

# Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore – benefícios e oportunidades para o país

Ingrid Teixeira  
Ricardo Rivera  
Luis Otávio Reiff\*

## Resumo

Os diodos emissores de luz ou LED são conhecidos há mais de meio século e têm sido usados em uma infinidade de aplicações simples como mostradores luminosos e indicadores de *status*. No entanto, a partir das inovações tecnológicas recentes, como a descoberta do LED emissor de luz azul e o aumento da vida útil, e da queda persistente do custo desses componentes eletrônicos, a tecnologia passa a ser considerada uma forte substituta às soluções legadas utilizadas na iluminação em geral. Inicia-se uma nova era na indústria de iluminação, em que as lâmpadas/luminárias se tornam produtos eletrônicos que podem agregar novas funcionalidades e serviços, a partir da comunicação e sensoriamento do ambiente. Ao observar a ruptura de mercado, este artigo avalia as alternativas de desenvolvimento da cadeia de valor dessa indústria com base no fortalecimento do ecossistema eletrônico local.

---

\* Respectivamente, engenheira e gerente setorial do Departamento de Tecnologia da Informação e Comunicação da Área Industrial do BNDES e assessor da presidência do BNDES. Os autores agradecem a todos os entrevistados a receptividade durante as visitas, discussões e contribuições sobre o tema, ao estagiário Fabrício Souza Tavares e aos revisores do texto.

## Introdução

Entre a invenção da lâmpada elétrica de Thomas Edison, em 1879, e o início da massificação do transistor, base da eletrônica, na década de 1950, foram percorridos mais de sessenta anos. Em 1965, o presidente da Intel Gordon Moore lançou sua famosa profecia autorrealizável,<sup>1</sup> responsável por ditar o ritmo de desenvolvimento tecnológico da eletrônica, via miniaturização, aumento de desempenho e redução de custos sem paralelos na história industrial moderna.

Mais antigos que a própria Lei de Moore, os Light Emitting Diode (LED) vêm sendo utilizados há mais de sessenta anos em aplicações específicas,<sup>2</sup> como em indicadores de *status* e em sinalização. O desenvolvimento da tecnologia segue um ritmo previsto pela Lei de Haitz – a contraparte da Lei de Moore –, em que se estima que a cada década o custo por lúmen cai por um fator de dez e a quantidade de luz gerada pelo LED aumenta por um fator de vinte para determinada cor de luz. Foi necessário mais de meio século para que, com o desenvolvimento de novos materiais capazes de produzir o LED azul – fundamental para completar o espectro de cores e alcançar o LED branco (SBF, 2014) –, a tecnologia eletrônica chegasse, de fato, a iniciar o deslocamento maciço da iluminação baseada em componentes puramente elétricos. Tamanho impacto econômico e social conferiu a três professores japoneses o Nobel de Física em 2014 (BERGSTRÖM, 2014).

Em conjunto com os diodos orgânicos emissores de luz (Oled), os LED estão na categoria de iluminação de estado sólido – ou *solid state lighting* (SSL),<sup>3</sup> também denominada por quarta revolução na iluminação – depois do fogo, as lâmpadas incandescentes e as de descarga (por exemplo, fluorescente). Entre os benefícios dos LED que estão revolucionando o mercado de iluminação, podem-se citar alta eficiência luminosa,<sup>4</sup> maior tempo de

---

<sup>1</sup> Ao observar a evolução da integração de transistores, Gordon Moore em 1965 afirmou que o número de transistores por área dobraria a cada 24 meses, ditando o ritmo do processo de miniaturização até os dias de hoje (2014).

<sup>2</sup> Em 1962, o americano Nick Holonyak Jr. desenvolveu o primeiro LED que emite luz visível, vermelha. Anterior à sua invenção, o LED desenvolvido pelo russo Losev emitia luz infravermelha, sendo, portanto, invisível, utilizando-se de materiais eletroluminescentes, isto é, que emitem luz a partir da passagem de corrente elétrica.

<sup>3</sup> Nessa categoria, os LEDs têm apresentado crescimento acelerado em diversas aplicações de iluminação de maior intensidade luminosa, e os Oleds, outras aplicações de menor intensidade, como *displays* e alguns nichos de iluminação, por exemplo, grandes painéis sinalizadores, superfícies flexíveis e leves etc.

