

ABILUX

Associação Brasileira
da Indústria de Iluminação

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS PARA DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES PARA ILUMINAÇÃO



ABILUX 

Associação Brasileira
da Indústria de Iluminação

Setorial de Componentes
Abril 2026

Sumário

INTRODUÇÃO	5
PERFIS PLÁSTICOS EXTRUDADOS PARA APLICAÇÃO EM ILUMINAÇÃO	7
DISSIPADORES	10
INTERFACES TÉRMICAS EM MÓDULOS DE LEDS E LUMINÁRIAS	13
SIMULAÇÕES CFD E OTIMIZAÇÃO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM LUMINÁRIAS LED.....	19
SELANTES E VERNIZES EM LUMINÁRIAS LED.....	23
COMPATIBILIDADE QUÍMICA ENTRE MATERIAIS EM LUMINÁRIAS LED	28
DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DE SURTO EM LUMINÁRIAS PÚBLICAS	34
ELEMENTOS ÓPTICOS PARA LUMINÁRIAS	42
LED LIGHT ENGINES (Módulos de LEDs).....	48
PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI).....	56
CHICOTES E CABOS ELÉTRICOS PARA LUMINÁRIAS.....	60
LED DRIVERS PARA LUMINÁRIAS	64
ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA.....	74
SOQUETES E CLIPES DE FIXAÇÃO	79
LED (LIGHT-EMITTING DIODES)	82
CONECTORES ELÉTRICOS	90
AGRADECIMENTOS:.....	95

Introdução

Bem-vindo ao Manual de Boas Práticas para Desenvolvimento de Componentes para Iluminação. Este manual foi elaborado com o objetivo de fornecer diretrizes e recomendações essenciais para a criação e aperfeiçoamento de componentes utilizados em sistemas de iluminação. Como membros da ABILUX e gestores da Setorial de Componentes, entendemos a importância de garantir a qualidade, segurança e eficiência dos produtos que desenvolvemos.

Neste guia, abordaremos uma variedade de materiais e componentes cruciais para o setor de iluminação:

- **Perfis Plásticos:** fundamentais para a estrutura e design das luminárias, proporcionando soluções leves, resistentes e com elevada flexibilidade de design.
- **Dissipadores:** essenciais para a gestão térmica, promovendo a dissipação eficiente do calor e garantindo a longevidade e o desempenho dos sistemas de iluminação.
- **Interfaces Térmicas:** utilizadas para melhorar a condução de calor entre superfícies, reduzindo resistências térmicas de contato e otimizando a eficiência térmica do sistema.
- **Simulações CFD e Inteligência Artificial:** ferramentas avançadas utilizadas para modelagem e otimização térmica e fluidodinâmica das luminárias, permitindo prever o comportamento térmico, distribuição de temperatura e fluxo de ar, reduzindo ciclos de desenvolvimento e aumentando a confiabilidade do projeto.
- **Selantes e Vernizes:** aplicados para proteção contra umidade, poeira, agentes químicos e ambientes



agressivos, contribuindo para a durabilidade e confiabilidade dos sistemas eletrônicos.

- **Compatibilidade Química:** avaliação da interação entre materiais utilizados na luminária, visando evitar degradações, reações indesejadas e falhas prematuras ao longo da vida útil do produto.
- **Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS):** responsáveis pela proteção dos sistemas contra picos de tensão e transientes elétricos, aumentando a robustez e a vida útil dos equipamentos.
- **Elementos Ópticos (Lentes e Refletores):** responsáveis pelo controle da distribuição luminosa, influenciando diretamente a eficiência óptica, uniformidade e conforto visual.
- **LED Light Engine:** conjunto que integra a fonte de luz (LEDs) e os componentes eletrônicos associados, constituindo o núcleo funcional do sistema de iluminação.
- **Placas de Circuito Impresso (PCBs):** suportes estruturais e elétricos dos componentes eletrônicos, garantindo interconexão, dissipação térmica (quando aplicável) e confiabilidade do sistema.
- **Chicotes e Cabos Elétricos:** responsáveis pela distribuição de energia e sinal, assegurando integridade elétrica e organização interna do sistema.
- **LED Drivers:** dispositivos eletrônicos que regulam e controlam a corrente e/ou tensão fornecida aos LEDs, garantindo operação segura, eficiente e estável.
- **Inversores de Emergência:** sistemas que asseguram a continuidade da iluminação em situações de falha de energia, convertendo a energia

armazenada em baterias para alimentação dos LEDs.

- **Soquetes e Clipes de Fixação:** componentes mecânicos e elétricos utilizados para fixação e conexão das fontes de luz ao sistema, garantindo estabilidade e segurança operacional.
- **LED (Light Emitting Diode):** dispositivo semicondutor que emite luz visível por meio da conversão de energia elétrica em energia luminosa, sendo o elemento central das luminárias modernas.
- **Conectores Elétricos:** componentes utilizados para interligação de cabos e fios, garantindo conexões seguras, confiáveis e de fácil montagem/manutenção.

Nosso objetivo é fornecer um recurso valioso que auxilie no desenvolvimento de componentes de alta qualidade, seguros e eficientes, alinhados com as melhores práticas do setor. Acreditamos que, ao seguir estas diretrizes, contribuiremos para a inovação e excelência na indústria de iluminação.

Desejamos a todos uma boa leitura e sucesso na aplicação dos conhecimentos aqui compartilhados.

ABILUX ◊

PERFIS PLÁSTICOS
EXTRUDADOS PARA
APLICAÇÃO EM
ILUMINAÇÃO



PERFIS PLÁSTICOS EXTRUDADOS PARA APLICAÇÃO EM ILUMINAÇÃO

O desenvolvimento de perfis plásticos extrudados para aplicação em iluminação envolve uma série de etapas e considerações técnicas que são cruciais para garantir a eficiência, durabilidade e funcionalidade do produto final. As orientações abaixo têm o objetivo de fornecer um guia de melhores práticas desde o desenho inicial até a construção da ferramenta de extrusão, abordando os principais fatores que influenciam a qualidade e a performance dos perfis extrudados.

Tópicos Sumarizados

1. Especificação do Material

- **Seleção do Material:** Escolha o tipo de plástico adequado (PC ou PMMA) com base nas propriedades desejadas, como transmissão de luz, resistência ao impacto e estabilidade UV. O "PS" não é um material indicado para a iluminação, pois além de ser um material frágil mecanicamente e quimicamente, tende a amarelar (mesmo sendo aditivado) muito mais

rápido que o PMMA e o PC, que já são naturalmente aditivados.

- **Aditivos:** Considere a adição de aditivos para melhorar propriedades como difusão de luz, resistência a UV. Os materiais que fazem a difusão de luz como o PC e o PMMA já são naturalmente aditivados com anti-UV.

2. Design do Perfil

- **Geometria:** Desenvolva uma geometria que maximize a eficiência luminosa e minimize perdas. Perfis com seções transversais otimizadas podem melhorar a distribuição da luz.
- **Espessura das Paredes:** Garanta espessuras uniformes para evitar defeitos durante a extrusão e melhorar a estabilidade dimensional.
- **Detalhes Funcionais:** Incorpore recursos como difusores integrados, guias de fixação e canais para fios elétricos.

3. Prototipagem e Testes

- **Protótipos Rápidos:** Utilize impressoras 3D ou outros métodos de prototipagem rápida para validar o design antes da construção da ferramenta.
- **Testes Ópticos:** Realize testes de distribuição de luz, eficiência luminosa e controle de brilho com os protótipos.
- **Testes Mecânicos:** Avalie a resistência mecânica, rigidez e desempenho em diferentes condições ambientais.

4. Desenvolvimento da Ferramenta de Extrusão

- **Projeto da Ferramenta:** Desenhe a ferramenta de extrusão considerando os fluxos de material, pontos

de resfriamento e controle de temperatura.

- **Simulação de Extrusão:** Utilize softwares de simulação para prever o comportamento do material durante a extrusão e ajustar o design da ferramenta conforme necessário.
- **Materiais da Ferramenta:** Escolha materiais de alta resistência e durabilidade para a construção da ferramenta, como aços específicos para moldes.
- **Selecione especialistas capacitados para a elaboração do projeto e construção da ferramenta:** Para se obter um bom resultado de eficiência produtiva, controle dimensional e estabilidade no processo, focando no fato "ferramenta" é imprescindível selecionar uma equipe especializada e com grande experiência, tanto em projeto quanto no processo de extrusão. Ela saberá lidar com eventuais alterações no projeto inicial (tratando-se de um novo produto, é normal que haja modificações a serem feitas após a ferramenta) e conduzirão o projeto com uma visão mais realista em relação ao que está sendo idealizado, melhorando a viabilidade técnica do projeto.

5. Processo de Extrusão

- **Parâmetros de Processo:** Defina e controle parâmetros críticos como temperatura, velocidade de extrusão e pressão.
- **Manutenção da Ferramenta:** Implemente um plano de manutenção preventiva para garantir a longevidade e a consistência da ferramenta.

- **Qualidade do Produto:** Estabeleça um sistema de controle de qualidade para monitorar a consistência do perfil extrudado e identificar defeitos precocemente.

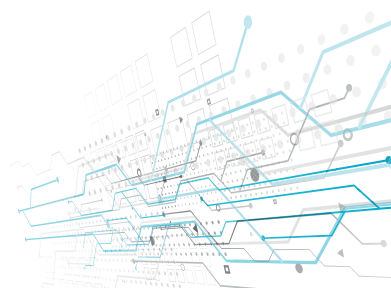
6. Considerações Ambientais e de Sustentabilidade

- **Reciclagem de Material:** Quando possível, promova o uso de materiais reciclados e desenvolva processos que minimizem resíduos. Geralmente, para difusores, recomenda-se a utilização de materiais virgens.
- **Eficiência Energética:** Otimize o processo de extrusão para reduzir o consumo de energia.
- **Conformidade com Regulamentações:** Garanta que os perfis plásticos atendam às regulamentações ambientais e de segurança aplicáveis.

7. Classificação Fiscal

NCM 3916.90.90 - Varas, bastões e perfis, de outros plásticos.

Seguindo essas melhores práticas e considerando cuidadosamente cada um dos fatores discutidos, é possível desenvolver perfis plásticos extrudados de alta qualidade para aplicações em iluminação. A atenção aos detalhes desde a fase de design até a produção final garante que o produto não só atenda aos requisitos funcionais, mas também contribua para a sustentabilidade e eficiência do projeto.



A close-up photograph of a metal heat sink with a series of parallel fins. A black thermal paste is applied in a zig-zag pattern across the top surface of the fins. The lighting is dramatic, highlighting the metallic texture and the smooth surface of the paste.

ABILUX ◊

DISSIPADORES

DISSIPADORES

Os dissipadores são componentes cruciais em diversos sistemas eletrônicos, responsáveis por dissipar o calor gerado pelos componentes eletrônicos para evitar superaquecimento e garantir o funcionamento confiável e eficiente. A escolha correta do dissipador, bem como o seu projeto e desenvolvimento, é essencial para maximizar a eficiência térmica e a durabilidade dos dispositivos. As orientações abaixo apresentam uma série de melhores práticas e itens a serem considerados desde o desenho até a construção da ferramenta para a produção de dissipadores, sejam eles extrudados ou injetados.

Tópicos Sumarizados

1. Análise Térmica Preliminar

- **Cálculo de dissipação de calor:** Determinar a quantidade de calor que precisa ser dissipada.
- **Identificação de fontes de calor:** Localizar os componentes que geram calor e sua distribuição no sistema.

- **Requisitos de desempenho térmico:** Definir as temperaturas operacionais aceitáveis e os limites de temperatura para os componentes.

2. Seleção de Materiais

- **Condutividade térmica:** Escolher materiais com alta condutividade térmica, como alumínio ou cobre.
- **Peso e custo:** Considerar o peso e o custo dos materiais, balanceando eficiência térmica e economicidade.
- **Propriedades mecânicas:** Avaliar a resistência e durabilidade dos materiais sob condições operacionais.

3. Projeto Mecânico

Geometria das aletas: Otimizar o número, espessura, altura e espaçamento das aletas para maximizar a dissipação térmica.

Forma do dissipador: Adaptar o formato do dissipador à área disponível e ao fluxo de ar.

Montagem e fixação: Planejar métodos eficientes de montagem e fixação, considerando facilidade de instalação e remoção.

Qualidade da superfície de contato térmico.

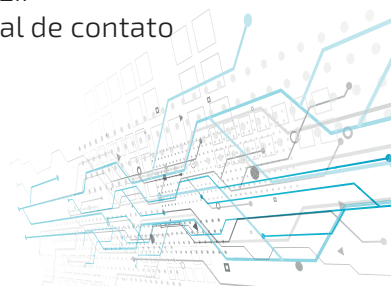
Para garantir desempenho adequado das interfaces térmicas, as superfícies de contato entre dissipador e módulo LED devem apresentar planicidade e rugosidade controladas.

Valores típicos recomendados:

Planicidade da superfície: $\leq 0,05$ mm em áreas de até 100 mm

Rugosidade superficial: $Ra \leq 3,2$ μ m

Superfícies excessivamente rugosas ou deformadas podem reduzir significativamente a área real de contato



térmico, aumentando a resistência térmica da interface e elevando a temperatura de operação dos LEDs.

4. Processo de Fabricação

Extrusão: Projetar perfis extrudados com tolerâncias adequadas e prever possíveis deformações durante a extrusão.

Injeção: Para dissipadores injetados, considerar o fluxo do material, pontos de injeção e linhas de emenda para evitar falhas.

Acabamento superficial: Escolher métodos de acabamento que melhorem a dissipação térmica e protejam contra corrosão.

5. Análise e Testes

Simulações térmicas: Realizar simulações para prever o desempenho térmico do dissipador no ambiente operacional.

Prototipagem: Desenvolver protótipos para testes de validação.

Testes de desempenho: Conduzir testes térmicos reais para verificar a conformidade com os requisitos de projeto.

6. Construção da Ferramenta

Projeto da ferramenta: Detalhar o projeto da ferramenta considerando os requisitos de precisão, durabilidade e manutenção.

Materiais da ferramenta: Escolher materiais de alta resistência para a construção da ferramenta.

Custo e prazo: Balancear o custo da ferramenta com o prazo de desenvolvimento e produção.

7. Considerações de Montagem e Integração

Compatibilidade com outros componentes: Garantir que o dissipador se integre perfeitamente com outros componentes do sistema.

Facilidade de manutenção: Projetar para facilitar a manutenção e substituição do dissipador, se necessário.

Impacto no desempenho geral do sistema: Considerar como o dissipador afeta o desempenho geral do sistema, incluindo fluxo de ar e ruído.

8. Classificação Fiscal

NCM 8487.90.00 - "Outras" partes de máquinas ou aparelhos mecânicos, não especificadas anteriormente, que não contenham conexões elétricas, isolantes, bobinas ou contatos.

O desenvolvimento eficaz de dissipadores requer uma abordagem multidisciplinar que considera fatores térmicos, mecânicos e econômicos. Seguir essas melhores práticas ajudará a garantir que o dissipador atenda aos requisitos de desempenho, seja economicamente viável e se integre bem no sistema final, proporcionando uma solução térmica eficiente e durável.

ABILUX ◊

INTERFACES
TÉRMICAS EM
MÓDULOS DE LEDS
E LUMINÁRIAS

INTERFACES TÉRMICAS EM MÓDULOS DE LEDS E LUMINÁRIAS

A gestão térmica é um dos fatores mais críticos no desenvolvimento de módulos de LEDs e luminárias, influenciando diretamente a eficiência luminosa, a confiabilidade e a vida útil dos sistemas de iluminação.

A tendência do mercado é a utilização de componentes cada vez mais potentes, compactos e com maior densidade de potência, o que resulta em níveis crescentes de estresse térmico. Paralelamente, os fabricantes de luminárias buscam **eficiências luminosas cada vez mais elevadas, expressas pela relação lúmens por watt (lm/W)**, o que impõe novos desafios de engenharia térmica. Nesse cenário, uma gestão térmica integrada de todo o sistema — envolvendo LEDs, placas, interfaces térmicas, dissipadores, óptica e drivers — torna-se fundamental não apenas para

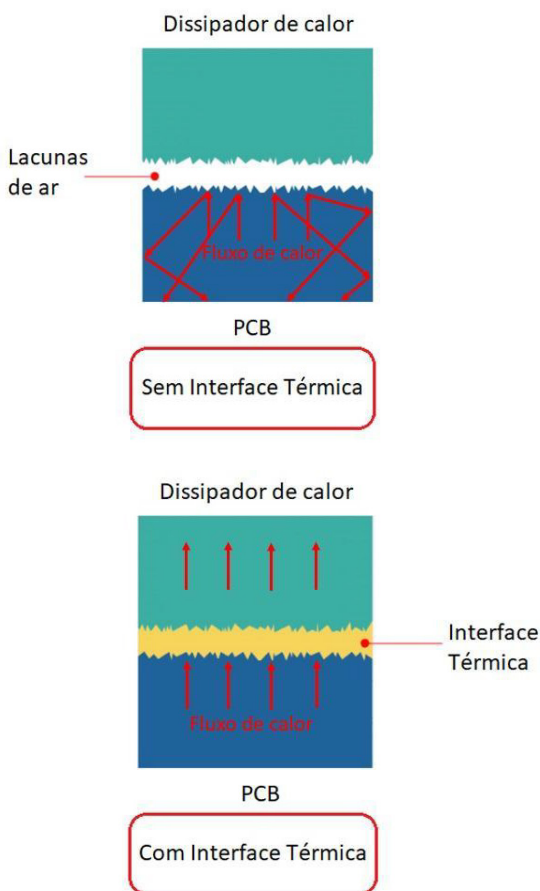
viabilizar ganhos de eficiência, mas também para assegurar estabilidade de desempenho, confiabilidade e maior vida útil ao produto final.

Dentro desse contexto, **as interfaces térmicas (TIMs – Thermal Interface Materials)** exercem um papel relevante ao reduzir a resistência térmica entre superfícies sólidas em contato, viabilizando uma transferência de calor mais eficiente do módulo LED para o dissipador ou para a estrutura mecânica da luminária. **Sistemas térmicos mal dimensionados**, seja por limitações de dissipação, integração inadequada entre componentes ou seleção incorreta de materiais, estão entre as principais causas de desempenho insatisfatório e degradação acelerada em luminárias LED. As interfaces térmicas, quando corretamente especificadas e aplicadas, **contribuem de forma significativa para a mitigação desses riscos**, atuando como um elemento essencial dentro de uma estratégia térmica sistêmica bem projetada.

Mas por que utilizar interfaces térmicas?

Durante o processo de montagem de módulos LED e luminárias, as superfícies de contato entre os componentes apresentam inevitavelmente **irregularidades microscópicas**, que resultam na formação de air gaps (bolsões de ar) entre as superfícies. Como o ar possui **baixa condutividade térmica**, esses espaços atuam como isolantes, dificultando a transferência de calor e elevando a temperatura de operação dos LEDs.

A função das interfaces térmicas é preencher essas irregularidades, substituindo o ar por materiais com condutividade térmica significativamente superior. Com isso, reduz-se a resistência térmica de contato, melhora-se o acoplamento térmico entre os componentes e cria-se um caminho de dissipação de calor mais eficiente e estável, contribuindo para a preservação do desempenho luminoso e da vida útil do sistema.



A seguir, de forma resumida, seguem as melhores práticas para o projeto e a aplicação de interfaces térmicas em luminárias LED, considerando desde a seleção dos materiais até sua correta implementação em diferentes tipos de aplicação. São abordadas soluções como materiais de interface térmica sólidos e fluidos, destacando suas características, limitações e critérios de uso.

Melhores Práticas

1. Análise Inicial do Projeto

- **Determinação da Potência Térmica:** calcular a quantidade de calor gerada pelo módulo LED para dimensionar corretamente a solução de dissipação térmica.
- **Identificação de Áreas Críticas:** mapear pontos de maior concentração de calor e possíveis gargalos térmicos que possam comprometer o desempenho do sistema.

2. Seleção de Materiais

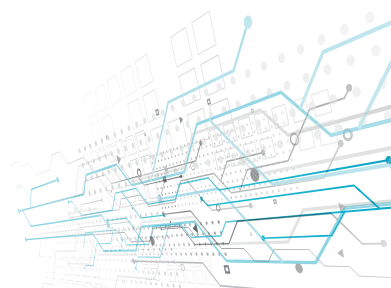
As interfaces térmicas podem ser classificadas, de forma geral, em materiais sólidos (fílmicos) e Materiais fluidos (pastosos). A escolha entre essas categorias deve considerar o projeto mecânico da luminária, as tolerâncias dimensionais, o método de fixação do módulo LED, as condições ambientais e os requisitos de confiabilidade ao longo da vida útil do produto.

Materiais Sólidos (Fílmicos)

Materiais com **forma e espessura definidas**, que oferecem boa repetibilidade dimensional e facilidade de manuseio no processo produtivo. São indicados quando há controle adequado de planicidade das superfícies e pressão de contato disponível no conjunto mecânico.

Principais tipos de materiais sólidos utilizados no mercado:

- **Pads térmicos elastoméricos** (Conformabilidade sob compressão; compensação de pequenas irregularidades superficiais com boa estabilidade ao longo do tempo).



- **Mantas de grafite**
(Altíssima condutividade térmica no plano do material (anisotropia); eficiência no espalhamento térmico – heat spreading).
- **Fitas dupla-face termo condutoras**
(Combinação de adesão mecânica e condução térmica; simplificação da montagem e eliminação de fixações adicionais).

Materiais Fluidos (Pastosos)

Materiais com **alta capacidade de conformação**, capazes de preencher micro e macro irregularidades entre superfícies, resultando em baixa resistência térmica inicial. São indicados para aplicações com maiores variações dimensionais ou quando o controle mecânico das superfícies é limitado.

Principais tipos de materiais fluidos utilizados no mercado:

- **Pastas térmicas**
(Excelente capacidade de preenchimento de irregularidades; baixa resistência térmica inicial).
- **Géis e resinas térmicas**
(Maior estabilidade mecânica em relação às pastas; redução de migração e maior confiabilidade ao longo do tempo).
- **Materiais de mudança de fase (PCM – Phase Change Materials)**
(Transição física em determinada temperatura; melhoria do contato térmico e eliminação de picos térmicos em aplicações pulsadas).
- **Adesivos termo condutores líquidos**
(Cura após aplicação com fixação permanente; integração entre função térmica e estrutural, eliminando fixações mecânicas adicionais).

Considerações para Seleção

A seleção da interface térmica deve sempre levar em conta:

- Rugosidade e planicidade das superfícies em contato
- Pressão de contato efetiva disponível no projeto
- Necessidade de fixação permanente ou possibilidade de retrabalho
- Estabilidade térmica e mecânica ao longo do tempo
- Condições ambientais da aplicação (temperatura, umidade, vibração)

3. Projeto e Implementação da Interface Térmica

O desempenho da **interface térmica depende diretamente de sua integração ao projeto mecânico e térmico da luminária**, não sendo um elemento isolado. A correta implementação exige que o material selecionado opere dentro das condições para as quais foi projetado, considerando pressão de contato, espessura efetiva e estabilidade ao longo do tempo.

Espessura Adequada

A espessura da interface térmica deve ser cuidadosamente selecionada para **preencher apenas as irregularidades existentes**, evitando camadas excessivas. Interfaces demasiadamente espessas aumentam a resistência térmica total do sistema e podem comprometer o desempenho térmico, mesmo quando o material apresenta alta condutividade térmica.

Pressão de Contato

A pressão aplicada sobre a interface térmica é um fator determinante para o seu desempenho. Materiais sólidos

dependem de **compressão adequada** para atingir sua conformabilidade nominal, enquanto materiais fluídos requerem contenção mecânica apropriada para evitar extravasamento ou migração ao longo do tempo. O projeto deve garantir pressão uniforme e estável durante toda a vida útil do produto.

Valores típicos de pressão de contato

Embora os valores exatos dependam do material utilizado e das recomendações do fabricante, alguns intervalos típicos de pressão de compressão para interfaces térmicas são:

- Pads térmicos elastoméricos: aproximadamente 30 kPa a 100 kPa
- Materiais de mudança de fase (PCM): aproximadamente 20 kPa a 50 kPa
- Pastas térmicas: aproximadamente 10 kPa a 30 kPa

Pressões insuficientes podem resultar em contato térmico inadequado e aumento da resistência térmica da interface. Por outro lado, pressões excessivas podem causar extravasamento de materiais fluídos, deformação de componentes ou tensões mecânicas indesejadas no módulo LED ou na placa.

Valores típicos de torque aplicado utilizados para fixar o módulo LED mecanicamente ao dissipador:

- Parafusos M3: aproximadamente 0,5 a 0,7 Nm
- Parafusos M4: aproximadamente 1,2 a 1,6 Nm

A utilização de ferramentas de torque controlado é recomendada para garantir repetibilidade no processo

produtivo e evitar tanto compressão insuficiente da interface térmica quanto tensões mecânicas excessivas na placa.

Maximização da Área de Contato

A interface térmica deve cobrir integralmente a área de dissipação do módulo LED, assegurando um caminho térmico contínuo entre a fonte de calor e o dissipador. Contatos parciais ou desalinhamentos aumentam a resistência térmica local e podem gerar pontos de aquecimento excessivo.

Aplicação Uniforme

A aplicação deve ser realizada de forma homogênea, evitando a formação de bolhas de ar, regiões sem contato ou acúmulos excessivos de material. Procedimentos de montagem bem definidos e repetíveis são essenciais para garantir consistência térmica entre unidades produzidas."

4. Métodos de Aplicação

- **Materiais sólidos (PADs, mantas de grafite, fitas)**
Devem ser cortados no formato adequado e posicionados corretamente sobre superfícies limpas e planas, garantindo alinhamento e pressão uniforme após a fixação do conjunto.
- **Materiais fluídos (pastas, géis, resinas e adesivos)**
Devem ser aplicados em quantidade controlada, suficiente para preencher as irregularidades sem causar extravasamento excessivo. No caso de materiais com cura, os tempos e condições recomendados pelo fabricante devem ser rigorosamente respeitados antes da operação do sistema.



5. Testes e Validação

“A validação da interface térmica deve ser realizada no sistema completo montado, e não apenas em ensaios isolados do material em condições favoráveis laboratoriais. Recomenda-se a realização de:

- Ensaios térmicos em regime permanente após a estabilização térmica do conjunto e em temperaturas ambientes representativas dos piores cenários previstos, avaliando a temperatura de operação dos LEDs e outros componentes do conjunto
- Ciclos térmicos, para estressar a luminária e validar a estabilidade mecânica e interação térmica da interface
- Ensaios ambientais, considerando umidade, vibração e condições típicas da aplicação

Esses testes permitem verificar se foi implementada a melhor interface térmica e se essa mantém seu desempenho ao longo do tempo e sob condições reais de uso.”

