

# Benefícios do uso da Simulação Térmica Computacional no Desenvolvimento de Luminárias de LED.

A maior parte da indústria nacional de iluminação ainda se apoia em um modelo de desenvolvimento de novos produtos pautado por um processo de “tentativa e erro”, o que leva a custos crescentes, prazos mais longos de chegada do produto no mercado e comumente, a necessidade de correções e ajustes depois do lançamento da Luminária.



Toda fonte de iluminação elétrica conhecida produz, como subproduto, um elemento altamente indesejado: o calor. No caso das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, pesquisadores e engenheiros têm, ao longo das últimas décadas, encontrado maneiras eficientes de minimizar e direcionar, de forma adequada, a energia térmica produzida. Por outro lado, a iluminação com LED apresenta desafios novos e bastante específicos no que se refere a seu gerenciamento térmico.

O excesso de temperatura no interior do LED exerce impactos negativos, tanto do ponto de vista funcional, como de longevidade: por um lado, contribui diretamente para a redução do fluxo luminoso e altera características fotométricas, como CCT e CRI, e por outro reduz a vida útil do componente. Dessa forma, tem crescido o entendimento na indústria de iluminação, que os aspectos térmicos envolvidos na concepção de um produto devem ser abordados como prioridade e servirem como o ponto de partida para o desenvolvimento de novas aplicações.

Essa nova realidade irá exigir que os times de desenvolvimento e engenharia de produto, superem as ferramentas mais comumente utilizadas nos domínios da eletrônica e da mecânica, aplicadas à iluminação, incorporando novas tecnologias e processos, que estejam à altura dos desafios que o gerenciamento térmico adequado de LEDs demanda.

## **Validação Inicial de Projeto com CFD**

Durante o processo de desenvolvimento de um novo Sistema de uma Luminária de LED, o conceito básico do produto deve ser validado, de forma a conciliar os requisitos estéticos e mecânicos, com as realidades do comportamento do calor nesse sistema.

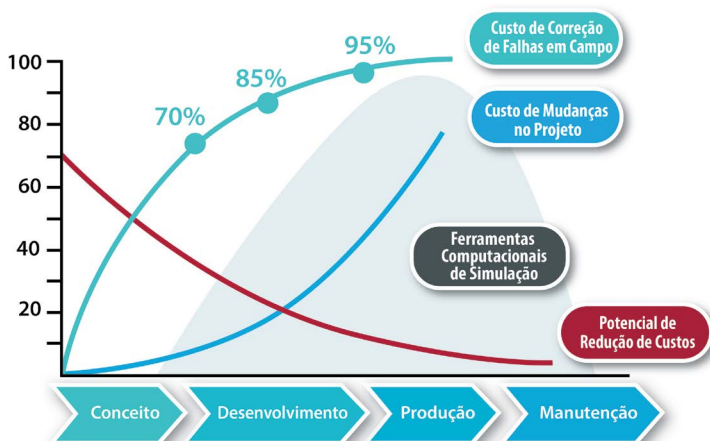
A chave, em qualquer projeto bem-sucedido, consiste na transferência eficiente do calor que é ativamente gerado na junção p-n do LED, para o ambiente externo. Esse caminho térmico, da junção até o ambiente é composto por uma série de “camadas”, como a placa de circuito impresso (PCB), a Interface Térmica (TIM), e o Dissipador de Calor.

No mercado brasileiro, a abordagem de desenvolvimento predominante se baseia na construção de protótipos experimentais, a partir de um modelo analítico que se apoia, sobretudo, nos parâmetros e dados de eficiência térmica fornecidos pelos fabricantes dos componentes que integram a Luminária LED.

Entretanto, há algum tempo, as exigências crescentes por reduções nos custos de desenvolvimento e prazos para a chegada de um novo produto ao mercado, têm alterado substancialmente esse modelo tradicional, buscando incorporar ferramentas mais avançadas e econômicas, que possibilitem um ciclo de desenvolvimento enxuto e mais flexível.

Nesse contexto, as ferramentas computacionais de Simulação Dinâmica de Fluidos (CFD – Computational Fluid Dynamics) vêm ganhando espaço, em função da clara vantagem que oferecem em relação à abordagem clássica, de “tentativa e erro”.

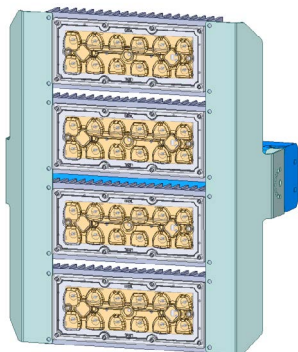
Com o comportamento real do calor devidamente previsto, dentro de um modelo virtual construído com as exatas características da Luminária final, tanto em termos de aspectos mecânicos e elétricos, como das condições de contorno do ambiente (temperatura, incidência solar, altitude, etc) é possível se alcançar a etapa de prototipagem com um nível de conhecimento pleno, daquilo que pode ou não dar certo em termos de dissipação térmica.



