

Tecnologias da iluminação automotiva na atual lei nacional

Automotive lighting technologies in current national law

Carlos Moura

ARTEB

Clayton Moura

UFPB

ABSTRACT

The automotive lighting systems widely used in Brazil have, basically, two characteristics with ambivalent performance: a) safe but limited lighting; b) widespread lighting but unsafe. These profiles correspond, respectively, to the low and high beams. In this way, these beams complement each other, making the most appropriate lighting in each case.

The problem with such design concept is that the safe and effective switching between both beams depends on the driver, so, without conscious and careful use of lighting system, the driver can travel in an unsafe manner.

In 2017, the Brazilian National Traffic Council (CONTRAN) began to predict, through Resolution number 667, the legality of technologies that by automating the process, not only overcome these problems but also increase the visibility of the driver without compromising the safety of other road users. The present work intends to address the implications of this measure, especially in the perspectives of technological innovation, ergonomics and vehicle safety.

RESUMO

Os sistemas de iluminação automotiva amplamente difundidos no Brasil possuem, grosso modo, duas características básicas e de atuações ambivalentes: a) iluminação segura, mas limitada; b) iluminação abrangente, mas insegura. Tais perfis correspondem, respectivamente, aos fechos baixo e alto. Desta forma, estes fechos complementam-se mutuamente, fazendo valer o iluminamento mais adequado em cada caso.

O problema inerente a esta concepção de projeto é que a alternância segura e eficaz, entre os fechos luminosos, depende do condutor do veículo. Logo, sem um uso consciente e criterioso do sistema de iluminação, o condutor pode trafegar de forma insegura.

Em 2017 o CONTRAN passou a prever, a partir da Resolução 667, a legalidade de tecnologias que, mediante a

automação do processo, não apenas superam esses problemas, também ampliam a visibilidade do condutor sem comprometer a segurança dos outros usuários da via. O presente trabalho pretende abordar as implicações desta medida, sobretudo nas perspectivas da inovação tecnológica, da ergonomia e da segurança veicular.

A ILUMINAÇÃO AUTOMOTIVA E O CTB

No Código de Trânsito Brasileiro – CTB [1] – encontram-se as diretrizes à utilização do sistema de iluminação automotiva, com destaque às regras adotadas ao único dispositivo luminoso obrigatório: farol principal com os fechos de luz baixa e alta. O Anexo 1 da lei assim os define: “LUZ BAIXA - fecho de luz do veículo destinado a iluminar a via diante do veículo, sem ocasionar ofuscamento ou incômodo injustificáveis aos condutores e outros usuários da via que venham em sentido contrário; LUZ ALTA - fecho de luz do veículo destinado a iluminar a via até uma grande distância do veículo;”.

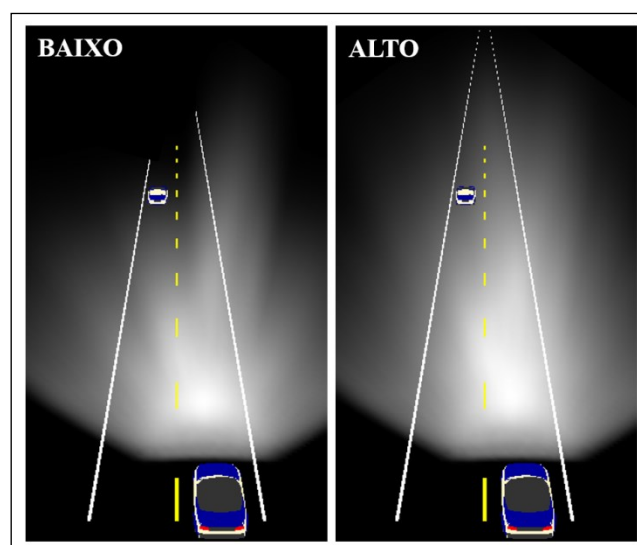


Figura 1. Fechos baixo e alto (análise CAE).

A figura 1 resalta as características dos fechos baixo e alto. Em complemento, a tabela 1 resume as regras de utilização de ambos.

Tabela 1. Requisitos do CTB.

Facho	Condições de uso
baixo	De dia: em túneis providos de iluminação pública e rodovias (Art. 40).
	À noite: permanentemente (Art. 250), exceto quando cabível o fecho alto.
alto	À noite: em vias não iluminadas, exceto ao cruzar com outro veículo ou quando estiver a seguir um veículo (Art. 250).
baixo e alto	Não devem estar desregulados (Art. 223), com lâmpadas queimadas (Art. 230) ou serem utilizados para incomodar outros condutores (Art. 224).

Por delimitação temática, as diretrizes legais ora apresentadas referem-se apenas aos veículos leves, categoria M1, definida pela Resolução 667 do CONTRAN [2] como: "veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor...". A pertinência destas determinações, presentes na tabela 1, é devidamente compreendida quando consideradas as particularidades de cada fecho luminoso, tal como ilustram, em complemento à figura 1, as figuras 2 e 3.

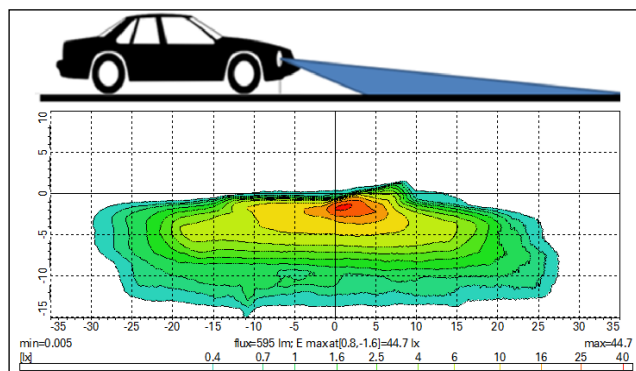


Figura 2. Aspectos essenciais do fecho baixo.

De acordo com a figura 2 o fecho baixo ilumina o trajeto com restrição de alcance, em média 70 m no centro da via, de modo a não ofuscar nem causar desconforto visual aos usuários da via. O perfil da projeção luminosa é assimétrico e seu maior volume de luz, ao acostamento, destina-se tanto à profundidade da percepção quanto ao iluminamento da sinalização viária: placas, faixas, tachas, etc. A qualidade e profundidade do iluminamento varia conforme o design, a tecnologia, as condições de instalação e de regulação dos faróis.

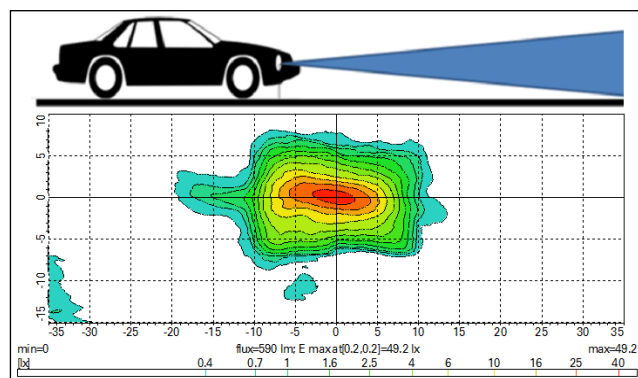


Figura 3. Aspectos essenciais do fecho alto.

Observa-se na figura 3 que o fecho alto, pela simetria e alinhamento de seu perfil, ilumina o trajeto em profundidade, incluindo o campo visual dos demais usuários da via e, por esta razão, torna-se ofuscante aos demais condutores. O perfil de projeção luminosa deste fecho concentra-se na região central da via e, diferentemente do fecho baixo, não é regulado para incidir prioritariamente no solo, razão pela qual seu alcance pode atingir margens superiores a 400 m. Este desempenho, de acordo com o já comentado acerca do fecho baixo, varia conforme o design, a tecnologia e as condições de instalação e regulação.

As determinações legais, relativas às condições gerais do sistema de iluminação, tornam-se ainda mais claras quando constata-se que, pelos requisitos fotométricos presentes na Resolução 667 do CONTRAN, em seu Anexo 2, os fechos baixo e alto (classe B), a 25 m de distância e devidamente regulados, emitem ao campo visual dos demais usuários iluminamentos de magnitudes muito distintas. O fecho baixo restringe-se a um valor máximo de 0,7 lx, o fecho alto atua entre 48 e 240 lx. Estes valores correspondem a um único farol, não ao par. Na prática estes valores podem variar em função do estado de conservação dos faróis e das lâmpadas, além das condições de regulação.



Figura 4. Fecho baixo, acima; fechos baixo e alto, abaixo.

Embora as diferenças entre os fachos baixo e alto justifiquem o uso mais frequente do baixo, situações como a da figura 4 [3] tornam o uso do alto imprescindível à segurança, pois a visibilidade reduzida amplia o potencial de acidentes. Trajetos noturnos iluminados apenas pelo facho baixo requerem redução de velocidade, em torno de 70 km/h [4]. As limitações do facho baixo, já destacadas por especialistas [5] [6], fazem do facho alto não apenas um recurso de maior visibilidade, mas também um mecanismo atenuador de estresse ao volante conforme indica Boyce et al. (2007).

Com o facho alto tem-se a visibilidade ampliada, logo, abrevia-se o tempo necessário à percepção e reação perante riscos na condução do veículo [7], algo que favorece a escolha da ação segura. Por outro lado, o emprego do facho alto não é, por si mesmo, a resolução do problema relativo à percepção noturna, uma vez que a ampliação da visibilidade beneficia apenas o condutor, aos demais resulta em ofuscamento. Portanto é necessária a condução atenta, apta a alternar oportunamente os fachos, passando do alto ao baixo sempre que se acompanha ou se cruza com outro veículo. Assim, evita-se problemas como os da figura 5.



Figura 5. Acima, ofuscamento direto; abaixo, ofuscamento indireto.

A figura 5 [8] [9] exemplifica duas situações de uso inadequado do facho alto. Acima, cruzamento entre veículos e, abaixo, acompanhamento de veículo à frente.

As informações a seguir correspondem a um teste [10] que, além de quantificar as modalidades de ofuscamento ilustradas na figura 5, também quantifica as diferenças entre os fachos baixo e alto na aproximação progressiva entre veículos.

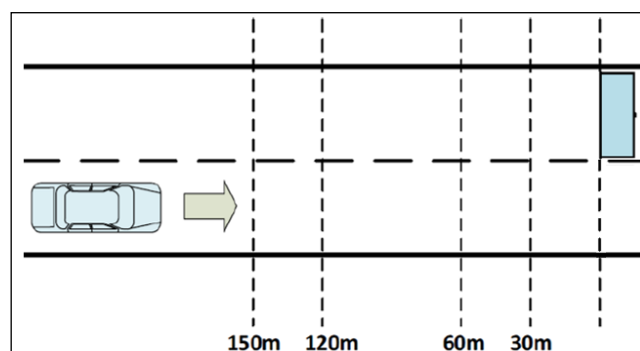


Figura 6. Leiaute de teste.

A figura 6 ilustra o leiaute utilizado no teste, no qual à direita tem-se o luxímetro – a uma altura de 130 cm – para captar o iluminamento. A via, com 7,5 m de largura, incluiu 150 m de comprimento porque, desta forma, o impacto visual do facho alto tornou-se equivalente ao do facho baixo: 1 lx. Embora a Resolução 667 do CONTRAN estabeleça 0,7 lx por farol (a 25 m), portanto $\pm 1,4$ lx a quem observa o par, estas diferenças não são relevantes para as finalidades da presente abordagem, centrada apenas em identificar a proporção na qual o facho alto irá diferir do baixo para o campo visual do observador.

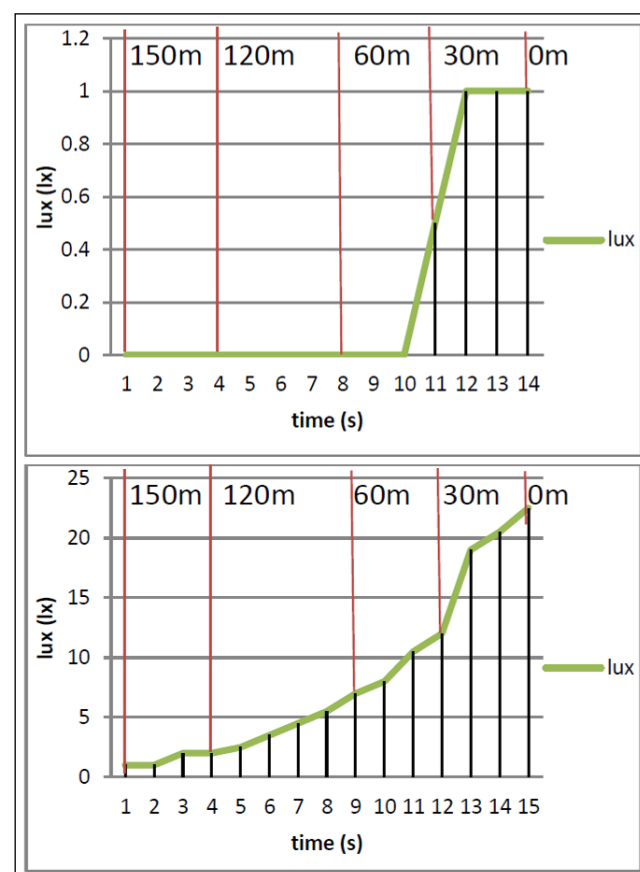


Figura 7. Facho baixo, acima; facho alto, abaixo.