<sup>4</sup> Lúmens por *watt*: medida de eficiência luminosa, indicando o fluxo luminoso gerado a partir da energia elétrica.

vida, versatilidade e qualidade da luz. Tais atributos vêm melhorando o desempenho graças aos avanços do mundo de Moore (microeletrônica) e de Haitz (emissão de luz por semicondutores).

Além desses atributos, a utilização de sistemas eletrônicos permite o ajuste dinâmico da intensidade, brilho e cor da luz. As lâmpadas de estado sólido abrem frente para novas aplicações, seja para cultivar alimentos com luz artificial, para fins terapêuticos, para melhorar a percepção de qualidade de produtos em gôndolas de supermercado, seja para criar ambientes com foco no bem-estar – emulando a luz natural ao longo de um dia em ambientes fechados ou criando uma atmosfera mais acolhedora em ambientes residenciais ou comerciais (AT KEARNEY, 2013). Esses e outros aspectos tecnológicos e da cadeia de valor serão abordados na seção “Iluminação pública”.

A iluminação consome cerca de um quinto de toda energia gerada globalmente (ALMEIDA *et al.*, 2012),<sup>5</sup> sendo responsável por emitir quase 1.900 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Esse valor corresponde a 70% das emissões mundiais de veículos de passeio e é três vezes superior às emissões do setor de aviação (IEA, 2006). A eficiência energética proporcionada pelos LED é, portanto, um meio de economizar energia e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Além da questão central energética e ambiental, a adoção de LED pelos países é motivada por outros objetivos, como implementar políticas industriais-tecnológicas<sup>6</sup> e tornar eficiente a iluminação e os serviços públicos nas cidades. Seguindo a política adotada nos Estados Unidos da América (EUA) e na Europa, o Brasil estabeleceu um calendário de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes<sup>7</sup> e fluorescentes compactas (mais detalhes na seção “Panorama de mercado”, na subseção “Mercado brasileiro”). A essa ação regulatória somam-se iniciativas na área de iluminação pública no nível municipal – de forma geral, ainda em caráter piloto.

---

<sup>5</sup> Cerca de 650 Mtoe (milhões de toneladas de óleo equivalente).

<sup>6</sup> A título de exemplo, uma das líderes mundiais, a empresa norte-americana Cree recebeu *grants* (apoio não reembolsável) para desenvolvimento de tecnologia, estímulo de demanda para implantar a tecnologia em cidades e universidades americanas como parte do Programa American Recovery Act, empréstimos e rede de relacionamentos comerciais via Departamento de Defesa (US DoD), além de incentivos fiscais estaduais com o objetivo de estimular emprego e implantação de indústria “verde” (GEREFFI *et al.*, 2008). Programas de financiamento ao P&D europeus (FP7) financiaram o desenvolvimento de tecnologia e linhas-piloto de Oled e LED.

<sup>7</sup> A Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC 1.007/2010 caracteriza devidamente o tipo de lâmpada regulamentado e estabelece índices mínimos de eficiência energética a que nenhuma das lâmpadas incandescentes comuns consegue atender, estabelecendo indiretamente seu banimento, exceto em casos específicos nos quais a lâmpada incandescente não poderá ser substituída.

Estimulado por esses e outros propulsores de demanda, o mercado de LED alcançou US\$ 20 bilhões em 2014, representando 26% do valor e 5% das lâmpadas e luminárias vendidas. Há previsão de crescimento acelerado até 2020, quando grande parte do parque mundial de iluminação terá sido convertida para tecnologia de estado sólido, e o LED representará cerca de 70% do mercado de iluminação (U.S. DOE, 2015a). O panorama de mercado será abordado em mais detalhes na seção “Panorama de mercado”.

A troca das luminárias públicas convencionais baseadas em vapor de sódio e mercúrio pelas eletrônicas com módulos de comunicação descortina uma oportunidade para repensar o papel do parque de iluminação urbano. A visão de futuro das cidades conectadas tem o poste como um candidato natural a ponto de coleta de dados e prestação de diversos serviços públicos e privados, como informações sobre condições de tráfego, alertas meteorológicos, avisos publicitários, conexão com a internet, entre outros. Os módulos de comunicação viabilizam, ainda, o monitoramento remoto do parque de iluminação, reduzindo custos de troca e melhorando a manutenção preventiva. Esses e outros aspectos sobre iluminação pública, segmento relevante da iluminação LED com mercado potencial estimado de R\$ 5 bilhões a R\$ 6 bilhões no Brasil, serão tratados na seção “Iluminação pública”.