Fonte: Prof. Dr. Martin Eigner VPE TU Kaiserslautern

Nesse gráfico é possível avaliar como a utilização de Ferramentas de Simulação CFD nos estágios mais precoces do desenvolvimento de um projeto, permite uma redução potencialmente maior de custos, por um lado, e por outro a diminuição de riscos significativos com falhas em campo e mudanças tardias no projeto

Embora, historicamente, a utilização de sistemas CFD estivesse sob o domínio de engenheiros altamente especializados no campo da matemática, modelagem e dinâmica de fluidos, avanços recentes nessa indústria têm possibilitado a chegada ao mercado de Softwares mais simples, permitindo análises aceleradas, sem o comprometimento de sua qualidade e precisão. O ponto de partida para a Simulação Térmica Computacional, seja de uma nova Luminária ou um projeto de “retrofit” é, evidentemente, construir um entendimento detalhado do comportamento térmico de cada componente do sistema, o que pode ser obtido a partir das informações técnicas e modelos térmicos compactos providos pelo fabricante do LED, ou mesmo a partir de testes realizados internamente pelos próprios desenvolvedores. O processo se inicia então, com o preparo do desenho mecânico da Luminária.



Módulo Térmico pronto para ser simulado

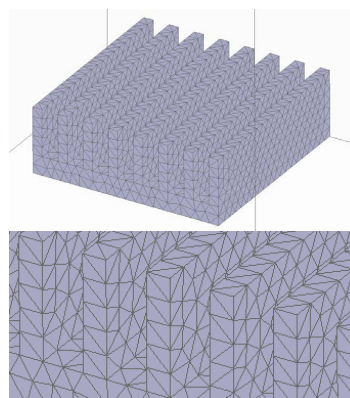
Na ilustração é possível se conhecer o modelo térmico pronto para simulação, preparado a partir do desenho sólido original do fabricante da Luminária. Nesse caso, temos um conjunto de quatro módulos ópticos, formados por um dissipador de alumínio extrudado, com aletas paralelas, a placa de circuito impressa (PCB) e 12 LEDs sobre ela montados.

Sobre o conjunto é aplicada uma ótica secundária, representada por uma lente termoplástica. Nesse caso, ainda é possível verificar a disposição do Driver sobre os módulos. A adição desse componente ao modelo térmico é decisiva para uma simulação precisa, à medida que o driver tanto influencia o comportamento térmico dos LEDs, como pode por eles ser influenciado.

Nessa fase, a Ferramenta de Simulação Térmica Computacional (CFD) irá modelar todas as cavidades internas do produto, parametrizando-as como regiões fluidas, ou seja, espaços através dos quais haverá circulação ou fluxo de ar e, portanto, de calor.

### Construção da Malha de Simulação

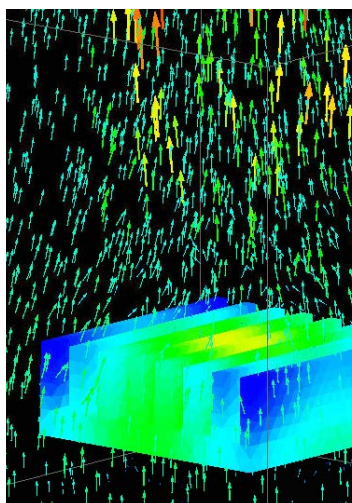
A distribuição das temperaturas internas no modelo em simulação é o principal objeto de investigação na análise térmica, através de um CFD. O sistema é capaz de exibir o perfil térmico de qualquer corte bi-dimensional de um sólido, fornecendo uma visão transversal que revela o interior da Luminária. Antes disso, contudo, é necessário construir uma rede de referência digital conhecida como “mesh” ou “trama”.



Modelo térmico de um dissipador com aplicação da trama térmica ou rede de resistências (Mesh)

A criação dessa trama é feita automaticamente pelo sistema CFD e embora simples em seu conceito, representa o coração dos complexos cálculos de movimentação de fluidos realizados pelo sistema. Nesse processo, a superfície da Luminária é mapeada em minúsculas células retangulares, e cada uma dessas células é dividida em volumes sólidos e fluidos que são analisados de forma discreta.

A seguir, o engenheiro deverá definir as condições de contorno em que sua Luminária irá operar, ou seja, estabelecer os parâmetros elétricos (Corrente, Tensão, etc) e ambientais (temperatura, altitude, etc) as quais serão utilizados nos cálculos da Simulação.



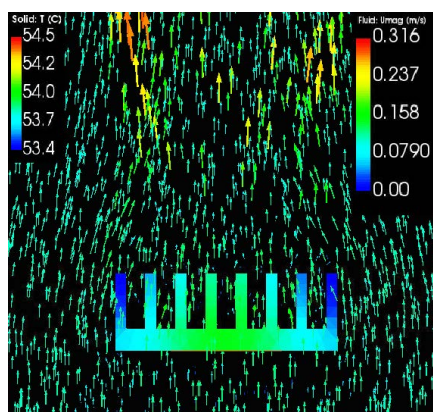
Visualização da movimentação temperatura do ar em torno do Dissipador

A Figura ao lado mostra o resultado de um processamento do CFD, em um corte transversal de uma Luminária.