Na parte superior da figura 7 tem-se os valores obtidos com o facho baixo e, na parte inferior, os valores alcançados com o facho alto. Nota-se que o facho baixo só é captado pelo luxímetro a partir dos 40 m, permanecendo restrito ao

limite de 1 lx, resultado que atesta a preservação do campo visual do observador. Quanto ao fecho alto, a distância inicial já indica 1 lx, margem excedida a partir dos 140 m, num crescimento progressivo cujo valor máximo foi de 23 lx.

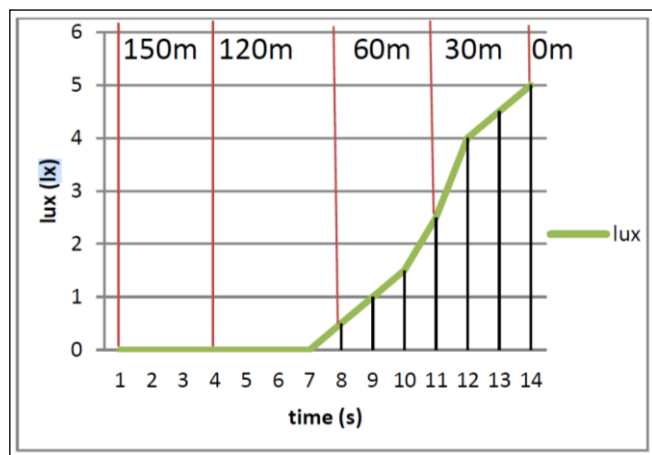


Figura 8. Fecho alto.

Constam, na figura 8, os valores resultantes da incidência do fecho alto sobre o espelho retrovisor. Neste caso, os valores do fecho baixo não são significativos, a julgar pelos valores da figura 7. Conclui-se, a partir destes resultados, que o uso inadequado do fecho alto, ou seja, na presença de outros veículos, viola as determinações legais para o iluminamento seguro ao campo visual dos demais usuários da via ($\leq 1,4$ lx).

Consequentemente, ao motorista engajado com a lei e a segurança restam duas alternativas: a) sobrecarga de atenção para a comutação manual dos fechos, ganhando em visibilidade nos momentos de fecho alto acionado; b) uso restrito do fecho baixo, com sua visibilidade reduzida. A literatura técnica indica [11] [12] [13] que os condutores tendem a dispensar a primeira opção, habituando-se ao uso contínuo do fecho baixo, opção esta que amplia as dificuldades e os riscos da direção noturna. Este comportamento muda apenas quando condutores de meia idade e idosos são comparados aos jovens, dada a redução gradativa da acuidade visual dos dois primeiros grupos de condutores [14].

No entanto inúmeras inovações tecnológicas, ao longo dos últimos anos, possibilitaram automatizar a comutação dos fechos, ampliando a visibilidade e oferecendo maior estabilidade funcional com alinhamento constante do fecho luminoso. Mas para que o contexto destas inovações seja melhor compreendido, serão previamente apresentadas outras limitações dos faróis atuais. Assim, por contraste, limitações e inovações se esclarecerão mutuamente.

PROBLEMAS RELATIVOS AO CONCEITO ATUAL DA ILUMINAÇÃO AUTOMOTIVA

Os exemplos a seguir correspondem aos problemas mais frequentes da iluminação automotiva atual.

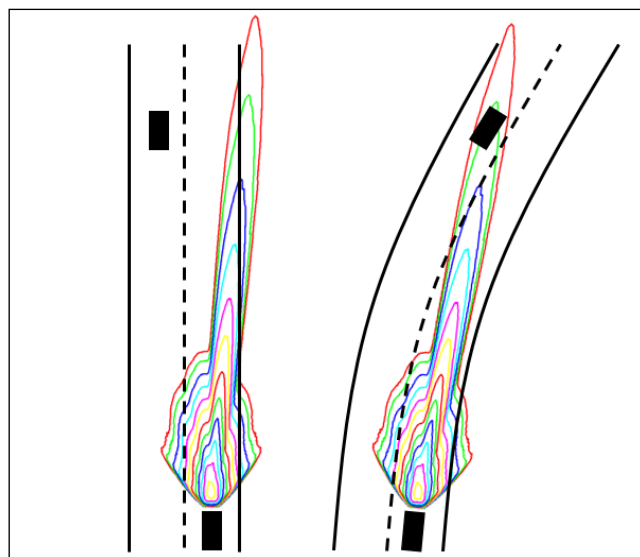


Figura 9. Fecho baixo em pistas reta e curva.

A figura 9 destaca um aspecto negativo associado ao uso do fecho baixo, trata-se do potencial ofuscante pela projeção luminosa assimétrica. Em curvas acentuadas, o volume de luz destinado ao acostamento incide momentaneamente no interior da via, abrangendo a área relativa aos veículos que trafegam em sentido oposto.



Figura 10. Reflexos da luz do farol durante chuva [15].

Na ocorrência de chuva, a película de água que reveste a via passa a refletir o iluminamento produzido pelo farol, desencadeando brilho excessivo e consequente desconforto aos outros condutores. O desconforto é tanto maior quanto menor for a iluminação natural, ou seja, o problema se agrava à noite pela intensificação do contraste.

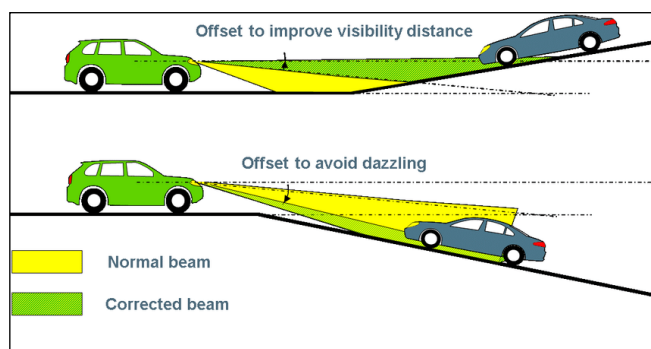


Figura 11. Iluminação em aclives e declives [16].

De acordo com a figura 11, quando veículos se cruzam em aclives e declives, o feixe baixo (*normal beam*) se torna – momentaneamente – ora limitado, ora ofuscante. Isso ocorre porque o alinhamento do feixe é fixo, inapto a adequar-se às variações do trajeto. Tais variações impõem necessidades distintas de correção do feixe (*corrected beam*), mediante inclinações verticais: a) ora para baixo, a fim de não ofuscar; b) ora para cima, a fim de antecipar a percepção do veículo que se aproxima. O que na figura 11 denomina-se *corrected beam* (feixe corrigido) corresponde a uma parte das funcionalidades ofertadas pelas inovações tecnológicas em faróis automotivos, como será esclarecido mais adiante.

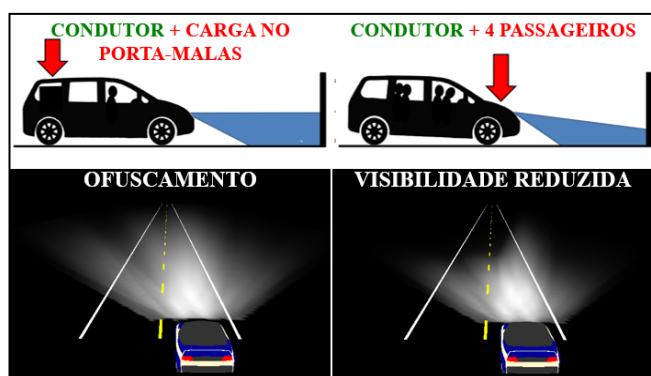


Figura 12. Desalinhamento por ocupação do veículo.

A ocupação do veículo também apresenta potencial de desalinhamento do feixe luminoso, ora inclinando-o para baixo, como na ocupação dos assentos de passageiros, ora inclinando-o para cima, pelo acréscimo de carga no porta-malas. Alguns veículos possuem recursos de compensação deste fenômeno, com chave seletora no painel apta a ofertar estágios de movimentação do feixe em sentido oposto à inclinação promovida pela ocupação, constando no manual do proprietário suas instruções de uso. No entanto pesquisas [17] indicam que este recurso não é suficiente para realizar a compensação, havendo frequentemente uma defasagem no ajuste realizado pelo condutor. O referido percentual varia de acordo com a altura de instalação do dispositivo, mas, para veículos da categoria M1, é de 1,2 %, conforme Norma ABNT 14040 Parte 5 [18].

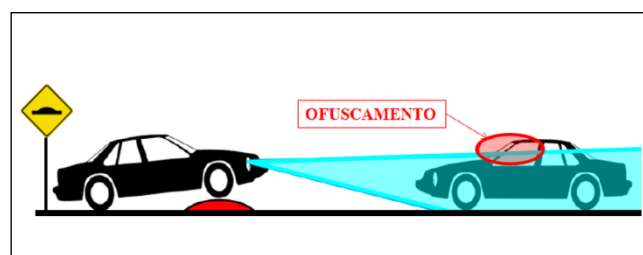


Figura 13. Feixe baixo em lombadas.

Conforme figura 13, em trechos com lombadas, a zona clara do feixe baixo, desenvolvida para projetar-se exclusivamente no solo, incide no campo visual dos condutores localizados à frente, ofuscando-o.

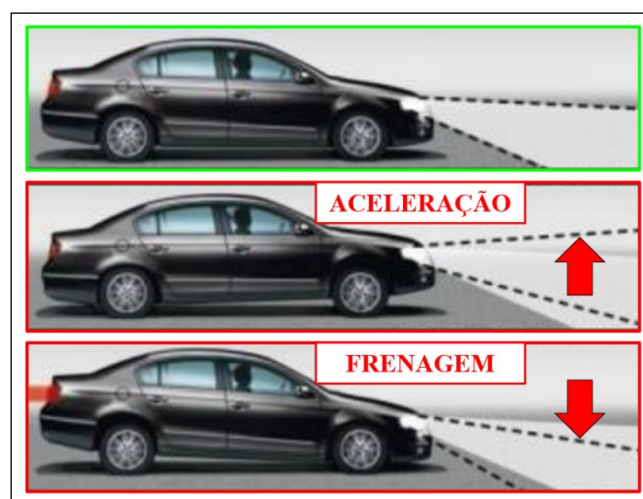


Figura 14. Desalinhamento em aceleração e frenagem [19].

Embora momentaneamente, o alinhamento do feixe luminoso também é impactado por acelerações e frenagens, de acordo com a figura 14.

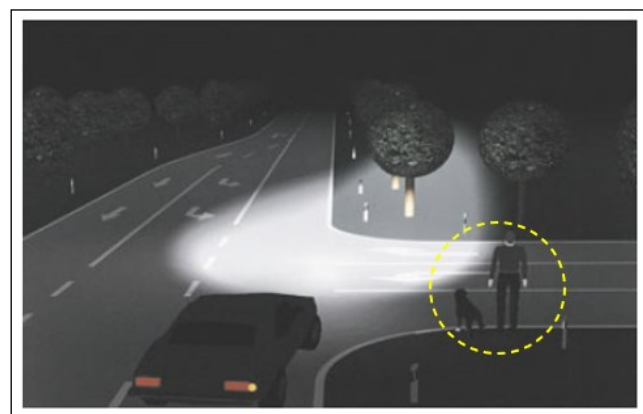


Figura 15. Má visibilidade lateral [20].

Em situações análogas à da figura 15, o condutor tem visibilidade insuficiente da extremidade lateral, podendo não perceber, em manobras, a eventual presença de pedestres ou animais. A fim de eliminar esta deficiência, o mercado desenvolveu, há alguns anos, o farol angular ou de curva, tal como disposto no Anexo 1 da Resolução 667. No entanto, trata-se de um dispositivo luminoso de uso facultativo que,

até o momento, não teve amplo emprego por parte do mercado.

Outro problema muito frequente é o do iluminamento depreciado pelo estado de conservação dos faróis, sobretudo faróis com sujidade nas lentes, conforme indicado pela figura 16.

