A Figura 13 mostra que **86% dos usuários estavam satisfeitos ou muito satisfeitos durante estes tipos de atividades em geral.** Adicionalmente, ao considerar certas atividades específicas, como **andar pelo shopping** com múltiplas fontes de luz artificial ou **dirigir a noite** expostos a faróis e iluminação pública, **até 90% dos usuários estavam satisfeitos com as lentes novas.**

É interessante observar que todos os resultados mostrados nas Figuras de 11 a 13 são muito similares ao considerarmos usuários que normalmente usam lentes com antirreflexo separadamente daqueles que não usam.

FIGURA 12. TRANSPARÊNCIA PERCEBIDA NAS LENTES CRIZAL® SAPPHIRE™

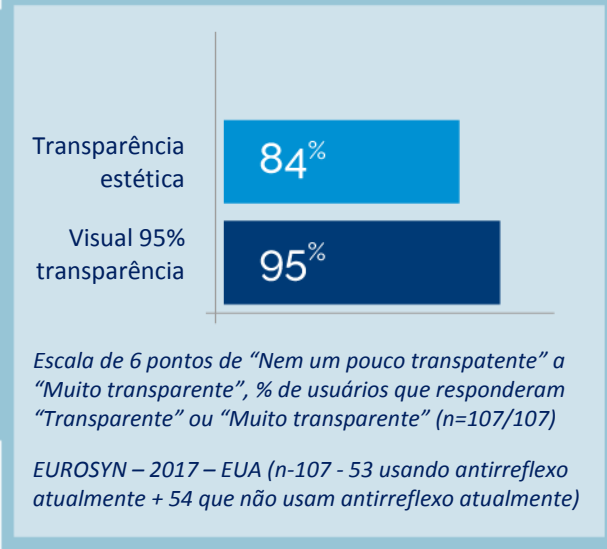
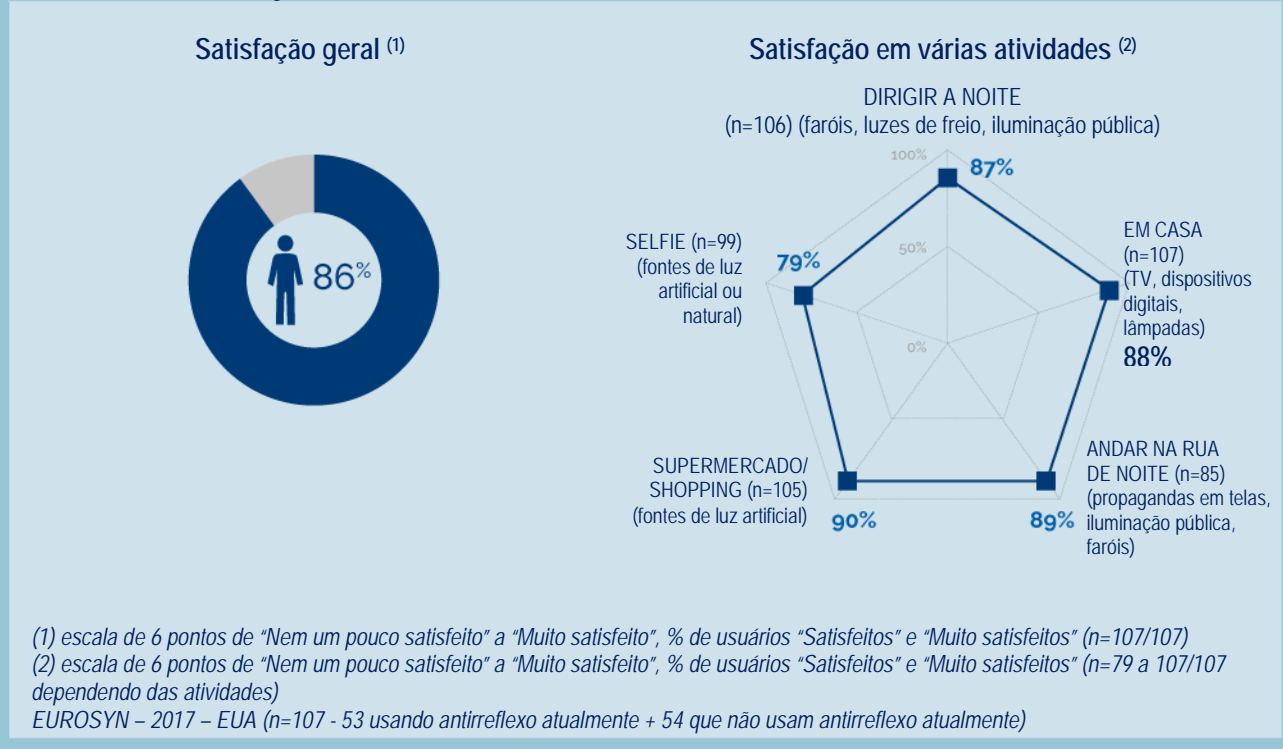