A substituição concentrada no tempo para uma iluminação baseada em eletrônica abre ameaças e oportunidades para a cadeia produtiva local. Apesar da fabricação do componente ativo da iluminação – os *chips* de LED – apresentar fortes benefícios de escala e estar se concentrando na Ásia, estimados em 80%-90% da capacidade de fabricação (MORROW, 2012), outros componentes eletrônicos embarcados em lâmpadas e luminárias podem ajudar no fortalecimento da cadeia eletrônica local e no desenvolvimento do ainda incipiente ecossistema de microeletrônica. Esse ponto será aprofundado na sexta seção, “Oportunidade de adensamento tecnológico”.

Nessa seção, são indicadas também as ações recentes e potenciais do BNDES para apoiar a iluminação LED. Diversos departamentos e instrumentos do Banco têm sido mobilizados com o objetivo de potencializar os benefícios que a tecnologia pode proporcionar para o desenvolvimento do país em relação a economia de energia, adensamento tecnológico e produtivo e infraestrutura para cidades.

Em síntese, o presente artigo tem por objetivo realizar uma análise exploratória da tecnologia LED em iluminação geral, mostrar oportunidades

tecnológicas para indústria brasileira e explicitar o posicionamento e ações que o BNDES vem adotando em relação ao tema.

## Aspectos tecnológicos e cadeia produtiva

### Tecnologia LED

Os LED são dispositivos semicondutores que emitem luz por eletroluminescência (passagem de corrente elétrica).<sup>8</sup> Essa característica os difere das fontes de luz tradicionais. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, requerem um filamento aquecido para emitir luz; as fluorescentes produzem luz a partir da descarga elétrica no gás – vapor de mercúrio – que emite luz ultravioleta; esta provoca a excitação do fósforo que reveste internamente as lâmpadas; e as de descarga de gases *high-intensity discharge* (HID), *high-pressure discharge* e *low-pressure discharge* utilizam também a descarga elétrica para estimular a emissão luminosa pelo gás contido na lâmpada.

A complexa infraestrutura industrial requerida para a produção das lâmpadas convencionais, como o bulbo contendo gases e/ou camadas protetoras e substâncias tóxicas (mercúrio, chumbo etc.), criou, historicamente, elevadas barreiras de entrada no setor de iluminação. Tal situação não se verifica na tecnologia LED, na qual fabricantes de equipamentos eletrônicos se tornam elegíveis a fabricar lâmpadas, módulos e luminárias.

O LED oferece vantagens absolutas de desempenho quando comparado às demais tecnologias de iluminação (U.S. DOE, 2012a). Entre os principais benefícios, encontram-se:

- Eficiência energética: produz mais luz (lúmens) por *watt* consumido, levando à economia de energia – de 50% a 80% – quando comparado a tecnologias tradicionais,<sup>9</sup> resultando em redução de custo e de emissões de carbono.
- Economia de custos: redução da demanda de energia, proteção contra elevação de preços, menor custo de manutenção e de inspeção. Com isso, o custo total de propriedade, *total ownership cost* (TOC), é reduzido.

---

<sup>8</sup> LED é uma tecnologia do tipo *solid state lighting* (SSL), que inclui ainda o *organic* LED (Oled) e o *polymer* LED (Pled).

<sup>9</sup> Nas lâmpadas incandescentes, mais de 90% da energia elétrica é desperdiçada em forma de calor (radiação infravermelha) (U.S. DOE, 2012a).

- Controlabilidade: ajuste dinâmico (dimerização) sobre o espectro de cor da luz, intensidade e direção permite novos projetos de sistemas de iluminação.
- Segurança: LED oferecem visibilidade superior nos ambientes, bem como reduzem a poluição visual.
- Tempo de vida: LED são construídos para terem durabilidade estimada em até cem mil horas de uso.<sup>10</sup> Quanto à durabilidade dos produtos, estima-se menor tempo de vida (iluminação pública, cinquenta mil horas; e aplicação geral, 25 mil horas) em função do módulo eletrônico empregado.
- Rapidez para ligar/desligar: LED têm muita rapidez no acionamento e, por isso, são ideais para uso, por exemplo, em automóveis.
- Proteção ao meio ambiente: LED não emitem radiação UV<sup>11</sup> e não contêm mercúrio,<sup>12</sup> substância tóxica encontrada principalmente nas lâmpadas de descarga de alta pressão de vapor de mercúrio e, em menor quantidade, nas fluorescentes e fluorescentes compactas. A energia consumida é o fator de maior impacto ambiental<sup>13</sup> durante o ciclo de vida das lâmpadas – período entre a fabricação, utilização ao fim de vida (descarte) (OSRAM, 2009). Ademais, a fase de produção das lâmpadas mencionadas (incandescentes, CFL e LED) é insignificante quando comparada à de fabricação, visto que utiliza cerca de 2% do total de energia demandada. Essa é a razão pela qual, mesmo não contendo materiais tóxicos, as lâmpadas incandescentes geram maior impacto ambiental em comparação com as CFL e as LED (U.S. DOE, 2012b).

