

APLICAÇÃO DE LEDS NO CONJUNTO ÓTICO DIANTEIRO DE VEÍCULOS DE PASSEIO

Jackson Liu

jacksonliu1@gmail.com

***Resumo.** A iluminação automotiva eficiente atualmente é indispensável para a segurança dos automóveis. Seu mercado hoje em dia está em grande expectativa para as novas tecnologias que entrarão no mercado em poucos anos, e que revolucionará diversos conceitos de como iluminar melhor o caminho tomado pelo condutor do veículo. Analisaremos neste trabalho a situação atual do mercado da iluminação automotiva frontal, e exploraremos as tecnologias que ainda estarão por vir. Com base no que existe atualmente, podemos estabelecer um benchmark de modo a elevar ainda mais o nível de luminosidade que o farol automotivo pode prover, e consequentemente, a segurança na condução de um veículo. Para tanto, veremos como a aplicação da tecnologia de LEDs de alta intensidade mudará os conceitos existentes atualmente nos faróis dianteiros. Por fim, veremos um estudo de aplicação a um veículo real fabricado e vendido no Brasil e quais serão as vantagens que esta nova tecnologia impactará*

Palavras chave: Faróis, LEDs, Iluminação Automotiva, Diodos, Veículos Automotores

1. Introdução

A tecnologia da iluminação automotiva teve um desenvolvimento relativamente estável por diversos anos, com avanços ocasionais esporádicos, como o desenvolvimento de bulbos de halogênio, o aumento da complexidade dos refletores e o desenvolvimento de lâmpadas de descarga de alta intensidade (High Intensity Discharge – HID).

Por diversas décadas, a única fonte de iluminação frontal automotiva era realizada por bulbos de filamento incandescente de tungstênio. No período entre 1960 e 1970, surgiram os bulbos incandescentes de halogênio, que acabou por dominar o mercado de iluminação automotiva em pouco tempo, ao oferecer um desempenho superior, vida útil consideravelmente maior e maior economia de energia.

Atualmente, lâmpadas de halogênio ainda são a fonte de luz dominante em faróis de automóveis. No entanto, com o constante desenvolvimento de novas tecnologias, as lâmpadas de halogênio eventualmente serão substituídas. Hoje em dia, a tendência é a expansão do uso de lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID) de xenônio, tecnologia introduzida no começo dos anos 90. Do mesmo modo, mesmo as lâmpadas de HID usadas atualmente serão ultrapassadas por novas tecnologias. Para tanto, cada vez mais o mercado aponta para o desenvolvimento da iluminação automotiva usando diodos emissores de luz (LED).

A tecnologia do LED em aplicações luminosas em veículos de passeio surgiu na década passada em luzes de freio e piscas de sinalização, e agora emerge como a fonte de luz em carros do futuro, acerca do qual traz grandes expectativas para o mercado automotivo.

2. Metodologia

Este trabalho apresentará as tecnologias que estão entrando no mercado de iluminação automotiva e como a aplicação dos LEDs se integra à essas inovações. Será apresentada também a situação atual e projeções futuras do mercado para LEDs de iluminação automotiva. Isso permitirá que se visualize de maneira mais objetiva a importância deste trabalho, com a previsão da expansão deste mercado. A seguir, abordaremos os parâmetros do projeto de um farol de carro, mostrando esses atributos na aplicação de LEDs para o farol dianteiro. Levando em conta como prioridades deste projeto um farol de alta capacidade, inovador e com uma estética distinta e agradável, este estudo de viabilidade seguirá com a determinação da melhor alternativa de iluminação para o farol dianteiro automotivo, considerando os parâmetros já estudados e as alternativas já apresentadas. Por fim, a construção de uma matriz de decisão permitirá a escolha, de maneira sistemática, da melhor alternativa do projeto.

A segunda parte do trabalho consiste no estudo da aplicação desta tecnologia no veículo Chevrolet Vectra Elite, fabricado pela General Motors do Brasil. Para tanto serão analisadas as técnicas construtivas predominantes no mercado atualmente, os modelos de faróis de LEDs já existentes em carros no mercado, o mercado no qual o veículo está inserido e as alternativas de LEDs candidatos à esta aplicação. Uma nova matriz de decisão será elaborada levando em conta as novas condições do projeto. Após a determinação da melhor opção, será realizado um estudo sobre a construção do modelo, com a descrição técnica e sugestões da alternativa selecionada.

3. Aplicação de LEDs para Facho Alto e Baixo do Farol Dianteiro de um Veículo

A renovação tecnológica no mercado automotivo se dá em ritmo constante, em todos os segmentos de carros e em todas as partes do veículo. Vez ou outra, uma grande inovação estabelece um novo padrão de qualidade no mercado, e promove a renovação dos concorrentes para não ficarem ultrapassados. Muitas tecnologias, no entanto, são desenvolvidas gradualmente e simultaneamente por diversos fabricantes e fornecedores.

Para o caso do mercado de faróis automotivos, é previsível a evolução tecnológica que se dará dentro de alguns anos. A introdução da iluminação frontal provida por LEDs já aconteceu em modelos alguns modelos e maior representatividade de algumas marcas. Essa evolução se dará de uma maneira gradual, com a substituição de lâmpadas

halógenas e lâmpadas de HID como fontes de luz predominantes no mercado automotivo, pela iluminação por LEDs. No entanto, esta lenta evolução tem potencial para se tornar uma grande revolução no mercado automotivo, com empresas revendo totalmente os conceitos dos futuros projetos. Apesar de à primeira vista parecer ser semelhante o processo de substituição dos faróis de HID por LEDs ao processo de substituição dos faróis de halogênio por faróis de HID, podemos prever que o impacto da introdução da iluminação por LEDs nos carros será imensuravelmente superior ao processo anterior. A tecnologia do LED automotivo, atualmente em seu estágio inicial de desenvolvimento, deve ser ainda aprimorada de modo a extrapolar os parâmetros atuais dos faróis de HID. Além disso, que a aplicação de LEDs para a iluminação automotiva revolucionará o design dos veículos no futuro, por permitir uma flexibilidade estilística até hoje não encontrada nos conjuntos óticos dianteiros. Projetistas terão uma liberdade na concepção de novos veículos inexistente atualmente com as limitações impostas pela relativa padronização existente nos faróis dianteiros de automóveis.