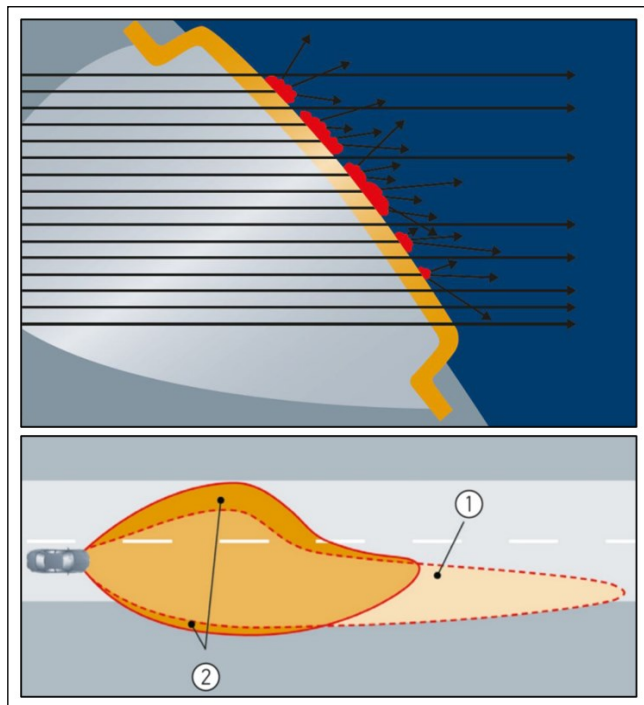


Figura 16. Sujidade nas lentes dos faróis [21].

Na figura 16, a imagem superior indica a trajetória dos raios luminosos que atravessam a lente. Observa-se que parte da projeção é absorvida e outra é difundida irregularmente, por conta das partículas de sujeira (poeira, poluição, terra, etc.) depositadas na superfície da lente. A imagem inferior mostra o impacto deste problema no desempenho do farol. A projeção luminosa de número “1” é a do farol limpo, e a projeção luminosa número “2” é a do farol sujo. Tem-se, portanto, redução da visibilidade, deformação do perfil luminoso e elevação do ofuscamento.

Uma vez ilustrados os atuais problemas vinculados à iluminação automotiva, a próxima seção apresentará as soluções oferecidas pelas inovações tecnológicas, mais especificamente as inovações que a lei brasileira incorporou em suas últimas atualizações.

INOVAÇÕES PRESENTES NA RESOLUÇÃO 667

Encontra-se no Anexo 1 da Resolução 667, item 4.22, o Sistema de ajuste automático de iluminação, denominação brasileira do AFS, sigla de *Adaptive Front-lighting Systems*, tecnologia proveniente do Regulamento ECE 123 [22]. Pautada neste regulamento internacional, a lei brasileira definiu o AFS como um dispositivo de iluminação, fornecendo feixes com diferentes características para adaptação automática a diversas condições de uso do feixe

baixo e, se aplicável, do feixe alto. Como a própria definição sugere, a tecnologia se vale de uma adaptabilidade às adversidades práticas, basicamente aquelas ilustradas na seção anterior.

Tabela 2. Classes da tecnologia AFS.

Classe do farol	Condições básicas o funcionamento
Classe V	Atua em velocidades abaixo de 50 km/h; provê maior visibilidade à extremidade lateral
Classe C	Perfil básico, similar ao atual feixe baixo; atua entre 50 e 100 km/h
Classe E	Melhora a visibilidade nas estradas; entra em atuação a partir de 100 km/h
Classe W	Entra em atuação na chuva

A tabela 2 sintetiza o item 4.22.7.4 e as disposições subsequentes, presentes no Anexo 1 da Resolução 667.

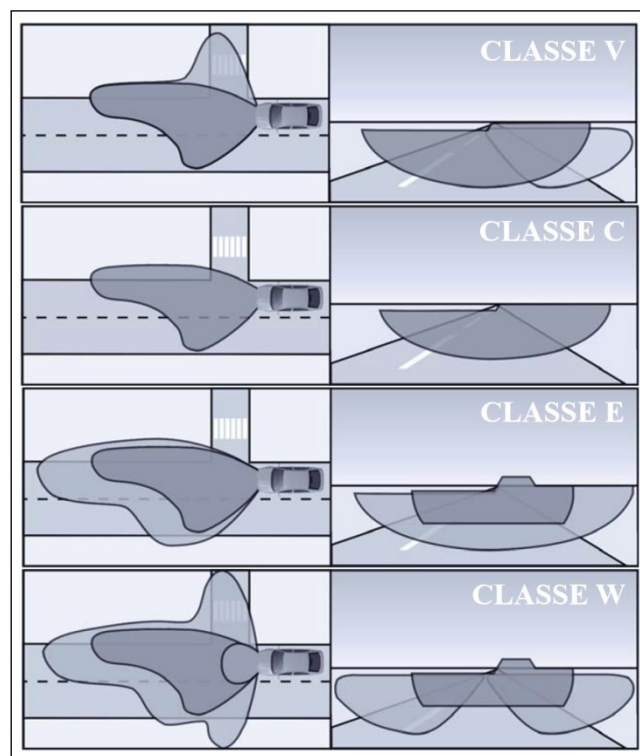


Figura 17. Classes de faróis do AFS.

A figura 17 destaca os diferentes perfis luminosos, correspondentes às classes de feixes luminosos da tecnologia AFS. À esquerda, constam as imagens do plano superior (*birdview*) e, à direita, as imagens na perspectiva do condutor. Esta gama de perfis amplia a segurança por ofertar projeções luminosas otimizadas, adequadas ao enfrentamento de adversidades recorrentes: a) Farol Classe C: tipo básico, semelhante ao feixe baixo atualmente difundido no país; b) Farol Classe V: para utilização em cidades, amplia a visibilidade das extremidades laterais,

favorecendo o reconhecimento de pedestres em cruzamentos, o que elimina o problema apresentado pela figura 15; c) Farol Classe E: para uso em estradas, amplia a visibilidade em proporção ao acréscimo de velocidade; d) Farol Classe W: para uso durante chuvas, seu fecho tem volume atenuado de luz na região próxima ao veículo, o que reduz os problemas relativos ao desconforto visual por reflexos, conforme apresentado na figura 10. Adicionalmente, seu fecho acentua o iluminamento lateral para otimizar a visibilidade da sinalização viária.

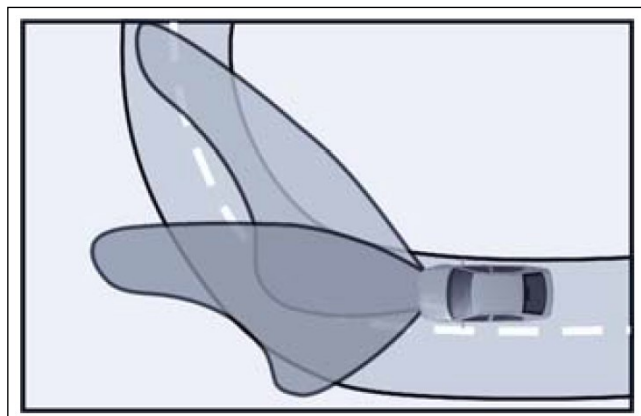


Figura 18. Modo de curva do AFS.

Conforme a figura 18, o AFS possui o modo de curva, através do qual o fecho luminoso pode acompanhar o esterçamento do volante. Ao ampliar o iluminamento lateral em curvas, o sistema assegura a visibilidade do condutor e preserva o campo visual dos demais usuários da via, solucionando o problema de ofuscamento ilustrado na figura 9. A tabela 3 [23] apresenta uma análise comparativa entre sistemas de iluminação convencionais e o AFS, no particular da distância de detecção, com expressiva superioridade do AFS, independentemente da fonte luminosa utilizada.

Tabela 3. Melhorias na distância de detecção (AFS).

Tecnologia	Percentual
Farol comum com lâmpada de filamento	100 %
Farol comum com lâmpada de descarga a gás	123 %
AFS com lâmpada de filamento	155 %
AFS com lâmpada de descarga a gás	168 %

Outra vantagem do AFS, projetado com fonte luminosa de maior fluxo luminoso, como é o caso da lâmpada de descarga a gás (fluxo luminoso médio três vezes maior que o das lâmpadas de filamento), é que se o fluxo luminoso objetivo for superior a 2000 lm por farol, o sistema incorpora também os mecanismos automáticos de regulagem/alinhamento (*levelling*) e de limpeza (*washing*). Volumes maiores de fluxo luminoso são uma tendência crescente, sobretudo pelas inovações da tecnologia LED,

fonte luminosa ainda em expansão e de elevada eficiência energética.

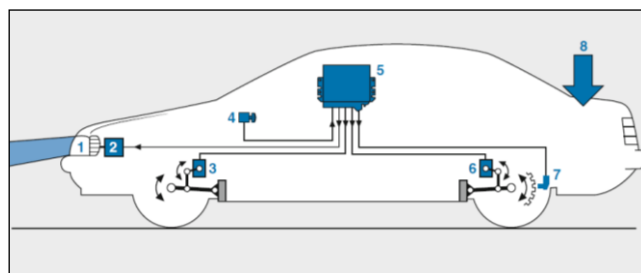


Figura 19. Estrutura de um sistema regulagem automática.

Na figura 19 [24] tem-se um exemplo de sistema integrado ao veículo para a correção automática do fecho luminoso: 1) farol; 2) atuador; 3) sensor da suspensão dianteira; 4) acionamento do sistema; 5) unidade eletrônica de controle; 6) sensor da suspensão traseira; 7) sensor de velocidade; 8) carga. Os sensores localizados nas suspensões traseira e dianteira diagnosticam o plano de referência do veículo, informação constantemente atualizada e que, à unidade eletrônica de controle, atua como dado de entrada. De acordo com algoritmos [25] desenvolvidos em projeto, o sistema opera as correções necessárias à manutenção do alinhamento do fecho, não apenas em relação a aclives, declives, lombadas, frenagens e acelerações, mas também em relação à ocupação do veículo por passageiros ou carga. Este sistema automático de alinhamento e regulagem atenua todos os problemas das figuras 11, 12, 13 e 14, ofertando realinhamento constante.

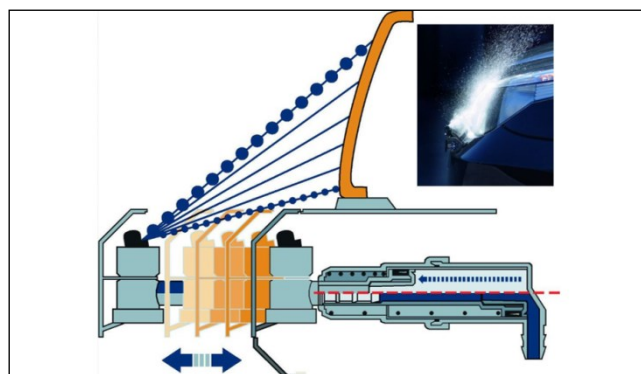


Figura 20. Exemplo de um sistema de lavagem [26].

Quanto ao sistema automático de lavagem, como exemplificado pela figura 20, este assegura a condição adequada das lentes que, quando sujas, comprometem a projeção luminosa, de acordo com a figura 16. Convém destacar que as lentes de faróis confeccionadas com material termoplástico (polycarbonato) são vulneráveis não apenas à sujeira, mas também à exposição aos raios UV [27]. Entretanto, enquanto a sujeira é contornada mediante limpeza, a exposição prolongada à radiação resulta em dano irreversível, inerente à vida útil do componente.

Para além das vantagens já mencionadas, o sistema também prevê a comutação automática entre os fochos baixo e alto.

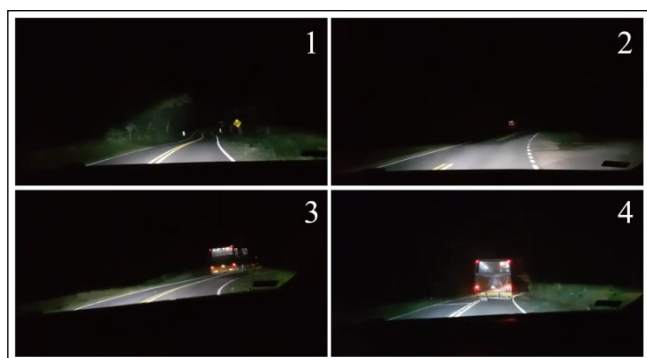


Figura 21. Comutação entre facho alto e baixo com o AFS [28].

Na figura 21 consta um exemplo de comutação de facho: 1) facho alto; 2) um ônibus à frente é identificado pelos sensores do veículo e o sistema aciona o facho baixo; 3) o veículo se aproxima do ônibus com o facho baixo acionado; 4) o facho baixo prossegue acionado.