FIGURA 13. SATISFAÇÃO EM ATIVIDADES COM MÚLTIPLAS FONTES DE LUZ AO REDOR



4. POSICIONAMENTO COMPETITIVO

Crizal® Sapphire™ foi projetado e otimizado para ser o antirreflexo ideal tanto nos raios UV quanto nas luzes visíveis. Ele foi comparado aos produtos dos concorrentes em termos de eficiência antirreflexo multiangular e proteção UV. A comparação foi feita mapeando o desempenho, como segue:

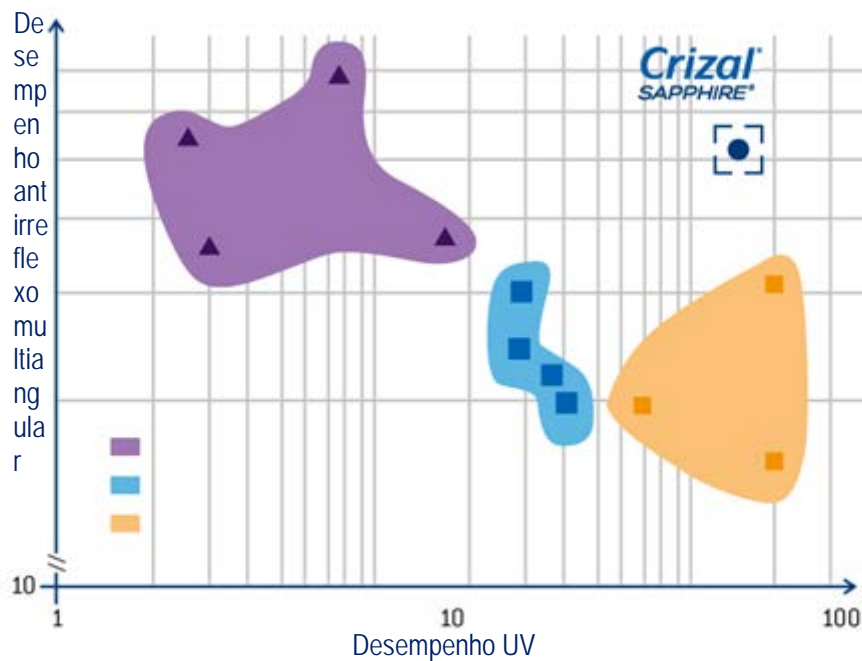
1. O novo critério de **eficiência multiangular** foi previamente definido. Para fins de melhor entendimento e comunicação, o eixo vertical corresponde a $100 \cdot (1-\alpha)$ para que o melhor desempenho tenha o valor mais alto.
2. A eficiência UV é definida como $100/R_{UV}$, e o eixo horizontal corresponde a $100/R_{UV}$, para que o melhor desempenho tenha o valor mais alto.

Os resultados são apresentados na representação gráfica log-log da Figura 14. O desempenho do *Crizal® Sapphire™* é comparado a vários produtos antirreflexo lançados no mercado de 2013 a 2016 pelos principais concorrentes Premium da Essilor.

Esta representação gráfica evidencia claramente a presença de três famílias de produtos de concorrentes.