3.1 Novas tecnologias

O desenvolvimento de novas tecnologias em iluminação automotiva sempre teve como fator central, questões de segurança ao volante. Ultimamente, a eficiência energética dos sistemas de iluminação tem ganhado crescente notoriedade por motivos econômicos e ambientais. Analisaremos a seguir as tecnologias que estão sendo introduzidas no mercado automotivo, assim como a maneira que essas inovações impactarão no desenvolvimento de LEDs automotivos, e vice-versa.

3.1.1 Sistema avançado de iluminação frontal (Advanced Front-Lighting System – AFS)

O AFS é um sistema que combina uma variedade de capacidades que possibilita um grande aumento na eficiência do farol veicular. Englobando tecnologias que permitem diferentes configurações luminosas e a flexibilidade do fecho de luz, o AFS abre portas para sua aplicação junto à outras tecnologias, como a integração de sistemas de localização por GPS para otimizar o seu uso. Schmidt (2007) e Decker (2007) mostram o funcionamento das configurações do AFS. O sistema introduz ao mercado novas configurações de iluminação frontal, que reproduzem diferentes tipos de distribuição de luz, cada uma específica para uma determinada condição. Assim, temos as seguintes configurações:

- Town Light (luz para cidade): produz uma distribuição simétrica de luz, com um espalhamento do fecho luminoso em regiões mais próximas do veículo.
- Country Light (luz para campo): adequado para uma faixa de velocidades médias, esta função é caracterizada por um incremento do campo de visão no lado direito da estrada.
- Motorway Light (luz para estrada): produz características de iluminação adequadas para condução em alta velocidade em estradas, com aumento do campo de visão na faixa de rolamento em que está o veículo.
- Adverse Weather Light (luz para condições climáticas adversas): tem como principal função evitar o ofuscamento em veículos trafegando no sentido oposto, causado pelo brilho do reflexo do fecho luminoso.
- High Beam (farol alto): é gerado pela somatória das combinações de todos os elementos de iluminação do AFS e produz um padrão de luz homogêneo e poderoso para a iluminação de distâncias maiores.

Além de ser composto pelas diferentes configurações luminosas citadas, vários trabalhos (Schmidt, 2007; Decker, 2007; Grimm, 2007; e Stamford, 2007) mostram o atributo da flexibilidade do fecho luminoso para o AFS. Essa funcionalidade pode ser dividida nos modos de iluminação flexível dinâmica, e iluminação flexível estática.

Na iluminação flexível dinâmica, o fecho de luz é direcionado de acordo com a direção tomada pelo veículo, determinado pelo movimento do volante, através de um atuador eletromecânico. A adoção de LEDs para os faróis dianteiros possibilita a implementação de AFS com a iluminação flexível dinâmica sem o uso de elementos mecânicos móveis no farol. Na iluminação flexível estática são empregadas lâmpadas adicionais colocadas em ângulo determinado em direção à curva, e são acionadas em situações, como curvas de pequenos raios, entradas e saídas de vias ou manobras pequenas. Iluminação adicional é gerada diretamente no plano de iluminação do veículo e nas suas laterais.

3.1.2 Sistema de iluminação linkado a câmeras (Camera-linked lighting systems - CLS)

Este sistema trata da integração de câmeras ao sistema de iluminação do veículo, possibilitando uma varredura dos obstáculos à frente do veículo para auxiliar os demais sistemas óticos do veículo na decisão de qual modo de iluminação tomar. Em situações adversas, as informações registradas pela câmera são processadas e podem direcionar e regular o fecho de luz dos faróis. Este sistema se integra perfeitamente aos AFS, apresentado anteriormente, e, como demonstra Birsch (2007), o CLS complementar o AFS, dando ainda mais autonomia ao próprio sistema de iluminação.

3.2 Mercado

A iluminação automotiva é um dos segmentos mais regulamentados da indústria automotiva. Como afirma Murphy (2005), as regras na maioria dos países, incluindo o Japão, têm se convergido de maneira estável em direção aos códigos da comissão européia (EC), com os Estados Unidos continuando a manter um conjunto separado de padrões, regulamentado pelo seu órgão US Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS). A sociedade de engenheiros automotivos - SAE (Society of Automotive Engineers) também desenvolve padrões para a iluminação automotiva.

O mercado para sistemas inovadores como o AFS têm uma projeção futura promissora. Em 2005, uma pesquisa realizada pela J.D. Power and Associates, nos Estados Unidos, apontou um grande interesse dos consumidores em comprar algum veículo equipado com a tecnologia de iluminação flexível em curvas. Fabricantes europeus estimam que cerca de 10%, ou seja, por volta de 2,1 milhões de novos veículos produzidos na Europa em 2007 estarão com este tipo de tecnologia.

Para os LEDs para faróis dianteiros, os primeiros passos já foram dados, como mostra Carney (2008). O primeiro marco para os LEDs no mercado automotivo foi em Junho de 2007, com a sua introdução no fecho baixo do farol do modelo Lexus LS 600h, da Toyota.

O próximo grande avanço foi dado pela General Motors, que lançou em 2008, o seu utilitário esportivo topo-de-linha Cadillac Escalade na versão Platinum. Seus conjunto de faróis tornam este veículo o primeiro do mundo a portar um farol totalmente ativado por LEDs. O Escalade, em relação ao Lexus LS 600h, promove popularização significativamente maior desta tecnologia, por ser um veículo consideravelmente mais acessível.