<sup>10</sup> Considerando-se 12h/dia, LEDs teriam durabilidade de 22 anos. Definição de vida de operação de acordo com DIN IEC/PAS 62 717: “A vida de operação de um módulo de LED individual Lx é descrito como o período durante o qual um módulo de LED fornece mais do que a porcentagem x especificada de fluxo luminoso inicial, nas condições especificadas. Por exemplo, L70B50 é considerado a vida de operação durante a qual o fluxo luminoso é maior ou igual a 70%, para 50% da população” (LED ADVANCE, 2016).

<sup>11</sup> Radiação ultravioleta é emitida por toda lâmpada de descarga, fluorescente, baixa pressão ou vapor de mercúrio/metálica alta pressão. Sua contenção é realizada por vidro. Existe um tipo de LED que gera luz ultravioleta que é convertida em luz visível. Algumas pessoas extremamente sensíveis podem sofrer alterações na pele à exposição prolongada a esses tipos de lâmpadas.

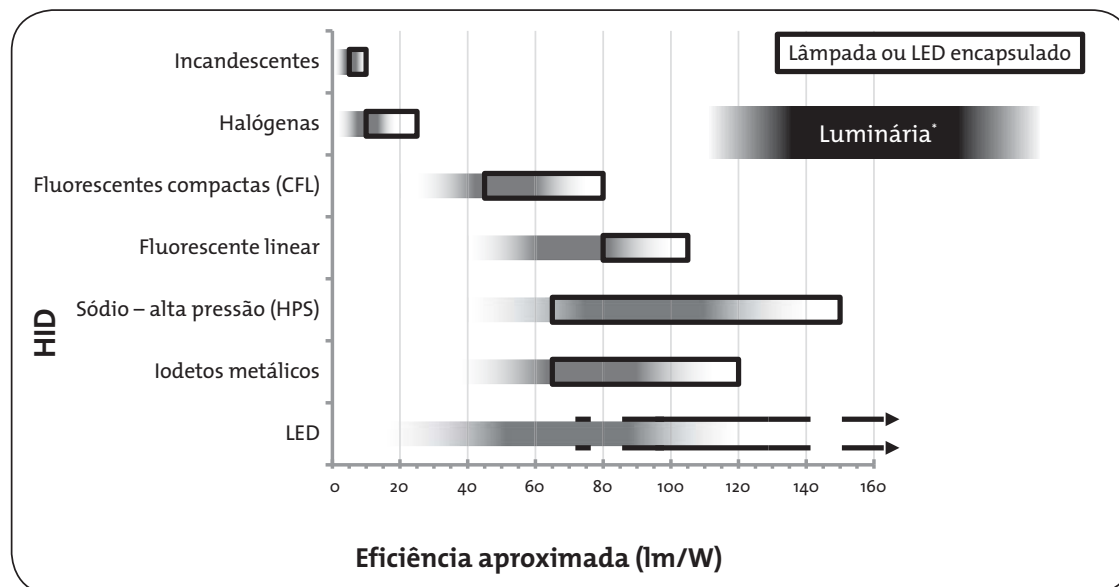
<sup>12</sup> Entre os principais materiais do LED, o gálio (presente na indústria eletrônica) é o material mais pesado utilizado, especialmente para os LEDs azuis (MOSKALYK, 2003 *apud* GEREFFI *et al.*, 2008). Por serem produtos eletrônicos, as lâmpadas LED e CFL devem ter descarte controlado de acordo com a política ambiental de cada região. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece que os produtos eletroeletrônicos e seus componentes devam fazer parte da logística reversa pós-uso.