6. Classificação Fiscal

- Os materiais de interface térmica (TIMs) podem ser classificados em diferentes NCMs, dependendo de sua composição e forma de fornecimento, incluindo silicone, grafite, materiais poliméricos ou formulações químicas complexas.
- **NCM 3926.90.90** - Pads / artefatos poliméricos
- **NCM 6815.10.90.90** - Outras obras de grafite ou de carbono
- **NCM 3910.00.90** - TIMs tipo pasta térmica base silicone
- **NCM 3824.99.90** - TIMs tipo pasta térmica formulações químicas complexas

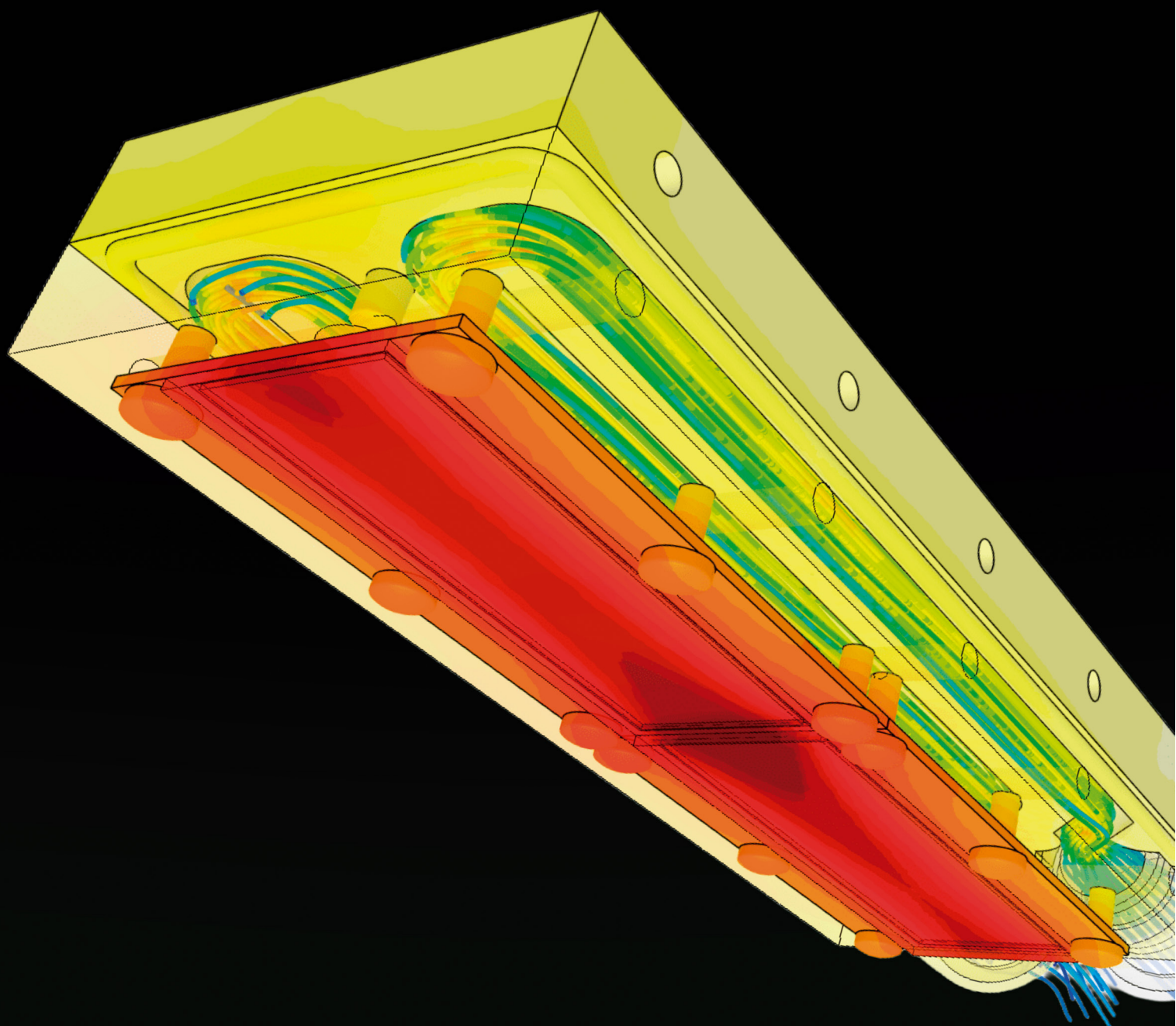
- **NCM 3824.99.90** - TIMs tipo PCM
Preparações químicas e produtos das indústrias químicas, não especificados.

A interface térmica é um elemento essencial dentro da **gestão térmica sistêmica de luminárias LED**, atuando de forma integrada com LEDs, placas, dissipadores, óptica e estrutura mecânica. Sua correta especificação e implementação permitem **reduzir a temperatura de operação, aumentar a eficiência luminosa (lm/W) e prolongar a vida útil e a confiabilidade do produto.**

À medida que o mercado avança para soluções com maior densidade de potência e exigências crescentes de eficiência, a atenção ao projeto térmico — incluindo a escolha adequada das interfaces térmicas — torna-se um diferencial técnico fundamental. A aplicação das boas práticas descritas neste capítulo contribui para o desenvolvimento de luminárias mais robustas, eficientes e alinhadas às demandas atuais e futuras da indústria de iluminação.

ABILUX ◊

SIMULAÇÕES CFD E
OTIMIZAÇÃO COM
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM
LUMINÁRIAS LED



SIMULAÇÕES CFD E OTIMIZAÇÃO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM LUMINÁRIAS LED

O aumento contínuo da densidade de potência térmica em luminárias LED, aliado à busca por maiores eficiências luminosas (lm/W) e maior confiabilidade, exige abordagens de engenharia cada vez mais robustas e preditivas. Nesse contexto, o uso de **simulações CFD (Computational Fluid Dynamics)** tornou-se uma ferramenta essencial no desenvolvimento de sistemas de iluminação, permitindo a análise detalhada da dissipação térmica e do escoamento de ar antes da construção de protótipos físicos.

Mais recentemente, técnicas de **Inteligência Artificial (IA)** passaram a complementar as simulações tradicionais, ampliando a capacidade de exploração do espaço de projeto e acelerando a identificação de soluções otimizadas. A combinação de CFD com IA representa uma evolução natural do processo de desenvolvimento térmico, possibilitando projetos mais eficientes, confiáveis e competitivos.

1. Simulações CFD Aplicadas à Iluminação LED

1.1. Objetivo das Simulações CFD

As simulações CFD permitem avaliar, de forma preditiva, o comportamento térmico de luminárias LED considerando a interação entre **condução, convecção e radiação térmica**. Essa abordagem possibilita compreender como o calor gerado pelos LEDs e demais componentes é transferido para o ambiente, identificando limitações do projeto ainda nas fases iniciais de desenvolvimento.

1.2. Aplicações Típicas de CFD em Luminárias

- Análise de convecção natural e forçada
- Identificação de zonas de estagnação de ar
- Avaliação da influência da orientação da luminária
- Comparação de geometrias de dissipadores
- Avaliação do impacto térmico de invólucros, selantes, vernizes e óptica
- Estimativa da temperatura de operação em condições ambientais extremas

1.3 Boas Práticas de Modelagem CFD

- **Definição realista das fontes térmicas**
Modelar a potência térmica dissipada pelos LEDs, drivers e eletrônica auxiliar considerando eficiência elétrica real, perdas internas e condições de operação.
- **Propriedades térmicas confiáveis**
Utilizar dados realistas de condutividade térmica, calor

específico, densidade e emissividade dos materiais envolvidos.

- **Condições de contorno representativas**

Considerar temperatura ambiente, restrições de ventilação, orientação da luminária e possíveis obstruções externas.

- **Granularidade adequada do modelo**

Evitar simplificações excessivas que possam mascarar gargalos térmicos, equilibrando nível de detalhe e viabilidade computacional.

1.4. Pontos de Atenção nas Simulações CFD

- Os resultados dependem fortemente das premissas adotadas.
- Fenômenos como acúmulo de poeira, envelhecimento de materiais e variações de instalação nem sempre são totalmente representados.
- Simulações CFD não substituem ensaios físicos, devendo ser utilizadas como ferramenta de apoio ao projeto.

1.5 Validação dos Resultados

Os resultados obtidos por CFD devem ser sempre correlacionados com medições térmicas em protótipos, utilizando sensores de temperatura, termopares ou câmeras termográficas. Essa etapa é essencial para garantir confiabilidade e consistência entre modelo e aplicação real.

- **Temperatura de junção do LED**

Durante os testes térmicos, deve-se garantir que a temperatura de junção do LED (T_j) permaneça dentro dos limites especificados pelo fabricante. Em muitas aplicações de iluminação LED, recomenda-se que a temperatura

de junção permaneça preferencialmente abaixo de 105 °C para garantir estabilidade luminosa e maior vida útil do sistema.

- **Métodos de medição térmica**

A avaliação da eficiência da interface térmica pode ser realizada por diferentes métodos de medição de temperatura no sistema montado. Entre os métodos mais utilizados destacam-se:

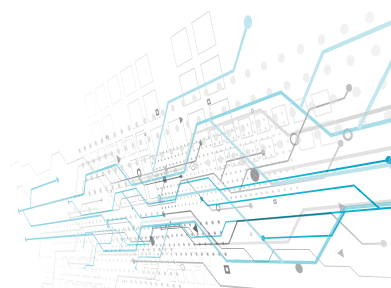
- Medição por termopares posicionados próximos aos LEDs ou em pontos críticos do módulo
- Termografia infravermelha para identificação de gradientes térmicos e pontos quentes (hot spots)
- Método da tensão direta do LED (Forward Voltage Method), que permite estimar a temperatura de junção a partir da variação da tensão direta do LED

Essas medições devem ser realizadas após a estabilização térmica da luminária e preferencialmente nas condições ambientais mais severas previstas para a aplicação.

2. Otimização de Projetos Térmicos com Inteligência Artificial

2.1 IA como Complemento ao CFD

A Inteligência Artificial surge como uma ferramenta complementar às simulações CFD, especialmente eficaz quando há grande número de variáveis de projeto. Algoritmos de aprendizado de máquina permitem analisar dados provenientes de simulações e testes físicos, identificando padrões e relações complexas que seriam difíceis de explorar manualmente.



2.2 Aplicações Práticas de IA em Gestão Térmica

- **Otimização geométrica de dissipadores**
Ajuste automático de altura, espessura, espaçamento e orientação de aletas.
- **Exploração acelerada do espaço de projeto**
Avaliação simultânea de centenas ou milhares de configurações geométricas e materiais.
- **Modelos preditivos de temperatura**
Estimativa rápida de temperaturas de operação a partir de parâmetros construtivos e ambientais.
- **Redução de ciclos de prototipagem**
Priorização de soluções com maior probabilidade de atender aos requisitos térmicos.

2.3 Boas Práticas no Uso de IA

- Utilizar **bases de dados confiáveis**, provenientes de CFD validado e ensaios físicos.
- Manter **supervisão de engenharia**, evitando decisões exclusivamente baseadas em modelos "caixa-preta".
- Atualizar continuamente os modelos com novos dados experimentais.

2.4 Pontos de Atenção no Uso de IA

- A IA não corrige erros conceituais de projeto.
- Resultados dependem diretamente da qualidade e diversidade dos dados de entrada.

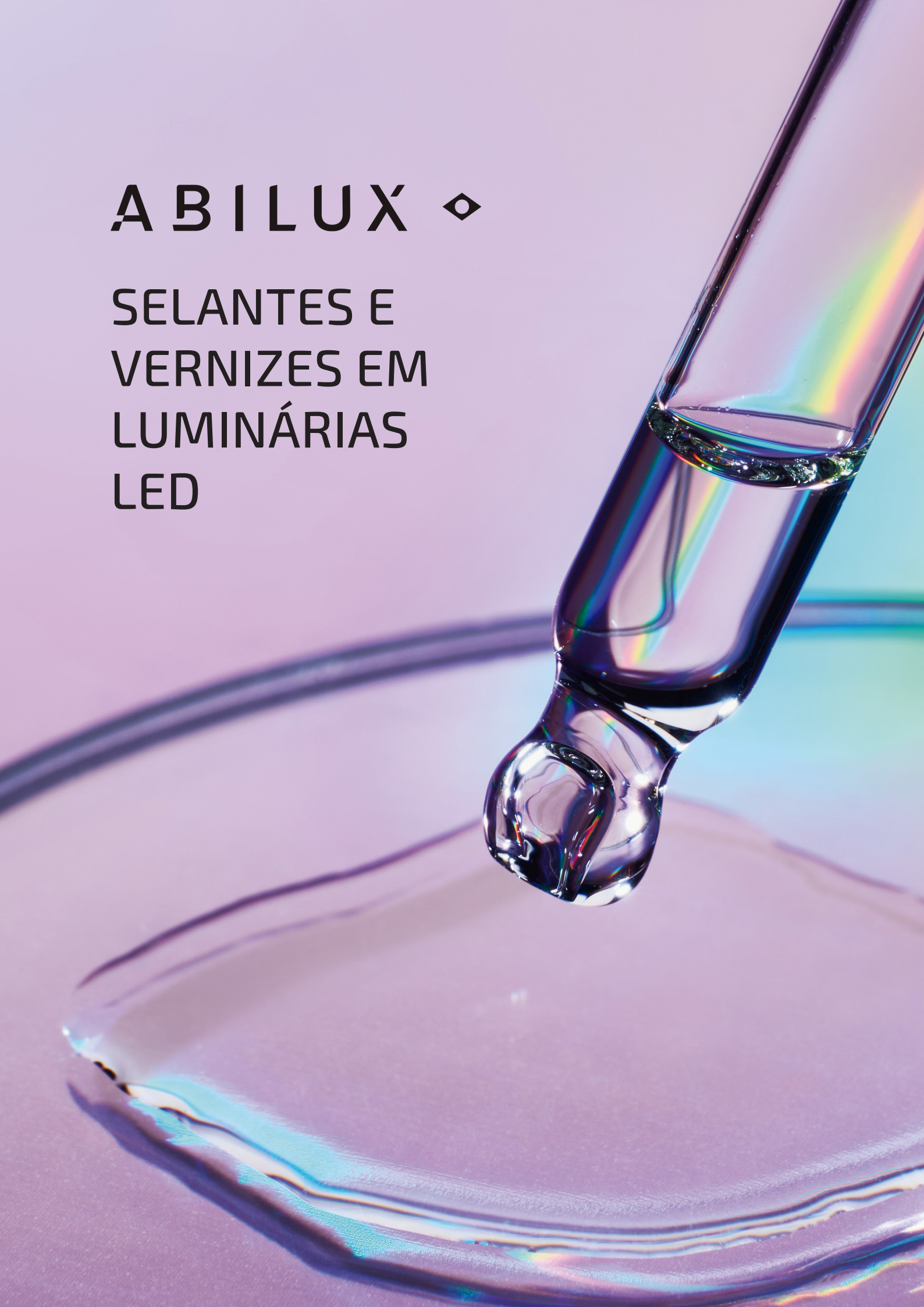
- A validação experimental continua sendo obrigatória.

O uso de **simulações CFD** constitui hoje uma prática fundamental no desenvolvimento térmico de luminárias LED, permitindo decisões de engenharia mais seguras e eficientes. A incorporação de **técnicas de Inteligência Artificial** como complemento amplia ainda mais o potencial de otimização, reduzindo tempo de desenvolvimento e aumentando a qualidade das soluções obtidas.

A combinação dessas ferramentas, aliada às boas práticas de projeto e validação experimental, permite enfrentar os desafios impostos pela crescente densidade de potência e pelas exigências de eficiência e confiabilidade do mercado, contribuindo para o desenvolvimento de luminárias LED mais robustas, eficientes e competitivas.

ABILUX ◊

**SELANTES E
VERNIZES EM
LUMINÁRIAS
LED**



SELANTES E VERNIZES EM LUMINÁRIAS LED

Selantes e vernizes desempenham um papel essencial na confiabilidade de luminárias LED, atuando na **proteção contra as condições do ambiente**, bem como na proteção elétrica, mecânica e química dos sistemas de iluminação. Em aplicações externas, industriais ou sujeitas a ambientes agressivos, esses materiais são frequentemente determinantes para o atendimento aos requisitos de vedação, segurança e vida útil do produto.

Além da função de proteção, selantes e vernizes **interagem diretamente com o desempenho térmico, óptico e químico da luminária**. Quando especificados ou aplicados sem uma análise sistêmica, podem resultar em efeitos indesejáveis, como aumento da temperatura de operação, redução do fluxo luminoso, **alteração da temperatura de cor emitida pelos LEDs em decorrência da degradação do fósforo**, além de falhas prematuras. Por esse motivo, sua seleção deve ser tratada como parte integrante do projeto térmico, óptico e mecânico da luminária.

1. Função dos Selantes e Vernizes no Sistema

De forma geral, selantes e vernizes são utilizados para:

- Proteger componentes contra poeira, umidade, água e agentes químicos presentes no ambiente
- Contribuir para o atendimento aos níveis de vedação IP
- Aumentar a confiabilidade elétrica de placas e circuitos
- Reduzir riscos de corrosão e contaminação
- Minimizar o ingresso de água por capilaridade
- Auxiliar na fixação mecânica e no amortecimento de vibração

Essas funções devem sempre ser analisadas em conjunto com os impactos térmicos, ópticos e químicos introduzidos no sistema.

2. Tipos de Materiais e Diferenças Técnicas

• Vernizes de Proteção (Conformal Coatings)

Os vernizes de proteção são aplicados em camadas finas sobre PCBs e componentes eletrônicos, criando uma barreira contra umidade, poeira e contaminantes, sem encapsular completamente o circuito. Dependendo da formulação, **podem inclusive ser aplicados diretamente sobre LEDs**, quando o objetivo é criar uma blindagem adicional contra fatores externos.

As principais famílias apresentam características distintas:

- **Acrílicos**
Fácil aplicação e possibilidade de retrabalho, porém apresentam tendência ao amarelamento ao longo

do tempo, especialmente sob exposição térmica e UV.

- **Poliuretanos**
Amplamente utilizados na indústria eletrônica, apresentam boa resistência química e à umidade, excelente capacidade de transmissão da luz e são frequentemente aplicados diretamente sobre LEDs para proteção contra fatores ambientais.
- **Silicones**
Destacam-se pela elevada estabilidade térmica e pela capacidade de absorção de choques mecânicos e impactos, acompanhando melhor dilatações e contrações do conjunto.
- **Epóxi**
Possuem alta resistência mecânica e química, mas podem amarelar e tornam-se extremamente rígidos após a cura, o que pode gerar estresse mecânico significativo sobre componentes eletrônicos, soldas e substratos.

Independentemente do tipo, os vernizes atuam como isolantes térmicos. Camadas excessivas ou aplicação em regiões críticas podem elevar a temperatura de operação de LEDs, PCBs e componentes eletrônicos sensíveis.

Selantes e Resinas de Encapsulamento (Potting Compounds)

Selantes e resinas de encapsulamento são utilizadas quando se busca maior nível de vedação contra as condições do ambiente, proteção mecânica e fixação estrutural, sendo comuns em drivers, conexões e módulos auxiliares.

Esses materiais podem ser formulados à base de:

- **Silicone**, com alta flexibilidade e boa estabilidade térmica
- **Poliuretano**, oferecendo equilíbrio entre rigidez e flexibilidade
- **Epóxi**, com elevada rigidez e excelente vedação, porém maior geração de estresse mecânico

A maioria das resinas convencionais apresenta **baixa condutividade térmica**. Existem, entretanto, versões termo condutivas, utilizadas para **homogeneizar o calor gerado por componentes eletrônicos**, reduzir pontos quentes e melhorar a confiabilidade térmica, especialmente em drivers e fontes de alimentação.

3. Impactos ópticos e térmicos

A aplicação de selantes e vernizes em regiões próximas aos LEDs ou ao caminho óptico pode afetar diretamente o desempenho da luminária.

• Fluxo Luminoso

Materiais aplicados sobre LEDs, ópticas ou áreas adjacentes podem causar:

- Absorção parcial da luz
- Reflexões difusas indesejadas
- Deposição de contaminantes ao longo do tempo

Esses efeitos resultam em redução do fluxo luminoso efetivo da luminária.

• Temperatura de Cor e Estabilidade Cromática

A degradação de materiais próximos ao LED pode provocar:

- **Degradação do fósforo**, resultando em alteração da temperatura de cor emitida pelos LEDs



- **Deslocamento cromático** progressivo ao longo do tempo

Esses efeitos são particularmente críticos em aplicações que exigem elevada estabilidade cromática.

4. Compatibilidade Química e Emissão de Voláteis – Ponto Crítico

Todos os materiais aplicados **sobre ou nas proximidades dos LEDs**, incluindo vernizes, selantes, adesivos, resinas de encapsulamento e componentes plásticos do invólucro, **devem ser preferencialmente submetidos a testes de compatibilidade química**.

Sempre que possível, devem ser priorizados **materiais não-VOC, que não emitam compostos orgânicos voláteis, pois esses voláteis** são os principais responsáveis por interações químicas com o fósforo dos LEDs e, conseqüentemente, pela aceleração de processos de degradação óptica.

Mesmo em materiais classificados como não-VOC, é fundamental avaliar:

- A **quantidade total de voláteis emitidos**
- O risco de condensação interna, especialmente em ópticas

A emissão excessiva de voláteis, ainda que não classificados como VOC, pode:

- Condensar no interior das ópticas
- Alterar o **ângulo de abertura da luz emitida**
- Reduzir o fluxo luminoso efetivo
- Interagir quimicamente com a óptica, provocando trincas, opacificação ou desbranqueamento

Por esse motivo, todos os materiais devem ser avaliados em condições reais de operação e ao longo do tempo, permitindo compreender seu comportamento

químico, térmico e óptico ao longo da vida útil da luminária.

É altamente recomendável **trabalhar com fabricantes especializados em materiais para a indústria eletrônica**, que desenvolvem produtos especificamente formulados para esse tipo de aplicação, com compatibilidade química comprovada, baixa emissão de voláteis e certificações adequadas.

5. Vedação, IP e Comportamento em Campo

- **Vedação e Níveis IP**

Selantes e vernizes contribuem para o atendimento aos níveis IP da luminária, mas não devem ser considerados como solução isolada. A vedação efetiva depende da integração entre projeto mecânico, juntas, conectores, cabos e materiais de vedação.

- **Capilaridade, Ciclos Térmicos e Efeito de Bombeamento**

Durante a operação, a luminária é submetida a ciclos térmicos que provocam:

- Dilatação e contração do ar interno
- Variações de pressão interna

Esses fenômenos podem gerar o **efeito de bombeamento**, favorecendo o ingresso de umidade e contaminantes ao longo do tempo, mesmo em luminárias seladas. Materiais excessivamente rígidos tendem a fissurar, enquanto materiais com flexibilidade controlada acompanham melhor as variações dimensionais, reduzindo o risco de falhas.

6. Boas Práticas de Especificação e Aplicação

- Avaliar impactos térmicos, ópticos e mecânicos antes da aplicação

- Priorizar materiais **não-VOC e de baixa emissão total de voláteis**
- Realizar testes de compatibilidade química e envelhecimento
- Controlar espessura e área de aplicação
- Evitar recobrimento desnecessário do caminho óptico
- Trabalhar com fornecedores especializados e certificados
- Validar o conjunto em **condições reais de operação e ao longo do tempo**, por meio de ensaios térmicos, ambientais e de envelhecimento acelerado

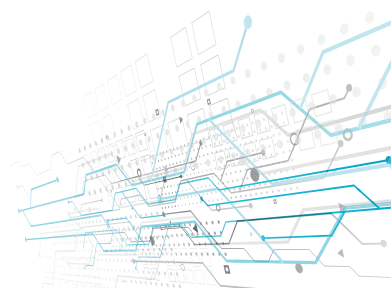
7. Classificação Fiscal

- **NCM 3208.90.00** - Outros vernizes à base de polímeros sintéticos ou modificados, em meio não aquoso.
- **NCM 3209.10.20** - Vernizes à base de polímeros acrílicos ou vinílicos, em meio aquoso
- **NCM 3214.10.10** – Mástiques e selantes, cimentos de resina, massas de vedação (aplica-se a selantes de silicone, PU e híbridos utilizados em vedação e proteção de luminárias)
- **NCM 3210.00.20** - Outros vernizes de isolamento.

Selantes e vernizes são elementos fundamentais para a confiabilidade de luminárias LED, mas sua especificação exige uma abordagem integrada e criteriosa. Quando corretamente selecionados, validados e aplicados, contribuem para proteção contra as condições do ambiente, estabilidade térmica e desempenho óptico ao longo do tempo. Quando negligenciados, podem comprometer

severamente o fluxo luminoso, a estabilidade cromática e a vida útil do produto.

A aplicação consistente das boas práticas descritas neste capítulo permite o desenvolvimento de luminárias mais robustas, confiáveis e alinhadas às exigências técnicas atuais e futuras da indústria de iluminação.





ABILUX ◊

COMPATIBILIDADE
QUÍMICA ENTRE
MATERIAIS EM
LUMINÁRIAS LED

COMPATIBILIDADE QUÍMICA ENTRE MATERIAIS EM LUMINÁRIAS LED

Luminárias LED são sistemas compostos por diversos materiais que interagem simultaneamente em níveis óptico, térmico, elétrico e químico. O desempenho e a durabilidade da luminária dependem não apenas da qualidade individual de cada componente, mas também da compatibilidade química entre os materiais utilizados no conjunto.

Os LEDs são dispositivos optoeletrônicos sensíveis à contaminação química, especialmente em ambientes confinados como luminárias, onde vapores liberados por materiais adjacentes podem se acumular e interagir com superfícies ópticas e encapsulantes.

Materiais presentes em luminárias LED, como encapsulantes, silicones, adesivos, interfaces térmicas (TIM), plásticos ópticos, selantes, cabos e coatings, podem liberar compostos voláteis quando expostos a temperaturas elevadas durante a operação. Esses compostos podem reagir com outros materiais do sistema ou se depositar

sobre superfícies ópticas, comprometendo o desempenho da luminária.

Entre os efeitos observados em casos de incompatibilidade química destacam-se:

- escurecimento ou turvação de lentes e difusores
- degradação do encapsulamento do LED
- delaminação de materiais
- carbonização de superfícies
- alteração da temperatura de cor correlata (CCT)
- redução do fluxo luminoso

Esses fenômenos podem ocorrer gradualmente ao longo da vida útil do produto, resultando em perda de desempenho óptico e redução da confiabilidade da luminária.

Dessa forma, a avaliação da compatibilidade química entre materiais constitui uma etapa importante no desenvolvimento e validação de luminárias LED.

1. Materiais críticos no sistema LED

Diversos materiais utilizados na construção de luminárias LED podem atuar como fontes potenciais de compostos voláteis ou reagentes químicos.

Entre os materiais mais críticos destacam-se:

- silicones utilizados em encapsulantes e vedação
- adesivos estruturais ou ópticos
- materiais de interface térmica (TIM)
- plásticos ópticos (lentes, difusores e guias de luz)
- selantes e elastômeros de vedação
- vernizes e coatings protetivos



- espumas e isolantes térmicos
- cabos e componentes poliméricos

Esses materiais podem liberar compostos orgânicos voláteis (VOCs), plastificantes ou outros subprodutos químicos que podem interagir com o encapsulamento do LED, com o fósforo ou com elementos ópticos.