O mercado de LEDs de iluminação frontal está no começo de seu desenvolvimento. Como mostra o estudo promovido por Lyon, Yole Développement (2006), o que se prevê é que haja primeiramente maiores aplicações semelhantes ao do Lexus LS 600h, ou seja, sistemas híbridos onde se combinam lâmpadas de HID de xenônio com algumas funções realizadas por LEDs. Posteriormente, esses sistemas deverão eventualmente ser substituídos por faróis dotados somente por LEDs. O gráfico da figura 1 mostra uma projeção da faixa de mercado que cada sistema deverá ocupar, para os fabricantes americanos de automóveis.

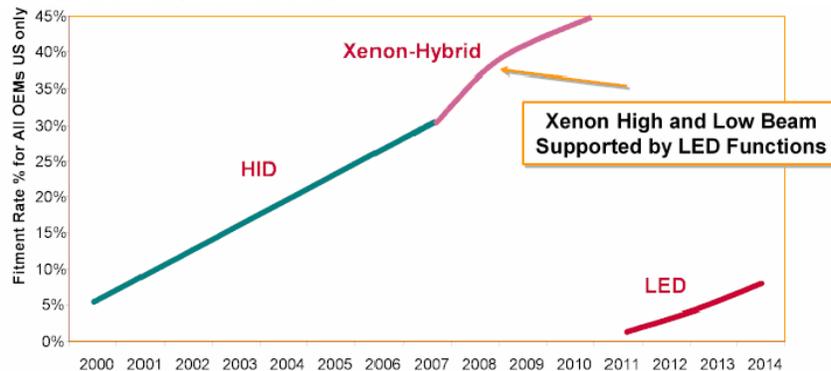


Figura 1: Projeção do mercado para cada sistema de iluminação, para o mercado americano de automóveis.

Pode se observar que há uma previsão muito positiva para o mercado de LEDs já nos próximos anos. Para um futuro um pouco mais distante, a tendência é que a fatia ocupada por LEDs venha a aumentar ainda mais. O preço unitário dos LEDs tende a cair à medida que o mercado expande, como mostra Diem (2005). A projeção é de que faróis de HID de xenônio alcancem sua máxima penetração em cerca de 2010, quando começarão a ter sua participação do mercado declinar, com o aumento gradual da fatia ocupada por LEDs. As vendas de faróis de LEDs deverão ultrapassar os faróis de HID de xenônio em 2013. Como o desenvolvimento da tecnologia de LEDs de iluminação frontal e sistemas como o AFS e o CLS estão estritamente relacionados, podemos observar como o crescimento de todas essas inovações tem uma projeção muito positiva para um futuro próximo.

3.3 Parâmetros para a aplicação de LEDs no conjunto óptico luminoso dianteiro de um veículo.

Neste estudo, será analisado como a influência de atributos como custo, estilo, desempenho, volume do pacote, eficiência, peso e durabilidade determinarão os objetivos do projeto do farol. Alguns desses parâmetros poderão ser otimizados através de sua simples maximização, enquanto outros podem influenciar os demais atributos.

3.3.1 Custo

O atributo do custo inclui o custo da aquisição da lâmpada do fornecedor, o custo da garantia e reparos, e o custo operacional. Os parâmetros que influenciam diretamente no custo da aquisição são a quantidade e a variedade dos LEDs necessários, os dissipadores de calor, fiação e fixadores. O custo da garantia e reparos é afetado diretamente pela durabilidade e robustez do farol e seus subsistemas. Estes custos têm a tendência de serem reduzidos, devido à grande durabilidade deste tipo de farol. O custo operacional inclui o próprio consumo de energia do veículo.

3.3.2 Estilo

O atributo do estilo engloba principalmente elementos de aparência e distinção do conjunto óptico quando não aceso, assim como sua aparência quando está acesa e o aspecto geral do conjunto. O estilo é controlado por diversos parâmetros, como as dimensões do farol, o seu contorno, elementos de design contínuos e reconhecíveis e sua homogeneidade luminosa.

A aplicação de LEDs permitirá também uma liberdade de estilo para o farol automotivo ainda não vista no mercado, através do seu fecho de luz gerado por múltiplas fontes luminosas. Estas podem ser dispostas de diversas maneiras no sistema ótico, ou até posicionadas espaçadamente na região frontal do veículo. Esta liberdade de disposição possibilitará aos projetistas extrapolar a criatividade no estilo dos veículos. Sistemas óticos podem ser modificados de acordo com as opções de estilo.

3.3.3 Desempenho

O desempenho do farol é baseado no fluxo de luz, homogeneidade, intensidade de pico e principalmente a capacidade de detecção de objetos pela visibilidade do motorista.

O fluxo está relacionado à quantidade de fontes de LEDs, a potência dessas fontes e a eficiência do sistema ótico do farol. Mais especificamente, a potência dos LEDs é ditada pela temperatura ambiente, resistência térmica entre a junção do LED e a temperatura externa, a eficiência do próprio LED, e a corrente elétrica. Existe, no entanto, uma sobreposição entre os atributos de desempenho e eficiência.

Considerando ser a temperatura de operação o ponto crítico do sistema de iluminação automotivo por LEDs e, além disso, afetar diretamente no desempenho do conjunto, é necessário algum dispositivo de convecção forçada de calor para garantir o funcionamento apropriado do conjunto. Assim, como mostra Luce (2007), deve-se escolher entre a convecção natural, tubos condutores de calor, dissipadores externos de calor, e ventiladores localizados, como métodos de controle de temperatura no conjunto. Desse jeito, através de um estudo e análise das alternativas, foi escolhido, por meio de uma matriz de decisão, o resfriamento ativo por ventilador localizado como melhor opção. A solução tem como qualidades, seu baixo peso, custo e simplicidade, que contribuem para uma adaptação adequada sem interferir muito nos atributos do projeto.

3.3.4 Volume do pacote

O volume é determinado pela profundidade, flexibilidade no fator do seu formato e o volume da lâmpada. Uma vez que o empacotamento nos estágios preliminares do farol de LEDs se dá em torno do estilo e da seleção dos componentes óticos, também devem ser considerados fundamentais os métodos de dissipação de calor e o formato dos dissipadores de calor. O item de maior volume no conjunto é certamente o dissipador de calor.