<sup>13</sup> Estudos de impacto ambiental consideram diversas categorias, tais como *global warming potential* (GWP), depredação de recursos naturais, depredação da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, toxicidade humana e aquática.



A Figura 1 exibe um comparativo da eficiência luminosa aproximada para diversas tecnologias de iluminação.

**Figura 1** | Eficiência luminosa das fontes de luz e das luminárias



Fonte: U.S. DOE (2013).

\* Inclui lâmpadas LED integradas e luminárias LED.

Nota: As tarjas pretas indicam a eficácia da fonte de luz (lâmpada ou LED). As áreas sombreadas indicam a eficácia da luminária, que considera todo o sistema, incluindo as perdas em virtude da fonte de alimentação, da mecânica e da óptica. Os limites da eficiência luminosa das luminárias são inferiores àqueles obtidos diretamente pela fonte de luz (lâmpada ou LED encapsulado).

Percebe-se que as tecnologias legadas têm limites teóricos já estabelecidos (retângulos definidos na Figura 1). Por exemplo, a CFL tem limites de 45 lm/W e 80 lm/W. Ao contrário, a tecnologia LED mostra potencial de aumento significativo de eficiência, confiabilidade e qualidade da luz, segundo previsões do U.S. DOE. A Cree, uma das maiores fabricantes mundiais do LED, anunciou em 2011 a quebra do recorde de eficiência energética (231 lm/W)<sup>14</sup> em um protótipo do *chip* LED, aproximadamente 10% superior a seu próprio recorde anterior. Há intensa pesquisa para o desenvolvimento de *chips* LED e de produtos (lâmpada e luminária) obtidos por meio de novos materiais, processos de manufatura, componentes, partes e peças – ópticos, eletrônicos, mecânicos.

Além da eficiência luminosa, outras duas características são importantes para mensurar desempenho em iluminação: (i) Color Rendering Index (CRI),

<sup>14</sup> Disponível em: <<http://optics.org/news/2/5/8>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

índice de renderização de cores – quanto mais elevado, maior é a fidelidade de cores dos objetos iluminados por uma fonte de luz –; e (ii) tempo de vida. De acordo com a aplicação, *outdoor*/industriais ou residencial/comercial, as lâmpadas LED apresentam vantagens comparativas em relação às tecnologias incumbentes de iluminação (Tabela 1).<sup>15</sup>

**Tabela 1** | Comparativo das tecnologias de iluminação existentes

Aplicação principal	Tecnologia (lâmpada)	CRI	Eficiência (lúmens/W)	Tempo de vida (1.000 horas)
<b>Outdoor e industrial</b>	Vapor de sódio – alta pressão	30	60-120	10-24
	Vapor de sódio – baixa pressão	5	200	10-24
	Vapor de mercúrio	50	50	10
	Metal halide	70-95	60-100	6-20
	Indução	50-90	60-90	100
<b>Residencial e comercial</b>	Fluorescente	60-90	40-100	6-45
	CFL	60-90	50-75	6-15
	Incandescente	90-100	5-25	1
<b>Ambos</b>	LED	70-90	Até 150	> 100

Fonte: Dialight *apud* U.S. DOE (2013).

Para as aplicações que requerem alta iluminância, como *outdoor* e iluminação pública e industrial, as lâmpadas de vapor de sódio apresentam elevada eficiência energética. Entretanto, são inferiores ao LED quando se analisam outras características, como o índice CRI e o tempo de vida, indicados na Tabela 1. Nos ambientes de baixa iluminância, por exemplo, residencial e comercial, embora mostrem o maior índice CRI, as lâmpadas incandescentes têm baixíssima eficiência energética. Em ambas as aplicações, a tecnologia LED aparece como forte candidata à adoção em larga escala.

### Cadeia de valor da indústria de iluminação LED

A Figura 2 apresenta a cadeia de valor dividida em quatro segmentos:

- i. materiais;
- ii. *chip* LED e equipamentos;