A seleção adequada desses materiais deve considerar não apenas suas propriedades individuais, mas também sua interação com os demais componentes do sistema.

2. Principais mecanismos de incompatibilidade química

Os problemas de compatibilidade química em luminárias LED podem ocorrer por diferentes mecanismos.

2.1. Liberação de compostos orgânicos voláteis (VOCs)

Alguns materiais poliméricos podem liberar vapores quando submetidos a temperaturas elevadas durante a operação da luminária.

Esses vapores podem:

- reagir com o encapsulante do LED
- depositar-se sobre superfícies ópticas
- causar escurecimento ou trincas de lentes ou difusores.

Esse fenômeno é particularmente relevante em luminárias com ambiente interno confinado.

2.2 Migração de plastificantes ou aditivos

Certos materiais poliméricos contêm plastificantes ou aditivos que podem migrar ao longo do tempo.

Essa migração pode provocar:

- alteração da transparência de materiais ópticos
- degradação de polímeros adjacentes
- alteração de propriedades mecânicas.

2.3 Reações químicas induzidas por temperatura ou radiação

Temperaturas elevadas e radiação ultravioleta podem acelerar reações químicas entre materiais próximos.

Essas reações podem provocar:

- oxidação de superfícies
- carbonização de materiais
- alteração de coloração.

2.4 Deposição de contaminantes em superfícies ópticas

Compostos liberados por materiais próximos podem se depositar sobre superfícies ópticas, como lentes ou difusores.

Esse fenômeno pode resultar em:

- redução da transmissão luminosa
- manchas ou turvação da lente
- alteração da distribuição fotométrica da luminária.

2.5 Contaminação molecular em sistemas LED

Materiais utilizados em luminárias LED podem liberar compostos orgânicos voláteis (VOCs) ou outros subprodutos químicos quando submetidos a temperaturas elevadas durante a operação.

Esses compostos podem se depositar sobre superfícies ópticas ou reagir com

materiais sensíveis presentes no LED, especialmente o encapsulante e as camadas de fósforo.

Entre os contaminantes potencialmente críticos destacam-se compostos sulfurados, aminas, halogênios e vapores orgânicos provenientes de silicões, adesivos, selantes, espumas ou outros materiais poliméricos.

Esse fenômeno, conhecido como contaminação molecular, pode provocar:

- redução do fluxo luminoso
- escurecimento ou turvação de lentes
- alteração da temperatura de cor (CCT)
- degradação do encapsulamento do LED

Por esse motivo, a seleção de materiais em luminárias LED deve considerar não apenas suas propriedades individuais, mas também sua compatibilidade química quando utilizados em conjunto dentro do sistema.

3. Importância da avaliação de compatibilidade química

A verificação da compatibilidade química entre materiais é fundamental para garantir:

- estabilidade do fluxo luminoso ao longo do tempo
- manutenção da cor da luz emitida
- preservação das propriedades ópticas das lentes
- durabilidade dos encapsulantes e polímeros

Materiais que apresentam estabilidade química quando avaliados isoladamente podem apresentar comportamento indesejado quando utilizados em conjunto.

Assim, recomenda-se que a avaliação de compatibilidade química seja realizada durante as fases de desenvolvimento e validação do produto.

4. Teste de compatibilidade química

O teste de compatibilidade química tem como objetivo avaliar o impacto de substâncias ou materiais próximos ao LED sobre seu desempenho e integridade.

O ensaio consiste em expor LEDs em funcionamento a diferentes materiais ou vapores potencialmente reativos, monitorando possíveis alterações ao longo do tempo.

Entre os parâmetros avaliados destacam-se:

- variação do fluxo luminoso
- mudança na tonalidade da luz
- alteração da temperatura de cor correlata (CCT)
- degradação visível do encapsulamento ou da lente
- formação de depósitos ou resíduos.

O ensaio deve incluir LEDs de controle, que não são expostos à substância testada, permitindo a comparação direta dos resultados.

5. Procedimento simplificado de ensaio

5.1. Preparação do ensaio

O LED deve ser montado em dissipador adequado, com interface térmica apropriada, garantindo operação em regime térmico estável.

O ambiente de teste deve permitir observação clara do LED em funcionamento.



5.2. Exposição ao material em teste

A exposição pode ocorrer de duas formas.

Contato direto

A substância química é aplicada diretamente sobre a superfície do LED ou do encapsulante.

Exposição a vapores

O material é posicionado próximo ao LED, permitindo que vapores liberados interajam com o componente.

Para simular o ambiente confinado de luminárias, podem ser utilizadas pequenas câmaras ou frascos de vidro posicionados sobre os LEDs.

5.3. LEDs de controle

O ensaio deve incluir LEDs de referência, sem exposição ao material testado, permitindo a comparação do desempenho ao longo do tempo.

5.4. Monitoramento do ensaio

Durante o teste devem ser observados:

- intensidade luminosa
- alteração de cor
- formação de depósitos
- danos físicos no LED.

O acompanhamento visual pode ser realizado periodicamente ao longo do ensaio.

6. Duração do teste

Para avaliar efeitos de degradação gradual, recomenda-se que os LEDs permaneçam em operação por períodos prolongados.

Em muitos casos, utiliza-se como referência um período mínimo de

aproximadamente 1.000 horas de operação, permitindo a observação de possíveis efeitos acumulativos.

O tempo total de exposição pode variar conforme a aplicação da luminária e o grau de agressividade do material testado.

7. Avaliação dos resultados

Após o período de exposição, o LED testado deve ser comparado com o LED de controle.

Os resultados podem ser classificados como:

Compatibilidade química satisfatória

Não são observadas alterações perceptíveis no fluxo luminoso, na cor da luz ou na integridade física do LED.

Compatibilidade química insatisfatória

São observadas alterações como:

- redução perceptível do brilho
- mudança de tonalidade da luz
- descoloração do encapsulamento
- formação de depósitos ou manchas.

Nesses casos, o material testado deve ser considerado potencialmente incompatível com o sistema LED.

8. Medição objetiva do fluxo luminoso

Quando disponível, instrumentos de medição podem ser utilizados para complementar a avaliação visual.

O uso de um luxímetro portátil pode permitir a comparação quantitativa da intensidade luminosa antes e após o ensaio.

Embora esse método não substitua medições fotométricas completas, ele pode fornecer uma indicação inicial da variação do desempenho luminoso.

9. Boas práticas de engenharia

Para reduzir riscos de incompatibilidade química em luminárias LED recomenda-se:

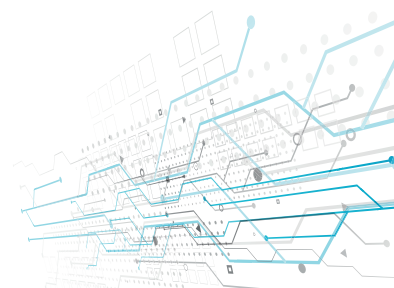
- selecionar materiais com histórico comprovado de uso em aplicações de iluminação
- consultar recomendações de compatibilidade fornecidas pelos fabricantes de LEDs
- evitar materiais com alta emissão de compostos orgânicos voláteis (VOCs)
- realizar testes de compatibilidade durante o desenvolvimento do produto
- validar o sistema completo da luminária em condições representativas de operação
- considerar a proximidade entre materiais e o confinamento de vapores no interior da luminária.

A adoção dessas práticas contribui para aumentar a confiabilidade do sistema de iluminação e garantir estabilidade óptica e luminosa ao longo da vida útil do produto.

Materiais complementares sobre este assunto:

<https://downloads.cree-led.com/files/da/x/XLamp-Chemical-Compatibility.pdf>

https://ledil.com/wp-content/uploads/2021/09/LEDiL_Installation_guide_09112021.pdf





ABILUX ◊

**DISPOSITIVOS
DE PROTEÇÃO
DE SURTO EM
LUMINÁRIAS
PÚBLICAS**

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DE SURTO EM LUMINÁRIAS PÚBLICAS

A proteção adequada contra surtos é essencial para garantir a longevidade e a eficiência das luminárias públicas. Os surtos de energia podem ser causados por relâmpagos, comutação de equipamentos elétricos e outras anomalias da rede elétrica. A seleção de dispositivos de proteção de surto (DPS) adequados é crucial para proteger os componentes eletrônicos sensíveis das luminárias e assegurar a segurança pública. As orientações abaixo oferecem uma visão geral das melhores práticas e fatores a serem considerados na seleção de DPS para luminárias públicas, além de apresentar diferentes tecnologias disponíveis no mercado.

A iluminação LED está substituindo cada vez mais as fontes de luz tradicionais (vapor de mercúrio, iodetos

metálicos e vapor de sódio) em aplicações externas, como resultado das revoluções tecnológicas na eficiência dos LEDs (maior lúmen por watt), na óptica secundária (lentes/refletores melhores) e na maior dissipação térmica. No entanto, o custo inicial da instalação de iluminação LED externa pode ser substancial; esse custo é justificado e o retorno do investimento é estabelecido com base na menor demanda de potência, no menor custo de manutenção e na maior vida útil que oferece. Para proteger a iluminação LED externa contra falhas dentro de um período de retorno do investimento de cerca de cinco anos, a iluminação deve oferecer alta durabilidade e confiabilidade. Surtos transitórios em linhas de energia CA, que podem danificar luminárias, representam uma ameaça significativa para instalações de iluminação LED externa.

Sobretensão indireta induzida por raios

Quando equipamentos elétricos próximos são ligados ou desligados, podem ocorrer surtos transitórios de sobretensão nas linhas de energia CA.

Descargas atmosféricas próximas também podem gerar surtos transitórios nas linhas de energia CA (Figura 1), especialmente em ambientes externos.

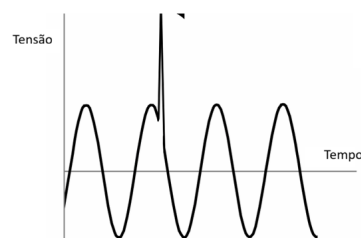


Figura 1 - Surto de tensão na linha AC resultante de um raio indireto

Os raios são descargas eletrostáticas que geralmente se propagam de nuvem para nuvem ou de nuvem para o solo, com magnitudes de milhões de volts (Figura 2).



Descargas atmosféricas indiretas, mesmo aquelas que ocorrem a vários quilômetros de distância, podem induzir campos magnéticos que geram

surtos de milhares de volts em fios de cobre condutores de corrente, como os cabos aéreos e subterrâneos que alimentam a iluminação pública. Essas descargas indiretas, que produzem

níveis de energia com magnitudes superiores a 1000 A²s, podem ser caracterizadas por formas de onda específicas.

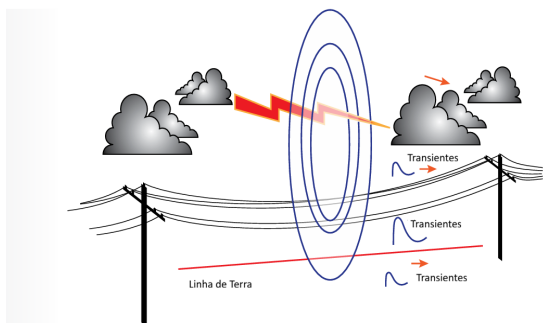


Figura 2 - Raios indiretos podem induzir campos magnéticos nas linhas de energia, de forma a produzir surtos elevados

Os surtos produzidos por tempestades elétricas podem afetar negativamente as instalações de iluminação LED externas.

A luminária (a combinação de um módulo de luz com um equipamento de controle para formar um sistema de iluminação) é suscetível a danos tanto no modo diferencial quanto no modo comum:

- Modo Diferencial – Transientes de alta tensão/corrente entre os terminais Linha-Neutro (L-N) ou Linha-Linha (L-L) da luminária podem danificar componentes na fonte de alimentação ou na placa do módulo LED.
- Modo Comum – Transientes de alta tensão/corrente entre os terminais L-G (terra) ou N-G (terra) da luminária podem danificar o isolamento de segurança na fonte de alimentação ou na placa do módulo LED, incluindo o isolamento do LED ao dissipador de calor.

Com base em levantamentos de campo e estatísticas de anos de dados sobre descargas atmosféricas nos Estados Unidos, o IEEE (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos) recomenda critérios de teste para formas de onda de surtos induzidos e níveis de energia para locais internos/externos (Categoria A/B/C). As recomendações do IEEE foram então utilizadas pelo ANSI (Instituto Nacional Americano de Padrões) e pelo DOE (Departamento de Energia) quando os padrões de teste foram estabelecidos nos Estados Unidos.

Incorporar um circuito robusto de supressão de surtos em uma luminária LED externa pode eliminar, ou diminuir muito os danos causados por surtos de energia, aumentando a confiabilidade, minimizando a manutenção e prolongando a vida útil da instalação de iluminação (Figura 3). Um subconjunto de proteção contra surtos que pode suprimir surtos excessivos para níveis de tensão mais baixos é uma maneira ideal de proteger o investimento nas luminárias LED.

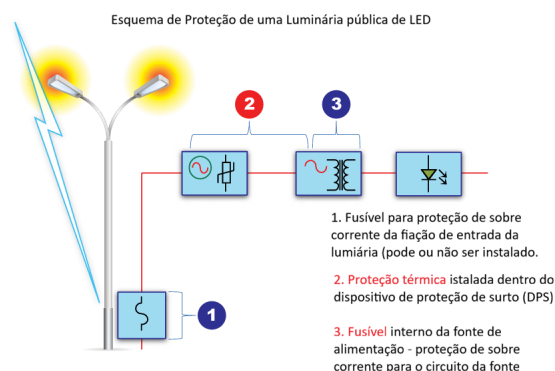


Figura 3

Componentes que protegem contra surtos induzidos

A proteção da iluminação LED externa contra surtos induzidos por raios requer o desvio do surto de alta tensão/corrente para longe dos componentes eletrônicos sensíveis da luminária. Uma variedade de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) é usada na iluminação LED externa

para suprimir a energia do surto e minimizar seu impacto. Estes incluem varistores de óxido metálico (MOVs), tubos de descarga de gás (GDTs) e diodos de supressão de tensão transitória (TVS) (A Figura 4 mostra graficamente como cada um desses componentes atua para proteção contra surtos). Esses componentes são projetados para permanecerem em “modo de espera” no circuito durante a operação normal. Quando ocorre um surto de alta tensão/ corrente anormal, eles são ativados para absorver o surto e, em seguida, retornam ao modo de espera.

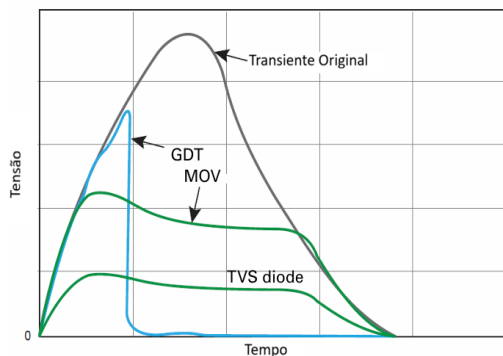


Figura 4 - Como os componentes GDTs, MOVs e TVS diodes respondem ao surto de transiente para suprimir os surtos de tensão/corrente

Das tecnologias descritas na Tabela 1, os MOVs são os preferidos e amplamente utilizados para proteção contra surtos em painéis de distribuição de energia devido à sua alta capacidade de suportar energia de surto e à rápida resposta à tensão transitória. Portanto, os MOVs também são adequados para uso como dispositivos de proteção contra surtos em aplicações de iluminação LED externa.

Technology	GDT	MOV	TVS Diode
Surge Handling Capability (8/20µs)	High (1kA-100kA)	High (0.1kA-100kA)	Medium (0.1kA-15kA)
Response Time	Slow (ns)	Fast (ns)	Faster (ps)
Max. Clamping Voltage	High	Medium	Low
Leakage Current	No	Low	Low
Follow-on Current	Yes	No	No
Fatigue	Yes	Yes	No

Tabela 1 - Tecnologia de componentes para proteção de surto

Indicação de Fim de Vida/ Substituição para DPS

Quando um MOV superaquece devido a sobretensão temporária ou corrente de fuga excessiva, um dispositivo de desconexão térmica pode ser usado para removê-lo do circuito CA. No entanto, com o MOV removido do circuito, o módulo DPS deixa de fornecer supressão de surtos. Portanto, é importante fornecer uma indicação adequada para que a equipe de manutenção saiba que o DPS não está funcionando e precisa ser substituído.

Os projetistas de luminárias podem escolher entre dois tipos principais de configurações de módulos DPS com base em suas estratégias de manutenção e garantia. São eles: subconjuntos de proteção contra surtos conectados em paralelo, ou em série.

- Conexão em Paralelo – O módulo SPD é conectado em paralelo com a carga. Um módulo SPD que atingiu o fim de sua vida útil é desconectado da fonte de alimentação, enquanto a fonte de alimentação CA/ CC permanece energizada. A iluminação continua funcionando, mas a proteção contra o próximo surto ao qual a fonte de alimentação e o módulo de LED estão expostos é perdida. Em um módulo SPD conectado em paralelo, a indicação de substituição pode ser adicionada por meio de um pequeno LED que indica o status do módulo SPD para o técnico de manutenção. Estão disponíveis opções para um LED verde indicando um módulo SPD online ou um LED vermelho indicando um módulo SPD offline. Ou, em vez de uma indicação por LED em cada luminária, a necessidade de substituição do módulo SPD pode ser indicada remotamente para uma central de gerenciamento de iluminação com fios de indicação de fim de vida útil do módulo SPD conectados a um sistema de iluminação inteligente em rede.

- Conexão em Série – O módulo SPD é conectado em série com a carga, onde o módulo SPD em fim de vida útil é desconectado da fonte de alimentação,



o que desliga a luz. A perda de energia na luminária serve como indicação para uma chamada de manutenção. O módulo SPD desconectado não apenas desliga a iluminação para indicar a necessidade de substituição, mas também isola a unidade de alimentação CA/CC de futuros surtos de tensão.

A preferência geral por essa configuração está crescendo rapidamente porque o investimento na luminária permanece protegido enquanto o módulo SPD aguarda substituição. É muito menos caro substituir um módulo SPD conectado em série do que toda a luminária, como no caso de um módulo SPD conectado em paralelo.

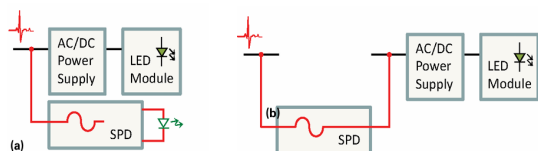


Figura 5 - Módulo DPS conectado em paralelo com a Luminária (a) e módulo DPS conectado em série com a luminária (b).

Exemplo de um módulo DPS com conexão Paralela com Indicação de Fim de Vida (Figura 6).

Utilize os modelos conectados em série dos módulos varistores com proteção térmica da Série LSP10 (conforme indicado pelo sufixo S no número da peça) como conexões paralelas na luminária. Isso transforma os fios de saída dos módulos SPD conectados em série em fios de indicação de fim de vida.

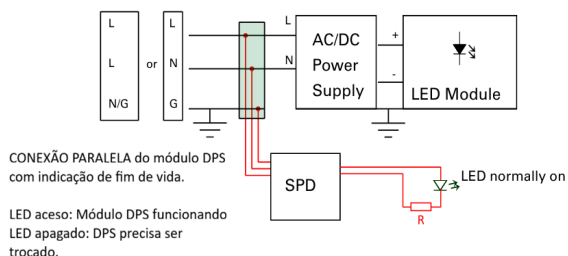


Figura 6

Modos de conexão de um DPS às luminárias

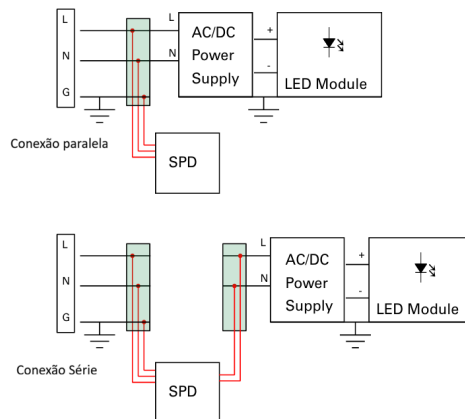


Figura 7 - Modos de conexão de um módulo DPS à luminária.

Coordenação entre o DPS e a fonte de Alimentação para

Reduzir a "Perda de Sobretensão"

Módulos de Proteção contra Surtos e Coordenação de MOVs

Geralmente, a maioria das fontes de alimentação de LED são do tipo corrente constante e são frequentemente chamadas de drivers de LED. Elas podem ser adquiridas como conjuntos prontos contendo MOVs para atender requisitos de surto de nível inferior. Normalmente, os drivers de LEDs são classificados para suportar surtos na faixa de 1-4 kV. O varistor (MOV2 na Figura 8) geralmente está localizado seguindo o fluxo de energia do fusível na rede CA e pode variar de 7 a 14 mm de diâmetro. No entanto, para fornecer imunidade a surtos de nível mais alto, os fabricantes de equipamentos originais (OEMs) de iluminação externa podem querer adicionar dispositivos de proteção contra surtos (DPS) nas linhas de entrada CA de suas luminárias antes do driver de LED.

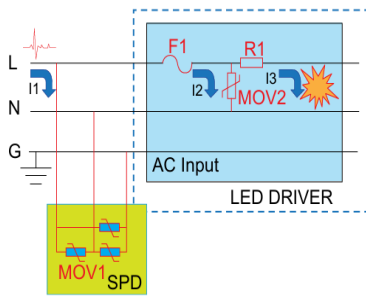


Figura 8 - Tensão e corrente residuais podem danificar um driver de LED.

Os módulos SPD são responsáveis por proteger as luminárias contra esses altos níveis de surto, que podem ocorrer em ambientes de iluminação externa. Os SPDs utilizam de 3 a 4 MOVs de alta resistência a surtos (por exemplo, com 25 mm ou 34 mm de diâmetro) conectados em paralelo ou em série nas linhas CA, como mostrado no bloco verde MOV1 da Figura 9. Conforme mostrado nessa figura, os MOVs são instalados entre Fase e Terra, Neutro e Terra e Fase e Neutro. Para instalações em regiões com forte exposição a raios, é comum usar MOVs conectados em paralelo para o ramo Fase-Neutro. Isso aumentará a capacidade de surto em modo diferencial e a confiabilidade da luminária. Ao adicionar esta proteção suplementar antes do driver de LED, é muito importante selecionar características (MOV1) que se coordenem com as do dispositivo (MOV2) existente no driver. O critério de coordenação para a seleção do MOV1 é garantir que esses MOVs de disco maiores no módulo SPD sejam acionados primeiro, absorvendo assim a maior parte da energia de surto antes que o disco menor (MOV2) seja acionado. Isso evitará corrente catastrófica através do MOV do driver e a abertura prematura do fusível, o que acontece se o MOV do driver for acionado primeiro. Portanto, os MOVs no módulo SPD devem ter uma classificação de tensão máxima contínua de operação menor do que o MOV no driver. Uma certa

impedância entre o SPD primário e o driver pode ser benéfica; talvez alguns microhenries ajudem a garantir uma coordenação adequada. Por exemplo, um comprimento de cabo maior entre o SPD primário e o driver pode ser suficiente devido à impedância característica do fio. Por outro lado, os fios condutores no lado de entrada do SPD devem ser minimizados para evitar o aumento da tensão de fixação no módulo SPD devido à impedância característica desses fios.

As etapas a seguir resumem um processo de projeto que ajuda a garantir que haja indutância suficiente entre os MOVs do DPS e o do driver:

- 1. MOV1 e MOV2 precisam ser coordenados para que a maior parte da corrente/energia de surto flua através do MOV1.
- 2. Selecione MOVs com VM do MOV1 \leq VM do MOV2, onde VM é a Tensão Máxima de Operação Contínua.
- 3. Selecione MOVs com VC do MOV1 \leq VC do MOV2, onde VC é a Tensão Máxima de Fixação.
- 4. $V_{MOV1} = V_{MOV2} + L (di/dt)$
- 5. A indutância L pode ser adicionada em série com o DPS. O aumento da indutância L resultará em melhor coordenação, pois o MOV1 absorve a maior energia do surto.
- 6. Mais informações técnicas sobre os MOVs da Figura 9, estão disponíveis em Overvoltage, Lightning and ESD Protection From Varistors.

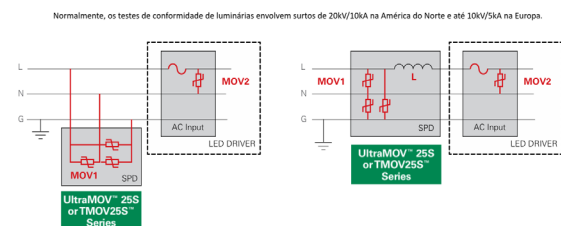
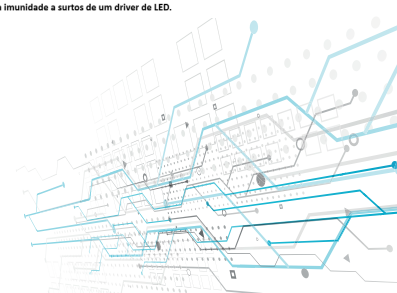


Figura 9 - Esquemas de proteção contra surtos que aumentam a imunidade a surtos de um driver de LED.



Considerações sobre o projeto da fonte de alimentação (Fusível, Resistência Equivalente, Diodo TVS)

Embora um módulo SPD seja projetado para absorver a maior parte da energia de surto produzida por uma descarga atmosférica, alguma energia residual pode entrar no driver de LED e causar danos aos componentes internos (Figura 8). Para minimizar os danos, considere sempre um projeto de driver de LED que funcione em conjunto com o módulo SPD, de modo que menos energia entre no driver de LED.

Tensão Residual

Determinada pelo MOV1; portanto, um varistor com tempo de resposta rápido e baixa tensão de fixação é preferível.

- Corrente Residual

A forma de onda da corrente de surto de $8 \times 20 \mu s$ é calibrada para atingir o valor de pico (por exemplo, 10kA)

no gerador de surto, antes de ser aplicada à luminária. Quando a corrente de surto é descarregada do gerador de surto, ela afeta o DPS e a fonte de alimentação (PSU) em três pontos principais: – I1: A corrente que flui através do DPS (Esta é a maior parte da corrente de surto.) – I2: A corrente que flui através do MOV na PSU – I3: A corrente que flui através do circuito primário na PSU

Para o MOV2, escolha um MOV com uma tensão de fixação maior do que a usada para o MOV1 para maximizar I1 e minimizar I2, de modo que o fusível F1 não seja danificado pela corrente residual.