Figura 22. Farol comum, acima; AFS, abaixo [29].

A figura 22 apresenta uma análise comparativa entre um farol convencional e outro de sistema AFS, salientando as vantagens deste último: maior volume de luz a promover ampla visibilidade lateral e em profundidade, características também destacadas pela figura 21.

Uma vez apresentadas as funcionalidades gerais do AFS, tal como previsto na Resolução 667, faz-se necessário destacar, também, alguns aspectos do veículo que possui este sistema.

CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO COM AFS

A tecnologia AFS implica na modernização dos veículos. A incorporação de sensores, como já destacado de

passagem pela figura 19, corresponde a um pré-requisito essencial, pois as operações autônomas do sistema de iluminação dependem de diagnósticos constantes, tanto do cenário quanto do próprio veículo.

Tabela 4. Condições de acionamento automático.

ILUMINAÇÃO AMBIENTE	FAROL BAIXO	TEMPO DE RESPOSTA
Abaixo de 1000 lx	Ligado	Em até 2 segundos
De 1000 a 7000 lx	Conforme o fabricante	Conforme o fabricante
Acima de 7000 lx	Desligado	De 5 a 300 segundos

A tabela 4 apresenta critérios presentes no Anexo 1, Apêndice 8 da Resolução 667. Trata-se das condições de luminosidade ambiente que determinam o uso automático do facho baixo. Na tabela 5 constam diretrizes ao campo de detecção dos sensores.

Tabela 5. Ângulos mínimos para o campo de detecção.

Ângulo para cima	5°		
Altura de montagem do sensor (centro da abertura do sensor acima do solo)	Menos de 2 m	Entre 1,5 m e 2,5 m	Acima de 2 m
Ângulo para baixo	2°	2° para 5°	5°
Ângulo para a esquerda	15°		
Ângulo para a direita	15°		

Os ângulos da tabela 5 são medidos a partir do centro de abertura de cada sensor. Quanto às distâncias mínimas para detectar veículos, o CONTRAN determina: a) 400 m para veículos, em sentido contrário, que se aproximam numa via plana e reta; b) 100 m para veículos ou reboques situados à frente e na mesma direção.

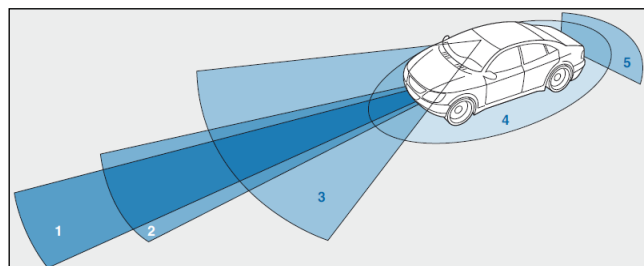


Figura 23. Diferentes sensores num veículo [30].

Mediante os parâmetros essenciais para as faixas de detecção, como níveis de luminosidade, distâncias e ângulos mínimos, tem-se as informações necessárias para a configuração do projeto eletrônico. A figura 23 exemplifica um veículo equipado com sensores de diferentes tipos e

faixas de operação: 1) Radar (≤ 200 m; abertura horizontal $\pm 8^\circ$); 2) Sistema infravermelho noturno (≤ 150 m; abertura horizontal $\pm 10^\circ$); 3) Câmera dianteira (≤ 80 m; abertura horizontal $\pm 22^\circ$); 4) Sistema ultrassônico (≤ 3 m; abertura horizontal $\pm 60^\circ$); 5) Câmera traseira (abertura horizontal $\pm 60^\circ$). Esta gama diversificada de sensores, com diferentes perfis de captação, não é apenas uma característica de veículos aptos à incorporação do AFS, mas também uma configuração comum à tecnologia ADAS (*Advanced driver-assistance systems*) [31], contexto do qual o AFS é parte integrante.

Performance aspect	Human	AV		
		Radar	Lidar	Camera
Object detection	Good	Good	Good	Fair
Object classification	Good	Poor	Fair	Good
Distance estimation	Fair	Good	Good	Fair
Edge detection	Good	Poor	Good	Good
Lane tracking	Good	Poor	Poor	Good
Visibility range	Good	Good	Fair	Fair
Poor weather performance	Fair	Good	Fair	Poor
Dark or low illumination performance	Poor	Good	Good	Fair

Figura 24. Quadro qualitativo de sensores [32].

A figura 24 destaca, qualitativamente, 3 tipos de sensores [33] frequentemente utilizados em aplicações do AFS: radar (*radio detection and ranging*), lidar (*light detection and ranging*) e câmera (*camera*). A premissa é a de que diferentes sensores componham o sistema e assegurem, mediante a funcionalidade conjunta, regularidade de detecção a despeito de adversidades típicas: visibilidade natural (dia/noite), clima (chuva, neblina), contexto de tráfego (cidades, rodovias), etc.

A lei prevê, ao sistema de sensores, que a detecção reaja aos seguintes sinais: a) iluminação ambiente; b) luzes emitidas por dispositivos dianteiros de iluminação e de sinalização, provenientes de veículos que trafegam em sentido contrário; c) luzes emitidas por dispositivos traseiros de sinalização, oriundos de veículos que trafegam no mesmo sentido e à frente. De modo geral, não apenas a luz emitida por dispositivo luminoso, mas também a retrorrefletida, por elemento retrorrefletor de outro veículo, conta como dado de entrada para a detecção.

Embora a Resolução 667 não estipule tipos ou quantidades de sensores, consta no item 4.1.7.2. de seu Anexo 1 que: “Funções de sensores adicionais para melhorar o desempenho são permitidos.” Ainda acerca de sensores, o mercado tem buscado desenvolver diferentes técnicas de detecção, seja pela adversidade de cada contexto, sobretudo período noturno [34] [35] [36], seja pela subdivisão em grupos prioritários, como pedestres [37] [38]. Em complemento às inovações no veículo promovidas pelo AFS, importa indicar alguns aspectos das mudanças impostas ao farol, mais especificamente aquelas relativas ao projeto óptico.

Os primeiros faróis com AFS foram concebidos, predominantemente, com dispositivos mecatrônicos [39],

conforme exemplifica a figura 25, extraída de Reif (2014), na qual constam: 1) fonte luminosa; 2) defletor cilíndrico com vários perfis, alteráveis a partir da rotação; 3) motor para ajuste de posição; 4) lente esférica; 5) refletor óptico.

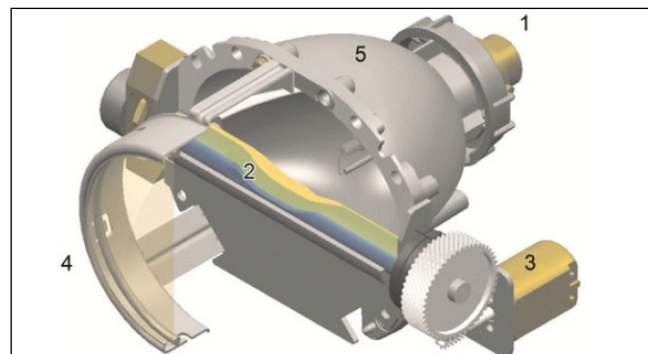


Figura 25. Projetor óptico para AFS.

Com o crescente protagonismo da eletrônica, incluindo componentes semicondutores cada vez mais eficientes e compactos, foi possível prescindir de algumas soluções mecatrônicas mediante o acionamento matricial dos LEDs. A viabilidade técnica deste tipo de solução conta com o uso de componentes ópticos (refletores, colimadores) quase tão compactos quanto os LEDs, aptos a uma composição variada de feixes luminosos, conforme figura 26.

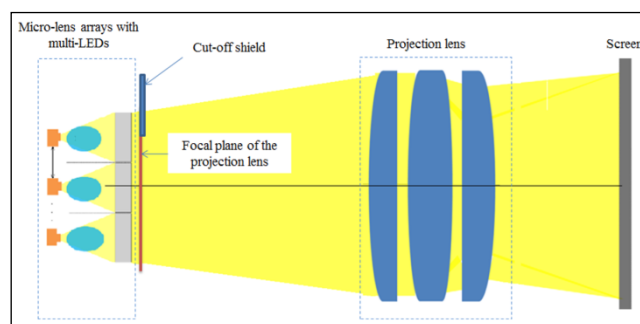


Figura 26. Conceito de AFS por matriz de LEDs [40].

O AFS com matriz de LEDs, ilustrado na figura 26, atua com acionamentos e dimerizações diversificados, assim, compõe uma gama variada de feixes luminosos, perfazendo o conceito de projeções distintas e comutações.

Uma vez apresentado o perfil geral do AFS, tal como delineado pelo CONTRAN e assimilado pelas estruturas do veículo e do farol, cabe indicar as vantagens desta tecnologia à segurança veicular.

ALGUNS DESAFIOS DA VISIBILIDADE NOTURNA

As informações precedentes indicam um cenário promissor à segurança veicular por meio do AFS. A comutação automática dos feixes luminosos garante o uso seguro do fecho alto, ampliando a visibilidade do condutor, algo fundamental dada a elevada periculosidade do tráfego noturno [41].

Joanne M. Wood (2019) destaca que, à noite, acidentes de trânsito são 300% mais letais. A visibilidade reduzida é parte integrante desta letalidade, sobretudo por sua relação com os fenômenos da percepção visual e dos tempos de reação e frenagem, resumidamente caracterizados como: a) distância de percepção: correspondente à distância percorrida no intervalo de tempo compreendido entre a percepção visual e o processamento cerebral do risco; b) distância de reação: correspondente à distância percorrida no intervalo entre o comando cerebral ao pé e a consequente alternância, do pedal de aceleração para o pedal de freio; c) distância de frenagem: correspondente à distância percorrida entre a aplicação dos freios e a parada total do veículo. A tabela 6 [42], cuja metodologia de análise segue outras referências técnicas [43] [44], expõe um exemplo hipotético destas três etapas, considerando um condutor atento ao cenário, trafegando a uma velocidade de 90 km/h, com freios em bom estado de conservação e pavimento seco.

Tabela 6. Exemplo de distância de parada.

Etapas	Intervalo de tempo	Distância percorrida
Tempo de percepção	0,45 s (típico)	18 m
Tempo de reação	0,45 s (típico)	18 m
Tempo de frenagem	4,5 s (máximo)	51 m

Conforme a tabela 3, comparado a um farol comum, o AFS pode ampliar a distância de detecção em 68%. Considerando-se este percentual, um pedestre ou ciclista que normalmente seria reconhecido a 70 m torna-se, com o AFS, perceptível a aproximadamente 120 m. Estes 50 m de percepção antecipada ultrapassam as distâncias percorridas nos tempos de percepção e reação da tabela 6. Assim, mediante o processo de frenagem da tabela 6, e tendo em vista um veículo com AFS, conclui-se que, mesmo com a permanência da distância total estimada (87 m), a percepção antecipada abrevia o início da frenagem, reduzindo por consequência o risco da distância total englobar o ponto no qual encontra-se a causa da frenagem ou manobra: veículo, ciclista, pedestre, animal, obstáculo, etc.

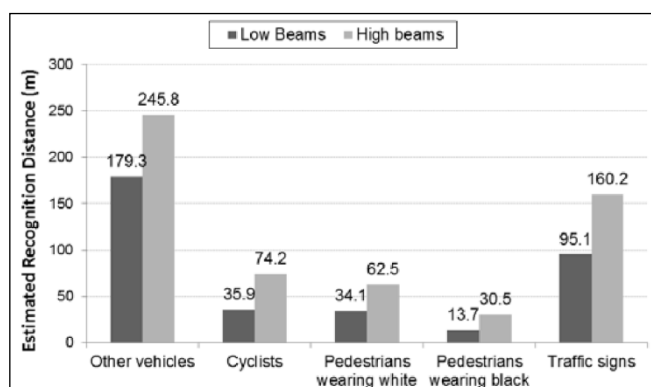


Figura 27. Distância estimada de reconhecimento.

Na figura 27 [45] constam grupos prioritários à visibilidade noturna com as respectivas distâncias em que são perceptíveis aos condutores, mediante o fecho baixo (*low beam*) e o fecho alto (*high beam*). No caso dos ciclistas, a percepção visual é favorecida por elementos retrorrefletivos na bicicleta e/ou tecidos refletivos na vestimenta. Quanto aos pedestres, a situação é mais adversa, sobretudo se estiverem trajando roupas escuras. As informações da figura 27, somadas às da tabela 6, reforçam a periculosidade da direção noturna em trajetos sem iluminação própria, sobretudo com o uso do fecho baixo e sua visibilidade restrita. A fim de completar esta etapa da abordagem, acentuando as limitações do sistema de iluminação automotiva atual e a vulnerabilidade de ciclistas e pedestres, serão apresentados a seguir dois testes de visibilidade noturna, um dedicado a pedestres e outro dedicado a ciclistas.