3.3.5 Eficiência

A eficiência do farol é definida pelo consumo médio de energia necessária para produzir um número fixo de lúmens dentro de um campo de visão. A energia consumida pode variar de acordo com as diferentes condições de uso. O fecho baixo pode ser projetado para funcionar de maneiras diferentes, com diferentes fontes de LEDs a serem selecionadas para cada uso. Dessa maneira, para variar o fecho, a eficiência pode ser diminuída. A temperatura influencia diretamente na capacidade de emissão de luz, e a corrente tem também influência direta na eficiência do conjunto.

3.3.6 Peso

O atributo do peso em um farol de LEDs com resfriamento forçado é principalmente influenciado pela massa do dissipador de calor. A retirada do dissipador representa um corte de até 30% do peso de todo o conjunto. Além disso, a geometria do dissipador, sua posição e seleção de material são muito importantes em efeito de peso no sistema. Outros elementos também estão envolvidos no peso do conjunto, como a abordagem ótica, as quantidades dos componentes envolvidos e o design.

3.3.7 Durabilidade

A durabilidade do conjunto ótico é principalmente influenciada pela degradação do LED, uma vez considerando sua temperatura de operação (temperatura da junção) e as condições de alimentação de energia fixadas dentro de limites operacionais aceitáveis. Pela durabilidade, entende-se o tempo que dura a lâmpada até que esta exiba uma medida de degradação em intensidade. Assim como o atributo da eficiência, a durabilidade do LED é muito influenciada pela corrente elétrica e a temperatura de junção. É necessário assim, buscar a otimização da vida do conjunto atendendo a durabilidade mínima requerida, ao mesmo tempo em que meramente excedendo a vida máxima de um veículo

3.4 Determinação da melhor alternativa para o projeto do farol.

Considerando os parâmetros expostos no tópico anterior, podemos estudar a viabilidade dos sistemas analisados. Para determinar a seleção da melhor alternativa para o projeto de farol dianteiro do veículo, será feita uma análise comparativa entre as alternativas propostas. Sistemáticamente determinaremos a melhor opção através de uma matriz de decisão, onde teremos como alternativas as combinações das propostas apresentadas junto às tecnologias e inovações mostradas. As entradas da matriz são os parâmetros vistos anteriormente.

Neste estudo almeja-se encontrar uma solução de um farol avançado de alto desempenho e que apresente inovações tecnológicas. Além disso, é muito desejável que apresente um design diferenciado, que possa projetar ao veículo uma distinção percebida ao público.

Para as alternativas da matriz de decisão, foram consideradas as lâmpadas halógenas, lâmpadas de HID de xenônio, combinadas ou não ao sistema avançado de iluminação frontal (AFS) e ao sistema de câmeras linkadas (CLS), e faróis de LEDs, combinados ou não aos mesmos sistemas. Os faróis equipados com CLS são implicitamente os conjuntos mais completos, por ser este um sistema que engloba o AFS.

As entradas da matriz de decisão foram analisadas previamente, e são estilo, desempenho, eficiência, durabilidade, custo, peso e volume do pacote.

Estilo: pelo fato de almejar um farol avançado, inovador e que promova um impacto estilístico imediato no público, este atributo recebe, junto com o desempenho, o maior peso na matriz de decisão. Trataremos aqui o estilo como um fator de grande importância no automóvel. A aplicação de novas tecnologias e inovações são quase sempre bem-vistas em termos estilísticos. Um desenho diferenciado e agradável é extremamente desejável no projeto do carro, e que pode determinar o sucesso ou fracasso nas vendas do veículo.

Desempenho: considerando desejar projetar um farol que atenda às expectativas mais exigentes atualmente, e que se enquadre às exigências de futuras gerações de faróis automotivos, foi atribuído a este parâmetro alto peso na matriz de decisão. Foi considerado como benchmark o desempenho de iluminação dos faróis de HID existentes hoje em dia no mercado automotivo.

Eficiência: tem peso alto na matriz por representar a quantidade de lúmens que o farol consegue gerar com a potência que consome.

Durabilidade: assim como a eficiência, possui alto peso na matriz de decisão, por ser um parâmetro de grande importância em um projeto adequado para as exigências das futuras gerações de faróis. A criação de faróis de alto desempenho e capacidade, com sistemas auxiliares complexos, requer que o conjunto possa durar por um considerável período de tempo sem necessidade de reposição.

Custo: para o projeto de um farol avançado e inovador, relevamos o atributo do custo a uma importância reduzida. Dando importância maior a parâmetros que possam conferir ao farol propriedades inovadoras, o custo acaba tendo menor peso na matriz de decisão.

Peso: o peso do sistema acaba tendo menor importância se planeja-se construir um farol sofisticado. Além disso, o peso total do conjunto influencia muito pouco no peso total do veículo.

Volume: assim como o parâmetro do peso, para faróis automotivos mais avançados, o volume ocupado pelo farol não é tão importante nesta análise. Se o projeto prioriza atributos que contribuem para um farol inovador e avançado, o volume ocupado por este pacote é naturalmente maior do que faróis mais simples.

Matriz de decisão do projeto de farol

Atributo	Peso	Farol de Lâmpadas Halógenas		Farol de HID de xenônio		Farol de HID de xenônio com AFS		Farol de HID de xenônio com CLS		Farol de LEDs		Farol de LEDs com AFS		Farol de LEDs com CLS	
		nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p
Estilo	0,25	2	0,5	6	1,5	6	1,5	6	1,5	9	2,25	9	2,25	9	2,25
Desempenho	0,25	2	0,5	7	1,75	8	2	9	2,25	6	1,5	8	2	9	2,25
Eficiência	0,15	2	0,3	7	1,05	8	1,2	9	1,35	6	0,9	8	1,2	9	1,35
Durabilidade	0,15	3	0,45	7	1,05	7	1,05	7	1,05	9	1,35	9	1,35	9	1,35
Custo	0,1	9	0,9	6	0,6	5	0,5	4	0,4	3	0,3	2	0,2	1	0,1
Peso	0,05	9	0,45	7	0,35	6	0,3	6	0,3	7	0,35	6	0,3	6	0,3
Volume do Pacote	0,05	8	0,4	6	0,3	5	0,25	5	0,25	4	0,2	3	0,15	3	0,15
Soma	1		3,5		6,6		6,8		7,1		6,85		7,45		7,75