O fusível F1 também deve ser selecionado cuidadosamente, com uma classificação de fusão i^2t mais alta para suportar a corrente de surto residual I2+I3. Os fusíveis abaixo são recomendados para F1, pois foram testados para suportar corrente de surto de 3 kA. Em caso de má coordenação entre MOV1 e MOV2, I2+I3 pode chegar a 30%. Esses fusíveis podem

suportar corrente de surto residual de 3 kA para ajudar a luminária a sobreviver a um evento de surto de 10 kA. A unidade de alimentação, portanto, tem maior compatibilidade com diferentes DPSs e MOV1.

Código Littelfuse	Tamanho do fusível	Especificação
8071630	9.2x6.4x12.4mm	6.3A 300V
219005	5x20mm	5A 250V
209007	4.5x14.5mm	7A 350V
477010	5x20mm	10A 500V

Melhores Práticas e Itens a Serem Considerados

1. Avaliação dos Requisitos do Projeto

- **Tensão Nominal:** Certificar-se de que o DPS é compatível com a tensão nominal da rede elétrica.
- **Corrente de Curto-Circuito:** Avaliar a capacidade do DPS de lidar com correntes de curto-circuito.
- **Nível de Proteção de Tensão (Up):** Verificar se o nível de proteção de tensão é adequado para proteger os componentes da luminária.

2. Capacidade de Absorção de Energia

- **Corrente de Surto (Imax):** Escolher um DPS com capacidade de corrente de surto suficiente para a aplicação.
- **Capacidade de Dissipação de Energia:** Verificar a capacidade de dissipação de energia do DPS para assegurar que ele pode suportar múltiplos surtos.

3. Tecnologias de DPS Disponíveis

Varistores de Óxido Metálico (MOV)

- Alta capacidade de absorção de energia.
- Boa resposta a surtos transientes.

Dispositivos de Descarga de Gás (GDT)

- Excelente desempenho em proteção contra surtos de alta intensidade.
- Menor corrente de fuga em estado de repouso.

Diodos de Supressão de Tensão (TVS)

- Resposta rápida a surtos.
- Proteção eficiente contra surtos de baixa a média intensidade.

Circuitos Combinados (MOV + GDT)

- Combinação de tecnologias para maximizar a proteção.
- Melhor desempenho em aplicações exigentes.

4. Considerações de Instalação

- **Localização do DPS:** Instalar o DPS o mais próximo possível do ponto de entrada da alimentação elétrica na luminária.
- **Conectividade:** Garantir boas conexões elétricas e minimizar a impedância dos cabos.
- **Manutenção e Substituição:** Selecionar DPSs que permitam fácil manutenção e substituição, se necessário.

5. Conformidade com Normas e Regulamentos

- **Normas Internacionais (IEC, IEEE):** Certificar-se de que o DPS cumpre com as normas internacionais relevantes para proteção contra surtos.

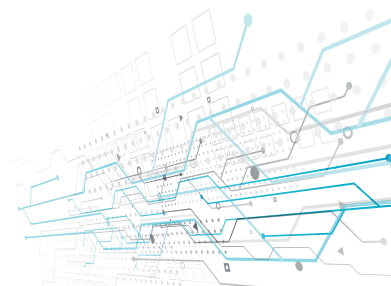
- **Certificações e Aprovações**

Locais: Verificar se o DPS possui as certificações e aprovações exigidas pelas autoridades locais.

6. Considerações de Custo e Eficiência

- **Custo-Benefício:** Avaliar o custo inicial do DPS em relação aos benefícios de proteção e longevidade das luminárias.
- **Eficiência Energética:** Escolher DPSs que não comprometam a eficiência energética das luminárias.

A seleção adequada de dispositivos de proteção de surto é fundamental para a operação segura e eficiente das luminárias públicas. Seguir as melhores práticas e considerar cuidadosamente os requisitos do projeto, capacidades de absorção de energia, tecnologias disponíveis, considerações de instalação, conformidade com normas e regulamentos, e custo-benefício ajudará a garantir a proteção ideal das luminárias contra surtos elétricos.





ABILUX ◊

ELEMENTOS
ÓPTICOS PARA
LUMINÁRIAS

ELEMENTOS ÓPTICOS PARA LUMINÁRIAS



Na engenharia de luminárias, a escolha do elemento óptico é crucial para aumentar a eficácia na aplicação, qualidade da iluminação e durabilidade do produto. Esses componentes definem o controle da luz, a estética e o desempenho térmico do sistema. Materiais como PMMA, policarbonato (PC), silicone e alumínio possuem características distintas que

influenciam a escolha ideal para cada aplicação. Este guia apresenta as melhores práticas e considerações importantes para a seleção.

A eficiência óptica é a % de quanto da luz produzida pela fonte luminosa é extraída da luminária (é o Light Output Ratio: LOR%) e está diretamente relacionada com a eficiência luminosa da luminária, quanto maior o LOR, maior o lm/W. Um elemento óptico sempre reduzirá o LOR, porém, selecionado corretamente, mesmo **uma óptica com LOR menor pode até entregar uma maior eficácia na aplicação (lux/W do projeto) por direcionar a luz no alvo mais eficientemente.**

Eficiência óptica Eficácia na aplicação

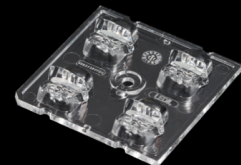
Apenas LED



LOR 100 %

Eficácia pode sofrer, uma vez que nem toda luz pode estar sendo direcionada para a aplicação

Iluminação Pública



LOR 80-90% típico

Observar critérios de aplicação considerado iluminância e luminância

lentes & refletores Indoor



LOR 80–90 % típico

Qualidade e conforto da luz podem ser mais importante que eficiência

Difusores



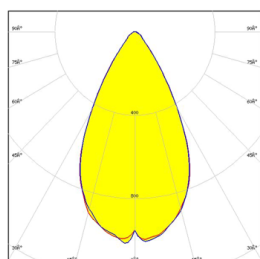
LOR <<80 % típico

Ofuscamento controlado por espalhamento da área de emissão. Baixa transmitância

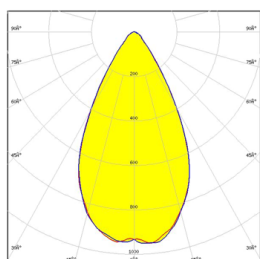


1. Avaliação do resultado fotométrico de um elemento óptico:

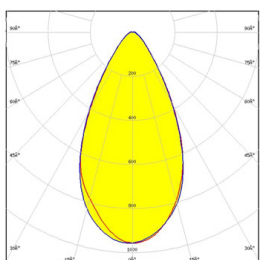
Uma fotometria é sempre a combinação da óptica mais o modelo exato de LED utilizado; além da influência de outros elementos mecânicos, como por exemplo, distância focal do LED até o elemento óptico (espessura da MCPCB) e presença de cobertura de vidro temperado.



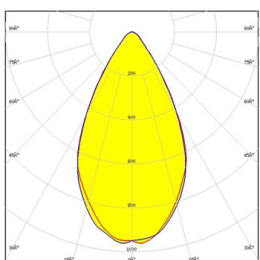
Lente: HB-2X2-W
LED: 5050 K class
FWHM: 56°
FWTM: 85°
Intensidade de pico: 1,021 cd/lm
Eficiência: 94 %



Lente: HB-2X2-W + Vidro
LED: 5050 K Class
FWHM: 56°
FWTM: 86°
Intensidade de pico: 0,975 cd/lm
Eficiência: 89 %

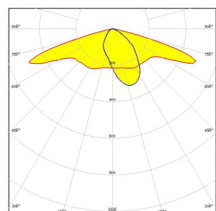


Lente: HB-2X2-W
LED: 5050 Duris S8
FWHM: 55°
FWTM: 91°
Intensidade de pico: 0,960 cd/lm
Eficiência: 93 %

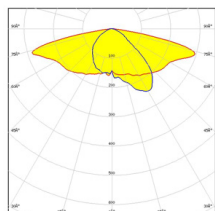


Lente: HB-2X2-W + Vidro
LED: 5050 Duris S8
FWHM: 57°
FWTM: 88°
Intensidade de pico: 0,970 cd/lm
Eficiência: 90 %

Figura 1 - Exemplos de variação fotométrica de uma mesma lente com LEDs diferentes e a presença de cobertura de vidro temperado de 4mm. Observar o FWHM, FWTM, Intensidade de pico e Eficiência



Lente: STRADA-2X2-T2-C + Vidro
LED: XP.G3
Fotometria: Tipo II médio
Intensidade de pico: 0,710 cd/lm
Eficiência: 89 %



Lente: STRADA-2X3-5050-T2 + Vidro
LED: Luxeon 5050 Square
Fotometria: Tipo II médio
Intensidade de pico: 0,92 cd/lm
Eficiência: 74 %

Figura 2 - Exemplos de 2 fotometrias com mesma classificação IESNA, mas perfis distintos.

É importante notar que resultados fotométricos disponibilizados pelos fabricantes de ópticas podem ser simulados a partir de modelos computacionais dos LEDs em conjunto com o modelo da óptica ou medidos em laboratório em módulos construídos para este fim. As simulações podem também, opcionalmente, levar em consideração a luminária do cliente para aumentar a precisão da fotometria gerada. Os arquivos fotométricos simulados (IES e LDT) são uma ferramenta importante para acelerar o desenvolvimento de produtos e avaliar fotometrias em projetos antes mesmo da fabricação de protótipos, mas a validação dessa análise deve ser feita com arquivos fotométricos medidos em luminária.

Além de observar a eficiência resultante, é importante analisar o perfil fotométrico, no caso de fotometrias para iluminação pública, fotometrias com a mesma classificação IESNA, podem apresentar resultados muito distintos e desempenhos diferentes numa mesma aplicação. A análise da performance utilizando os arquivos fotométricos em trechos típicos é recomendado. Observe a Figura 2 que ambas as fotometrias, apesar de diferentes, são classificadas como Tipo II médio.

O ângulo de abertura declarado, não deve ser considerado como equivalente mesmo que o valor seja o mesmo em 2 ópticas. Tipicamente, o ângulo de abertura declarado é o **FWHM** (Full-Width at Half Maximum), mas é recomendável que se observe o valor de **FWTM** (Full-Width at Tenth Maximum), quanto menor o FWTM, menos spill-light observaremos. Mais sobre esse assunto pode ser consultado em: https://www.ledil.com/news_all/articles-and-whitepapers/finding-the-perfect-spot-the-art-and-science-of-narrowing-beam-angles/

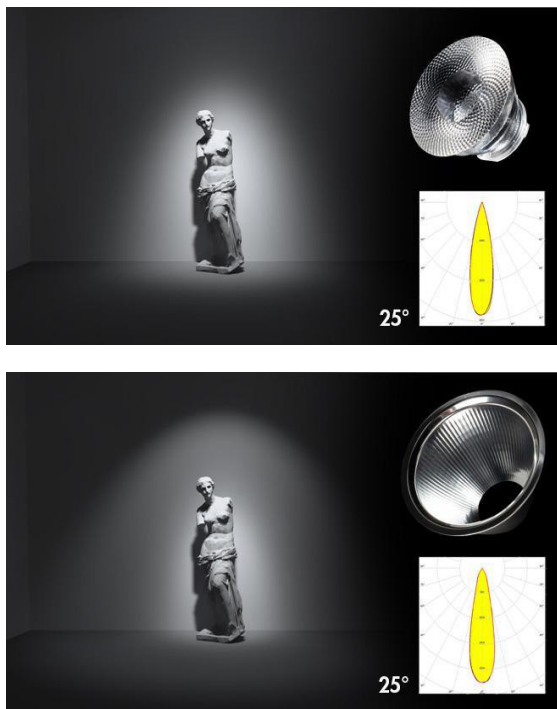


Figura 3 - Exemplo de 2 fotometrias com o mesmo ângulo de abertura FWHM mas efeitos diferentes

A intensidade de pico deve ser observada em aplicações onde o brilho no alvo deve ser otimizado, por exemplo, em aplicações de iluminação de palco e esportiva. Neste caso, a eficiência (LOR) da óptica não é relevante, mas sim a intensidade de pico, dado em cd/lm.

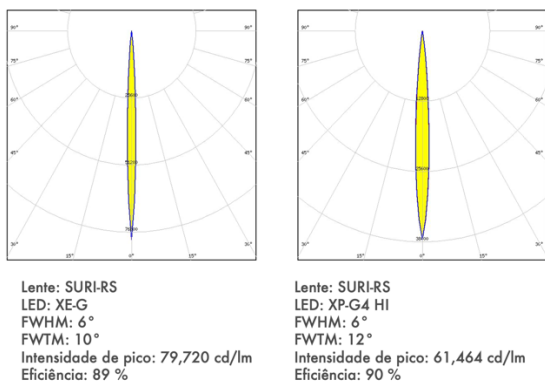


Figura 4 - Exemplo de 2 fotometrias com a mesma lente com mesmo ângulo de abertura FWHM, mas com variação no FWTM e na Intensidade de pico (cd/lm) apenas pela diferente combinação de LEDs

No exemplo da Figura 4, se levarmos em consideração uma distância hipotética de 10m:

- Lente SURI-RS + LED XE-G: 79,720cd/lm, ou seja, com 1000lm = 79720cd a 10m = 797lx (mesmo com uma eficiência menor apresenta maior intensidade no alvo)
- Lente SURI-RS + LED XP-G4 (HI): 61,464cd/lm, ou seja, com 1000lm = 61464cd a 10m = 615lx

Os parâmetros de desempenho fotométricos têm uma relação direta entre a dimensão do emissor de luz e o elemento óptico. Em geral, quando maior a diferença entre o tamanho do emissor de luz e do elemento óptico, mais performance é possível extrair do conjunto.

2. Materiais e suas propriedades

Os principais, mas não os únicos, materiais para confecção de elementos ópticos apresentam estas características.

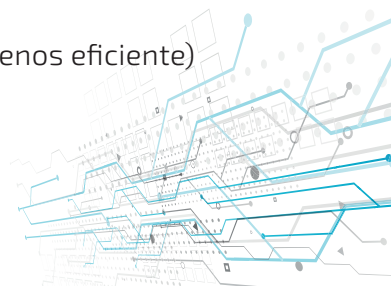
2.1 Lentes:

PMMA (Polymethylmethacrylate = acrílico)

- Alta Resistencia a envelhecimento UV
- Alta transmitância (mais eficiente)
- Baixa resistância a impacto
- Melhor opção para luminárias externas com cobertura de vidro ou luminárias que não necessitam de índice IK.

PC (Policarbonato)

- Melhor resistância a impacto, possível atingir IK08 ou superior
- Menor resistância a UV (perde resistância a impacto após longa exposição ao UV)
- Menor transmitância (menos eficiente)



- Deve-se observar se o PC utilizado é adequado para exposição UV no caso de aplicações outdoor.

Silicone óptico

- Ótima resistência a UV e térmico
- Adequado para aplicações com LEDs UV
- Resiliente (resistente a impacto, mas observar se o LED abaixo não vai sofrer dano)
- Custo mais elevado
- Permeabilidade a gases (suscetível a contaminação)

Temp. Máx de operação típica	80 °C	90 °	150 °C
Transmitância típica em luz visível (depende da espessura e graduação do material) *	93 %	88 %	94 %
Resistência a UV	++	-	+++
Resistência IK	-	++	+++

*A transmitância, nos diversos materiais transparentes e suas diferentes graduações, varia de acordo com o comprimento transmitido por ele. Especialmente comprimentos de ondas curtas (como azul e UV) podem apresentar baixa transmitância e causar maior degradação nos materiais.

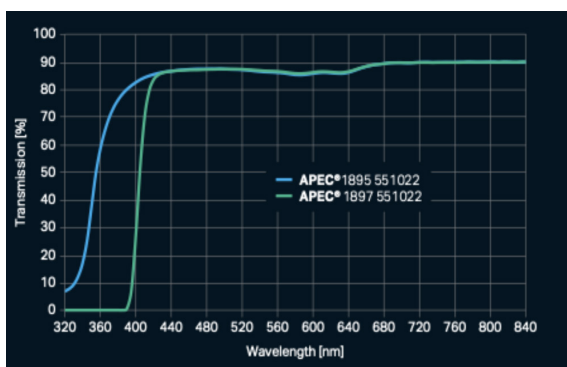


Figura 5 - Exemplo de transmitância de 2 tipos de Policarbonatos (4mm) VS comprimento de onda de luz (COVESTRO)

2.2 Refletores:

Alumínio:

- Alta resistência ao calor, especialmente para potências mais altas
- Formas e Fotometrias mais simples
- Observar graduações diversas de qualidade e refletância disponíveis no mercado

HRPC (policarbonato aluminizado):

- Maior precisão e facilidade de integração com acessórios (conectores e sub-lentes)
- Menor tolerância térmica e resistência a intempéries comparado ao alumínio

3. Funções especiais

- Lentes que possuem essa função podem reduzir aberrações cromáticas (como "color over angle") quando o seu design integrar características para este fim ou possuírem pigmentos em seu material para aumentar a difusão, especialmente neste último caso, notar que há redução do LOR.
- Lentes podem realizar alterações espectrais para funções especiais, como por exemplo redução do conteúdo de azul no espectro emitido pelo LED, quando produzidos com materiais para este fim. Notar que há redução de LOR.

4. Fatores Térmicos

- A proximidade das lentes/refletores com LEDs exige gestão térmica eficiente para evitar degradação. No caso de lentes, o ponto mais quente é a parte interna da cavidade óptica.
- Além da temperatura do LED e da placa, deve-se levar em consideração, a conversão fotônica, ou seja, a

conversão de luz em calor no material óptico e a influência de poluentes, como poeira e detritos que podem se acumular sobre a lente, que podem reduzir a transmitância e aumentar o calor.

- Observe as capacidades térmicas dos acessórios dos elementos ópticos, como holders e fitas adesivas de fixação.
- Além de alta temperatura, observe as faixas de operação permitidas dos elementos ópticos para baixas temperaturas no caso de aplicações em regiões frias ou aplicações especiais como câmaras frigoríficas.

5. Integração e Manutenção

- Sistemas de montagem com holders conectores para luminárias com COB, não só facilitam a produção como aumentam a confiabilidade do produto. Além de prover Inter compatibilidade com diversas opções ópticas.
- Design modulares de lentes são convenientes para reduzir a quantidade de peças na montagem e podem já prover vedações para os módulos LEDs. Observe os índices de torque e ordem de montagem recomendados pelo fabricante das lentes para evitar danos e garantir os índices IP na montagem.
- Além dos cuidados com poeira e detritos na aplicação, observe a compatibilidade química de materiais potencialmente presentes que podem afetar os elementos ópticos na sua montagem e no seu uso.

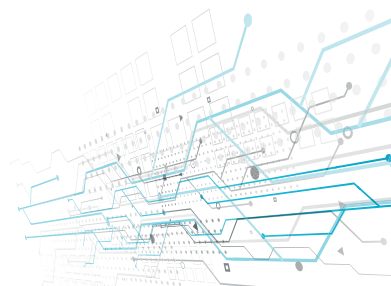
Mais informações sobre materiais, temperaturas e compatibilidades químicas podem ser acessadas em

https://ledil.com/wp-content/uploads/2018/08/LEDiL_Installation_guide_03082018.pdf

6. Classificação Fiscal

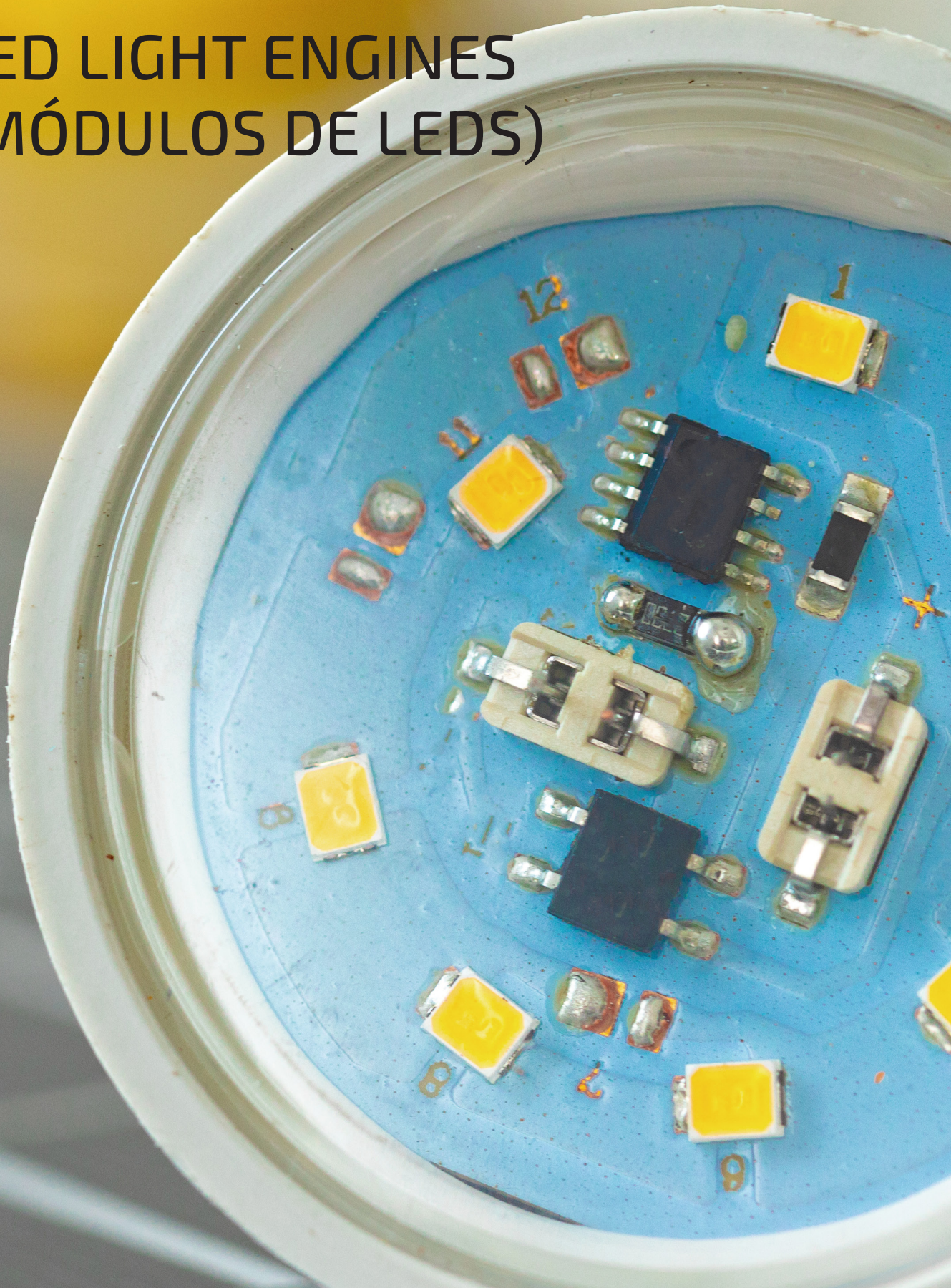
- **NCM 9002.90.90** - "Outros" elementos de óptica montados (lentes, prismas, espelhos) que não sejam objetivas, filtros ou lentes específicas já classificadas, de qualquer matéria.
- **NCM 9001.90.10** - Instrumentos e aparelhos de óptica, fotografia ou cinematografia, medida, controle ou de precisão; instrumentos e aparelhos médico-cirúrgicos; suas partes e acessórios - Fibras ópticas e feixes de fibras ópticas; cabos de fibras ópticas, exceto os da posição 8544; matérias polarizantes em folhas ou em placas; lentes (incluídas as de contato), prismas, espelhos e outros elementos de óptica, de qualquer matéria, não montados, exceto os de vidro não trabalhado opticamente - Outros - Lentes.

Ao selecionar lentes e refletores, é essencial considerar a análise da fotometria considerando a combinação de LED, as especificidades de material e peculiaridade de integração. Além disso, dê preferência para fabricantes que trabalham com sistemas produtivos consistentes para evitar variabilidade de lotes e que seguem valores éticos e de responsabilidade ambiental, tenham capacidade de suporte e que respeitam a propriedade intelectual. A escolha consciente de componentes ópticos de qualidade é um diferencial competitivo e técnico no desenvolvimento de luminárias modernas.

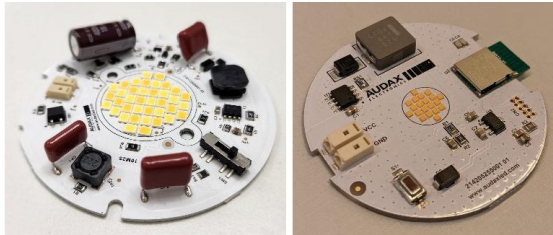


ABILUX ♦

**LED LIGHT ENGINES
(MÓDULOS DE LEDS)**



LED LIGHT ENGINES (Módulos de LEDs)



Esta cartilha consolidada e detalhada reúne todas as diretrizes e melhores práticas discutidas para o desenvolvimento de módulos de LEDs que serão utilizados em produtos de iluminação. Nosso objetivo principal é assegurar a excelência em qualidade, desempenho, confiabilidade e custo-benefício dos produtos finais. Reconhecemos que, embora a fabricação dos módulos muitas vezes seja terceirizada, a definição precisa dos requisitos e a consideração minuciosa de todos os aspectos relevantes durante o projeto são fundamentais para uma parceria bem-sucedida e para a superioridade dos produtos.

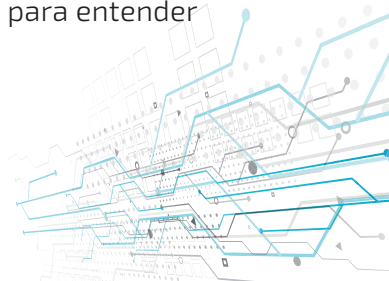
Abordamos aqui desde a seleção criteriosa dos componentes LED, passando pelas características das placas de acionamento e suas diversas aplicações em diferentes mercados, até os aspectos cruciais relacionados à qualidade, fornecedores, canais de vendas e um entendimento aprofundado do processo de fabricação de placas de LEDs, incluindo o detalhamento da tecnologia de Montagem em Superfície (SMT). Ao seguir estas recomendações abrangentes, poderemos estabelecer uma base robusta para o desenvolvimento de módulos de LEDs que não apenas atendam às nossas exigências, mas também superem as expectativas dos clientes em todos os segmentos de iluminação.

1. Seleção do Componente LED:

A escolha do LED é o ponto de partida crítico para o desenvolvimento de um módulo de alta qualidade. Diversas características devem ser avaliadas:

Características Elétricas:

- **Tensão direta (V_f) e corrente direta (I_f):** Definir os parâmetros operacionais ideais, incluindo as tolerâncias aceitáveis para garantir a compatibilidade com o driver e a estabilidade do módulo.
- **Potência dissipada:** Calcular a potência que o LED irá dissipar em condições normais de operação para projetar um sistema de gerenciamento térmico eficiente.
- **Eficiência luminosa (lm/W):** Priorizar LEDs com alta eficiência para maximizar a saída de luz por unidade de energia consumida, contribuindo para a redução do consumo energético dos nossos produtos.
- **Curva de tensão-corrente:** Analisar detalhadamente a curva para entender



o comportamento elétrico do LED em diferentes condições de operação e garantir a estabilidade do módulo.