No teste relativo à visibilidade de pedestres [46], estes foram posicionados à margem do trajeto (0,5 m), vestindo roupas de diferentes cores e em diferentes distâncias em relação ao veículo. Neste teste considerou-se uma adversidade adicional: falha em um dos faróis, ora o fecho baixo do lado esquerdo (*Left headlight*), ora o fecho baixo do lado direito (*Right headlight*). Falhas no sistema de iluminação, parciais ou totais, correspondem a ocorrências tipificadas no CTB (Art. 230) e na Norma ABNT 14040 (Parte 5). Trata-se de irregularidade possível [47] e não pouco frequente, sobretudo pelas estatísticas da Polícia Rodoviária Federal [48] e Anuários Estatísticos do Governo Federal sobre segurança rodoviária [49].



Figura 28. Grupo de pedestres com diferentes roupas.

Na figura 28 tem-se a relação dos pedestres e respectivas cores de vestimenta: preto, refletivo, azul, verde, vermelho e amarelo. Na figura 29 constam os resultados obtidos para cada pedestre, todos na menor distância de avaliação: 10 m. Os valores apresentados correspondem ao contraste, ou seja, à resultante de duas margens de luminância (cd/m^2), uma correspondente ao pedestre e outra ao cenário. Valores baixos indicam pouca ou nenhuma percepção visual, ou seja, a luminância do pedestre é tão reduzida que o mesmo não se destaca em relação ao ambiente. A partir dos 30 m, somente as roupas amarela e refletiva eram perceptíveis e, a 50 m, somente a roupa refletiva permaneceu perceptível.

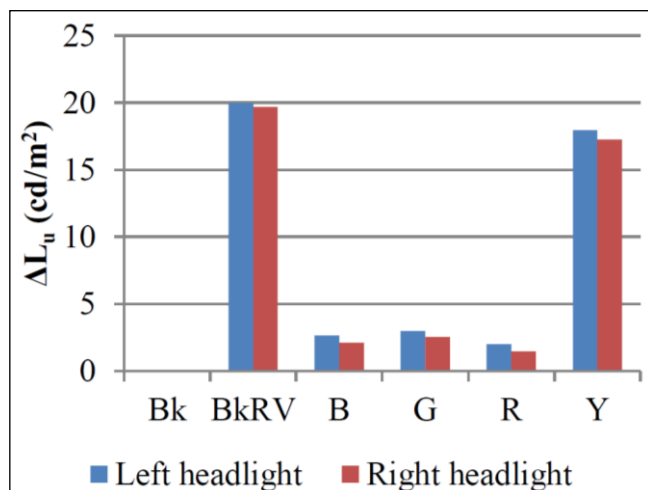


Figura 29. Contraste dos pedestres a 10 m.

As siglas da figura 29 correspondem às diferentes cores das roupas: Bk (*black*/Preto), BkRV (*black blouse with reflective vest*/blusa preta com colete refletivo), B (*blue*/azul), G (*green*/verde), R (*red*/vermelho), Y (*yellow*/amarelo).

Quanto ao teste realizado com ciclistas [50] [51], este considerou, na variável das roupas, três condições, conforme figura 30. A particularidade desta avaliação foi a de apresentar resultados não apenas para os fechos baixo e alto, acionados aos pares, mas também a de considerar faróis com duas tecnologias de fontes luminosas: lâmpadas de filamento e LEDs.



Figura 30. Ciclistas em três tipos de roupa.

Conforme figura 30, os ciclistas possuíam tecido refletivo na roupa, diferindo a cor dos coletes e, em um participante, a área do elemento refletivo, abrangendo toda a região das costas em vez de apenas faixas em disposição horizontal.

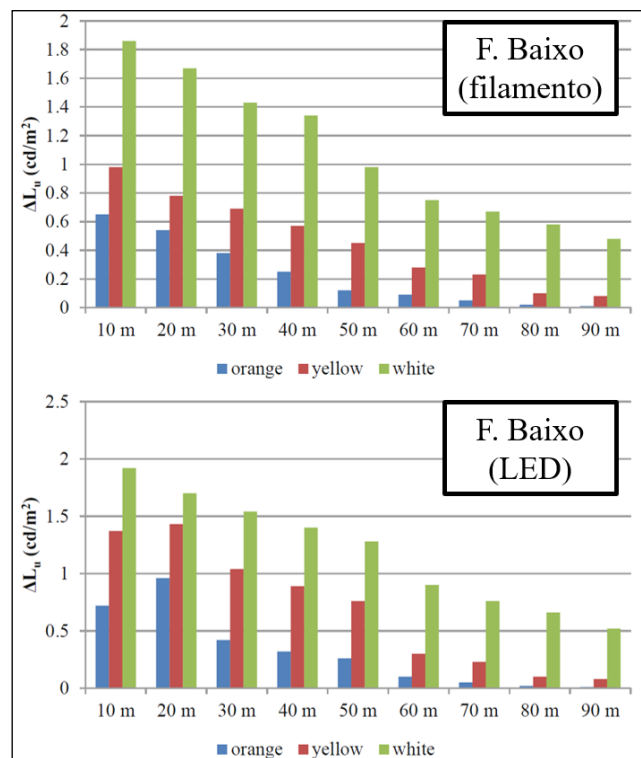


Figura 31. Contrastes com fecho baixo.

As figuras 31 e 32 apresentam resultados que atestam a superioridade do colete branco, sobretudo por este conter maior área de tecido refletivo.

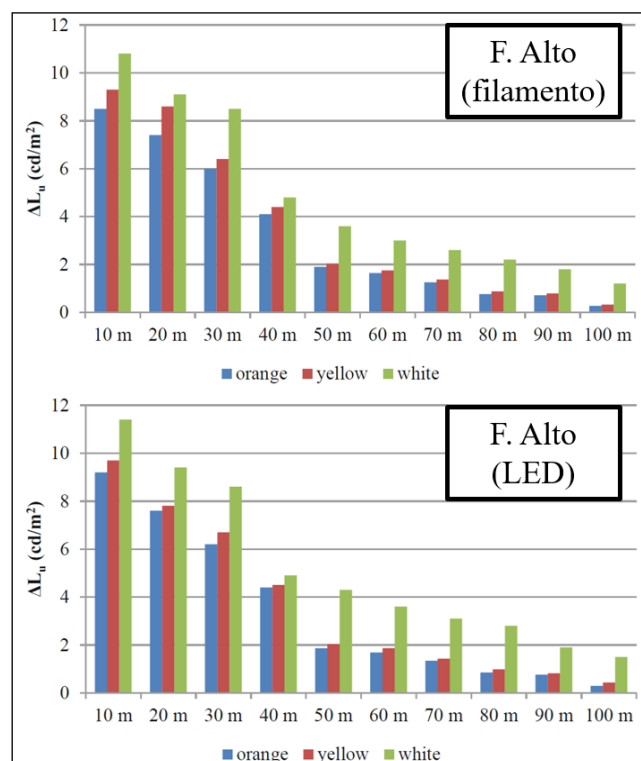


Figura 32. Contrastes com fecho alto.

Em complemento aos dados da figura 31, o parecer qualitativo dos avaliadores foi o de que a cor laranja ficou quase invisível a 60 m sob fecho baixo com lâmpada de

filamento, e pouco perceptível a 70 m sob facho baixo com LED. Quanto à figura 32, a visibilidade dos ciclistas sob facho alto seguiu, de forma ampliada, a mesma tendência observada no facho baixo, ou seja, melhor resultado à cor branca (*white*), seguida pelas cores amarela (*yellow*) e laranja (*orange*).

As análises com ciclistas e pedestres atestam que cores claras asseguram desempenho superior às cores escuras, e a visibilidade conferida pelo tecido refletivo é superior ao tecido comum, independentemente da cor deste último. Quanto maior a área do elemento refletivo, maior a percepção a longas distâncias. Quanto ao farol, a tecnologia LED apresenta resultados superiores à lâmpada de filamento, enquanto o facho alto tem um desempenho superior ao baixo.

Entre as muitas outras variáveis diretamente associadas à percepção visual, é importante destacar a condição visual do condutor.

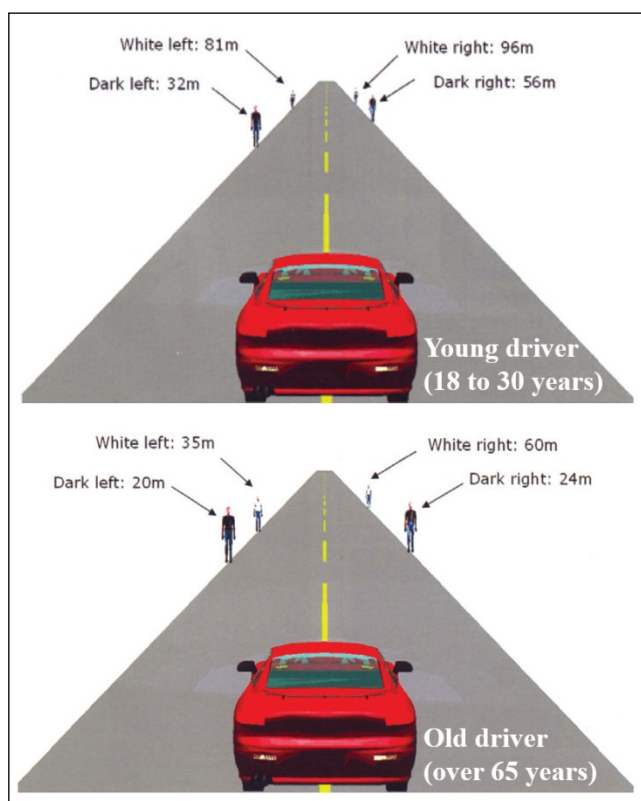


Figura 33. Distância de visibilidade por idade do condutor.

A figura 33 [52] apresenta as diferenças básicas de percepção visual entre condutor jovem (*young driver*) e condutor idoso (*old*), considerando-se – no cenário – pedestres situados em ambos os lados da via, usando roupas claras (*white*) e escuras (*dark*). Nos casos de pedestre com roupa escura ou mais longinquamente posicionados, o alcance relativo à percepção do condutor jovem pode ser maior que o dobro da obtida pelo condutor idoso. Uma das causas desta diferença reside no diâmetro da pupila, gradativamente reduzido em função do envelhecimento humano [53] [54]. Adicionalmente, idosos possuem déficits

em tempo de reação e capacidade de processar informações [55].

Enfim, como já observado, ao promover 68% de ampliação na percepção visual, o AFS representa um expressivo avanço à segurança veicular e aos desafios da visibilidade noturna. Dos fatores que conferem ao AFS este elevado percentual de desempenho, dois deles se destacam: a) maior fluxo luminoso, quando equipado com LED ou lâmpada de descarga a gás; b) propriedades espectrais (a serem elucidadas adiante). Ambos os fatores vinculam-se às novas tecnologias de fontes luminosas, superiores às tradicionais lâmpadas de filamento em vários aspectos, sobretudo eficiência energética e vida útil estimada.

Quanto ao fluxo luminoso importa destacar, para os fins desta abordagem, que o valor médio em lâmpadas de filamento [56] é de 1000 lm, sob um consumo de 60 W. Lâmpadas de descarga a gás [57], nos modelos de 25 W, se aproximam dos 2000 lm e, nos modelos de 35 W, ultrapassam 3000 lm. No caso dos LEDs a classificação não é simples, podendo atingir diversas faixas de fluxo luminoso, dependendo do modelo e da quantidade empregada em cada farol, limitando-se somente aos parâmetros fotométricos, de iluminação máximo, estabelecidos pela Resolução 667. Ou seja, a liberdade de design conferida pelo LED impede uma comparação nos mesmos termos com as outras fontes luminosas, sobretudo por ser igualmente possível conceber, para um farol automotivo, um único refletor com LED de alta potência ou vários refletores com LEDs de média potência. O LED automotivo possui regulamentação [58], muito embora suas constantes inovações tecnológicas impeçam a reunião de todas as opções disponíveis num único documento, prevalecendo as folhas técnicas (*data sheets*) de seus fabricantes para a maior parte das opções de mercado.