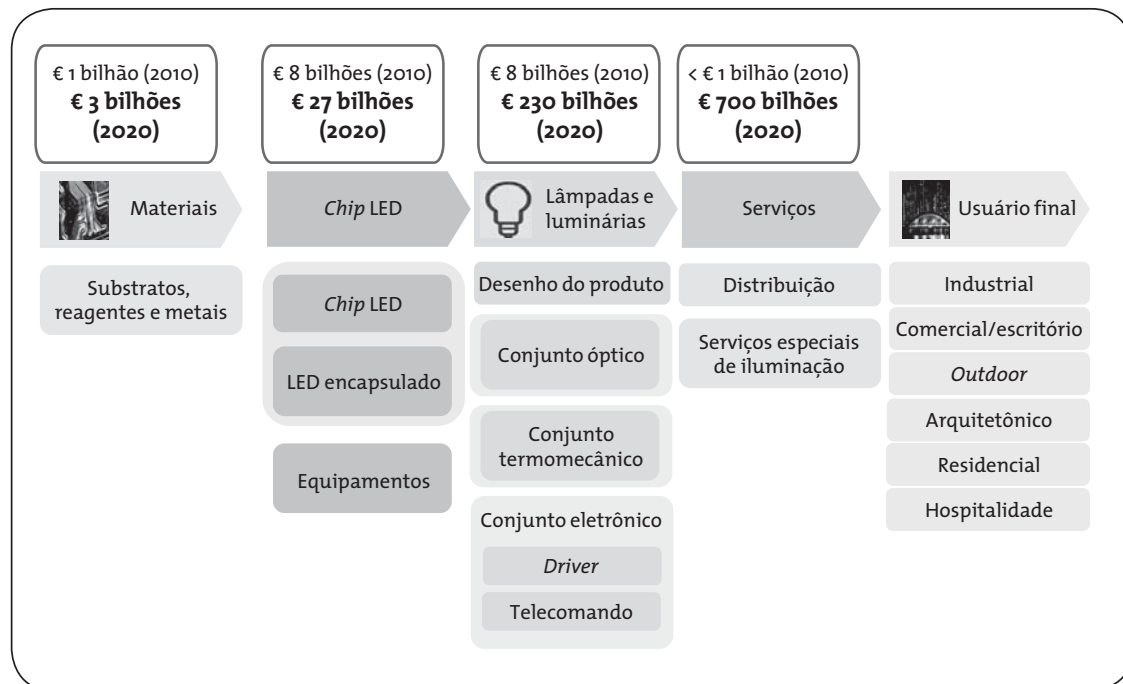
<sup>15</sup> Ressalta-se que há estudos para a utilização de materiais de Oleds para construção de luminárias que requeram flexibilidade e leveza.



- iii. lâmpadas e luminárias; e
- iv. serviços.

Nos retângulos, são destacados os respectivos valores de mercado mundial estimados para 2010 e 2020.

**Figura 2** | Cadeia de valor de iluminação LED



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Almeida *et al.* (2012) e Tseng (2015).

A despeito de os três grandes *players* da indústria de iluminação LED serem tradicionais competidores em iluminação – Philips (Holanda), Osram (Alemanha) e GE (EUA) –, a transição tecnológica de Edison para Moore provocou uma fragmentação dessa indústria, com a entrada de *players* não tradicionais: a Cree (EUA), primeira empresa a introduzir comercialmente o LED azul<sup>16</sup> com baixa luminosidade, utilizado em *displays*, e a Nichia (Japão), a primeira a anunciar LED branco com alta luminosidade, aplicado em iluminação geral.

<sup>16</sup> A Cree foi a primeira empresa a trazer ao mercado o *chip* LED azul em 1989. Disponível em: <<http://www.cree.com/About-Cree/History-and-Milestones>>. Acesso em: 8 ago. 2016. A Nichia anunciou em 1993 LED azul cinquenta vezes mais brilhante, abrindo a possibilidade de converter esta luz em branca com o uso de fósforo.