Características Ópticas:

- **Fluxo luminoso (lm):** Especificar o fluxo luminoso total necessário para cada aplicação de iluminação, considerando as necessidades de iluminância do produto final.
- **Temperatura de cor correlacionada (CCT):** Selecionar a tonalidade de luz branca desejada (branco quente, neutro, frio) de acordo com a aplicação e as preferências do mercado.
- **Índice de reprodução de cor (CRI):** Optar por LEDs com alto CRI para garantir uma reprodução de cores fiel e natural dos objetos iluminados, especialmente em aplicações comerciais e residenciais.
- **Distribuição espacial da luz (ângulo de emissão):** Considerar o ângulo de emissão do LED em relação ao design da luminária e à aplicação específica para otimizar a distribuição da luz (direta, difusa, etc.).
- **Consistência de cor (binning):** Exigir LEDs com bins de cor apertados para garantir a uniformidade da cor da luz entre diferentes módulos e lotes de produção, evitando variações visuais indesejadas.

Características Térmicas:

- **Resistência térmica (junction-to-case e junction-to-board):** Avaliar a resistência térmica do LED para projetar um sistema de dissipação de calor eficaz, garantindo que a temperatura da junção seja mantida abaixo do limite máximo.

- **Temperatura máxima de junção (T_{j_max}):** Respeitar rigorosamente o limite máximo de temperatura de junção especificado pelo fabricante para garantir a vida útil e a confiabilidade do LED.

Características Mecânicas e Dimensionais:

- **Tipo de encapsulamento (SMD, COB, etc.):** Escolher o tipo de encapsulamento mais adequado ao processo de fabricação do módulo (SMT, soldagem manual) e ao design da luminária.
- **Dimensões e footprint:** Considerar as dimensões físicas do LED e o seu layout de solda (footprint) para garantir a compatibilidade com o design da placa de circuito impresso (PCI).

Confiabilidade e Vida Útil:

- **Dados de vida útil (L70, L90):** Selecionar LEDs com dados de vida útil (tempo em horas até que o fluxo luminoso decaia para 70% ou 90% do valor inicial) que atendam aos requisitos de durabilidade da aplicação.
- **Testes de confiabilidade (LM-80, TM-21):** Exigir relatórios de testes padronizados (LM-80 para depreciação do fluxo luminoso e TM-21 para projeção da vida útil) para comprovar a confiabilidade dos LEDs.
- **Resistência a condições ambientais (temperatura, umidade, vibração):** Considerar o ambiente de operação da luminária e selecionar LEDs com a resistência adequada a fatores como temperatura, umidade e vibração.

2. Tipos de Placas de Acionamento (Drivers):

A escolha do tipo de placa de acionamento (driver) é crucial para o desempenho e a longevidade dos módulos de LED:

Acionamento por Corrente Constante (CC):

- **Características:** Fornece uma corrente elétrica precisamente regulada aos LEDs, independentemente de pequenas variações na tensão de alimentação ou nas características individuais dos LEDs. Este método é fundamental para garantir a estabilidade do brilho, a uniformidade da cor e a maximização da vida útil dos LEDs.
- **Aplicações:** É a abordagem preferencial para a maioria das aplicações de iluminação geral, incluindo iluminação pública, comercial, industrial e residencial, onde a consistência do desempenho e a durabilidade são prioritárias.
- **Considerações:** Requer um driver eletrônico projetado especificamente para fornecer a corrente nominal dos LEDs. A tensão de saída do driver se ajusta automaticamente dentro de uma faixa para manter a corrente constante.

Acionamento por Tensão Constante (CV):

- **Características:** Fornece uma tensão elétrica estável aos LEDs. Para evitar a sobrecorrente e danos aos LEDs, é imprescindível que os próprios LEDs ou os módulos de LEDs incorporem resistores limitadores de corrente.
- **Aplicações:** Encontra aplicação mais comum em fitas de LED e alguns módulos decorativos onde a

simplicidade do circuito pode ser um fator relevante.

- **Considerações:** A seleção e o dimensionamento precisos dos resistores limitadores são críticos para garantir a operação segura e a vida útil dos LEDs. Variações nas características dos LEDs podem levar a flutuações na corrente e no brilho.

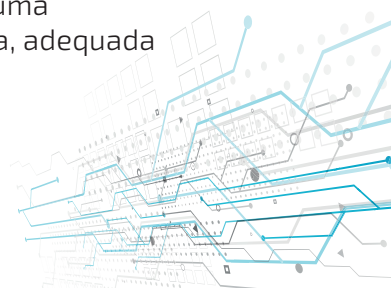
Acionamento por Tensão de Rede (Direct-On-Board - DOB):

- **Características:** A eletrônica de acionamento é integrada diretamente na placa do módulo de LED, permitindo a conexão direta à tensão da rede elétrica após a devida retificação e filtragem.
- **Aplicações:** Pode ser considerado para luminárias de design mais simples e com foco em custo, embora possa apresentar desafios em termos de desempenho e confiabilidade.
- **Considerações:** O design da placa DOB deve garantir o isolamento elétrico adequado para a segurança do usuário e a conformidade com normas de segurança. A qualidade e a vida útil dos componentes eletrônicos integrados são fundamentais. Pode haver desafios relacionados ao fator de potência, à distorção harmônica total (THD) e à compatibilidade eletromagnética (EMC).

3. Tipos de Aplicação da Luz (Cor e Dinâmica):

As diferentes aplicações de iluminação exigem diferentes características de cor e dinâmica da luz:

- **Static White (Branco Estático):** Emite luz branca com uma temperatura de cor fixa, adequada



para iluminação geral em todos os mercados (pública, comercial, residencial, industrial). A escolha da CCT e do CRI é crucial para o conforto visual e a reprodução de cores.

- **Tunable White (Branco Sintonizável):** Permite ajustar a temperatura de cor da luz branca (geralmente entre branco quente e branco frio), oferecendo flexibilidade para criar diferentes ambientes em iluminação comercial (escritórios, varejo), residencial (para acompanhar o ritmo circadiano), institucional (escolas, hospitais) e para aplicações de bem-estar. Requer LEDs com diferentes CCTs e um sistema de controle para a mistura de cores.
- **RGB (Vermelho, Verde, Azul):** Permite a criação de uma vasta gama de cores através da mistura aditiva das três cores primárias, ideal para iluminação decorativa, arquitetural, cênica, de entretenimento e sinalização. Necessita de um sistema de controle para ajustar a intensidade de cada cor.
- **RGBW (Vermelho, Verde, Azul, Branco):** Adiciona um chip de LED branco dedicado aos LEDs RGB, possibilitando a produção de luz branca de alta qualidade, além de cores vibrantes. É adequado para iluminação arquitetural, comercial, de varejo e residencial onde tanto cores quanto luz branca de boa qualidade são desejadas.
- **RGBWW (Vermelho, Verde, Azul, Branco Quente, Branco Frio):** Oferece máxima flexibilidade com LEDs branco quente e branco frio dedicados, além das cores RGB, permitindo controle preciso sobre a temperatura de cor da luz branca e uma ampla paleta de cores. É ideal para iluminação cênica, de estúdio e arquitetural de alto nível.

- **Dim to Warm (Escurecimento para Quente):** A temperatura de cor da luz diminui à medida que a intensidade é reduzida, simulando o comportamento das lâmpadas incandescentes, criando um ambiente acolhedor e relaxante em iluminação residencial, hoteleira e em restaurantes. Requer LEDs ou módulos projetados especificamente para essa funcionalidade e um driver compatível.
- **Amber (Âmbar):** Emite luz na cor âmbar (amarelo-alaranjado), utilizada em iluminação pública (em áreas costeiras para proteger a vida marinha), iluminação decorativa e sinalização. A pureza da cor pode ser um requisito importante.

4. Mercados de Aplicação:

Os módulos de LED desenvolvidos serão aplicados em diversos mercados, cada um com requisitos específicos:

- **Iluminação Pública:** Exige alta eficiência, longa vida útil, robustez, resistência a condições climáticas adversas e conformidade com normas de segurança e fotométricas. Geralmente utiliza módulos Static White com foco em economia de energia e segurança.
- **Iluminação Comercial:** Demanda eficiência energética, boa reprodução de cores (CRI), conforto visual e design adequado para lojas, escritórios e restaurantes. Pode utilizar Static White, Tunable White e, em alguns casos, RGBW para criar ambientes e destacar produtos.
- **Iluminação Residencial:** Prioriza conforto visual, estética, eficiência energética e facilidade de instalação e controle, abrangendo desde Static White até Tunable White e Dim to Warm para criar diferentes atmosferas.
- **Iluminação Industrial:** Requer alta eficiência, robustez, resistência

a poeira e umidade, e níveis de iluminância adequados para tarefas visuais, utilizando predominantemente Static White com foco em produtividade e segurança.

- **Iluminação Decorativa:** Enfatiza a estética, a variedade de cores, os efeitos de luz e a flexibilidade de design, utilizando amplamente RGB, RGBW e Amber.
- **Iluminação Cênica e de Entretenimento:** Necessita de ampla gama de cores, controle preciso da intensidade e da cor, efeitos dinâmicos e alta confiabilidade para uso intenso, comumente utilizando RGB, RGBW e RGBWW.
- **Iluminação Arquitetural:** Busca durabilidade, resistência a intempéries, estética integrada ao projeto arquitetônico e controle de luz para realçar formas e texturas, podendo envolver Static White, Tunable White e RGB/RGBW.
- **Iluminação Automotiva:** Requer robustez, resistência a vibrações e variações de temperatura, alta confiabilidade e conformidade com normas específicas, utilizando diferentes cores e tipos de LEDs dependendo da função (faróis, lanternas, iluminação interna).
- **Iluminação Infravermelho:** Aplicada em diversas áreas que demandam luz invisível ao olho humano, mas essencial para sensores e sistemas eletrônicos. Em segurança, é utilizada em câmeras de visão noturna e sensores de presença. No setor industrial, auxilia em processos de aquecimento e secagem de materiais. Também tem uso em aplicações médicas, como terapia infravermelha, além de comunicação óptica em dispositivos eletrônicos.
- **Iluminação para Horticultura:** Fundamental para o cultivo de

plantas em ambientes controlados, como estufas e fazendas verticais. A luz artificial complementa ou substitui a luz solar, proporcionando espectros específicos que estimulam diferentes estágios de crescimento das plantas. LEDs para horticultura incluem luz azul para crescimento vegetativo, luz vermelha para floração e espectro completo para um desenvolvimento equilibrado.

5. Marcas e Qualidade dos LEDs:

A seleção de fabricantes de LEDs confiáveis é fundamental para garantir a qualidade dos módulos:

- **Reputação do Fabricante:** Priorizar fabricantes com um histórico comprovado de produção de LEDs de alta qualidade, com foco em inovação, confiabilidade e suporte técnico.
- **Certificações e Normas:** Exigir que os LEDs possuam certificações relevantes da indústria (UL, CE, RoHS, etc.) que atestem a conformidade com padrões de segurança e desempenho.
- **Garantia:** Avaliar as condições de garantia oferecidas pelos fabricantes como um indicador da sua confiança na durabilidade dos seus produtos.
- **Suporte Técnico:** Considerar a disponibilidade e a qualidade do suporte técnico oferecido pelos fabricantes, incluindo informações detalhadas sobre os produtos e assistência em caso de problemas.
- **Amostras e Testes:** Realizar testes rigorosos com amostras de LEDs de diferentes fabricantes antes da seleção final para verificar o desempenho e a conformidade com as especificações.



- **Consistência de Fornecimento:** Avaliar a capacidade do fabricante de garantir um fornecimento contínuo e estável dos componentes ao longo do tempo.

6. Processo de Fabricação de Placas de LEDs:

Compreender o processo de fabricação dos módulos de LED é essencial para garantir a qualidade e a confiabilidade dos produtos finais:

- **Equipamentos Necessários:** A fabricação envolve uma série de equipamentos especializados, como stencil printers, máquinas Pick and Place, fornos de refusão e máquinas de inspeção óptica automatizada (AOI) para a montagem dos componentes.

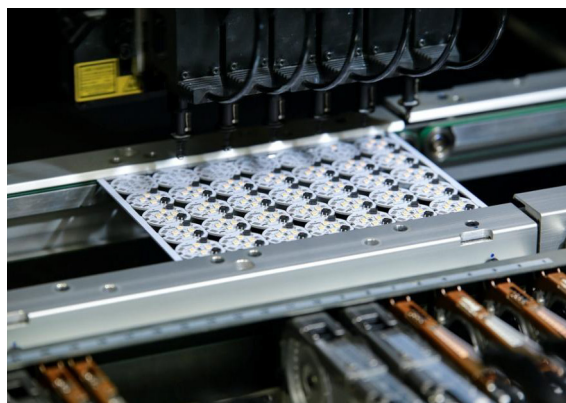


- **Processo de Fabricação Completo:** O processo abrange a montagem dos componentes (predominantemente através da tecnologia SMT), a soldagem de componentes through-hole (se aplicável), a inspeção visual e automatizada, os testes elétricos e funcionais, a programação (se necessário), a limpeza e a embalagem.
- **Detalhamento do Processo SMT (Surface Mount Technology):** A tecnologia SMT é fundamental na montagem de módulos de LED e envolve as seguintes etapas principais:

1º - Aplicação de Pasta de Solda (Solder Paste Printing): A pasta de solda é aplicada com precisão nas áreas de contato da PCI através de um stencil.



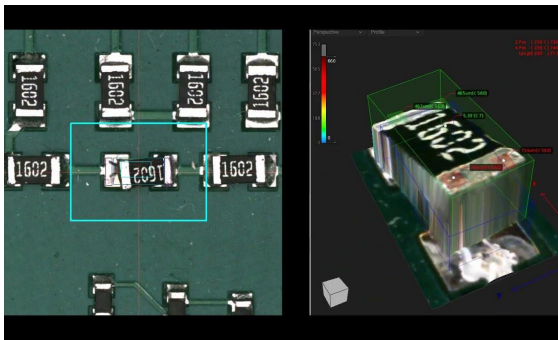
2º - Inserção dos Componentes (Component Placement): As máquinas Pick and Place coletam os LEDs e outros componentes de seus alimentadores e os posicionam com precisão sobre a pasta de solda na PCI.



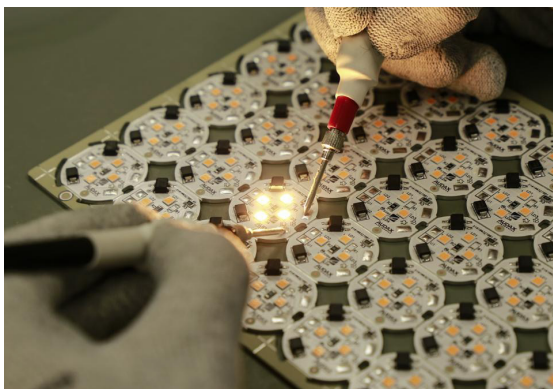
3º - Soldagem por Refusão (Reflow Soldering): A PCI com os componentes é passada por um forno de refusão com um perfil térmico controlado para fundir a pasta de solda e fixar os componentes à placa.



4º - Inspeção Óptica Automatizada (AOI): (Opcional, mas altamente recomendável) Máquinas AOI inspecionam a qualidade da soldagem e o posicionamento dos componentes através de análise de imagem.



5º - Inspeção Visual e Retoques: Uma inspeção manual complementa a inspeção automatizada, e retoques manuais são realizados quando necessário.



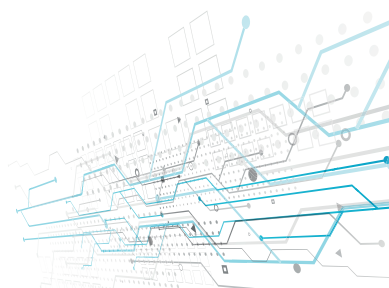
6º - Depanelização: Operação de separação das placas do painel de produção



6. Classificação Fiscal

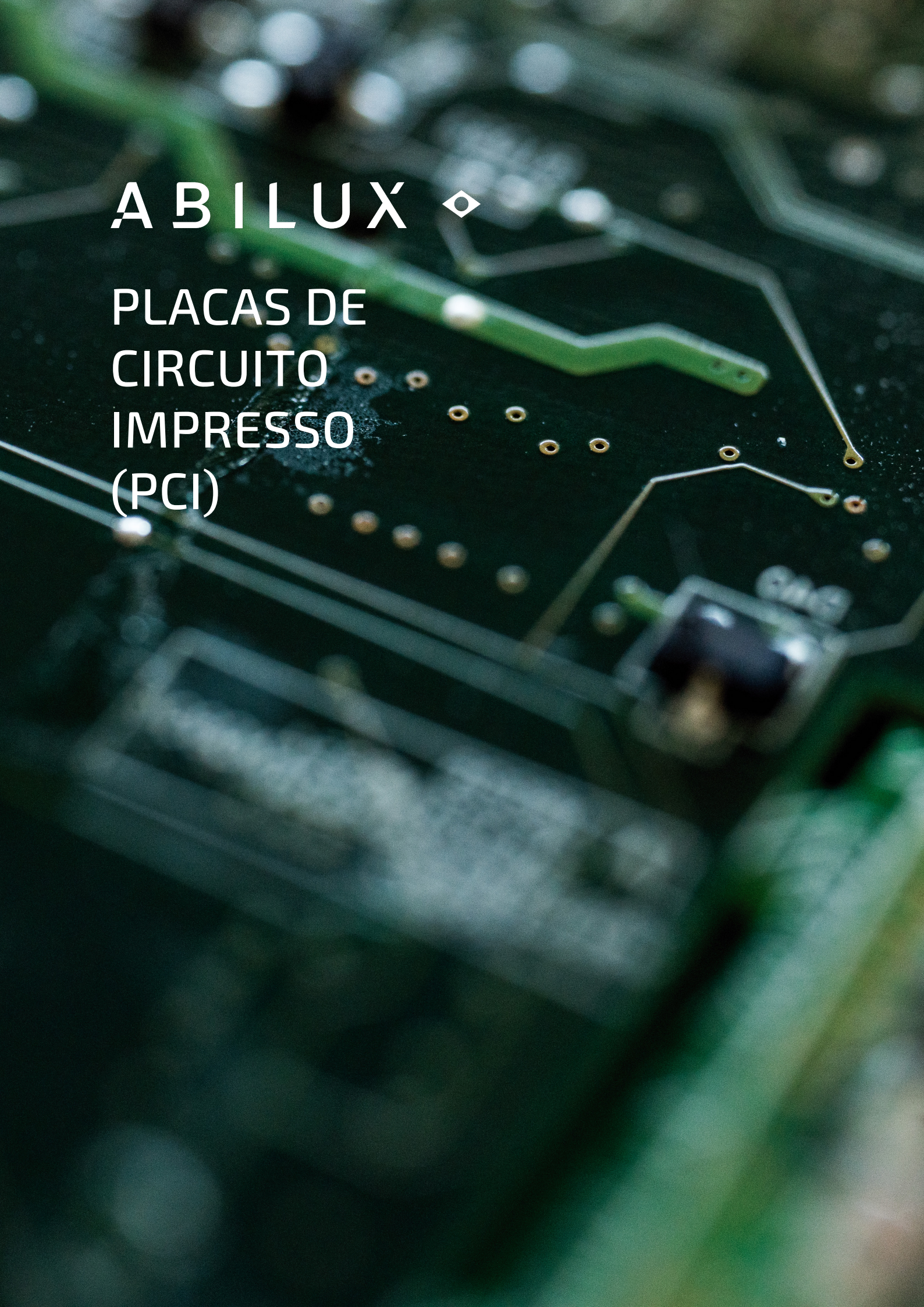
- **NCM 8539.51.00** - Módulos de diodos emissores de luz (LED). Abrange conjuntos de LEDs montados em circuitos (placas, fitas) sem base própria para instalação direta, diferenciando-se das lâmpadas LED finalizadas (8539.52.00). Essencial para componentes de iluminação, fitas LED e barras de LED.

Ao internalizarmos este conhecimento abrangente sobre o desenvolvimento e a fabricação de módulos de LEDs, desde a seleção dos componentes até a compreensão do processo produtivo, estaremos significativamente mais capacitados para colaborar de forma eficaz com nossos parceiros fabricantes, definir requisitos claros e garantir que os módulos de LEDs que integramos em nossos produtos de iluminação atendam aos mais altos padrões de qualidade, desempenho e confiabilidade, impulsionando o sucesso dos nossos produtos em todos os mercados de aplicação.



ABILUX 

PLACAS DE
CIRCUITO
IMPRESSO
(PCI)



PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)

Feitas de camadas de condutores elétricos, interconexões de metal, isoladores e outros componentes, as placas de circuito impresso são suportes essenciais para os componentes eletrônicos, garantindo conectividade e funcionamento adequado.

1. Materiais do Substrato

Os materiais escolhidos afetam a funcionalidade, o custo e a durabilidade da PCB.

- **FR4 (Fibra de Vidro Epóxi):**
Amplamente utilizado para aplicações gerais devido à sua boa relação custo-benefício, estabilidade térmica e mecânica.
- **CEM-1 e CEM-3:**
Alternativas mais econômicas ao FR4, ideais para projetos de menor complexidade.
- **MCPCB (Metal Core PCB):**
Usado para aplicações de alta potência, como iluminação LED e drivers de motor, onde é necessário dissipar calor rapidamente. Geralmente possui núcleo de alumínio ou cobre.

- **Copper Clad Laminates:**
Laminados revestidos de cobre são a base de qualquer PCB. Disponíveis em várias espessuras e tipos de substratos, são utilizados para diferentes finalidades.
- **Flex Circuit (PCBs Flexíveis):**
Feitas de materiais como polímidas, estas PCIs podem ser dobradas e moldadas, sendo ideais para wearables e eletrônicos compactos.
- **Flex-Rigid (PCBs Rígido-Flexíveis):**
Combinação de materiais rígidos e flexíveis, adequados para designs complexos que requerem interconexões confiáveis em espaços compactos.

2. Acabamentos Superficiais

Os acabamentos de superfície são essenciais para garantir a soldabilidade, resistência à oxidação e conformidade com os processos de montagem. Para o uso com pasta de solda Lead-Free (sem chumbo), é necessário garantir que o acabamento seja adequado para as condições de soldagem mais altas exigidas por esses materiais.

- **HASL (Hot Air Solder Leveling) Tradicional:**
Tradicionalmente utilizado em PCIs com solda de chumbo. Sua aplicação é simples e econômica, mas pode não ser ideal para componentes SMD (Superficial-Mount Device) muito pequenos.
- **HASL Lead-Free (Hot Air Solder Leveling Lead-Free):**
Uma versão melhorada do HASL tradicional, onde o processo utiliza solda sem chumbo. Essa versão é essencial para conformidade com regulamentações ambientais como a RoHS (Restriction of Hazardous Substances), que limita o uso de chumbo em produtos eletrônicos. O processo de HASL Lead-Free envolve temperaturas mais altas de



aquecimento (geralmente acima de 250°C) para garantir a boa aderência da solda sem chumbo nas superfícies de cobre.

- **ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold):**

Um dos melhores acabamentos para soldagem com pasta lead-free, pois proporciona uma superfície plana, limpa e sem oxidação. O ouro imerso ajuda a evitar a formação de óxido, o que é fundamental para garantir uma boa soldabilidade. É uma escolha comum em PCIs de alta densidade e para componentes de alta performance.

- **Imersão de Prata (Immersion Silver):**

Outro acabamento adequado para pasta de solda Lead-Free. A prata tem boa resistência à oxidação e permite uma excelente aderência da solda lead-free. Embora seja menos resistente que o ENIG, oferece uma boa opção em termos de custo-benefício.

- **Imersão de Estanho (Immersion Tin):**

A imersão de estanho é uma alternativa ao ENIG e ao HASL lead-free, sendo adequada para montagem com pasta de solda sem chumbo. No entanto, é mais suscetível à oxidação e deve ser manuseada com cuidado para garantir uma boa soldagem.

- **OSP (Organic Solderability Preservative):**

Esse acabamento é frequentemente utilizado em PCIs lead-free. A camada orgânica proporciona boa soldabilidade, mas oferece uma durabilidade menor do que os acabamentos metálicos, o que pode ser uma limitação dependendo da aplicação.

3. Espessuras de Cobre

- **1 oz/ft² (35 µm):** Espessura padrão para aplicações gerais.

- **2 oz/ft² (70 µm):** Para correntes mais altas ou melhor dissipação de calor.
- **0.5 oz/ft² (18 µm):** Para circuitos de alta densidade e sinalização delicada.

4. Máscara de Solda (Soldermask)

Camada protetora aplicada sobre o cobre, disponível em várias cores:

- Verde (padrão), preto, azul, branco, etc.
- Evita curtos, protege contra oxidação e melhora a estética.
- Aplicada via serigrafia ou processos fotográficos para alta precisão.

5. Vias Metalizadas (Plated Through Holes - PTH)

- Conectam diferentes camadas da PCI.
- **Microvias:** Utilizadas em PCIs HDI (High-Density Interconnect).
- **Blind/Buried Vias:** Para design de alta complexidade, conectam apenas camadas específicas.

6. Serigrafia (Silkscreen)

- Camada para marcação de componentes, logotipos e identificações.
- Geralmente aplicada em branco sobre máscara verde, ou preto em PCB branca.
- Definir sempre texto mínimo de 0,8 mm de altura para boa legibilidade.

7. Vincos e Roteamento

- **Roteamento (Fresagem):** Para cortes e contornos da placa com alta precisão.

- **Vincos/V-Cut:** Permitem destacar várias PCIs de um painel; ideal para produção em massa.
- **Mouse Bites:** Pequenos furos ao longo de um contorno, permitindo destacar PCIs com facilidade.

8. Tamanhos Máximos de Laminados

- Tamanho típico: 18 x 24 polegadas (457 x 610 mm).
- Pode variar dependendo do fornecedor e do material escolhido.

9. Dicas Gerais para Design de PCIs

- **Espaçamento:** Mantenha espaçamentos mínimos de trilhas e pads conforme a capacidade de fabricação (geralmente 6 mils ou 0,15 mm).
- **Furos:** Respeite o diâmetro mínimo suportado pelo fabricante (tipicamente 0,3 mm).
- **Camadas:** Defina o número de camadas conforme a complexidade do projeto (2, 4, 6 ou mais).
- **Dissipação de Calor:** Utilize áreas de cobre maiores ou dissipadores térmicos integrados.