Quanto às propriedades espectrais, o AFS inclui o emprego potencial de LED ou de lâmpada de descarga a gás, ambas as tecnologias possuem valores elevados na temperatura de cor correlata (TCC), cuja unidade é Kelvin (K) [59]. Trata-se da comumente denominada “luz fria”, fonte luminosa branca de tonalidade azulada. Esta propriedade, como indicado pela literatura técnica [60] [61] [62], otimiza a percepção visual noturna, tecnicamente classificada como visão mesópica [63], abreviando o tempo de reação. Faróis comuns, equipados com lâmpadas de filamento, emitem uma luz branca em torno de 3000 K. A tecnologia AFS, com LED ou lâmpada de descarga a gás emite, em geral, uma luz branca entre 3500 e 5000 K, margens variáveis sobretudo com LEDs, que são as mais diversificadas das fontes luminosas automotivas. Vale destacar que o mercado também dispõe de lâmpadas de filamento com TCC em torno dos 4000 K, no entanto, estas versões especiais, quando comparadas com as versões comuns, de 3000 K, apresentam custo superior.

A figura 34 apresenta os resultados de um teste [64] para quantificar o tempo de reação do observador mesópico em função de fontes luminosas com diferentes TCCs. A análise contou com 10 observadores, entre 22 e 26 anos, isentos de problemas visuais. Todos foram sucessivamente

expostos à observação de um objeto, de aparecimento repentino no interior de uma câmara de observação e, concomitante à percepção do referido objeto, os observadores acionavam um botão. A operação, devidamente monitorada, registrou os intervalos de tempo entre cada estímulo visual e o acionamento correspondente, o que possibilitou quantificar o fenômeno a partir de suas variáveis mais importantes: diferentes níveis de TCC (*CCT–correlated color temperature*) e luminância de fundo (*background luminance*) no interior da faixa mesópica, cuja abrangência está situada entre 0,034 e 3,4 cd/m².

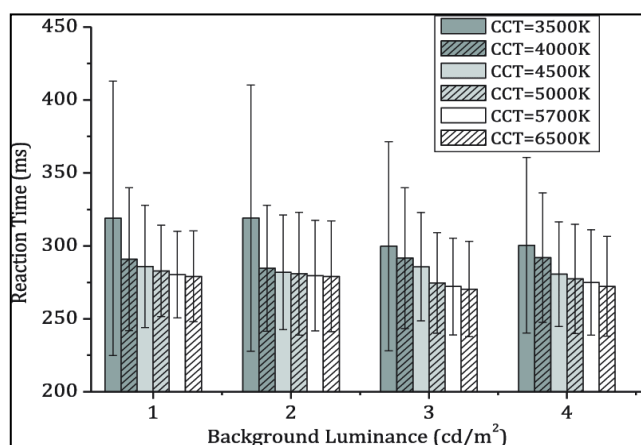


Figura 34. Tempo de reação por CCT e cd/m².

Os resultados atestam que valores mais altos de TCC, típicos de LEDs e lâmpadas de descarga a gás, habilitam o observador noturno a um tempo de reação reduzido. Com uma TCC média de 3000 K, lâmpadas de filamento comuns não representam a tecnologia mais segura para a direção noturna.

Embora todas as informações precedentes já tenham indicado os benefícios do AFS, os referenciais quantitativos desta seção permitem concluir que esta tecnologia enrobustece a segurança veicular em sua condição mais crítica (noturna), sobretudo ao: a) otimizar a visão mesópica; b) ampliar o volume de luz; c) diversificar os perfis de projeção luminosa; d) reduzir os tempos de percepção e reação, cruciais à antecipação de frenagens e paradas, reduzindo a possibilidade deste fenômeno resultar em atropelamentos, colisões ou manobras bruscas.

Estes referenciais quantitativos harmonizam-se com parte do que Bhise (2012) sinaliza de positivo à ergonomia automotiva, algo que, segundo o autor, deve se pautar na promoção de fatores como adaptabilidade, segurança, conforto, conveniência, eficiência e desempenho. No particular do sistema de iluminação automotiva, o autor destaca como questões ergonômicas: projeto do fecho luminoso, visibilidade e distância de detecção, ofuscamento, métodos de avaliação de faróis, pesquisas e tendências tecnológicas de melhoria da iluminação veicular. O autor ressalta que a distância de visibilidade (*visibility distance*) deve ser ampla, maior que a soma das distâncias necessárias aos processos de percepção e de reação. Adicionalmente, classifica faróis inteligentes (*smart headlamps*), tais como o

AFS, como promotores da ergonomia veicular, destacando avanços como supressão de operações manuais, otimização de iluminamentos e eficiência energética através das novas fontes luminosas.

Outro fator benéfico do AFS é a eliminação das distrações por ajustes manuais no sistema de iluminação. Um relatório de abril de 2020 [65], divulgado pela NHTSA e denominado “*Distracted Driving 2018*” (condução distraída), define condução distraída como qualquer atividade que desvia a atenção voltada à condução do veículo, como mensagens de texto ou ligações telefônicas, comer e beber, conversar com alguém no carro, etc. Estima-se que enviar ou receber mensagens de texto pode ocupar a visão do condutor por 5 s, intervalo no qual é como se o veículo fosse conduzido por alguém de olhos fechados [66]. Junto às várias tipificações, presentes no referido relatório, encontram-se operações corriqueiras, como o ajuste manual dos faróis: “...when the driver was distracted while manipulating a control in the vehicle including adjusting headlamps or interior lights...” (“...quando o motorista estava distraído enquanto manipulava um controle no veículo, incluindo ajuste dos faróis e luzes internas...”.) Embora o relatório não exponha detalhadamente esta ocorrência, a mera incorporação nas estatísticas reforça os benefícios do AFS e sua funcionalidade isenta de manuseios, sobretudo num contexto de crescentes fatores de distração, conforme indica um relatório da OMS [67] sobre telefone celular, condição análoga aos dispositivos móveis em geral [68]. E quanto ao impacto da distração nos acidentes, um estudo relativo à cidade de Nova Iorque, envolvendo 7000 acidentes graves ou fatais, aponta a distração do condutor em 36% dos casos [69]. Para a conclusão da presente abordagem será apresentado, a seguir, o reflexo do AFS em parte das esferas normativa e legal do país.

REFLEXO DO AFS EM NORMAS E LEIS

Determinações legais, como as da tabela 1, refletem o traço característico da iluminação automotiva atual: protagonismo do condutor na funcionalidade dos faróis. O AFS transfere este protagonismo ao veículo e, principalmente, concede o bônus da segurança sem o ônus da intervenção humana, pois esta última tende à sobrecarga de tarefas. Da referida sobrecarga podem surgir problemas como distração, fadiga e estresse, fatores que por sua vez propiciam falhas humanas, principais causas em 90% dos acidentes de trânsito [70]. Nestas estatísticas os problemas na via assumem, em média, 5% das ocorrências [71]. Outros fatores, como falhas do veículo, possuem percentuais variados entre as pesquisas, sobretudo por ocorrências sem causas identificadas [72] que são ora estimadas, ora suprimidas.

O mencionado protagonismo veículo, mediante o emprego do AFS, representa tanto uma promoção da segurança quanto uma renovação de duas esferas correlatas: legal e normativa. O AFS torna passíveis de erradicação, ou de reformulação, quase todos os atuais encargos impostos ao

condutor pelo CTB e resumidos na tabela 1. Tais encargos podem reduzir-se ao mínimo pelas já mencionadas funcionalidades do AFS: automação de acionamentos, alinhamentos, regulagens, comutações e limpezas. Até mesmo um procedimento periódico, como a troca de lâmpadas gastas ou queimadas, torna-se pouco frequente com o uso de lâmpadas de descarga a gás e, ainda menos frequente, com o uso de LEDs [73].

Se a possível supressão de encargos legais simplifica, em parte, as práticas fiscalizadoras, a nova estrutura do veículo requer revisões quanto às atuais concepções de inspeção veicular. Em outras palavras, se hoje os faróis desregulados ou comutados inadequadamente são infrações imputáveis ao condutor e sua inobservância, passam a ser mais propriamente defeitos do sistema de iluminação, tipificáveis na inspeção veicular. Assim, o que até então correspondia predominantemente à conduta de motoristas, passa a corresponder prioritariamente à manutenção do veículo.

Neste particular a inovação tecnológica retroage na esfera normativa. Consta na Norma ABNT 14040:2017, Parte 5, as diretrizes para a inspeção dos sistemas de iluminação. Um exemplo de como as funcionalidades do AFS implicam em revisão deste texto é a classificação dos defeitos, conforme tabela 7. Nesta tabela as siglas correspondem a: defeito leve (DL); defeito grave (DG); defeito muito grave (DMG).

Tabela 7. Defeitos no sistema de iluminação.

Item	Defeito	DL	DG	DMG
Faróis principais	Um ou mais não funcionam adequadamente		X	
	Conservação deficiente dos faróis e/ou das superfícies refletoras	X		
	Comutação alta/baixa inoperante		X	
	Cor da luz emitida não regulamentada		X	
	Farol desregulado		X	
	Fixação deficiente/posicionamento irregular		X	
	Aplicação de pintura ou películas sobre as lentes		X	

Uma análise preliminar, não exaustiva, indica que a inserção do AFS neste escopo requer acréscimo de várias linhas ou mesmo de tabela específica. Defeitos do AFS incluiriam: a) quaisquer falhas de captação, por parte dos sensores, nos ângulos e distâncias determinados; b) acionamento inoperante ou não coordenado entre classes de farol e as condições de via (por exemplo: classe W não operar na chuva), o esterçamento do volante ou a velocidade

do veículo, etc.; c) o não acionamento do farol em baixa luminosidade ambiente ou o não desligamento em alta luminosidade ambiente; d) sistemas automáticos de limpeza e/ou alinhamento inoperantes; e) falha na comutação entre os facho baixo e alto.

Ainda sobre a tabela 7, a classificação de um defeito se destaca e encontra, no advento do AFS, um contexto esclarecedor: conservação deficiente. No entanto a correlação entre o AFS e este defeito requer considerações preliminares. Dos muitos problemas relativos à conservação, dois – já mencionados – são inevitáveis às lentes de policarbonato: a) sujeidade; b) degradação. Ambos, sujeira e vida útil (*dirt and age*) [74] [75] desencadeiam problemas semelhantes (figura 16). Embora inevitáveis, à sujeidade basta limpeza, já à degradação só resta a troca do farol. Enfim, o que há de problemático com o único DL da tabela 7 é, basicamente, uniformizar ocorrências recorrentes, igualmente impactantes, mas de resoluções completamente distintas. Na medida em que a Norma de inspeção pode orientar as medidas administrativas cabíveis, a distinção entre sujeidade e degradação orientaria adequadamente as ações necessárias: limpeza ou troca. Efetuada a distinção, esclarece-se também a severidade de cada defeito. O fim da vida útil de um componente é DG ou DMG, enquanto a conservação deficiente, eliminada por limpeza, corresponde mais propriamente a um DL, no máximo DG. A severidade diversa torna-se mais clara pela seguinte observação: um farol sujo ainda pode, se exposto à chuva, ter seu problema atenuado, pois a água auxilia na remoção da sujeira. Porém a um farol degradado inexistem procedimentos ou circunstâncias atenuantes, só resta a troca. Cabe ressaltar que, ao classificar semelhante problema como DL, defeito isento de ações administrativas, a Norma possibilita a circulação de veículos com sistemas de iluminação inseguros.

A tecnologia AFS favorece a percepção desta problemática porque, até seu advento (junto às fontes luminosas acima de 2000 lm), o enfrentamento da sujeidade não possuía mecanismos próprios de resolução. Em todo caso, o lavador automático elimina a sujeidade, mas não a necessidade de diferenciá-la da degradação, pois a Norma se destina à frota nacional como um todo, incluindo faróis convencionais, desprovidos de lavador. Assim, o novo contexto torna palpável as diferenças entre lente degradada e lente suja sem, todavia, ignorar a gravidade desta última, e o faz pela incorporação de um limpador. Enfim, uma ocorrência de pouca monta não justificaria um dispositivo de correção, especialmente no caso do AFS que, ao operar com maior volume de luz, potencializa eventuais desconfortos e ofuscamentos por sujeidade em lentes.

Adicionalmente, o surgimento do lavador elimina por completo a possibilidade de uma degradação ser confundida com mera sujeidade, pois passa-se a contar sempre, na inspeção visual, com lentes limpas, uma vez que, estando sujas, indicam degradação ou limpador inoperante.

As considerações acima, para além dos âmbitos normativo e inspeccional, são pertinentes aos âmbitos legislativo e fiscalizador. Com causas distintas, degradação e sujidade resultam num mesmo problema que, nos termos do Art. 230 do CTB, é tipificado como infração leve: defeito no sistema de iluminação. Degradação e sujidade, oriundos da vida útil e manutenção precária, respectivamente, assemelham-se a faróis desregulados na produção de ofuscamento e desconforto visual. Faróis desregulados, por sua vez, são tipificados no Art. 223 do CTB como infração grave, passível não apenas de multa como também de apreensão do veículo para regularização. Assim, defeitos de características e impactos semelhantes, embora de causas diversas, podem confundir a prática fiscalizadora na falta de uma distinção pormenorizada. Em outras palavras, defeitos recorrentes, quando não são previstos ou o são insuficientemente, tornam-se passíveis de terem seus efeitos atribuídos a causas diversas, comuns a defeitos de maior ou menor gravidade e, consequentemente, uma infração leve pode ser enquadrada como grave e vice-versa. Isto ganha maior probabilidade de ocorrência na prática fiscalizadora, pois a inspeccional dispõe de mais recursos, instrumentos e métodos para atestar a real situação dos faróis.