Tabela 1: Matriz de decisão do projeto de farol dianteiro veicular

Desse jeito, foi determinada como melhor opção, o farol de LEDs com CLS: para as prioridades adotadas no projeto, esta alternativa se mostrou imbatível, representando todos os extremos das notas dos parâmetros. Foi atribuído nota 9 para estilo, desempenho, eficiência e durabilidade, os parâmetros mais importantes na matriz. Por outro lado, o custo teve nota 1, por representar um sistema extremamente custoso. No entanto, como o custo tem um peso inferior, esta nota baixa acabou influenciando pouco na pontuação desta alternativa. O peso e o volume são praticamente os mesmos para esta alternativa e para o farol de LEDs com AFS, e receberam as mesmas notas. Assim como receberam as mesmas notas os parâmetros de estilo e durabilidade, pois estas permanecem inalteradas. O desempenho e eficiência também receberam notas altas. A pontuação total desta opção de farol foi de 7,75, e é a maior na matriz de decisão.

3.5 Aplicação de faróis de LEDs no veículo Chevrolet Vectra Elite.

Este trabalho estuda a adaptação de um veículo nacional para uma nova tecnologia, o que acarreta em limitações físicas e de projeto. Em um futuro próximo, o novo projeto de um veículo incluindo os LEDs desde seu início permitirá melhor planejamento no seu desenvolvimento, e acima de tudo, proporcionará aos projetistas uma grande liberdade estilística. É importante lembrar a importância do estudo da tecnologia dos LEDs para carros nacionais. Por ser uma

tendência mundial, a introdução de LEDs nos faróis automotivos eventualmente chegará no mercado brasileiro. Quanto mais se anteciparem os fabricantes nacionais à tal novidade, melhor preparados estarão para esta eventual renovação tecnológica.

Para a determinação das especificações técnicas do farol a ser projetado, primeiro serão analisadas as técnicas construtivas predominantes no mercado atualmente, os modelos já existentes em carros no mercado, o mercado no qual o veículo está inserido e as alternativas de LEDs candidatos à esta aplicação.

3.5.1 Técnicas de direcionamento de fecho.

Na iluminação automotiva, a tecnologia ótica atualmente utilizada para direcionar propriamente o fecho de luz envolve o uso de projetores, lentes e refletores, ou a combinação destes. Faróis mais antigos normalmente aplicam a combinação de lentes refrativas com refletores parabólicos, enquanto projetos mais modernos aplicam refletores de múltiplos espelhos ou projetores. Os faróis de LEDs existentes atualmente empregam refletores de múltiplos espelhos, projetores e a combinação destas duas técnicas.

3.5.2 Análise de modelos existentes

Para melhor escolher a configuração construtiva do modelo estudado, primeiramente analisaremos os faróis com aplicação de LEDs mais expressivos existentes atualmente.

O primeiro veículo a incorporar a tecnologia de LEDs de alta capacidade para iluminação efetiva, foi o Lexus LS600h. O farol é fornecido pela Koito Manufacturing Co Ltd of Japan, e emprega no total cinco conjuntos de LEDs de alta capacidade. O modelo emprega tanto projetores quanto refletores. Para alcançar a iluminação necessária, a solução foi montar em cada conjunto, quatro chips de LEDs azuis, contando com 2,5W cada, resultando um total de 10W a 700 mA de corrente. Cada conjunto possui a capacidade de gerar 400 lúmens, somando assim 2000 lúmens no total para o fecho

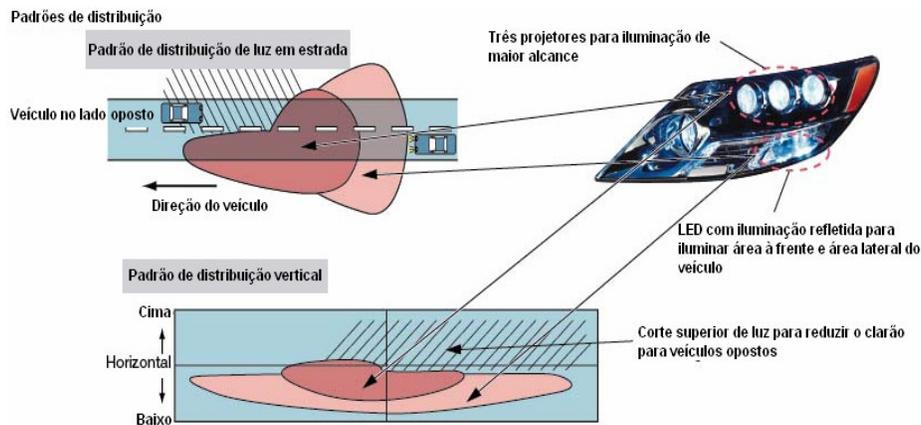


Figura 2: Distribuição luminosa do farol do Lexus LS600h

Já a Audi utiliza no seu veículo de baixa produção R8, uma distribuição para o fecho baixo por um complexo sistema de refletores e lentes. Primeiramente, a distribuição básica de luz do fecho baixo é feito por dois refletores em forma de meias-conchas, posicionados invertidos um sobre o outro, localizados na parte externa do conjunto. Cada refletor ótico contém uma fileira de quatro LEDs. Para prover iluminação complementar no fecho baixo, um sistema de lentes fica posicionado à frente dos dois refletores sobrepostos, com três pares de LEDs. O fecho alto, é gerado por dois refletores de forma livre, posicionados na parte interna no farol. São utilizados uma fileira de quatro LEDs para cada um dos refletores óticos. Os LEDs dos fachos alto e baixos são fornecidos pela Philips Lumileds, com corrente de 1A.