10. Classificação Fiscal

NCMs: FR1 - 8534.00.11

CEM1 - 8534.00.12

FR4 Simples Face - 8534.00.13

FR4 Dupla Face -8534.00.33

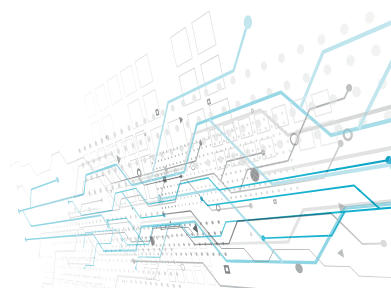
FR4 Multilayer - 8534.00.51 / 8534.00.59

MCPCB - 8534.00.19

O desenvolvimento de placas de circuito impresso (PCI) envolve uma série de decisões técnicas que impactam diretamente a funcionalidade, a confiabilidade e os custos do produto final. Ao escolher materiais, acabamentos superficiais e técnicas de fabricação, é essencial garantir que a solução escolhida atenda às exigências do projeto, como dissipação térmica, resistência à oxidação, compatibilidade com processos de soldagem e regulamentações ambientais (como a RoHS).

Em particular, com a transição para o uso de solda Lead-Free, a escolha do acabamento superficial e o entendimento das exigências de temperatura de soldagem são fundamentais para garantir uma montagem de alta qualidade e uma vida útil prolongada para a PCB.

A compreensão de todos esses fatores e a escolha cuidadosa de cada um dos componentes e processos envolvidos resultarão em um design de PCB mais eficiente, com maior durabilidade e desempenho, pronto para enfrentar os desafios das aplicações modernas em eletrônica. Sempre que possível, consulte os fornecedores de PCBs para alinhar as especificações de design às suas capacidades de fabricação e obter os melhores resultados no processo de produção.



ABILUX ◊

CHICOTES E CABOS
ELÉTRICOS PARA
LUMINÁRIAS



CHICOTES E CABOS ELÉTRICOS PARA LUMINÁRIAS

O desenvolvimento de chicotes e cabos elétricos para luminárias envolve a escolha criteriosa de materiais e o cumprimento de normas e regulamentações específicas para garantir a segurança, eficiência e durabilidade dos produtos. No contexto da indústria de iluminação, seja para luminárias indoor ou outdoor, o design e a especificação dos cabos desempenham papel crucial na transmissão de energia elétrica e no desempenho do sistema de iluminação.

Logo abaixo, abordaremos os diferentes tipos de cabos e chicotes utilizados, as aplicações específicas para luminárias de ambientes internos e externos, e as normas técnicas regulatórias que regem o setor no Brasil.

1. Materiais Utilizados em Chicotes e Cabos Elétricos

Os chicotes e cabos para luminárias devem ser fabricados com materiais

de alta qualidade para garantir a performance elétrica e mecânica desejada. Os materiais mais comuns são:

1.1. Condutores

O condutor é a parte do cabo que transmite a corrente elétrica. Para luminárias, os condutores geralmente são feitos de:

- **Cobre:** O cobre é o material mais utilizado devido à sua alta condutividade elétrica e flexibilidade. Pode ser encontrado em fios sólidos ou trançados.
- **Alumínio:** Menos comum, o alumínio é mais leve e tem um custo mais baixo, mas possui menor condutividade elétrica em comparação ao cobre.

1.2. Isolamento

O isolamento é responsável por proteger os condutores, evitando curtos-circuitos e danos elétricos. Os principais materiais de isolamento incluem:

- **PVC (Policloreto de Vinila):** Usado devido ao seu custo baixo, alta resistência à abrasão e boa flexibilidade. Ideal para aplicações internas.
- **XLPE (Polietileno Reticulado):** Mais resistente a temperaturas elevadas e a condições externas, como umidade e radiação UV, sendo ideal para cabos expostos.
- **EPR (Borrachas Etileno-Propileno):** Oferece uma excelente resistência a altas temperaturas e é utilizado para aplicações em ambientes com temperaturas extremas.

1.3. Revestimentos Externos

Para proteção adicional, os cabos podem ser revestidos com materiais como:



- **Polietileno (PE):** Resistente a agentes químicos e água, sendo utilizado em ambientes agressivos, como luminárias externas.
- **Aço Inoxidável:** Em algumas aplicações de alta exigência, o revestimento metálico é utilizado para proteger os cabos contra danos mecânicos.

2. Tipos de Cabos e Chicotes Elétricos

2.1. Cabos para Luminárias Indoor

Para luminárias de ambientes internos, os cabos precisam ser flexíveis e com isolamento adequado para baixa ou média tensão. Alguns tipos de cabos comuns incluem:

- **Cabos de 2 a 5 condutores:** Para luminárias de pequeno porte e iluminação de áreas internas, como salas e escritórios.
- **Cabos de dupla isolamento:** Para aplicações em luminárias de baixo custo e para aqueles que necessitam de maior segurança elétrica.

2.2. Cabos para Luminárias Outdoor

As luminárias para áreas externas exigem cabos mais robustos, capazes de suportar condições climáticas adversas e exposição ao sol, chuva e variações de temperatura. Alguns exemplos incluem:

- **Cabos com isolamento em PVC ou XLPE:** Para ambientes externos, onde a resistência à intempérie é crucial.
- **Cabos com revestimento metálico ou em borracha:** Para luminárias instaladas em locais sujeitos a impactos ou exposição direta a ambientes agressivos.

2.3. Chicotes Elétricos

Chicotes são conjuntos de cabos que conectam múltiplos circuitos elétricos dentro de uma luminária ou em um sistema de iluminação. O desenvolvimento de chicotes envolve a integração de cabos com diferentes números de condutores e conexões específicas, garantindo que o sistema funcione de maneira eficiente e segura. Os chicotes são especialmente importantes em luminárias de grande porte e sistemas de iluminação industrial.

3. Aplicações no Contexto da Indústria de Iluminação

3.1. Luminárias Indoor

As luminárias indoor, como lâmpadas de teto, luminárias de mesa e iluminação decorativa, exigem cabos com boa flexibilidade e resistência ao desgaste. Nestes casos, a escolha de cabos com PVC ou isolamentos similares é geralmente suficiente para garantir um bom desempenho.

3.2. Luminárias Outdoor

Já para luminárias externas, como postes de luz, iluminação de fachadas e iluminação pública, os cabos precisam ser mais robustos e preparados para enfrentar condições externas, como umidade, radiação UV e variações climáticas. Cabos com isolamento XLPE ou borrachas específicas são preferidos, além de ser comum o uso de revestimentos metálicos para proteger os cabos contra danos mecânicos.

3.3. Sistemas de Iluminação Industrial

No setor industrial, luminárias de alta potência, como as utilizadas em fábricas

e armazéns, exigem cabos e chicotes capazes de suportar altas correntes e ambientes agressivos. Esses cabos são geralmente mais espessos, com material isolante que garante maior segurança elétrica.

4. Normas e Regulamentações

A indústria de cabos e chicotes elétricos no Brasil é regulamentada por diversas normas técnicas que visam garantir a segurança e a qualidade dos produtos. As principais normas que regem os cabos e chicotes para luminárias são:

4.1. ABNT NBR 5410

A NBR 5410 estabelece as condições mínimas para instalações elétricas de baixa tensão, abrangendo o uso de cabos e fios para luminárias e outros sistemas elétricos. A norma especifica os requisitos para o dimensionamento, instalação e segurança dos cabos elétricos.

4.2. ABNT NBR 15749

Esta norma trata especificamente dos requisitos de desempenho para fios e cabos de baixa tensão, incluindo materiais, características elétricas e condições de uso, como resistência ao fogo, ao calor e à umidade.

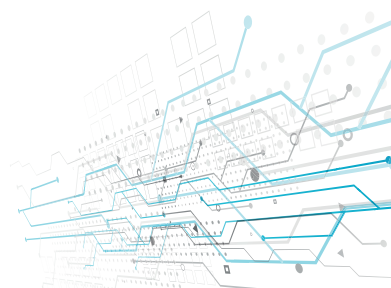
4.3. Certificação INMETRO

Os produtos que atendem aos padrões de segurança e desempenho devem ser certificados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), garantindo que os cabos e chicotes atendem aos requisitos estabelecidos pela ABNT e outras normas aplicáveis.

5. Classificação Fiscal

- **NCM 8544.42.00** - Condutores elétricos para tensão não superior a 1000V, munidos de peças de conexão (conectores).
- **NCM 8544.49.00** - Outros fios e cabos elétricos, para tensão não superior a 1000V, sem conectores.
- **NCM 8544.20.00** - Cabos coaxiais e outros condutores elétricos coaxiais.
- **NCM 8544.60.00** - Cabos elétricos para tensão superior a 1000V

O desenvolvimento de cabos e chicotes elétricos para luminárias exige atenção especial à qualidade dos materiais, à especificação dos componentes e ao cumprimento das normas regulatórias. Ao projetar e fabricar esses produtos, é importante considerar as condições ambientais específicas (internas ou externas), a capacidade de condução de corrente e a resistência dos materiais à exposição prolongada. Seguir as normas e garantir a segurança elétrica são aspectos fundamentais para o sucesso no mercado de iluminação.



ABILUX ◊

LED DRIVERS
PARA
LUMINÁRIAS



LED DRIVERS PARA LUMINÁRIAS

A escolha correta do driver LED é essencial para garantir a performance e a durabilidade do sistema de iluminação. Além das especificações básicas como potência, tensão e corrente, existem várias outras características técnicas que devem ser analisadas durante a seleção do driver, como o fator de potência (PF), eficiência elétrica, THD (distorção harmônica total), flicker, e o encapsulamento. Estas características impactam diretamente a performance, a economia de energia, o conforto visual e a segurança da instalação. Abaixo serão abordados esses aspectos e explicado como cada um deles deve ser observado para garantir uma escolha adequada para aplicações em luminárias.

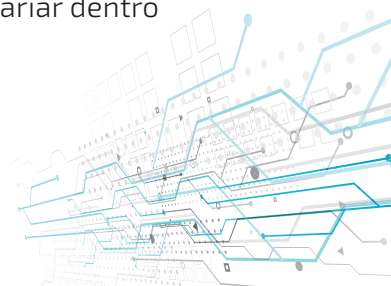
1. Características Técnicas a Serem Observadas

1.1 Tipos de LED Driver

- **1.1.1 Driver de Corrente Constante (CC):** Utilizado com módulos projetados para operar com corrente constante. O driver funciona em uma corrente de saída determinada (por exemplo: 350mA, 700mA, 1400mA, entre outros), regulando sua tensão de saída que deve ser compatível com a carga de LED acoplada. Tipicamente utilizado em sistemas em que a carga de LEDs é fixa, como por exemplo luminárias públicas e industriais. É o mais comum em luminárias que possuem o driver incorporado.



- **1.1.2 Driver de Tensão Constante (CV):** Utilizado com módulos projetados para operar com tensão constante. O driver opera em tensão de saída fixa (por exemplo: 12Vdc, 24Vdc, 48Vdc, entre outros) e seu consumo varia dependendo da carga de LED acoplada. A carga dos LEDs pode variar dentro



da capacidade do driver, como por exemplo fitas de LEDs usadas em sancas e telas tensionadas. Comum também em sistemas RGBW.



1.2 Potência Nominal do Driver

A potência nominal (W) do driver deve ser suficiente para alimentar todos os LEDs conectados ao driver. A potência é um dos principais fatores a serem verificados. Se for subdimensionado o driver pode falhar ou superaquecer. Se for superdimensionado o driver pode operar com baixa eficiência, baixo fator de potência e alto THD. A potência nominal é determinada pela fórmula:

$$P_{out}(W) = U_{out}(V_{dc}) \times I_{out}(A)$$

É importante atentar que alguns fabricantes de Drivers, em especial os de tensão constante, indiquem que a potência máxima de saída do driver é menor do que a

declarada, podendo ser 80%, 70%. Assim é fundamental compatibilizar a potência real de saída do driver com a carga a ser usada.

Onde:

P_{out} : Potência de saída do driver

P_{in} : Potência de entrada do driver

U_{out} : Tensão de saída do driver

I_{out} : Corrente de saída do driver

n : Eficiência do driver

Notar que a potência de consumo elétrico da luminária vai ser maior que a Potência de saída, pois deve levar em consideração a perda do driver (dado pela sua eficiência na condição de uso).

Nesse caso, a potência de entrada ou potência total do produto será dada pela fórmula:

$$P_{in}(W) = P_{out}(W)/n\%$$

1.3 Tensão de Saída (Vdc)

- **Drivers CC (Corrente Constante):** Esses drivers têm uma faixa de operação, considerando tensão mínima e máxima, e a tensão total dos módulos de LED ligados ao mesmo devem estar dentro dessa faixa. É muito importante observar as faixas de tensão de operação do módulo de LED incluindo as tolerâncias nas condições de uso da aplicação (temperatura e corrente).
- **Drivers CV (Tensão Constante):** Esses drivers possuem uma tensão nominal fixa, que deve ser compatível com a tensão dos módulos de LED utilizados.

1.4 Corrente de Saída (mA)

- **Drivers CC (Corrente Constante):** A corrente deve ser escolhida de acordo com a capacidade dos módulos de LED. Existem drivers que possuem corrente fixa e drivers com capacidade

de configurar sua corrente via programação, chave seletora (DIP switch), resistor ou potenciômetro interno (trimpot). Alguns drivers podem exigir ligação na rede de energia na linha de produção para ajuste da corrente.

- **Drivers CV (Tensão Constante):** A corrente de saída varia de acordo com a carga de LED conectada até o limite nominal do driver.

1.5 Faixa de operação de Saída

Drivers CC (Corrente Constante): Para determinar a compatibilidade do driver com a carga, deve ser definida qual será a corrente de saída necessária e também a faixa de tensão do módulo de LED. Nos modelos de corrente constante é apresentado no datasheet qual é a faixa de tensão que o Driver consegue operar mantendo a corrente declarada. Alguns modelos permitem que a corrente de saída seja ajustada, e nestes casos é apresentado um gráfico com faixa de operação que o Driver pode atuar.

Exemplo: No driver de 80W conforme gráfico apresentado abaixo ele possui corrente regulável entre 600 e 1050mA, sendo que máxima tensão no módulo de LED admissível nessa faixa de corrente varia de 114 a 76VDC. Sendo que o produto da tensão e corrente não ultrapasse a máxima potência do Driver.

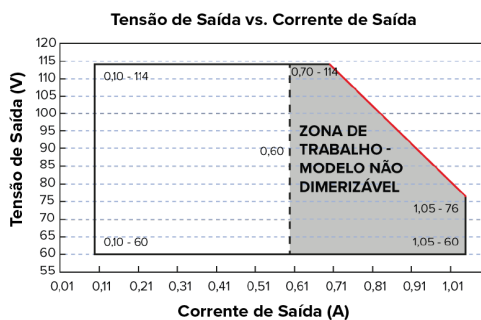


Figura 6 - Faixa de trabalho de tensão e corrente de Saída - Driver Brilia CCR-080-1050-114D

Drivers CV (Tensão Constante): Para determinar a compatibilidade do driver com a carga, deve ser definida qual será a tensão de alimentação da carga, usualmente 12VDC, 24VDC ou 48VDC, e calcular qual é a real potência da carga. Estes drivers mantêm a tensão fixa e ajustam a corrente necessária para a carga.

Exemplo: Para utilizar 5m fita de LED com 10W/m e 24VDC, a potência total desta fita será de 50W. Logo o driver a ser usado será um modelo de 24VDC e deverá ter potência de saída real acima de 50W.

1.6 Fator de Potência (PF)

Definição: O fator de potência (PF) é a medida de quão eficientemente o driver converte a energia da rede elétrica em energia utilizável para os LEDs. Ele é calculado como a razão entre a potência ativa e a potência aparente. No mesmo driver, o fator de potência resultante depende da carga e da tensão de entrada aplicada (sempre consulte o datasheet do fabricante).

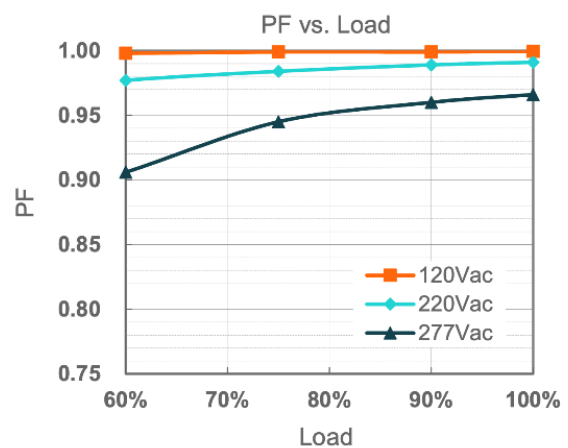


Figura 7 - Exemplo de gráfico de Fator de Potência X Carga X Tensão de Entrada em Driver EUM-150S105DG (Inventronics)

Importância: Uma instalação com fator de potência baixo, além de ocasionar maior consumo de energia, pode gerar



cobranças adicionais pelas concessionárias de energia.

Exigência: Para sistemas industriais e comerciais, um fator de potência igual ou superior a 0.92 é recomendável, assim como é exigido em iluminação pública. Para alguns mercados (como o europeu), é comum exigir um fator de potência de 0.95 ou mais. É exigido pela IEC 61000-3-2 que luminárias com potência acima de 25W cumpram com seus requisitos e, para tal, os drivers precisam ter alto fator de potência.

1.7 Eficiência Elétrica (% ou η)

Definição: A eficiência elétrica é a porcentagem da energia fornecida ao driver que é convertida em energia útil para os LEDs. No mesmo driver, a eficiência resultante depende da carga e da tensão de entrada aplicada (sempre consulte o datasheet do fabricante).

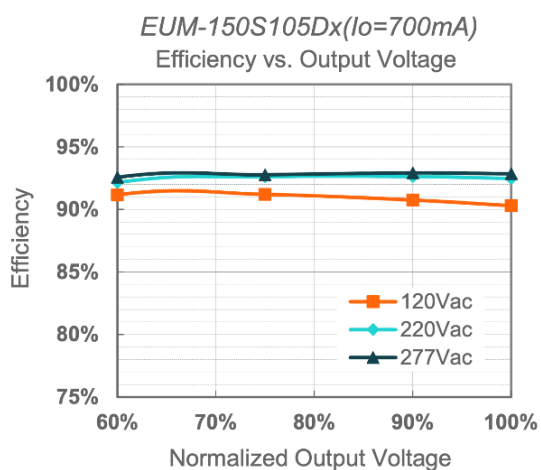


Figura 8 - Exemplo de gráfico de Eficiência X Carga X Tensão de Entrada em Driver EUM-150S105DG (Inventronics)

Importância: A eficiência do driver impacta diretamente no consumo de energia e na geração de calor. Drivers com alta eficiência reduzem o consumo e demandam menor dissipação térmica da luminária, contribuindo para a longevidade

do driver e dos LEDs. Com isso, o aumento da eficiência do Driver impacta diretamente no aumento da eficácia da luminária (lm/W).

Exigência: LED drivers de alta eficiência geralmente estão acima de 85%. Em luminárias de potência acima de 100W é usual eficiências acima de 90%. Para atingir alta eficiência é recomendável que a carga conectada no driver esteja próxima de sua capacidade nominal.

1.8 Distorção Harmônica Total (THD)

Definição: O THD é a quantidade de distorção que ocorre quando a corrente ou a tensão do driver contém componentes de frequências múltiplas da frequência fundamental (geralmente 50Hz ou 60Hz). No mesmo driver, o THD resultante depende da carga e da tensão de entrada aplicada (sempre consulte o datasheet do fabricante).

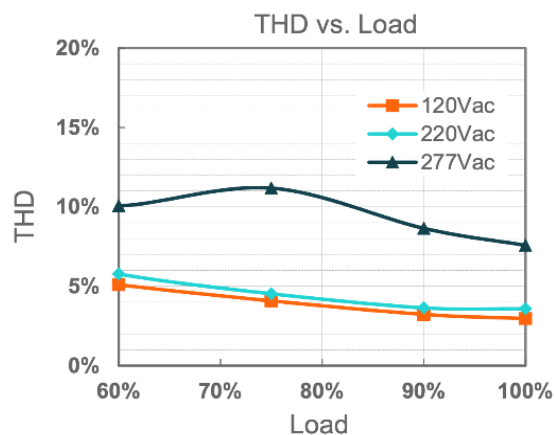


Figura 9 - Exemplo de gráfico de THD X Carga X Tensão de Entrada em Driver EUM-150S105DG (Inventronics)

Importância: A distorção harmônica pode causar interferências no sistema elétrico e em outros equipamentos ligados na mesma rede, aumento do consumo de energia e aquecimento excessivo, além de reduzir a vida útil do driver.

Exigência: O THD deve ser mantido abaixo de 20%. Idealmente, devem seguir o

regulamentado pela norma IEC 61000-3-2. Quanto menor o THD melhor para o sistema.

1.9 Flicker (Oscilação de Luminosidade)

Definição: O flicker é a variação da intensidade da luz visível que ocorre devido à oscilação da corrente fornecida ao LED. Isso pode ser percebido como um "pulsar" da luz.

Importância: Flicker excessivo pode causar desconforto visual, fadiga ocular e até problemas de saúde, como dores de cabeça ou enxaquecas. Em aplicações comerciais, industriais ou clínicas, onde a qualidade da luz é fundamental, a presença de flicker deve ser minimizada. Em ambientes industriais ou áreas externas, o flicker baixo é importante para evitar efeito estroboscópico que pode dar uma falsa percepção de estática em objetos em movimento.

Exigência: A escolha de um driver com baixo flicker é crucial, especialmente em ambientes de trabalho ou em espaços onde os usuários ficam expostos à iluminação por longos períodos. O Ripple do driver é a característica que influencia no efeito de flicker. Quanto menor o valor de Ripple, melhor. Na Europa existe uma norma para definir os limites de flicker e efeito estroboscópico, que são dados pelos parâmetros $PstLM \leq 1$ e $SVM \leq 0.4$, respectivamente. Os drivers fabricados dentro desses parâmetros apresentam essas informações no datasheet.

1.10 Tensão de Entrada

Definição: A tensão de entrada específica a faixa de tensão que o driver pode receber da rede elétrica.

Importância: Um driver com faixa ampla de tensão de entrada garante que ele

seja compatível com diferentes tipos de redes elétricas (por exemplo, 127V ou 220V).

Exigência: Os drivers têm que atender a tensão da rede elétrica com uma tolerância de $\pm 10\%$. Drivers que operam com uma faixa de tensão de entrada ampla (por exemplo, 90-305V AC) são ideais para instalações que podem ser afetadas por flutuações de tensão ou em diferentes regiões com tensões variáveis.

1.11 Vida útil

Definição: Tempo de vida declarado para operação dentro das características de desempenho projetado do driver dependente da temperatura medida na sua carcaça.

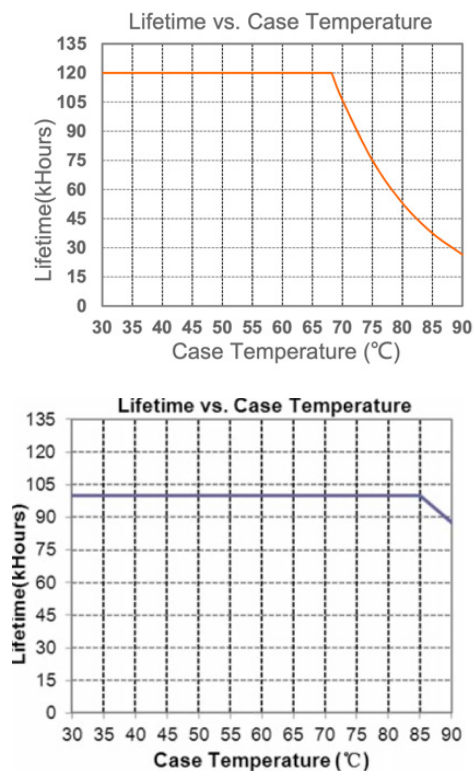


Figura 10 - Gráfico de 2 drivers Inventronics com diferentes desempenhos de vida útil X temperatura

Importância: Para definir o tempo de vida e dimensionar a capacidade térmica da luminária e as condições de operação.



Exigência: A vida útil do driver deve ser superior a garantia oferecida pelo fabricante da luminária.

1.12 Isolamento Elétrico da entrada e da dimerização

Definição: Os circuitos de entrada e saída de LED Drivers podem ser eletricamente isolados (possuem transformadores) ou não-isolados.

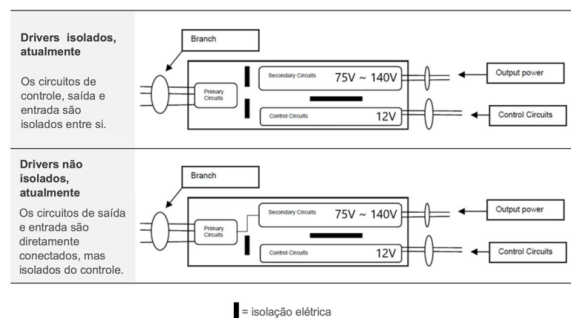


Figura 11 - Exemplo de circuitos de LED drivers Isolados vs Não-Isolados

Importância: LED Drivers isolados oferecem maior proteção contra surtos, interferências elétricas aos LEDs e em especial contra choques elétricos. Enquanto drivers não isolados podem ser mais leves e mais eficientes. O uso de drivers não isolados requer níveis de isolamento maiores em nível de módulo LED, corpo da luminária e exigem aterramento confiável.

Exigência: Apesar de não haver exigência entre uma ou outra plataforma, a construção da luminária e dos módulos de LED é influenciada pela escolha do tipo de LED driver. A questão da segurança na aplicação e manutenção das luminárias instaladas deve ser observada. Mais detalhes podem ser consultados em:

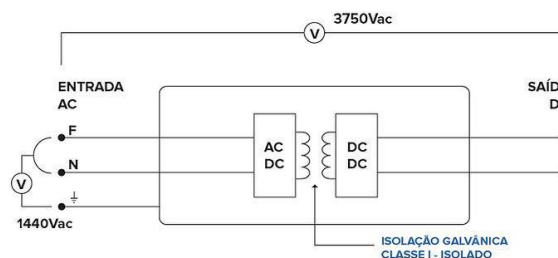
<https://www.inventronics-co.com/wp-content/uploads/2024/04/Inventronics-Considerations-for-Non-Isolated-LED-Drivers.pdf>

2. Classes de proteção

A Norma ABNT IEC 60598-1 define classes de proteção para a classificação das luminárias. De acordo com essa classificação, as luminárias oferecem mais ou menos segurança e são indicadas para diferentes situações. Os drivers usados em cada modelo devem seguir a mesma lógica:

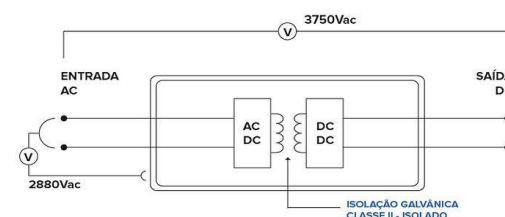
Classe I:

- Possuem isolamento básico;
- Requerem conexão à terra para proteção;
- A proteção contra choques elétricos depende do aterramento adequado;
- Tensão de isolamento dielétrica de 1440Vac ($1000V + 2 \cdot U$ onde U =Tensão de linha: 220Vac);



Classe II:

- Possuem isolamento duplo ou reforçado;
- Não têm conexão à terra;
- Oferecem proteção contra choques independente do aterramento;
- Tensão de isolamento dielétrica de 2880Vac ($2000V + 4 \cdot U$ onde U =Tensão de linha: 220Vac);



Classe III:

- Operam com tensão extrabaixa de segurança (SELV), < 50Vac ou < 120Vdc;
- Tipicamente alimentadas por fontes de 12Vdc ou 24Vdc;
- Não requerem medidas de proteção adicionais devido à baixa tensão;
- Tensão de isolamento dielétrica de 500Vac (isolação básica para produtos SELV);

3. Características de Proteção e Segurança

3.1 Proteções na entrada: servem para prevenir danos elétricos no driver e no módulo de LED quando ocorrem flutuações ou surtos na rede elétrica. Algumas funções que podem ser encontradas em determinados LED drivers são:

- **Surtos nos modos comum (CM) e diferencial (DM):** servem para proteger o driver e módulo de LED contra surtos, principalmente causados por descargas atmosféricas.
- Para aplicação industrial e de iluminação pública é comum o uso de LED drivers com pelo menos 4kV (DM) e 6kV (CM) em luminárias de até 70W e de 6kV (DM) e 10kV (CM) para luminárias de potências maiores.
- Para aplicações comerciais indoor é comum o uso de LED drivers com pelo menos 1kV (DM) e 2kV (CM).
- **Sobretensão e subtensão:** opcionalmente disponível em modelos selecionados, serve para proteger o driver e módulo de LED contra variações na tensão da rede, que podem ser causadas por problemas na rede de distribuição elétrica, chaveamento de cargas,

entre outros. Notar que a exposição do LED driver à subtensão em sua entrada abaixo da faixa de operação nominal, causa danos, caso não haja este tipo de proteção no modelo de LED driver utilizado.