Através dessa perspectiva é possível visualizar não somente a distribuição do calor através dos elementos físicos que compõe a Luminária, mas também os vetores de movimentação e velocidade do fluxo de ar em torno do modelo, em função da convecção na superfície exterior da Luminária. Nesse exemplo, o gradiente de cores vai do azul ao vermelho mostrando a transição das temperaturas mais frias para as mais quentes.

## O Transporte de Calor

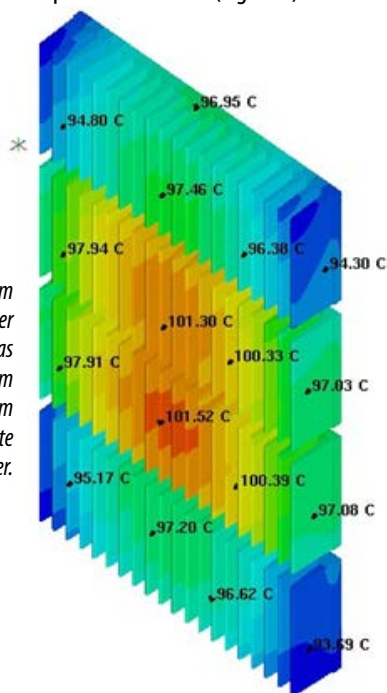
O principal objetivo da aplicação de uma ferramenta de Simulação Térmica, durante a etapa de desenvolvimento de uma nova Luminária é garantir que o design físico proposto irá transportar a energia térmica gerada no interior do LED para o ambiente externo, de forma adequada. A Figura 5 nos fornece uma importante ilustração nesse sentido, pois através dela é possível avaliar de forma precisa e visual os padrões de movimentação do calor dentro e fora da Luminária e sua interação com o Ar ambiente.



Visualização da movimentação e velocidade de convecção do ar em torno do Dissipador

Note, que o gradiente de cores nos permite perceber que o ar (verde e azul claro) vem da área inferior do módulo óptico e, em contato com as aletas do dissipador, é aquecido mudando sua cor para amarelo e laranja e então, sobe mais rapidamente sendo dispersado para o ambiente, o que garante um transporte contínuo do calor originalmente gerado na junção p-n do LED.

Dessa forma é possível analisar se o design proposto é suficientemente eficiente para garantir a manutenção da temperatura de operação no interior do LED, bem como dos demais componentes eletrônicos, com o driver por exemplo, dentro dos limites máximos estabelecidos pelo fabricante. Outros aspectos que podem ser avaliados antecipadamente, através da Simulação Térmica com CFD, é como a posição da Luminária em relação ao solo impacta a temperatura de junção do LED ou ainda o impacto da posição do Driver na Luminária, sobre a temperatura dos LEDs (Figura 6).



Visualização das PCBs com os LEDs. É possível perceber como os LEDs posicionados nas 2 placas centrais, apresentam temperaturas mais altas em relação aos demais, justamente por sofrerem influência do Driver.

## Conclusão

A utilização de Ferramentas de Simulação Térmica CFD pode ser uma aliada poderosa no refinamento e otimização do Design Térmico em Luminárias de LED. Essas ferramentas oferecem um potencial expressivo de redução de custos, à medida que eliminam a necessidade de construções sucessivas e custosas de protótipos para teste e por consequência reduzem o tempo de chegada de um novo produto ao mercado final. O ambiente de Simulação encoraja a experimentação e o teste de diferentes cenários, de forma rápida e simples, até que o Design ideal seja atingido.

### Dr. Martin Eigner

é formado pela Universidade Técnica de Kaiserslautern e é especialista em Sistemas de Simulação baseados em modelos CFD. Já atuou em empresas como Robert Bosch e Oracle. Seu foco é o desenvolvimento de processos para otimização técnica de modelos térmicos, para a Gestão de Confiabilidade e Ciclo de vida útil de produtos eletrônicos.

### Alex Chaves de Souza

é formado em Administração Internacional pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e em Gestão Estratégica de Empresas pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Tem 15 anos de experiência em empresas multinacionais do segmento eletro-eletrônico, tendo sido responsável pela implantação local das unidades fabris de alguns grupos internacionais. Atualmente, atua como Diretor Executivo da Celera Fibras, empresa especializada no fornecimento de soluções para Gerenciamento Térmico em dispositivos eletrônicos.



## A Celera dispõe de avançadas ferramentas usadas mundialmente para medição e caracterização térmica de Luminárias LED.

Nosso laboratório realiza ensaios térmicos em luminárias inteiras, revelando informações como medição direta da Temperatura de Junção (Tj), Curva Térmica Característica as quais eram, até hoje, exclusividade dos laboratórios dos grandes fabricantes de componentes LED. Consultoria Térmica pode ajudá-lo a desenvolver produtos mais confiáveis e duradouros, muito além das 50.000 horas.