Figura 3: Farol do Audi R8

Analisando agora, seguindo Whitaker (2007) e Laviolette (2008), o conjunto ótico do Cadillac Escalade Platinum, fabricado pela General Motors. O farol, fornecido pela Hella, utiliza os LEDs Ostar Headlight, fornecidos pela Osram Opto Semiconductors. O fecho baixo é gerado por cinco unidades de LEDs, com projetores óticos, empilhados verticalmente no meio do farol. Cada lente desses projetores possui características óticas diferentes, e portanto produz uma parte específica do padrão de distribuição de luz. Dois projetores adicionais iguais entre si ficam localizados internamente e complementam o conjunto, sendo responsáveis pelo fecho alto. O conjunto ótico em questão é montado para gerar cerca de 730 lúmens para o fecho baixo, e 1000 lúmens no fecho alto.



Figura 4: Farol do Cadillac Escalade

3.53 Matriz de decisão

Este trabalho foca encontrar uma solução de um farol avançado de alto desempenho, com design diferenciado e que apresente inovações tecnológicas. Mas, apesar do veículo estudado ser o carro de maior representatividade de uma grande montadora nacional, é necessário levar em conta, sobretudo, a situação do mercado em que o carro está inserido. Desta maneira, para o caso do veículo especificado, os pesos dos parâmetros a serem analisados serão diferentes dos parâmetros previamente estabelecidos. Assim, foi realizado uma nova análise sobre os pesos aplicados à matriz de decisão. Por ser ainda uma tecnologia de alto custo, a sua disponibilização deve ser cautelosamente analisada, dada a sensibilidade do mercado brasileiro às mudanças de preço. Tal fato ocorre principalmente em veículos de menor custo, mais especificamente carros compactos e médios. A faixa do mercado do Chevrolet Vectra Elite é também por assim influenciado, mas em menor escala, por se situar, em âmbito nacional, numa faixa de veículos de maior prestígio.

Matriz de decisão do projeto de farol do *Vectra Elite*

Atributo	Peso	Farol de Lâmpadas Halógenas		Farol de HID de xenônio		Farol de HID de xenônio com AFS		Farol de HID de xenônio com CLS		Farol de LEDs		Farol de LEDs com AFS		Farol de LEDs com CLS	
		nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p	nota	n*p
Estilo	0,25	2	0,5	6	1,5	6	1,5	6	1,5	9	2,25	9	2,25	9	2,25
Desempenho	0,1	2	0,2	7	0,7	8	0,8	9	0,9	6	0,6	8	0,8	9	0,9
Eficiência	0,1	2	0,2	7	0,7	8	0,8	9	0,9	6	0,6	8	0,8	9	0,9
Durabilidade	0,2	3	0,6	7	1,4	7	1,4	7	1,4	9	1,8	9	1,8	9	1,8
Custo	0,25	9	2,25	6	1,5	5	1,25	4	1	3	0,75	2	0,5	1	0,25
Peso	0,05	9	0,45	7	0,35	6	0,3	6	0,3	7	0,35	6	0,3	6	0,3
Volume do Pacote	0,05	8	0,4	6	0,3	5	0,25	5	0,25	4	0,2	3	0,15	3	0,15
Soma	1		4,6		6,45		6,3		6,25		6,55		6,6		6,55

Tabela 2 : Matriz de decisão do projeto de farol dianteiro veicular

Dessa maneira, a matriz de decisão foi modificada de maneira a refletir melhor as necessidade do produto, com alterações nos pesos dos atributos pré-determinados, sendo que as opções e as notas referentes aos atributos para cada uma delas se manteve.

Assim, ainda levando em consideração a necessidade do desenvolvimento de um farol veicular diferenciado com distinção percebida ao público, o atributo do estilo teve, junto com o custo, o maior peso na matriz de decisão. Pesquisas realizadas pelo Grupo Ibope e pela Citroën do Brasil indicam que o atributo mais valorizado pelo público brasileiro é o estilo, na hora de fechar negócio. O maior peso do atributo do custo é justificável pela notável resistência à introdução de tecnologias no mercado brasileiro, em detrimento ao preço cobrado.

O quesito da durabilidade vem em seguida com peso de 20% na lista dos atributos da matriz. Também relacionada às prioridades de custo baixo do consumidor, a durabilidade também recebeu significativa importância, por estar diretamente relacionada com custos de manutenção.

O desempenho e a eficiência vêm em seguida na ordem de importância dos atributos da matriz, e, dado o fato do mercado nacional não ser tão avançado e exigente, tiveram seus pesos reduzidos. Já o atributo do peso, assim como o volume do conjunto, têm importâncias menores na matriz por pouca influenciar no peso e volume total do veículo.

Dessa maneira, foi definida a matriz de decisão apresentada na tabela 3. Os resultados da nova matriz são consequência das mudanças aplicadas, e assim foi escolhido o farol de LEDs com AFS como nova opção para o estudo do caso do Vectra.

3.5.4 O mercado nacional

A faixa de mercado em que o veículo estudado está inserido apresenta as seguintes características, segundo Laviollette (2008), no que concerne a iluminação frontal:

Tabela 3: Relação das tecnologias e da geração luminosa dos veículos analisados.

Fabricante	Modelo / Versão	Sistema utilizado	AFS	CLS	Lumens gerados (lm)	
					Facho baixo	Facho alto
Citroën	C4 Pallas	HID de xenônio	sim	não	≈ 1200	≈ 2000
Ford	Fusion SEL	HID de xenônio	não	não	≈ 1200	≈ 2000
Honda	Civic EXS	Halógenas	não	não	≈ 400	≈ 600
Renault	Megane Privilège	Halógenas	não	não	≈ 400	≈ 600
Toyota	Corolla SE-G	HID de xenônio	não	não	≈ 1200	≈ 2000
Volkswagen	Jetta	HID de xenônio	não	não	≈ 1200	≈ 2000

3.5.5 Construção

A partir das informações do tópico anterior, foi possível observar a necessidade da construção de um sistema capacitado a equivaler ou superar a marca de 1200 lúmens e 2000 lúmens gerados para os fachos baixo e alto, como expõe Laviollette (2008). Além disso, como proposto na matriz, deverá ser incluído um sistema AFS simples de iluminação flexível. De maneira simples, sistemas de iluminação flexíveis com LEDs são alcançados pela simples ativação ou desativação de uma unidade de LED específica. Assim, para este projeto, o sistema AFS simples de iluminação flexível será realizada pela inclusão de um LED adicional no facho baixo, posicionado lateralmente inclinado, de modo que sua ativação ocorrerá somente quando for necessário.