- A família que corresponde à área roxa tem excelente desempenho multiangular. Todos estes produtos apresentam desempenho multiangular similar ao *Crizal® Sapphire™*, mas sem a proteção UV.
- A família que corresponde à área laranja tem boa proteção UV. Entretanto, as camadas tem desempenho multiangular limitado.
- A família que corresponde à área azul claro apresenta baixo comprometimento do desempenho ao longo destes dois eixos.
- ***Crizal® Sapphire™* é o melhor produto da categoria no mercado** e é o único a combinar tal nível de desempenho antirreflexo multiangular e UV, além de **cor azul residual**.

FIGURA 14. DESEMPENHO DO CRIZAL® SAPHIRE™ VS A CONCORRÊNCIA



Representação logarítmica da eficiência antirreflexo multiangular como função da proteção UV: *Crizal® Sapphire™* é comparado aos produtos da concorrência.








Crizal® Sapphire™ representa um verdadeiro avanço em tratamento antirreflexo. Isto acontece porque as necessidades do usuário e condições da vida real foram consideradas, quando os reflexos nas lentes não vêm apenas da frente, mas também dos lados e mesmo por trás do usuário.

A Essilor desenvolveu novas ferramentas de cálculo e uma nova nanocamada para criar lentes altamente complexas para aperfeiçoar a eficiência antirreflexo sem comprometer a proteção UV.

A Multi-angular technology™ faz com que seja o produto mais sofisticado da gama Crizal® da Essilor, fornecendo uma melhor transparência com nitidez e estética superiores a qualquer antirreflexo do mercado.

Na sociedade atual, impulsionada pelas mídias sociais, a imagem é extremamente importante, todos querem nitidez para verem e serem vistos. Crizal® Sapphire™ atende totalmente a esta necessidade.

CONCLUSÕES CHAVE

-  Na sociedade moderna atual, os ambientes internos e externos estão a cada dia mais iluminados com fontes de luzes artificiais. As pessoas se sentem constantemente expostas a luz, vindo de diversas fontes e de todas as direções.
-  A Essilor otimizou o Crizal® Sapphire™ para evitar reflexos nas lentes devido a luz vindo de todos os ângulos.
-  Ao desenvolver novas ferramentas de cálculo e introduzir a nova nanocamada, a Essilor foi capaz de otimizar o desempenho da lente.
-  Crizal® Sapphire™ é o melhor tratamento antirreflexo do mercado na combinação: desempenho antirreflexo multiangular + proteção UV.
-  A avaliação sensorial evidenciou a preferência geral dos usuários pelo Crizal® Sapphire™ quando comparado ao revestimento Crizal Forte® UV com relação a poluição luminosa.
-  O estudo na vida real realizado por um terceiro independente revelou que uma porcentagem muito alta dos usuários (90%) está satisfeita com Crizal® Sapphire™. Até 90% estão satisfeitos com as lentes para realizar atividades internas ou externas com múltiplas fontes de luz.
-  Adicionalmente, 95% dos usuários achou as lentes altamente transparentes.

REFERÊNCIAS

- [1] Norma internacional ISO 8980-4. Óptica oftálmica - Lentes para óculos acabadas e não cortadas - Parte 4: Especificações e métodos de ensaio para revestimentos anti-refletivos.
- [2] K. CITEK, "Antireflective Coatings Reflect Ultraviolet Radiation". Optometry, Vol. 79, 143-148, 2008.
- [3] F. BEHAR-COHEN, G. BAILLET, F DE AYGUAVIVES ET AL., "Ultraviolet Damage to the eye revisited: eye-sun protection factor, a new ultraviolet protection label ", Clinical Ophthalmology, Vol. 8, 87-104, 2014.
- [4] Commission Internationale de l'Eclairage, Relatório Técnico 142-2001. Bureau Central do CIE, Vienna, 2000 (impresso, estará disponível em Publicações CIE).
- [5] H. STONE, J. SIDEL, A. WOOSLEY, R.C. SINGLETON. "Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis", Food Technology, Vol. 28, 24-34, (1974).
- [6] H. STONE ET AL., "Sensory evaluation practices." Califórnia: Academic Press.
- [7] "Simulações feitas usando Zemax Optic Studio da Zemax, LLC* <http://www.zemax.com/>

ESSILOR

© Essilor International – Novembro 2017



Crizal®, Crizal® Sapphire™, Crizal Forte® UV, Multi-angular technology™, FPS-O® são marcas registradas da Essilor International.