Como visto, defeito no sistema de iluminação é infração leve, enquanto farol desregulado é infração grave. Uma vez constatado que defeitos recorrentes (sujidade e degradação) impactam tanto quanto desregulagem, torna-se questionável a aceção de defeito neste contexto. Sendo a desregulagem um defeito grave, mas reversível por inspeção, à má conservação da lente compete previsão e classificação equivalentes, sobretudo pela irreversibilidade, sob pena de inconsistência técnica nos requisitos legais.

Constata-se assim que a renovação do sistema de iluminação, tal como operada pelo AFS, retroage positivamente em suas esferas correlatas: normas e leis prévias a seu advento. Funcionalidades específicas, como a limpeza das lentes, problematizam aspectos relativos a estes componentes e ao funcionamento dos faróis como um todo, estendendo-se a questões cruciais como defeitos típicos, medidas administrativas cabíveis e insuficiência de critérios para o contexto da inovação, logo, passam a requerer maior apuro terminológico e maior rigor classificatório. Todas estas questões, em suma, enrobustecem o referencial tecnológico do país.

Por fim é preciso ressaltar que revisões, tanto em normas quanto em leis, são processos inerentes a estes documentos, portanto, os pontos ora problematizados nesta seção não atestam deficiência na concepção original dos documentos citados, apenas indicam, no parecer restrito desta pesquisa, a crescente necessidade de reestruturações que reflitam adequadamente o novo cenário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O AFS concilia segurança e conforto. Projeções otimizadas, maior volume de luz e propriedades espectrais específicas aprimoram ergonomicamente a iluminação

automotiva. A ampliação da distância de percepção abrevia o tempo de reação em frenagens e manobras, reduz riscos de acidentes e confere maior segurança aos ciclistas e pedestres. São eliminadas tanto as distrações por ajustes manuais em faróis quanto a visibilidade noturna reduzida, por condução restrita ao fecho baixo. Esta inovação tem sua relevância acentuada se considerada a depreciação gradativa da acuidade visual, processo inerente ao envelhecimento humano. Estas são, resumidamente, as principais vantagens do AFS que o CONTRAN, em suas últimas revisões, tratou de inserir no panorama da iluminação automotiva nacional.

Este trabalho se apresenta, em síntese, como um modelo simplificado de recepção crítica às inovações tecnológicas, tanto as da legislação automotiva nacional quanto as das legislações e mercados internacionais, recepção pautada em esclarecer a tipificação e problematizar aspectos da difusão. A tipificação, oriunda do contraste com a tecnologia precedente, e a difusão, contextualizada legal e normativamente, elucidam o estado da técnica e, eventualmente, as defasagens tecnológicas do mercado brasileiro. Para uma tal receptividade importa ir além do texto legal, valendo-se de sua correlação com a literatura técnica para um maior detalhamento conceitual acrescido de base empírica, incluindo testes sob adversidades recorrentes. Trata-se de compor um diagnóstico apto a, entre outras coisas, nortear o segmento na renovação de seus referenciais.

Pode-se questionar a relevância e o alcance desta abordagem, especialmente no contexto brasileiro, tradicionalmente lento na difusão de inovações que, ao menos em sistemas de iluminação automotiva, iniciam-se frequentemente mediante importações. Algo compreensível considerando-se que, quase sempre, as inovações tecnológicas oneram o custo final do veículo. No entanto esta pesquisa ilustra, para além dos benefícios normativos e legais já indicados, ser possível analisar uma inovação e, a partir dela, identificar o potencial de otimizar produtos de concepção precedente, ou ainda, identificar a possibilidade de emprego parcial da tecnologia. Tais propostas abrigam um aspecto contraintuitivo, pois às inovações uma parte do mercado nacional tende a projetar perspectivas futuras e/ou descontextualizadas da realidade brasileira. Contrariando estas tendências, propõe-se na conclusão desta abordagem uma atenção abrangente às inovações, não apenas projetando-as em cenários futuros, mas também repensando-as no aprimoramento potencial do mercado preexistente a seu advento, algo a ser devidamente esclarecido nas considerações a seguir.

Constata-se, pela decomposição dos aspectos construtivos do AFS, que uma das características promotoras de seu alto desempenho em detecção noturna reside na TCC elevada. Complementarmente, a variabilidade da TCC de fontes luminosas automotivas é o traço comum entre o farol atual e o AFS, a despeito da disparidade tecnológica. Com isso identifica-se uma diretriz de melhoria, irrestrita e imediata, ao tráfego noturno de toda a frota nacional: maior difusão de lâmpadas halógenas de TCC elevada, homologadas e disponíveis aos sistemas de iluminação em

voga no país [76] [77]. Embora parte do mercado esteja ciente da TCC como fator de visibilidade, não raro as causas são desconhecidas, logo, a reiteração contextualizada e tecnicamente embasada desta informação auxilia, entre outras coisas, na adesão voluntária e consciente aos benefícios. Esta adesão esclarecida faz-se necessária porque as lâmpadas halógenas de maior TCC, embora acessíveis, custam mais. Assim, para difundir uma cultura de assimilação do ônus faz-se necessário justificar o bônus correspondente.

Quanto às soluções futuras, uma forma de atenuar impactos econômicos no emprego do AFS é simplificá-lo, empregando apenas uma parte de suas funções, mais especificamente a comutação automática dos facho baixo e alto. Contando apenas com os facho baixo e alto, sem todas as classes e funções adicionais do AFS, não haveria complexidade construtiva no farol, este poderia ser de nível tecnológico similar ao atualmente difundido. Assim, a modificação se restringiria ao veículo, mediante incorporação de sensores para diagnóstico do cenário, tarefa de menor impacto econômico quando se sabe da atual expansão das funcionalidades do ADAS. Semelhante expediente encontra legalidade no Art. 6º da Resolução 667 do CONTRAN: *“Serão aceitas inovações tecnológicas, ainda que não contempladas nos requisitos estabelecidos nesta Resolução, desde que sua eficácia seja comprovada através de certificação ou legislação internacional reconhecidas pelo órgão máximo executivo de trânsito da União.”* Na medida em que apenas a comutação automática dos facho é capaz de realizar a maior parte dos requisitos da tabela 1, a proposta é conceitualmente segura perante o CTB. E por não requerer a modernização do farol para dele obter desempenho parcialmente autônomo, a proposta é tecnologicamente inovadora perante o CONTRAN. Para tanto seria necessário desvincular a inovação do conceito AFS, pois este último só pode ser aplicado se atendido integralmente, no entanto uma inovação – em conformidade com o Art. 6º – legitima-se por si mesma. A título de ilustração, a viabilidade técnica da inovação ora sugerida incluiria, entre outras coisas, o atendimento dos requisitos presentes nas tabelas 4 e 5, por serem estes os pressupostos da comutação automática.

Dada a crescente incorporação de novas tecnologias, tanto nas Resoluções do CONTRAN como em documentos por ele alternativamente aceitos, como o FMVSS dos EUA e os Regulamentos técnicos das Nações Unidas, expediente similar ao ora exposto torna-se cada vez mais oportuno, passível de compor um preceito metodológico às autopeças e montadoras locais. Tal preceito, pautado na já denominada recepção crítica das inovações, poderia enrobustecer o know-how técnico do país, tornando-o, simultaneamente, harmônico ao cenário internacional e pertinente à realidade nacional. Em suma há, no referido preceito, um potencial de atualização sistêmica do referencial técnico nacional, na medida em que se problematiza a inovação tecnológica em sua pluridimensionalidade, da indústria ao governo, da dimensão técnica à jurídica, incluindo a relação entre diferentes segmentos (montadoras, autopeças, fontes

luminosas), diferentes esferas técnicas (requisitos de desempenho, inspeção, fiscalização), diferentes mercados (Brasil, Europa, EUA), etc.

REFERÊNCIAS

1. Código de Trânsito Brasileiro. Lei 9.503. Acesso em 2 de maio de 2020. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9503.htm
2. CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução 667. Acesso em 2 de abril de 2020. <https://infraestrutura.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao6672017.pdf>
3. Boyce, P., Hoffman, D., Wallaschek, J., Wördenweber, B. Automotive Lighting and Human Vision. New York: Springer, 2007.
4. Perel, M., Olson, P., Sivak, M., and Medlin, J., Motor Vehicle Forward Lighting, SAE Technical Paper 830567, 1983, <https://doi.org/10.4271/830567>
5. Shinar, David. Traffic Safety and Human Behavior. ISBN: 978-0-08-045029-2, eISBN:978-0-08-055587-4. Publication date: October 5, 2007.
6. Vivek D. Bhise. Ergonomics in the Automotive Design Process. CRC Press. 2012.
7. Zakhareuski, Andrei. Driving Tests. Beginner Driver's Guide. When Should High Beam Headlights Be Used? Disponível em <https://driving-tests.org/beginner-drivers/high-beam-headlights-use/> Acesso em 10 de abril de 2020.
8. EYES ON SHEPPARD. Traumatic Brain Injury and Concussion. Acesso em 2 de abril de 2020. <https://www.eyesonsheppard.com/eye-care-services/traumatic-brain-injury-and-concussion/>
9. Anti-Glare Mirror Film. Disponível em <https://www.apainting.com/automotive/kdx-anti-glare-mirror-film/> Acesso em 8 de abril de 2020.
10. Prasetyo, Joewono & Mohd Jawi, Zulhaidi & Mustafa, Meraj & Zaidie, Z & Majid, H & Roslan, M & Baba, I & Zulkifli, Abd Fathul Hakim. (2018). Impacts of Various High Beam Headlight Intensities on Driver Visibility and Road Safety. 2. 306-314.
11. Wood JM. Nighttime driving: visual, lighting and visibility challenges. Ophthalmic Physiol Opt 2020 (2019); 40: 187–201. <https://doi.org/10.1111/opo.12659>
12. NHTSA –National Highway Traffic Safety Administration. Adaptive driving beam headlighting system glare assessment (2015). Acesso em 2 de abril de 2020. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/812174_lightingadb.pdf
13. NHTSA –National Highway Traffic Safety Administration. Report to Congress (2007). Nighttime Glare and Driving Performance. Acesso em 2 de abril de 2020. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/glare_congressional_report.pdf
14. Buonarosa, Mary & Sayer, James & Flannagan, Michael. (2013). Real-World Frequency of Use of Automotive Lighting Equipment. LEUKOS: The