Após análise dos produtos disponíveis atualmente para a construção de um farol de LEDs, foi possível afunilar o mercado para basicamente três modelos:

Tabela 4: LEDs existentes atualmente para aplicação em faróis automotivos.

Fabricante	Osram	Koito Manufacturing	Philips Lumileds
Modelo	Ostar Headlamp	White LEDs	Luxeon
Geração de Lúmens (lm)	125 (1 chip por módulo) 1000 (5 chips por módulo)	400 (4 chips por módulo)	160

A Osram (2008) divulga a capacidade dos LEDs Ostar Headlamp, gerarem de 125 lúmens no conjunto com 1 chip a até 1000 lúmens quando combinados 5 chips em série um mesmo conjunto a 1A de corrente. No entanto, operando a 750 mA, o conjunto emite normalmente 500 lúmens. Já, segundo Ookubo (2007), a Koito Manufacturing fornece para a Toyota LEDs para o Lexus LS600h, que têm a capacidade de geração de 400 lúmens por cada módulo, contendo 4 chips. A Audi, por sua vez, aplica no R8 LEDs Luxeon, da Philips Lumileds, que geram 160 lúmens em cada unidade.

A escolha da melhor opção para a aplicação no veículo estudado deve se dar com base na capacidade luminosa e no custo. Por se tratar de uma tecnologia recente e pouco difundida, informações referentes aos custos de LEDs para faróis veiculares ainda são muito escassas, e provavelmente a estratégia dos fabricantes é evitar a divulgação dos preços. No entanto, apesar do mercado ainda ser muito reduzido, em questão de poucos anos já se projeta uma popularização desta tecnologia, o que aponta para uma tendência de estabilização e redução dos preços praticados no mercado.

Portanto, a princípio, a escolha da opção de LED para a aplicação no caso estudado se baseará na capacidade luminosa gerada, sendo assim a melhor opção o Ostar Headlamp da Osram Opto Semiconductors com 5 chips.



Figura 5: Ostar Headlamp de 5 chips

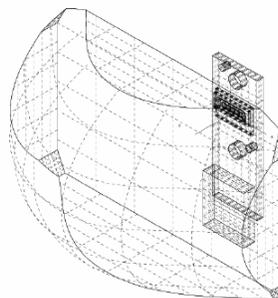


Figura 6: LEDs de 5 chips montado em projetor ótico.

Portanto, com a análise de todo o levantamento anterior, este estudo propõe que uma possível construção de um sistema de LEDs para o veículo determinado utilizando LEDs Ostar Headlamp, composto por pela seguinte configuração:

Tabela 5: Descrição do sistema adotado para o veículo analisado.

	Facho baixo	Facho alto	Total
Modelo	Ostar Headlamp, 5 Chips ThinGaN®	Ostar Headlamp, 5 Chips ThinGaN®	
Fabricante	Osram	Osram	
Quantidade	3	4	7
Potência unitária / total (W)	12 / 36	12 / 48	84
Resistência térmica (K/W)	3	3	
Calor gerado (K)	108	144	252
Geração de luz unitária / total (lm)	500 / 1500	500 / 2000	3500
Corrente de operação (mA)	700	700	
Temperatura da cor (K)	6000	6000	
Vida útil (h)	≈ 20.000	≈ 20.000	

A tabela 5 descreve a quantidade de LEDs necessários para a proposta deste trabalho. Segundo a Osram (2008), para o facho baixo, 2 LEDs seriam suficientes para atingir a luminosidade desejada. No entanto, foi adotado um LED adicional para uso do sistema AFS, a ser posicionado inclinado lateralmente e ativado sob necessidade. Para o facho alto alcançar os 2.000 lúmens, será necessário montagem de 4 conjuntos.

A potência total de cada farol será de 84 W, e que, com resistência térmica de 3K/W, gerará no total 252K. Como discutido no trabalho, a melhor alternativa para a dissipação de calor é a montagem de um ventilador no conjunto ótico. Já, para o direcionamento do facho, utiliza-se o sistema de projetor ótico para todas as unidades de LEDs descritas, por ser uma das sugestões da Osram (2008) para o uso específico nestes conjuntos de LEDs.

Por fim, discutiremos a disposição das unidades no interior do farol. Com o formato do conjunto do farol já pré-determinado, há uma grande variedade de possibilidades de disposição das unidades de LEDs. Seguindo parâmetros do protótipo da Hella, foi levantada a seguinte sugestão, de Declot (2007), de disposição dos LEDs no farol:

- . 4 LEDs do facho alto alinhados horizontalmente e localizados perto da base inferior do farol;
- . 2 LEDs do facho baixo alinhados horizontalmente, localizados acima dos LEDs do facho alto;
- . LED da iluminação flexível disposto inclinado lateralmente para fora, alinhados horizontalmente com os LEDs do facho baixo;
- . Luzes de sinalização (piscas) localizados acima dos LEDs do facho baixo.

4. Conclusão

Este trabalho têm a importância de avaliar a viabilidade da aplicação de LEDs nos faróis automotivos em um cenário muito promissor para esta tecnologia. Como foi observado no estudo, o mercado para LEDs automotivos têm imenso potencial de crescimento, ainda mais com o desenvolvimento paralelo de tecnologias integráveis aos LEDs.

A comparação de diversas opções de faróis através de seus parâmetros na matriz de decisão possibilitou visualizar as vantagens de cada uma, e seu comportamento diante das prioridades dadas aos seus atributos. Dessa maneira, levando em consideração um projeto priorizando o alto desempenho, a inovação e um estilo diferenciado, foi possível, determinar como a melhor opção, o farol de LEDs combinados com sistemas auxiliares AFS e CLS.