3.2 Proteções na saída: servem para prevenir danos elétricos no driver e no módulo de LED quando ocorrem anomalias no módulo de LED ou no manuseio com o driver LED energizado. As proteções mais comuns são contra:

- **Sobrecarga:** quando a potência do módulo LED é superior a capacidade do driver.
- **Falta de carga:** quando o driver é energizado sem estar ligado ao módulo LED.
- **Curto-Circuito:** quando os polos negativo e positivo são conectados entre si.

3.3 Sistemas de proteção interno

- **Sobre temperatura:** quando a temperatura do driver (T_c) fica acima do limite especificado.

Normalmente as proteções são automáticas e reversíveis, o driver volta a operar normalmente assim que a condição de falha é removida. Segue um exemplo do funcionamento do sistema de proteção térmica do driver.

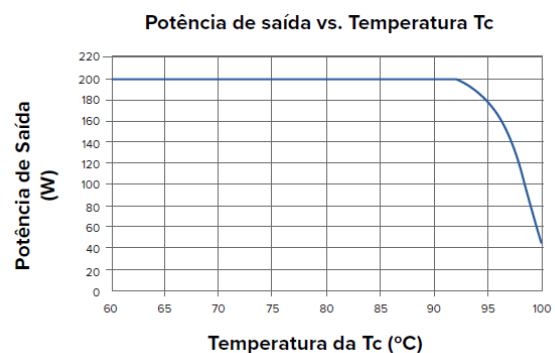


Figura 12 - Curva da redução da potência com aumento do T_c
- Driver Brilia CCR 200W

3.4 Encapsulamento (IP Rating)

Definição: O IP rating (Índice de Proteção) indica o nível de proteção que o driver possui contra poeira, água e objetos sólidos. A nomenclatura IPxy onde x e y indicam, respectivamente os diferentes testes e proteção contra sólidos e contra líquidos ao que o LED driver é submetido.

		SEGUNDO NUMERAL / GRAU DE PROTEÇÃO CONTRA ÁGUA									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
		Não protegido	Proteção contra objetos sólidos maiores que 50 mm	Proteção contra objetos sólidos maiores que 12 mm	Proteção contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm	Proteção contra objetos sólidos maiores que 1 mm	Proteção contra água respargada de um ângulo de 15°	Proteção contra água respargada de um ângulo de 60°	Proteção contra água respargada de um ângulo de 120°	Proteção contra água respargada de um ângulo de 180°	Proteção contra água respargada de um ângulo de 180°
PRIMEIRO NUMERAL		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
GRAU DE PROTEÇÃO CONTRA OBJETOS SÓLIDOS	Não protegido	0	IP00	IP01	IP02						
	Proteção contra objetos sólidos maiores que 50 mm	1	IP10	IP11	IP12						
	Proteção contra objetos sólidos maiores que 12 mm	2	IP20	IP21	IP22	IP23					
	Proteção contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm	3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
	Proteção contra objetos sólidos maiores que 1 mm	4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	IP45	IP46		
	Proteção contra água respargada de um ângulo de 15°	5						IP54	IP55	IP56	
	Totalmente protegido contra a poeira. Mesmo procedimento de teste	6						IP65	IP66	IP67	IP68

Figura 13 - <https://wbxracks.com.br/o-que-e-grau-de-protecao-ip/>

Importância: A classificação IP é crucial para determinar a adequação do driver para diferentes ambientes. Por exemplo, luminárias externas ou em áreas úmidas exigem drivers com pelo menos classificação IP65, para garantir proteção contra a água e o pó.

Exigência:

- **IP20:** Adequado para ambientes internos secos, como salas de estar e escritórios.
- **IP65, IP66:** Adequados para ambientes externos ou sujeitos a umidade e poeira, como instalações externas e indústrias. O driver não deve ficar totalmente exposto a intempéries.
- **IP67:** Adequados para ambientes externos ou sujeitos a umidade e poeira, como instalações externas e indústrias. Apesar desse índice de proteção permitir que o driver fique imerso por um curto período, isso não significa que o driver possa ficar completamente exposto a intempéries.

Uma vez que não é permitido o acúmulo de água por períodos prolongados sob o risco de penetração de água que vai danificar o driver ao longo do tempo.

- **IP68:** Para ambientes extremamente exigentes, como iluminação subaquática ou onde o driver pode ficar imerso em água.
- Os testes para cada índice IP têm características específicas de forma que um grau superior não significa maior ou menor proteção. Deve ser observado a aplicação do driver para definição da melhor proteção. Existem drivers que possuem mais de uma classificação (por exemplo IP66/IP67).
- Via de regra os fabricantes sempre vão recomendar que a luminária possua alojamento para proteção do driver contra intempéries, independente do grau de proteção do mesmo.
- É importante utilizar conectores e emendas compatíveis com o índice de proteção exigido na aplicação para que a classificação IP do LED driver seja efetivo.

4. Considerações Adicionais para Aplicações Específicas

4.1 Compatibilidade com Sistemas de Controle

Os sistemas de controle de iluminação servem para melhorar o conforto dos usuários, economia de energia, aumento da vida útil, monitoramento do funcionamento e auxílio em atividades de manutenção.

Existem diferentes protocolos de comunicação que devem ser escolhidos de acordo as características do projeto e exigências da aplicação:

- **TRIAC/corte de fase:** é utilizado em aplicações residenciais ou em retrofit de instalações com lâmpadas halógenas que já tenham o dimmer TRIAC. Tem maior limitação (mín. 30%) e pior qualidade de dimerização.
- **0/1-10V e PWM:** é utilizado em aplicações comerciais, indústria e iluminação pública. Permite bom controle de dimerização, mas não transmite dados da luminária para o sistema de controle. Além disso, possui exigências específicas de infraestrutura por se tratar de um sinal analógico.
- **DALI:** pode ser utilizado em quaisquer aplicações. Permite controle total da dimerização por meio de criação de grupos, cenas, comando individual das luminárias. Além disso, há transmissão de dados para o sistema de controle, permitindo monitoramento e controle.
- **DMX:** deve ser utilizado em aplicações com alto grau de dinamismo. É o sistema que tem a melhor velocidade de resposta para mudanças rápidas e sequenciais. É mais utilizado em ambientes de shows e iluminação arquitetural.

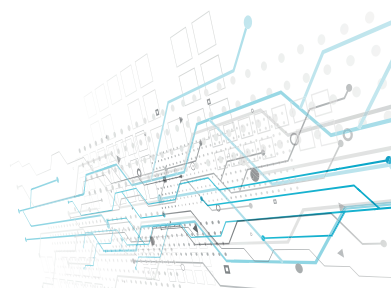
5. Certificações de Qualidade

As certificações como UL, CE, RoHS, e outros padrões internacionais de segurança são fundamentais para garantir que o driver atenda às normas de segurança e desempenho, evitando riscos para a instalação e pessoas.

6. Classificação Fiscal

- **NCM 8504.40.21-** Retificadores, exceto carregadores de acumuladores, de cristal (semicondutores)
- **NCM 8504.40.22** - Retificadores elétricos estáticos do tipo eletrolítico, exceto carregadores de acumuladores. Esta classificação pertence à subposição 8504.40 (conversores estáticos) e abrange aparelhos utilizados para converter corrente alternada em contínua usando processos eletrolíticos
- **NCM 8504.40.29** - "Outros" retificadores, classificados dentro dos conversores elétricos estáticos (exceto carregadores de acumuladores). Esta categoria engloba equipamentos eletrônicos que convertem corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), utilizados em fontes de alimentação, conversores de frequência e outras aplicações técnicas
- **NCM: 8504.40.60** - Aparelhos eletrônicos de alimentação de energia do tipo utilizado para iluminação de emergência.

A escolha do driver adequado para luminárias LED vai além das especificações básicas de tensão, corrente e potência. É fundamental considerar características como o fator de potência (PF), a eficiência elétrica, o THD, o flicker, a faixa de tensão de entrada e o encapsulamento (IP rating). Cada uma dessas características afeta a performance, a segurança, o conforto e a durabilidade do sistema de iluminação. Para garantir uma instalação eficiente, segura e duradoura, é essencial que engenheiros e compradores considerem todas essas variáveis na hora de selecionar o driver adequado para suas necessidades específicas.



ABILUX ◊

ILUMINAÇÃO DE
EMERGÊNCIA



ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

As luminárias que compõem um sistema de emergência têm por objetivo garantir condições visuais adequadas para evacuação segura e evitar pânico durante falta de energia, tanto em ambientes claros quanto em condições de fumaça. Essas luminárias podem ser exclusivamente de emergência, ou elas podem ser luminárias comuns que também funcionam como luminárias de emergência.

1. Tipos de Iluminação de Emergência

- Aclaramento: assegura visibilidade geral e orientação nas rotas de fuga.
- Balizamento: indica claramente as rotas de fuga e saídas.
- Auxiliar: mantém atividades críticas (ex: hospitais, controle de tráfego).
- Área de circulação aberta: evita pânico em espaços amplos.
- Área de tarefa de alto risco: garante segurança em operações perigosas.

Aclaramento



Balizamento



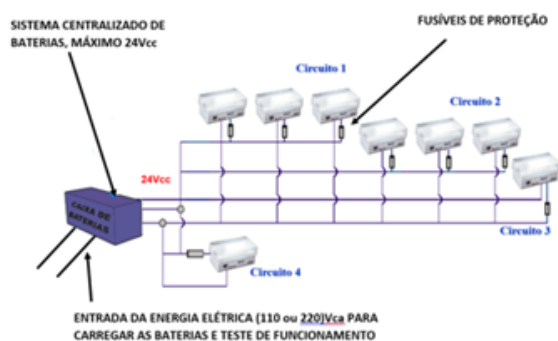
2. Tipos de Sistemas

- Bloco autônomo: luminária com bateria e controle integrados.
- Inversor de emergência (módulos de emergência): é um sistema para integrar iluminação normal (luminárias tradicionais) e de emergência, desde que mantenha o grau de proteção mínima IP43.
- Sistema centralizado com baterias: central de comando e luminárias alimentadas por cabos de baixa tensão (até 30 Vcc).
- Sistema com UPS: fonte ininterrupta exclusiva para iluminação de emergência.
- Sistema com grupo motogerador: gerador automático dedicado à iluminação de emergência.



- Luminárias portáteis com funcionamento tipo lanterna: não são considerados sistemas de emergência.

Sistema Centralizado com baterias



- Relação máxima entre iluminâncias: 20:1 (para evitar ofuscamento).
- Fluxo luminoso mínimo: 300 lm.
- Temperatura de cor: entre 3.000 K e 6.000 K.
- Materiais não propagantes de chama e resistentes à corrosão.
- Índice de reprodução de cor (Ra) > 40.
- Grau de proteção mínimo: IP20 (não previsto combate de incêndio com água) a IP43 (previsto combate de incêndio com água) a IP65 (previsto para instalações em locais abertos).

4. Inversores de Emergência

O Inversor de Emergência é um sistema que pode ser integrado nas luminárias tradicionais trazendo uma série de vantagens, uma vez que permite que a mesma luminária opere como iluminação normal e como de emergência.

Estes dispositivos operam em paralelo com o driver principal da luminária. Enquanto existe energia na rede elétrica a luminária funciona normalmente em sua condição nominal. No momento da falta de energia, o inversor de emergência entra em operação automaticamente e passa a fornecer energia para a luminária através da sua bateria integrada.

Ele identifica a falta de energia principal e aciona a bateria para que a luminária continue funcionando. Desta forma é possível projetar a iluminação normal da área com as luminárias de preferência e adicionar o inversor de emergência em algumas unidades, de modo que atendam os níveis de iluminância exigidos.

Com esse sistema a estética do empreendimento não é afetada uma vez que a mesma luminária que está sendo usada para iluminação normal irá funcionar também como luminária de emergência.

UPS



3. Requisitos Gerais

- **Iluminação mínima:**
- 1 lx em áreas planas;
- 5 lx em escadas e obstáculos;
- 15 lx em áreas de alto risco.
- Autonomia mínima: 2 horas, fluxo constante (sem redução de fluxo luminoso).
- Funcionamento automático sem intervenção manual.

Todas as instalações comerciais devem estar contempladas com sistema de emergência de acordo com a norma NBR 10898.

Tipos:

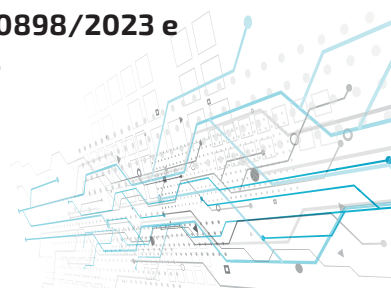
- **Inversor de corrente constante:** É um inversor que trabalha como um driver de corrente constante, precisa que a corrente de saída esteja de acordo com a corrente do módulo de LED a ser usado. É um modelo onde pode se ter precisão sobre a corrente de saída, mas reduz a flexibilidade pois necessita de diferentes Inversores para diferentes podemos.
- **Inversor de Potência constante:** É um modelo que se ajusta a faixa de tensão do módulo automaticamente e regula a corrente para manter a potência constante. É um modelo mais flexível e em geral pode se adaptar a grande maioria das luminárias.



5. Tipos de Bateria

- **Ni-Cd – Níquel-Cádmio:** é uma tecnologia mais antiga, porém ainda usada. Tem o benefício de poder ser carregada muitas vezes, mas pode apresentar problema de "vício" e como possui metais pesados, não é compatível com RoHS (certificação sob uso de substâncias químicas que são danosas ao ambiente) e por isso não tem mais sido usada.
- **Li-Ion – Íon de lítio:** Estas baterias oferecem alta densidade energética, baixa taxa de autodescarga e não sofrem do efeito memória que afetava baterias mais antigas. Com elas é possível ter um tamanho menor que o modelo LiFePO4, porém suportam menor temperatura.
- **LiFePO4 - Fosfato de ferro-lítio:** Possuem excelente estabilidade térmica, alta segurança e vida útil, excepcionalmente longa superando 2000 ciclos de carga. Suportam maiores temperaturas que os modelos Li-íon.
- **Chumbo-Ácido** - uma das tecnologias mais antigas e consolidadas no mercado. Estas baterias utilizam placas de chumbo e dióxido de chumbo imersas em solução de ácido sulfúrico. Apesar de sua baixa densidade energética, oferecem alta confiabilidade, capacidade de fornecer altas correntes instantâneas e baixo custo de produção. Entre suas desvantagens estão o peso elevado, vida útil relativamente curta (300-500 ciclos), tempo de recarga lento e questões ambientais relacionadas ao chumbo, que é tóxico e requer reciclagem adequada.

As baterias devem possuir vida útil mínima de 4 anos, recarga total em até 24 h, e devem seguir as normas de conformidade ABNT NBR 10898/2023 e ABNT NBR IEC 60598-2-22.



6. Exemplo de aplicação de um inversor de emergência:

O Inversor de Emergência pode ser usado na grande maioria das luminárias LED, desde que ele possa ser conectado entre a saída do Driver e o módulo de LED, conforme exemplo apresentado abaixo.

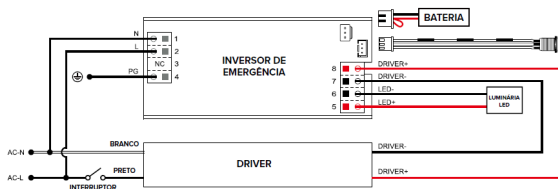
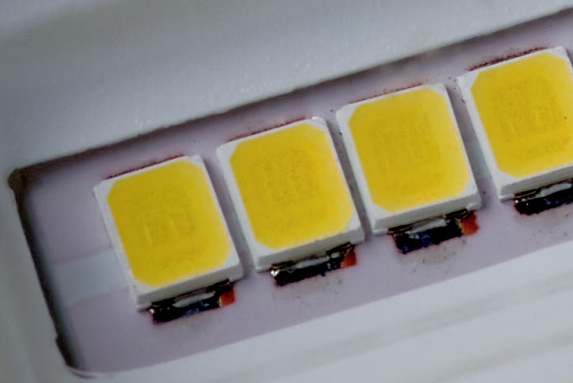
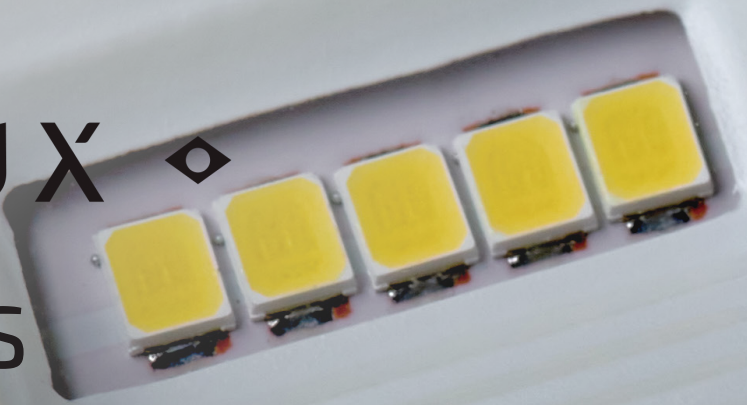
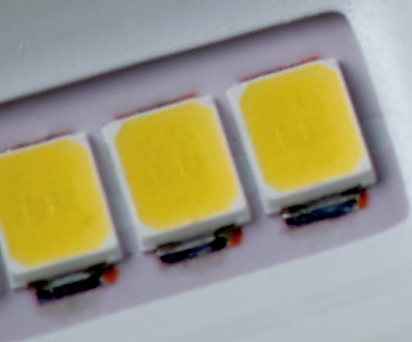


Figura 14 - Exemplo do esquema de ligação do Inversor de Emergência Brilia modelo FCC-08-260

ABILUX 

SOQUETES
E CLIPES DE
FIXAÇÃO



SOQUETES E CLIPES DE FIXAÇÃO



A fixação adequada dos módulos LED dentro das luminárias é essencial para garantir segurança, eficiência térmica e facilidade de manutenção. O uso de clips plásticos e presilhas específicos para essa aplicação permite um encaixe seguro, evitando vibrações, desalinhamentos ou danos

aos módulos. Esta cartilha apresenta as melhores práticas e os critérios essenciais para selecionar esses componentes, considerando referências de mercado como Lalux e BJB.

1. Critérios de Seleção dos Componentes de Fixação

Material: Preferência por plásticos de engenharia (ex.: policarbonato, PBT reforçado com fibra de vidro) devido à resistência térmica e mecânica.

Compatibilidade: O componente deve ser adequado ao tipo e tamanho do módulo LED, garantindo um encaixe firme sem comprometer sua integridade.

Resistência térmica: O material deve suportar as temperaturas de operação do módulo LED, minimizando deformações ou degradação ao longo do tempo.

Facilidade de montagem e manutenção: Presilhas de encaixe rápido reduzem o tempo de instalação e possibilitam manutenções sem danos ao módulo.

Isolação elétrica: O material deve ser dielétrico para evitar curtos-circuitos ou descargas indesejadas.

Durabilidade: Resistência à umidade, UV e agentes químicos, conforme o ambiente de aplicação da luminária.

2. Qualidade e Certificações

Normas aplicáveis: IEC, UL, RoHS, entre outras, para garantir segurança e conformidade.

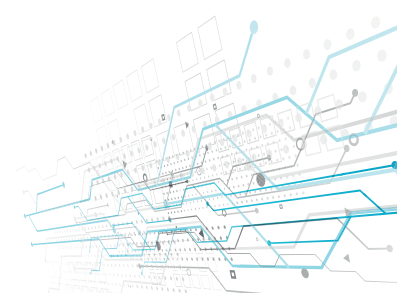
Testes de validação: Ensaio térmico, resistência mecânica, envelhecimento acelerado e compatibilidade química.

Garantia do fornecedor: Importante verificar a garantia e histórico de qualidade da marca escolhida.

3. Classificação Fiscal

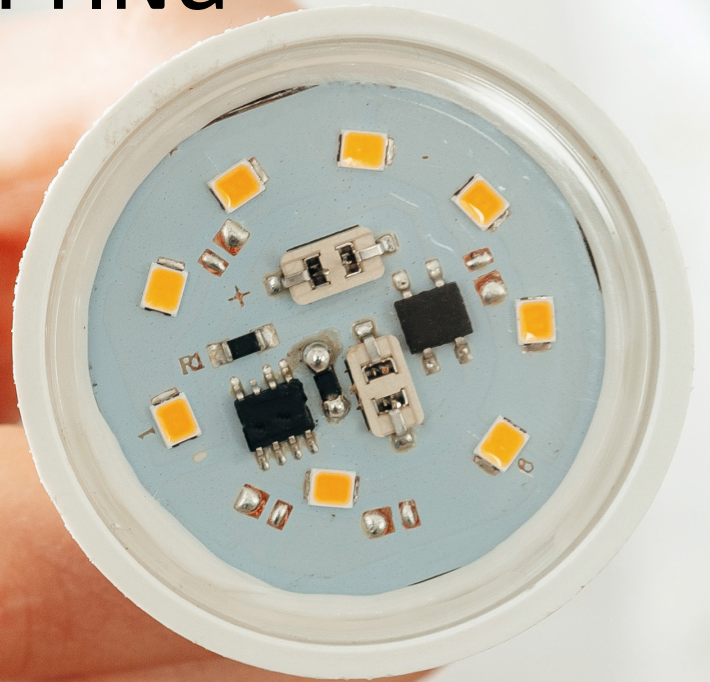
- **NCM 3926.90.90** – Clipes, fixadores, outras obras de plástico
- **NCM 8536.61.00** – Soquetes

A escolha adequada de clipes e presilhas impacta diretamente na durabilidade e eficiência dos módulos LED dentro das luminárias. Priorizar materiais de qualidade, fornecedores experientes e componentes compatíveis com as especificações técnicas da aplicação garante um desempenho seguro e confiável ao longo do tempo.

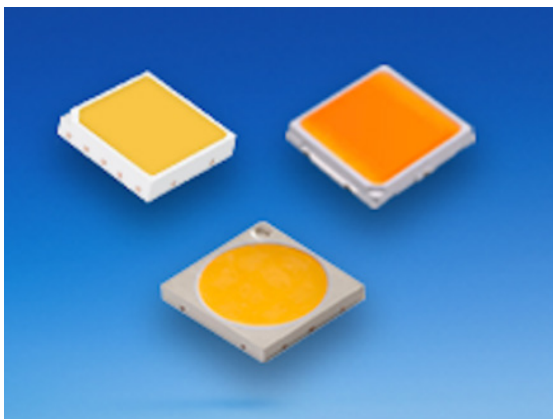
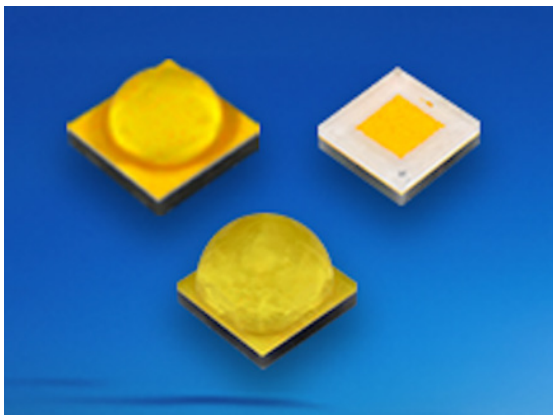


ABILUX ◊

**LED (LIGHT-EMITTING
DIODES)**



LED (LIGHT-EMITTING DIODES)



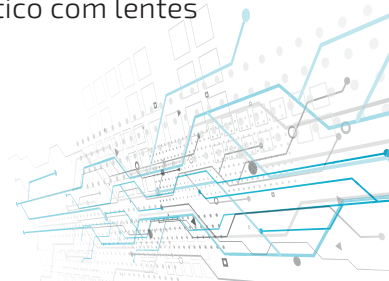
O LED é um componente eletrônico capaz de emitir luz visível transformando energia elétrica em energia luminosa.

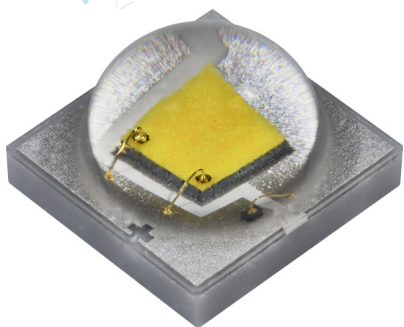
Os LEDs revolucionaram a indústria de iluminação devido à sua combinação única de eficiência energética, durabilidade e flexibilidade em aplicações diversas. Sua capacidade de produzir luz com alta qualidade e baixo consumo de energia os tornou indispensáveis

1. Tipos de construção de LEDs

1.1 Encapsulamento: Os LEDs utilizam diferentes tipos de encapsulamento para proteger o chip LED, influenciar o desempenho óptico e melhorar a dissipação de calor, além de prover interface elétrica com a placa de circuito impresso. Os tipos mais comuns de encapsulamento são.

- **Cerâmico:** Este tipo de encapsulamento é feito de materiais cerâmicos que oferecem excelente resistência térmica e durabilidade. Este tipo de encapsulamento é amplamente utilizado em aplicações que exigem alta potência e boa gestão de calor, por isso suportam maiores correntes. Possui melhor manutenção de lúmen e da cor, especialmente em temperaturas elevadas e potência. Além disso, possuem melhor tolerância a ambientes agressivos
- Usualmente, neste tipo de encapsulamento, o chip de LED possui aplicação localizada de fósforo, o que contribui com o desempenho de color-over-angle e por possuírem usualmente dimensão $\geq 1\text{mm}^2$, tem maior capacidade de corrente e melhor acoplamento óptico com lentes secundárias.