- Journal of the Illuminating Engineering Society of North America. 5. 139-146.
10.1582/LEUKOS.2008.05.02.004
15. MLIVE Michigan. Rainy day headlights. Updated Apr 03, 2019. Acesso em 3 de abril de 2020.
https://www.mlive.com/exposure/2010/10/post_94.htm
16. Rebut, J.; Bradai, B.; Moizard, J.; Charpentier, A. (2009). A monocular vision based advanced lighting automation system for driving assistance. 311 - 316.
10.1109/ISIE.2009.5222610.
https://www.researchgate.net/publication/224584109_A_monocular_vision_based_advanced_lighting_automation_system_for_driving_assistance
17. Heckmann, V.; Melo, E.; Moura, C.; Oliveira, A. Questões relativas à regulagem de faróis automotivos convencionais. Paper Técnico SAE, 2019-36-0063, 2019.
18. ABNT NBR 14040-5:2017. Inspeção de segurança veicular - Veículos leves e pesados Parte 5: Iluminação.
19. INDIAMART. Car Leveling Headlamp. Acesso em 12 de Abril de 2020.
<https://www.indiamart.com/proddetail/car-leveling-headlamp-19223919712.html>
20. Reif, Konrad. Automobilelektronik. Eine Einführung für Ingenieure. Springer. 2014. ISBN: 978-3-658-05047-4
21. HELLA. Headlamp cleaning system. Good to know. Acesso em 2 de abril de 2020.
<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Automotive-lighting/Headlamp-cleaning-system-839/#>
22. UNECE - United Nations Economic Commission for Europe Regulation 123. Rev. 2. "Uniform provisions concerning the approval of adaptive front-lighting systems (AFS) for motor vehicles" Acesso em 9 de abril de 2020.
<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2016/R123r2e.pdf>
23. TÜV Rheinland. AFS Survey. 2003. In.: Boyce, P., Hoffman, D., Wallaschek, J., Wördenweber, B. Automotive Lighting and Human Vision. New York: Springer, 2007.
24. Reif, Konrad. Fundamentals of automotive and engine technology. Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems. Springer. 978-3-658-03971-4
25. Hesse, T. & Shadeed, H. & Götz, M. & Strauß, S. & Wallaschek, Joerg. (2006). Concept of an active front-lighting driver assistance system. 1006-1011.
26. HELLA. Headlamp cleaning system. Cleaning principle function. Acesso em 2 de abril de 2020.
<https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Automotive-lighting/Headlamp-cleaning-system-839/#>
27. Moura, C.; "Impactos na segurança veicular pela ação dos raios ultravioletas em faróis automotivos", p. 5-19. In: XXVII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva. São Paulo: Blucher, 2019. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/simea2019-PAP06
28. YOUTUBE. The life in São Paulo. Farol alto automático com ônibus na frente - 2 demonstração. 2018. Acesso em 2 de maio de 2020.
<https://www.youtube.com/watch?v=j-19fPkcln8>
29. Serrat, F.; Diego, F.; Lumbreras, F.; Alvarez, J.M.; Lopez, A.; Elvira, C. Dynamic comparison of headlights (2007). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. Vol. 222. 2007 DOI: 10.1243/09544070JAUTO655
30. Reif, K. Sensoren im Kraftfahrzeug (2012). Springer. DOI 10.1007/978-3-8348-2208-6. ISSN 2627-2172.
31. Waschl, H.; Kolmanovsky, I.; Willems, F. Control Strategies for Advanced Driver Assistance Systems and Autonomous Driving Functions. Springer International Publishing, 2019. ISBN: 978-3-319-91568-5, 978-3-319-91569-2
32. BRANDON SCHOETTLE. Sensor fusion: a comparison of sensing capabilities of human drivers and highly automated vehicles. University of Michigan. 2017. Report N° SWT-2017-12
<http://umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2017-12.pdf>
33. Dai, L. & Jazar, Reza. (2013). Nonlinear Approaches in Engineering Applications. Automotive applications of engineering problems. Springer. 10.1007/978-1-4614-1469-8.
34. O'Malley, Ronan & Glavin, Martin & Jones, Edward. (2008). Vehicle Detection at Night Based on TailLight Detection. 10.4108/ICST.ISVCS2008.3546.
35. Chen, Mei & Jin, Lisheng & Jiang, Yuying & Gao, Linlin & Wang, Faji & Xie, Xianyi. (2016). Study on Leading Vehicle Detection at Night Based on Multisensor and Image Enhancement Method. Mathematical Problems in Engineering. 2016. 1-13. 10.1155/2016/5810910.
36. Fernández Alcantarilla, Pablo & Bergasa, Luis & Jimenez, Pedro & Fernández-Llorca, David & Sotelo, Miguel-Angel & Sánchez-Mayoral, Silvia. (2011). Automatic LightBeam Controller for driver assistance. Mach. Vis. Appl.. 22. 819-835. 10.1007/s00138-011-0327-y.
37. Dollár, Piotr & Wojek, Christian & Schiele, Bernt & Perona, Pietro. (2011). Pedestrian Detection: An Evaluation of the State of the Art. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 34. 743-61. 10.1109/TPAMI.2011.155.
38. Wu, Tai-En & Tsai, Chia-Chi & Guo, Jiun-In. (2017). LiDAR/camera sensor fusion technology for pedestrian detection. 1675-1678. 10.1109/APSIPA.2017.8282301.
39. Steinhilper, R., Freiberger, S.; Nagel, A. Understanding the communication between automotive mechatronics and electronics for remanufacturing purposes. 2012. Acesso em 7 de abril de 2020.
<https://docplayer.net/40751354-Understanding-the-communication-between-automotive-mechatronics-and-electronics-for-remanufacturing-purposes.html>
40. Lee, J. H.; Byeon, J.; Go, D.J.; Park, J.R. Automotive Adaptive Front Lighting Requiring Only On/Off Modulation of Multi-array LEDs. Current Optics and Photonics Vol. 1, No. 3, June 2017, pp. 207-213 ISSN: 2508-7266(Print) / ISSN: 2508-7274(Online) DOI: <https://doi.org/10.3807/COPP.2017.1.3.207>

41. Barroso Junior, G. T., Bertho, A. C. S., & Veiga, A. de C. (2019). A letalidade dos acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras. *Revista Brasileira De Estudos De População*, 36, 1-22. <https://doi.org/10.20947/S0102-3098a0074>
42. Canale, A.C.;Gutiérrez, J.C.H.; Ortega, F. Manual do condutor de veículos comerciais – usuário da rodovia dos imigrantes. Editora Rima, 2007. ISBN – 978-85-7656-115-6.
43. Almeida, M.; Figueiredo, S. M. S.; Porto, J. M. F. Reciclagem para condutores infratores do código de trânsito brasileiro. Instituto Tecnológico de Transporte e Trânsito (ITT). São Paulo: Editora Senac São Paulo. ISBN 85-7359-381-4, 2004.
44. CONTRAN. Resolução 180. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Sinalização vertical de regulamentação (2007). Acesso em 5 de maio de 2020. https://infraestrutura.gov.br/images/Resolucoes/Manual_VOL_I_2.pdf
45. Fekety, Drea & Whetsel, Stephanie & Sewall, Ashley & Tyrrell, Richard. (2013). Drivers' Beliefs, Habits, and Strategies Regarding High Beam Usage. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 57. 1800-1804. 10.1177/1541931213571403.
46. Benea, B & Trusca, Daniel & Toganel, George & Radu, Alexandru. (2019). Pedestrian visibility at night: the influence of the pedestrian clothing and the defective headlamp of the car. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 568. 012003. 10.1088/1757-899X/568/1/012003.
47. <https://advanced-driving.co.uk/driving-tips/vehicles-with-only-one-headlight-operating/>
48. Departamento de Polícia Rodoviária Federal. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Dados Abertos – Acidentes. Acesso em 6 de maio de 2020. <https://portal.prp.gov.br/dados-abertos-acidentes>
49. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Anuário Estatística de Segurança Rodoviária. 2010-2017. Acesso em 6 de maio de 2020. https://www.infraestrutura.gov.br/images/BIT_TESTE/Publica%C3%A7oes/Anuario_Estatistico_de_Seguranca_Rodoviaria.pdf
50. Benea B.C., Trusca D.D., Togănel G.R., Radu A.I. (2020) The Influence of the Color of the Reflective Vest on the Visibility of the Cyclist at Night. In: Dumitru I., Covaciu D., Racila L., Rosca A. (eds) *The 30th SIAR International Congress of Automotive and Transport Engineering*. SMAT 2019. Springer, Cham
51. Benea, Bogdan & Trusca, Daniel & Toganel, George & Radu, Alexandru. (2020). The Influence of the Color of the Reflective Vest on the Visibility of the Cyclist at Night. 10.1007/978-3-030-32564-0_42.
52. Ising, K. Pedestrian visibility in night-time impacts. MEA Foresinc (2008) Acesso em 12 de maio de 2020. <https://www.meaforsinc.com/pedestrian-visibility-in-night-time-impacts/>
53. Mantiuk, Rafal & Ramponi, Giovanni (Gianni). (2015). Human vision model including age dependencies. 1616-1620. 10.1109/EUSIPCO.2015.7362657.
54. Watson, Andrew & Yellott, John. (2012). A unified formula for light-adapted pupil size. *Journal of vision*. 12. 10.1167/12.10.12.
55. Plainis, Sotiris & Murray, I. (2002). Reaction times as an index of visual conspicuity when driving at night. *Ophthalmic & physiological optics: the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*. 22. 409-15. 10.1046/j.1475-1313.2002.00076.x.
56. ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Prescrições uniformes relativas às lâmpadas de filamento para uso em sistemas de iluminação e/ou sistemas de sinalização de veículos rodoviários automotores e seus rebocados” ABNT NBR 16231:2013, Dez. 2013.
57. UNECE - United Nations Economic Commission for Europe Regulation 99. Rev. 3. “Uniform provisions concerning the approval of gas-discharge light sources for use in approved gas-discharge lamp units of power-driven vehicles” Acesso em 1 de abril de 2020. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R099r3e.pdf>
58. UNECE - United Nations Economic Commission for Europe Regulation 128. Rev.2 “Uniform provisions concerning the approval of light emitting diode (LED) light sources for use in approved lamp units on power-driven vehicles and their trailers” <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R128e.pdf>
59. NLPIP. Lighting Answers. Volume 8 Issue 1. What is correlated color temperature? (2004). Acesso em 2 de maio de 2020. <https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightsources/whatisCCT.asp#>
60. He, Y. & Rea, Mark & Bierman, A. & Bullough, John. (1997). Evaluating Light Source Efficacy under Mesopic Conditions Using Reaction Times. *Journal of the Illuminating Engineering Society*. 26. 125-138. 10.1080/00994480.1997.10748173.
61. Derlofske, John & Dyer, Daniel & Bullough, John. (2003). Visual Benefits of Blue Coated Lamps for Automotive Forward Lighting. *SAE SP*. 117-124. 10.4271/2003-01-0930.
62. Derlofske, J. & Bullough, John & Hunter, Claudia. (2003). Visual Benefits of High-Intensity Discharge Automotive Forward Lighting (2002-01-0259). *PROGRESS IN TECHNOLOGY*. 98. 249-254.
63. Zele AJ and Cao D (2015) Vision under mesopic and scotopic illumination. *Front. Psychol*. 5:1594. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01594
64. Liang, Bo & He, Shiyong & Tähkämö, Leena & Tetri, Eino & Cui, Lulu & Dangol, Rajendra & Halonen, Liisa. (2019). Lighting for Road Tunnels: The Influence of CCT of Light Sources on Reaction Time. *Displays*. 61. 101931. 10.1016/j.displa.2019.101931.
65. NHTSA. Distracted Driving 2018. Traffic Safety Facts. DOT HS 812 926. Summary of Statistical Findings (2020). Acesso em 4 de maio de 2020. <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812926>

66. NHTSA. Distracted Driving. Risky Driving Topics. Acesso em 4 de maio de 2020. <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/distracted-driving>
67. World Health Organization. Mobile phone use: a growing problem of driver distraction (2011) Acesso em 2 de maio de 2020. <https://www.who.int/publications-detail/mobile-phone-use-a-growing-problem-of-driver-distraction>
68. Dingus, Thomas & Guo, Feng & Antin, Jonathan & Perez, Miguel & Buchanan-King, Mindy & Hankey, Jon. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. Proceedings of the National Academy of Sciences. 113. 201513271. 10.1073/pnas.1513271113.
69. World Health Organization. Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners (2013) Acesso em 2 de maio de 2020. <https://www.who.int/publications-detail/pedestrian-safety-a-road-safety-manual-for-decision-makers-and-practitioners>
70. Observatório Nacional de Segurança Viária (2019). <https://www.onsv.org.br/90-dos-acidentes-sao-causados-por-falhas-humanas-alerta-observatorio/>
71. Japan Automobile Manufacturers Association. Achieving greater safety and environmental protection in road transport. On the road to sustainable mobility 2014. Acesso em 2 de abril de 2020. http://www.jama-english.jp/publications/sustainable_mobility_2014.pdf
72. NHTSA. Traffic Safety Facts. Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey. DOT HS 812 115 (2015) <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>
73. LED Professional. Lifetime Calculation of White HP-LEDs from 16,000 Hours Aging Data. LPR Article (2017) Acesso em 3 de maio de 2020. <https://www.led-professional.com/lifetime-calculation-of-white-hp-leds-from-16-000-hours-aging-data>
74. Sivak, Michael & Flanagan, M.J. & Traube, EC & Kojima, S & Aoki, M. (1997). Low-beam headlamps: Effects of realistic levels of dirt on light output. Lighting Research and Technology. 29. 10.1177/14771535970290010901.
75. Alferdinck, J.W.A.M. & Padmos, P.. (1988). Car headlamps: Influence of dirt, age and poor aim on glare and illumination intensities. Lighting Research & Technology - LIGHTING RES TECHNOL. 20. 195-198. 10.1177/096032718802000407.
76. PHILIPS. Lâmpadas halógenas para farol. Blue Vision. <https://www.philips.com.br/c-m-au/luzes-automotivas/headlight-bulbs/halogen>
77. OSRAM. Cool blue intense. https://www.osram.pt/ecat/COOL%20BLUE%20INTE%20NSE-L%C3%A2mpadas%20hal%C3%B3genas-Car%20lighting-Automotive/pt/pt/GPS01_1056960/PP_EUROPE_Europe_eCat/