Já o estudo da aplicação desta tecnologia no Vectra Elite levou em consideração as características do mercado que o veículo está inserido. A análise dos modelos já existentes de faróis de LEDs, seguida de uma extensa pesquisa sobre os produtos atualmente disponíveis possibilitou o levantamento das alternativas das unidades de LEDs possíveis para a aplicação no veículo estudado. Assim, foi elaborado nova matriz de decisão, com os pesos dos atributos alterados, de modo que foi conferido aos atributos do custo e estilo os maiores pesos na matriz, e com alta importância também à durabilidade, a opção determinada para este caso foi o farol de LEDs com sistema AFS de iluminação flexível.

Por fim, foi determinada a melhor opção do LED a ser aplicado no projeto. Com o objetivo de equivaler ou superar as capacidades de outros veículos de geração de 1.200 lúmens para o facho baixo, e 2.000 lúmens para o alto, foi optado o modelo Ostar Headlamp, capaz de gerar cerca de 500 lúmens cada, quando operado normalmente. Foi então sugerido que a montagem fosse composta por 3 LEDs no facho baixo (sendo 1 LED dedicado à função de iluminação flexível do AFS), e 4 LEDs no facho alto. O estudo prosseguiu com a sugestão do direcionamento do facho com o uso de projetores óticos, e a disposição das unidades de LEDs dentro do farol.

Foi possível, através deste estudo, obter uma visão aberta sobre as possibilidades da aplicação desta tecnologia em situações com prioridades diferentes. Acima de qualquer resultado exato, este trabalho tem a importância de expor a viabilidade dos LEDs em faróis automotivos, e o impacto acarretado em um futuro próximo.

5. Referências

- Kaminski, P.C. Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade. Rio de Janeiro, LTC, 2000
- A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), Newtown Square, Project Management Institute, Inc., 2004
- Schmidt, C., Kalze, F.J., Eichhorn, K., Adaptive Front-Lighting System in LED Technology – Initial Steps and the Future. SAE technical paper, Detroit, 2007
- Sayers, E. M., Lucas, K., Kubena, V., Design Parameter Tradeoffs for LED Headlamp Applications. SAE technical paper, Detroit, 2007
- Decker, D., Himmler, A., Amsel, C., The Road to Active Light - Headlamp Concepts with Enhanced Adaptive Functionalities. SAE technical paper, Detroit, 2007
- Grimm, M., Casenave, S., Dynamic Bending Light: An Innovative Technology for Today and the Future. SAE technical paper, Detroit, 2007
- Kita, Y., Kojima, S., Sato, T., Color Perception and Recognition under Automotive Headlight with LED. SAE technical paper, Detroit, 2007
- Luce, T., HO, P., LED HB/LB Module : A Compact Module for Unrivaled Styling, HID Performance and Reduced Package. SAE technical paper, Detroit, 2007
- Escudero, F.T., Hierarquia de metas do consumidor de automóveis em Curitiba: Um estudo na categoria de utilitários esportivos compactos, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2006
- Hamm, I.M., LED im Audi R8 – was ist die technische Herausforderung?, Reutlingen, Automotive Lighting, 2006
- Osram Opto Semiconductors, Press Release, OSTAR Headlamp LED achieves 620 lumen, Munich, 2008
- Osram Opto Semiconductors, Press Release, Precisely defined headlight – OSTAR headlamp LED with new brightness data and accurate cut-off-line, Regensburg, 2008
- Automotive Lighting, Press Release, Design meets Innovation, Reutlingen, 2008
- The Lighting Report. Stamford, SupplierBusiness Ltd, 2007
- Birch, S., Illuminating technology, Warrendale, Automotive Engineering International, 2007, Volume 104
- Carney, D., LEDing the way, Warrendale, Automotive Engineering International, 2008, Volume 116
- Declodt, P.; Branquart, H., Smart power pushes LEDs into mainstream, Warrendale, Automotive Engineering International, 2008, Volume 116 n9
- LED4Auto 06 – New LED & HBLED-based applications in cars, Lyon, Yole Développement, 2006
- Ookubo, S., Lexus First to Use LED Headlight, Made by Koito, Tokyo, Nikkei Electronics Asia Magazine, 2007
- Whitaker, T., LED headlamps illuminate the way forward, Upshire, LEDs Magazine, 2007, Issue 17
- Laviolette, B., Simply illuminating, Michigan, The Flint Journal, 2008
- Murphy, T., Suppliers Get LED Out, WardsAuto.com, www.wardsauto.com, 2005
- Diem, W., Halogen Lights Still Have Future, Analyst Says, WardsAuto.com, www.wardsauto.com, 2005
- Moray, T., LED Outlook: Still too hot to trot, Automotive News, www.automotivenews.com, 2007
- Hiroshi, E., Distorções do mercado, Interpress Motor, www.interpressmotor.com.br, 2007
- Grupo Ibope, Investimento na mídia marca início de 2005 para setor automobilístico, www.ibope.com.br, 2005

6. Direitos Autorais

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

LED APPLICATION FOR FORWARD OPTICAL SYSTEM OF PASSENGER VEHICLES

Jackson Liu
jacksonliu1@gmail.com

Abstract. Efficient automotive lighting is essential for the safety of the automobiles nowadays. Its market currently holds great expectation for the new technologies that are about to debut in a few years, and that will revolutionize several concepts of the ways to better illuminate the path of the vehicle. This article This work will analyze the current situation of the automotive front-lighting market, and will explore the technologies that are still to come. On the grounds of what currently exists, a benchmark can be established in order to raise the luminosity levels that a automotive headlight can provide, and consequently, the cruising safety. In order to do so, the way how the appliance of high intensity LED technology will change the currently existing front-lighting concepts is to be studied. At last, a study of LEDs applied in a vehicle made and sold in Brazil will be done, as well as what advantages will this new technology bring.

Keywords: LED, Headlight, Automotive Illumination, Diode.