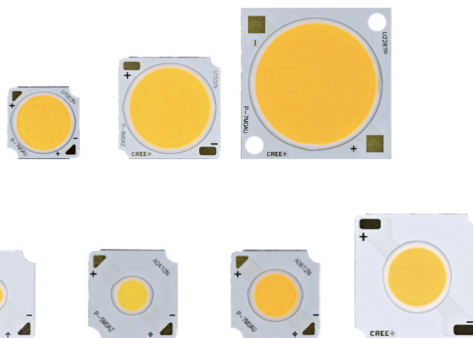


- **Polímero:** fabricados em diferentes tipos de resina usualmente epóxi. É um dos tipos mais comuns de encapsulamento devido ao seu baixo custo e facilidade de moldagem, mas deve-se observar a aplicação para sua utilização por apresentar maior variedade de opções em LEDs em uma mesma classe de potência com durabilidade e performance distintas.
- Neste tipo de LED, usualmente, há vários chips pequenos ($\leq 1\text{mm}^2$) com emissão de luz volumétrica, conectados em série/paralelo, e o fósforo é aplicado na resina que cobre os chips e coleta a luz usando um refletor usualmente de alumínio ou prata na base do encapsulamento. Apesar do uso de múltiplos chips em conjunto oferecer alta eficiência, o refletor e a resina com fósforo são mais suscetíveis a degradação. A maior área de emissão de luz também gera um desafio maior no acoplamento óptico e no desempenho de color-over-angle.



- **Chip-on-board (COB):** É uma tecnologia de montagem de LEDs na qual vários chips de LED são

integrados diretamente em um substrato usualmente cerâmico ou de metal para formar um único módulo compacto sem a necessidade de uma placa de circuito impresso para operação.



• **Chip-Scale-Package (CSP):** é uma tecnologia de construção para LEDs na qual o tamanho do encapsulamento é praticamente igual ao do próprio chip do LED, ou seja, não há uma estrutura adicional ao redor do chip. Essa abordagem minimiza o espaço ocupado pelo LED, permitindo adensamento e bom acoplamento óptico, mas reduz sua robustez, sendo também mais delicado de ser manuseado na montagem.



Substrato	Cerâmico	Polímero (epóxi e outros)	COB (Metal ou Cerâmico)	CSP (sem substrato)
Gerenciamento de Calor	+++	+	++	+
Durabilidade	+++	+	++	+
Acoplamento óptico	+++	+	+	+++
Eficiência elétrica	++	+++	++	++
Facilidade de manuseio	++	++	+++	+
Resistência mecânica	+++	++	+++	+
Densidade de lumens	+++	++	+++	+
Aplicação	Esporitiva, Iluminação Pública e de túneis, Médica, Ambientes severos, Arquitetural, Entretenimento	Indoor, Linear, Lâmpadas (pode ser usado em iluminação pública e industrial se for corretamente selecionado para suportar a aplicação)	Varejo, Arquitetural, Track lights, Downlights	Entretenimento, Arquitetural Indoor

2. Características Técnicas dos LEDs

Um modelo de LED apresentará, por conta do processo produtivo, variações nas suas características de fluxo luminoso e tensão de operação. Estas faixas de variação devem ser classificadas e declaradas pelo fabricante nas tabelas de especificação e detalhadas nas tabelas de binagem (Bin). Os valores de performance declarados representam uma média ponderada dos valores típicos atingidos na produção daquele modelo e dos kits de Bins que o compõe em uma determinada temperatura e corrente de operação.

Product	Power Class	Test Temperature	Test Current	Typical Forward Voltage	4000 K, 80 CRI		5000 K, 70 CRI		Maximum Current
					Typical Flux	Typical Efficacy	Typical Flux	Typical Efficacy	
JB2835B 3V G Class	0.2 W	25 °C	55 mA	2.67 V	32.1 lm	219 LPW	33.8 lm	230 LPW	480 mA

Figura 15 - Exemplo de tabelas com valores de desempenho típico de um LED e a faixa de variação

Tensão (Vf): As variações de tensão de um determinado LED produzido devem ser classificadas em grupos e, usualmente, são declarados nos correteis para que o usuário saiba a especificação daquela embalagem e possa prosseguir com combinações de LEDs na montagem para atender a especificação projetada. Em determinados produtos pode ser possível selecionar os Bins no momento da compra. A compra de lotes com Bins mais amplos ou de performance inferior pode oferecer custo melhor que restringir os grupos de maior performance.

Voltage Bin	Minimum Forward Voltage (V)	Maximum Forward Voltage (V)
AB	2.5	2.6
AC	2.6	2.7
AD	2.7	2.8
AE	2.8	2.9
AF	2.9	3.0
AG	3.0	3.1
AH	3.1	3.2

Figura 16 - Exemplo de grupos de BINS de Tensão de LEDs (Cree LED J Series)

Fluxo luminoso: Pelo mesmo motivo, variações de fluxo, em uma mesma corrente de um determinado LED produzido, devem ser declaradas e, usualmente, tem o grupo informado nos correteis para que o usuário saiba

a especificação daquela embalagem e possa realizar combinações de LEDs na montagem para atender a especificação projetada. Em determinados produtos pode ser possível selecionar os Bins no momento da compra. A compra de lotes com Bins mais amplos ou de performance inferior pode oferecer custo melhor que restringir os grupos de maior performance.

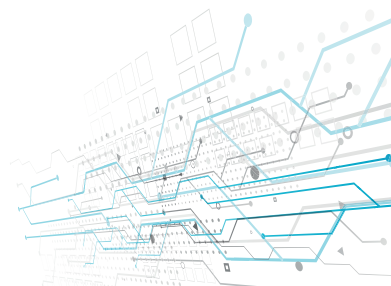
Group Code	Minimum Luminous Flux (lm)	Maximum Luminous Flux (lm)
C6	19	21
C7	21	23
C8	23	25
C9	25	27
D6	27	29
D7	29	31
D8	31	33
D9	33	35
E6	35	37

Figura 17- Exemplo de grupos de BINS de Fluxo Luminoso de LEDs (Cree LED J Series – 55mA)

É importante ressaltar que os fluxos dispostos nos "datasheets" são sempre medidos em condições específicas de temperatura e corrente, logo o fluxo real resultante da aplicação deverá ser avaliado de acordo com as características do projeto e de uso.

Tonalidade de cor em LEDs brancos:

Com base nos estudos da percepção humana em relação as cores, as diferentes tonalidades da luz branca são classificadas em paralelogramos do espaço de cores de acordo com a norma ANSI C78-377. Para facilitar a especificação dos LEDs, utilizamos o deslocamento horizontal das coordenadas medidas da fonte de luz sobre a linha do corpo negro para classificar a luz em temperatura de cor correlata (TCC) dado em Kelvin (K). Variações verticais neste espaço de coordenadas são naturais, mas coordenadas fora dos paralelogramos, ou seja, acima ou abaixo, não devem ser classificados como luz branca.



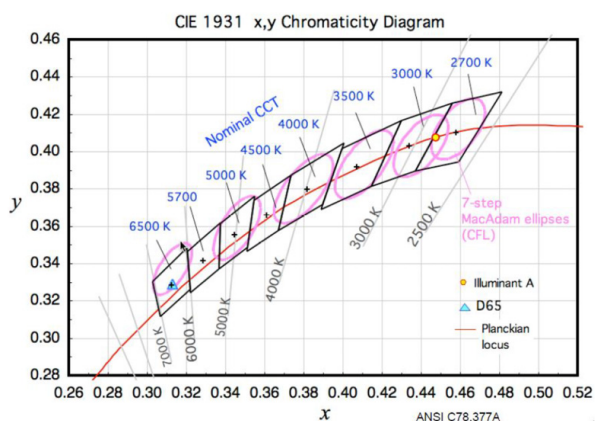


Figura 18 - Ilustração dos paralelogramas, elipses e temperatura de cor na curva do corpo negro pela ANSI C78.377-2008

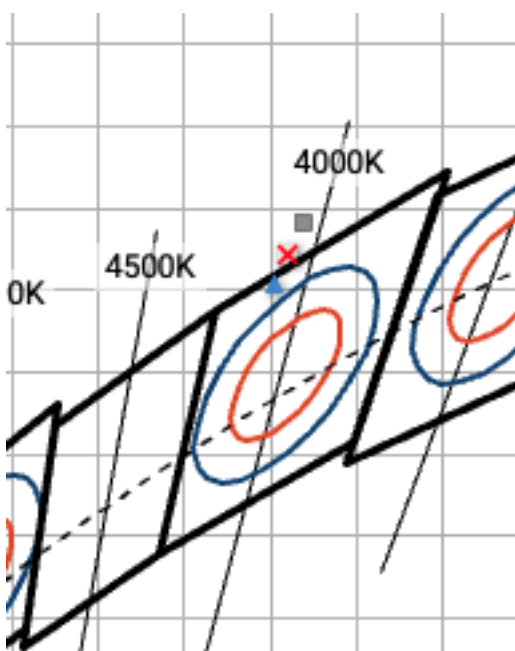


Figura 19 - Exemplo de medição de fonte de luz "4000K" em que 1 amostra está no limite e 2 amostras estão fora do paralelograma de 7 steps da ANSI C78.377

Como dentro de uma mesma classe de temperatura de cor podem existir variações de pigmentações nos LEDs, é importante que sejam utilizados LEDs com os mesmos Bins de cores para evitar que sejam percebidas diferenças de tonalidade em uma mesma placa, veja a Figura 16. A distribuição de um grupo de LEDs de um mesmo modelo em relação ao centro da elipse é chamada de STEP, quando mais longe do centro desta elipse um grupo de LEDs de uma mesma temperatura de cor

está, maior é o valor de STEP daquele grupo e, portanto, maior a chance de percepção de diferenças de tonalidade. Diferentes fabricantes seguem critérios diferentes de classificação de grupos, portanto a combinação em uma placa de LEDs de fabricantes distintos, não é recomendável para manter a consistência cromática.

Abaixo um exemplo de classificação (Bins) de cromaticidade de um fabricante de LEDs:

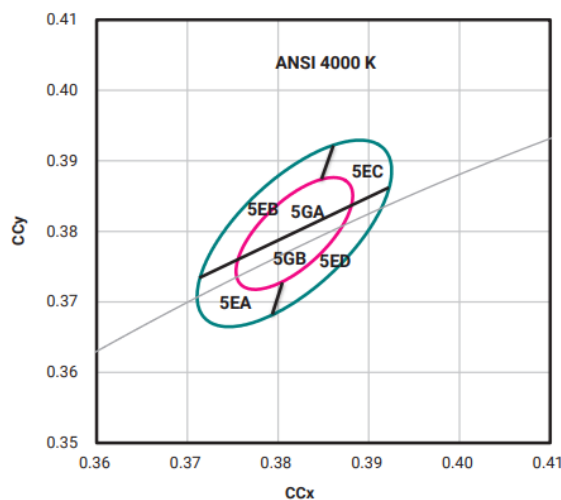
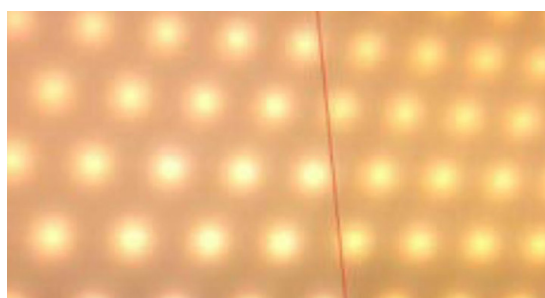
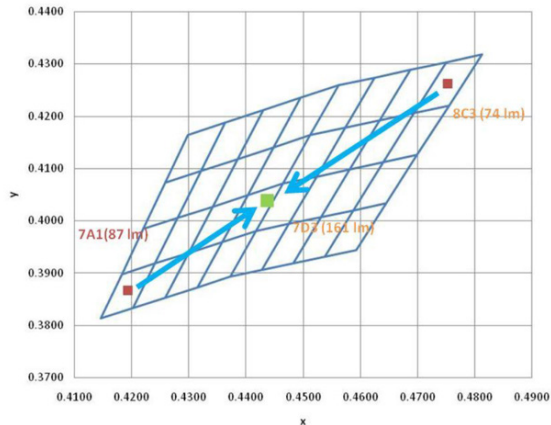


Figura 20 - Exemplo de um tipo de classificação de BINs de Cor na elipse de 4000K - Cree LED J series datasheet



Para aplicações sensíveis a variação cromática, utilizar LEDs com 3 STEPs ou menos é recomendável, para aplicações mais simples, 5 STEPs é aceitável, deve-se evitar utilizar LEDs com 7 STEPs. Se variações de tonalidade observados diretamente na placa não for um problema, uma estratégia para manter fidelidade cromática da luz resultante utilizando LEDs com bom custo-benefício, é utilizar LEDs de 5 STEPs em grupos oposto, como no exemplo da Figura 14, misturando

proporcionalmente LEDs dos grupos 5EB + 5ED e/ou 5EA + 5EC na placa de circuito impresso.



Outro aspecto relevante é que existe variação da cromaticidade em relação ao declarado na binagem em relação a corrente aplicada, a temperatura de operação, ao longo da vida útil e com a exposição à gases do ambiente.

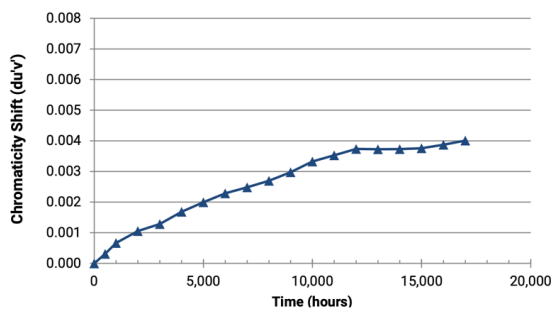


Figura 23 - Exemplo da variação da cromaticidade de um LED ao longo do tempo

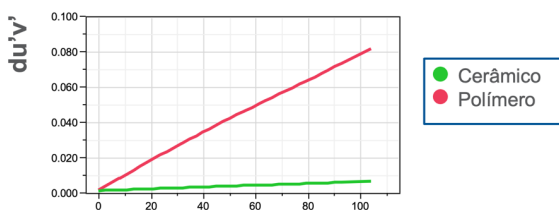


Figura 24 - Exemplo de variação ao longo do tempo da cromaticidade de um LED cerâmico e de um LED de polímero expostos a gás de enxofre

Índice de Reprodução de Cor: O índice de reprodução de cor (IRC), ou CRI (Color Rendering Index), é uma medida da

capacidade de uma fonte de luz em reproduzir fielmente as cores dos objetos em comparação com uma fonte de luz natural ou ideal. Um LED com alto IRC é capaz de proporcionar uma iluminação mais natural e vibrante, melhorando a aparência dos objetos e do ambiente. Alto IRC é importante em aplicações onde a precisão das cores é crucial, mas também possui eficiência mais baixa em comparação com LEDs da mesma categoria com IRC mais baixo.

- IRC acima de 70: Usualmente adequado para aplicações outdoor e industriais que necessitam de alta eficiência.
- IRC acima de 80: Adequado para a maioria das aplicações residenciais e comerciais.
- IRC acima de 90: Recomendado para aplicações que exigem precisão de cor, como galerias de arte, fotografia e áreas de saúde. Atualmente existem novos materiais como o "narrow-band red phosphor" que permite atingir altos índices de IRC com eficiência.

Expectativa de vida: Os LEDs apresentam expectativa de vida muito superior a tecnologias de lâmpadas tradicionais, podendo ultrapassar 100.000h de operação. É importante notar que o tempo de vida não é quando o LED parará de operar, mas quando o fluxo luminoso pelo desgaste do componente em operação reduzir até o critério determinado, por exemplo L70 (70% do fluxo inicial) ou L90 (90% do fluxo inicial).

Como seria inviável o teste por todo o período, algumas diretrizes foram estabelecidas para a determinação da expectativa de vida destes componentes.

A IES (Illuminating Engineering Society of North America) desenvolveu um procedimento de teste para LEDs que é publicado pela norma IES LM 80. Esta publicação/ procedimento específica



critérios para o ensaio de depreciação luminosa e de variação da cromaticidade dos LEDs, bem como o tamanho de amostragem, temperaturas de ensaio, umidade, variação de corrente admissível, dentre outros. O ensaio LM80 é providenciado pelo fabricante do LED, sendo que este deverá providenciá-lo ao projetista do módulo de LED. Com os dados do relatório LM80, é então possível realizar a extrapolação para determinar o período em que ocorrerá a redução do fluxo até os limites definidos. Esta extrapolação é realizada com base em uma norma também desenvolvida pela IES, a TM-21. Esta traz um cálculo matemático que toma como base os valores coletados no ensaio LM80 dos LEDs. Para realizar a determinação da expectativa de vida dos Módulos de LED, o projetista deve ter além dos dados da LM80, a corrente direta aplicada aos LEDs, bem como a temperatura de operação destes LEDs na aplicação final.

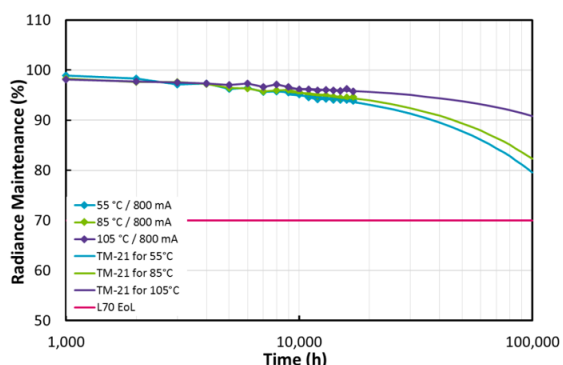


Figura 25 Exemplo de gráfico medições LM80 e extrapolação conforme TM21

Além da degradação natural do equipamento, é importante levar em consideração as condições em que a luminária será aplicada, uma vez que a exposição aos elementos, como gases de escapamento ou proveniente de caixas de papelão, que possuem enxofre, causam aceleração na degradação do fluxo luminoso.

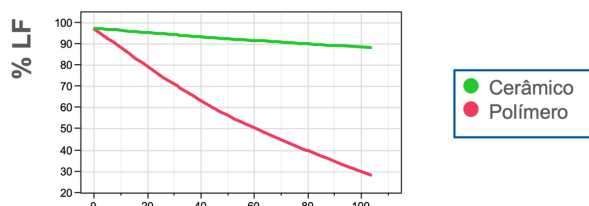


Figura 26 - Exemplo de variação ao longo do tempo do fluxo luminoso de um LED cerâmico e de um LED de polímero expostos a enxofre

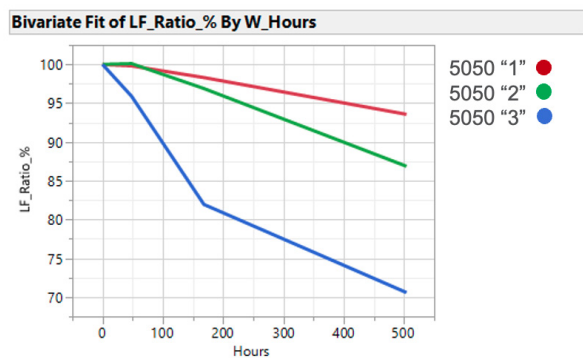


Figura 27 - Exemplo de teste de 3 LEDs com encapsulamento polimérico do tipo 5050 em teste de durabilidade à exposição a gases (ISO 11844-1)

Outros tipos de LED:

Neste documento não abordaremos LEDs para aplicação específica que não operam por conversão de fótons azuis por fósforo para luz branca, como por exemplo:

- LEDs coloridos monocromáticos
- LEDs coloridos multi-chips
- infravermelhos
- Ultra Violeta

Mas os mesmo cuidados e conceitos podem ser extrapolados.

3. Classificação Fiscal

- **NCM 8541.41.21** - Diodos emissores de luz (LED), exceto diodos laser, próprios para montagem em superfície (SMD - Surface Mounted Device).
- **NCM 8541.41.22** - Outros diodos emissores de luz (LED), exceto diodos laser.

Ao selecionar LEDs, é essencial considerar a aplicação, levando em conta a combinação com o elemento óptico, LED driver e dissipação térmica. Além disso dê preferência para fabricantes que trabalham com sistemas produtivos consistentes para evitar variabilidade de lotes e que seguem valores éticos e de responsabilidade ambiental, tenham capacidade de suporte e que respeitam a propriedade intelectual. A escolha consciente de LEDs de qualidade é um diferencial competitivo e técnico no desenvolvimento de luminárias modernas.



ABILUX ◊

Conectores
Eléctricos

Conectores Elétricos

A evolução tecnológica no campo da iluminação, marcada pela transição de sistemas elétricos convencionais para soluções digitais e autônomas, exige uma reavaliação profunda dos componentes periféricos que sustentam a infraestrutura luminotécnica. Entre esses elementos, os conectores elétricos emergem como peças-chave não apenas para garantir a funcionalidade básica das instalações, mas também para assegurar a integridade, segurança e eficiência de sistemas cada vez mais complexos. Este relatório explora o papel crítico desses dispositivos no contexto atual e futuro, analisando seus desafios técnicos, soluções inovadoras e implicações para projetos luminotécnicos inteligentes.

A Relevância dos Conectores Elétricos em Sistemas Modernos

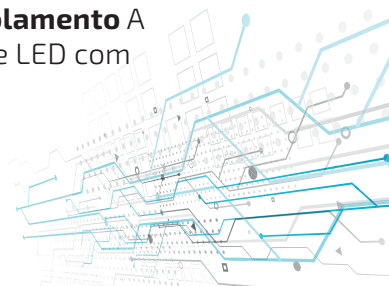
A migração de lâmpadas de descarga para tecnologias de LED e sistemas de automação introduziu uma camada de complexidade sem precedentes nas instalações elétricas. Enquanto sistemas tradicionais dependiam de conexões relativamente simples, os ambientes atuais exigem interfaces capazes de gerenciar não apenas a transmissão de energia, mas também sinais digitais, protocolos de comunicação e variações dinâmicas de carga. Nesse cenário, os conectores elétricos assumem funções que ultrapassam a mera junção física de condutores, tornando-se elementos ativos na prevenção de falhas sistêmicas como perda de sinal, fugas de corrente, variações de corrente e até mesmo danos aos equipamentos.

Portanto, a necessidade de dedicar um capítulo específico a esses componentes em manuais técnicos deriva de três fatores principais:

1. Prevenção de Interferências Eletromagnéticas:

Sistemas inteligentes operam com sinais de baixa voltagem e alta sensibilidade, vulneráveis a ruídos causados por conexões inadequadas.

- **Perda de Sinal e Integridade da Comunicação** Em sistemas DMX ou de controle por PWM (Modulação por Largura de Pulso), a impedância característica dos conectores deve corresponder à dos cabos (tipicamente 120Ω para protocolos RS-485). Conectores não otimizados introduzem descontinuidades que refletem sinais, causando erros de transmissão.
- **Fugas de Corrente e Isolamento** A migração para drivers de LED com



fator de potência próximo a 0,99 aumenta a sensibilidade a correntes de fuga. Conectores de emenda automática com câmaras seladas (ex.: série 221 da WAGO®) ou conectores com sistema de construção Co-Moldagem (Co-Injeção serie Techno®) limitam essas fugas a menos de 0,5mA. Testes de envelhecimento acelerado em câmaras climáticas (85°C/85% UR) comprovam a estabilidade desses parâmetros por mais de 100.000 horas operacionais.

2. Gestão Térmica e Química: Materiais como PA66 GF (poli-carbonato com fibra de vidro) são essenciais para resistir à oxidação e degradação em ambientes hostis, assegurando estabilidade em temperaturas variáveis. Por Exemplo Techno® garante que os conectores possam operar entre temperaturas "-40°C +125°C".

Adaptabilidade a Protocolos Digitais: Conectores modernos devem integrar características como blindagem eletrostática e compatibilidade com cabos de par trançado para suportar tecnologias como DALI ou Zigbee.

3. Conectores para ambientes externo e hostis

- **Capilaridade e Condensação:** A infiltração de umidade através de micro espaços entre condutores ou entre o cobre e a bainha do cabo representa um risco crítico para sistemas embutidos ou expostos a variações climáticas. Conectores como o modelo XDRY® da Techno do Brasil empregam sistemas de vedação multicamadas, combinando anéis de silicone termo retráteis com revestimentos internos de gel dielétrico. Essa abordagem cria uma barreira física contra a migração capilar de líquidos, mantendo a resistência de isolamento

acima de 1 GΩ mesmo após ciclos térmicos acelerados.

- **Co-Moldados ou Co-Injetado.** A técnica de co-moldagem une materiais como PA66 GF + TPE com aditivos UV-estabilizados 5V, material não resseca e não esfarela, e "f1" que resulta IP68 permanente segundo a norma UL764. O uso destes materiais dá uma resistência à inflamabilidade (UL94 V2/V0) e emissão de gases tóxicos (IEC 60754-1) são igualmente críticos em ambientes confinados, tipo indústria, túneis etc.

4. Tendências Futuras e Integração com IoT

A quarta geração de conectores inteligentes incorpora:

- Sensores para vários tipos de aplicações (monitoramento preditivo).
- Circuitos RFID passivos para registro automático em sistemas BIM.
- Terminais autoajustáveis com memória de forma (liga Ni-Ti) que compensam dilatação térmica.
- Passagem da RJ45 ao Single Pair Ethernet

5. Classificação Fiscal

- **NCM 8536.90.40** - Conectores para circuito impresso.
- **NCM 8536.90.10** - Conectores para cabos planos/condutores paralelos.
- **NCM 8536.90.60** - Conectores de corrente para acoplamento (carcaça).
- **NCM 8536.70.00** - Conectores para fibras ópticas ou cabos de fibras ópticas.
- **NCM - 8536.69.00** - Fichas (plugs) e tomadas (outros conectores)

A elevação dos conectores elétricos de componentes passivos para elementos estratégicos na engenharia luminotécnica reflete a complexidade crescente dos sistemas de iluminação inteligente. Sua correta seleção e aplicação impactam diretamente nos indicadores-chave como eficiência energética (redução de até 15% em perdas joule), confiabilidade (MTBF >500.000h) e custo total de propriedade. À medida que a convergência entre energia e dados se intensifica, o domínio técnico sobre essas interfaces vai se tornar diferencial competitivo tanto para os fabricantes quanto os instaladores podem e devem garantir que os sistemas de iluminação funcionem de maneira otimizada e confiável, agora e no futuro.

Nota: A classificação fiscal (NCM) apresentada neste manual possui caráter orientativo. A definição final depende da composição, função, forma de apresentação e enquadramento legal específico de cada produto.

AGRADECIMENTOS:

A construção deste manual não teria sido possível sem a colaboração das seguintes empresas:



ABILUX

Associação Brasileira
da Indústria de Iluminação

[@abiluxoficial](#)
www.abilux.com.br