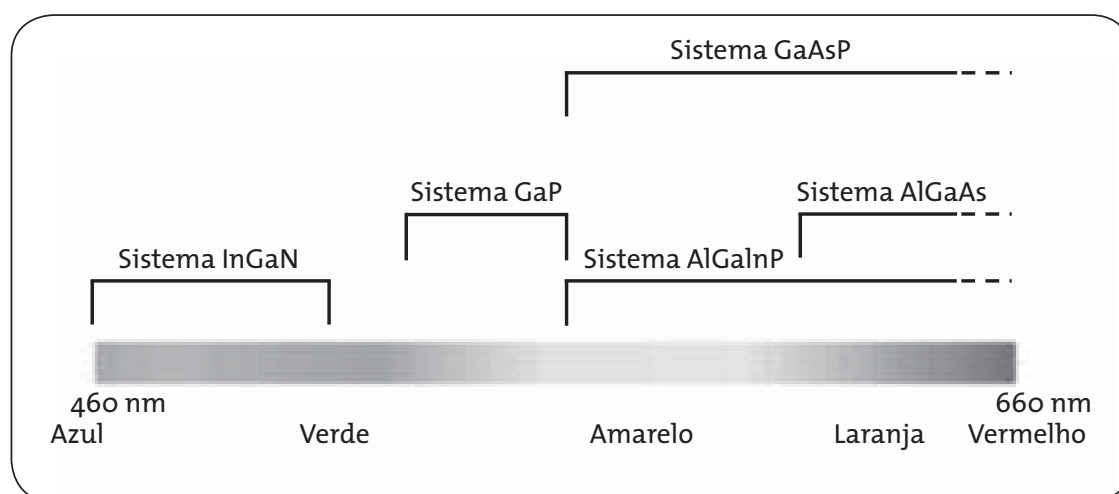
Trata-se de um setor ainda relativamente fragmentado em todos os seus elos, mesmo naqueles que requerem maiores escalas produtivas, como a etapa de manufatura de *chips* LED, que é semelhante à dos circuitos integrados na década de 1980 (ZHANG; VAN ZEIJL, 2012). O setor ainda se caracteriza pelo uso intensivo de processos proprietários, *wafers* pequenos, baixos *throughput* e rendimento e por ser relativamente intensivo em mão de obra – encontrando na China um ótimo *locus* para o estágio atual tecnológico.

O processo de pesquisa e desenvolvimento (P&D) ocorre principalmente nos EUA, na Europa e no Japão e, em menor escala, na China, em Taiwan e na Coreia do Sul, por meio de contratos compartilhados de patentes. Taiwan tem o maior investimento global no P&D para o setor, estimado em US\$ 600 milhões, dos quais a maior parte vem de fontes privadas. A Coreia se utiliza também de fonte privada de investimento, diferentemente da China, em que há intenso apoio governamental em pesquisa (ALMEIDA *et al.*, 2012).

### Materiais

LED são feitos de uma variedade de materiais semicondutores e demais elementos. A combinação desses materiais é o que torna possível a geração da luz e que determina a cor da luz emitida, quando há a passagem da corrente elétrica pelo LED. A Figura 3 mostra alguns dos materiais utilizados na manufatura do LED e as cores correspondentes da luz emitida.

**Figura 3** | Materiais utilizados para composição dos LED de acordo com a cor da luz emitida



Fonte: Rohm (2016).

Alguns materiais são chamados raros (REE),<sup>17</sup> como o fósforo, que também está presente nas lâmpadas fluorescentes. A quantidade total de REE presente nos LED é bem menor que a utilizada nas lâmpadas fluorescentes de mesma iluminância (U.S. DOE, 2011).<sup>18</sup> Em função das restrições de oferta (China concentra mais de 90% da produção mundial dos REE), os custos de produção impactaram de forma mais intensa o custo das fontes de luz tradicionais e surge um incentivo adicional à adoção dos LED em iluminação.

### Chip LED

LED é um *chip* de dimensão milimétrica composto de diversas camadas de materiais. Diferentemente das lâmpadas de descarga de alta pressão (mercúrio, metálica) e incandescentes, os LED não são fontes nativas de luz branca, guardam certa semelhança com a lâmpada fluorescente, que utiliza o fósforo para essa conversão. Atualmente, estão disponíveis em algumas cores, como vermelho, azul, âmbar, verde e UV.<sup>19</sup> Para serem utilizados nas aplicações, é necessário gerar a luz branca.<sup>20</sup>

Atualmente, há três processos (U.S. DOE, 2015a) utilizados pela indústria para a criação do LED branco (Figura 4):

- i. Conversão da luz à base de fósforo, em que o fósforo é usado sobre ou próximo ao LED para converter a fonte de luz colorida em luz branca. Muito utilizado em iluminação geral.
- ii. Sistemas multicoloridos, em que a luz de múltiplas fontes de LED monocromáticos (usualmente: verde, vermelho e azul) é combinada e resulta em luz branca. Comumente presente nos *displays* embarcados em *smartphones* e televisores.
- iii. Sistema híbrido de empacotamento LED, *hybrid LED package* (HLP), que utiliza os modelos de fósforo-convertido e de LED monocro-

---

<sup>17</sup> Rare Earth Elements (REE).

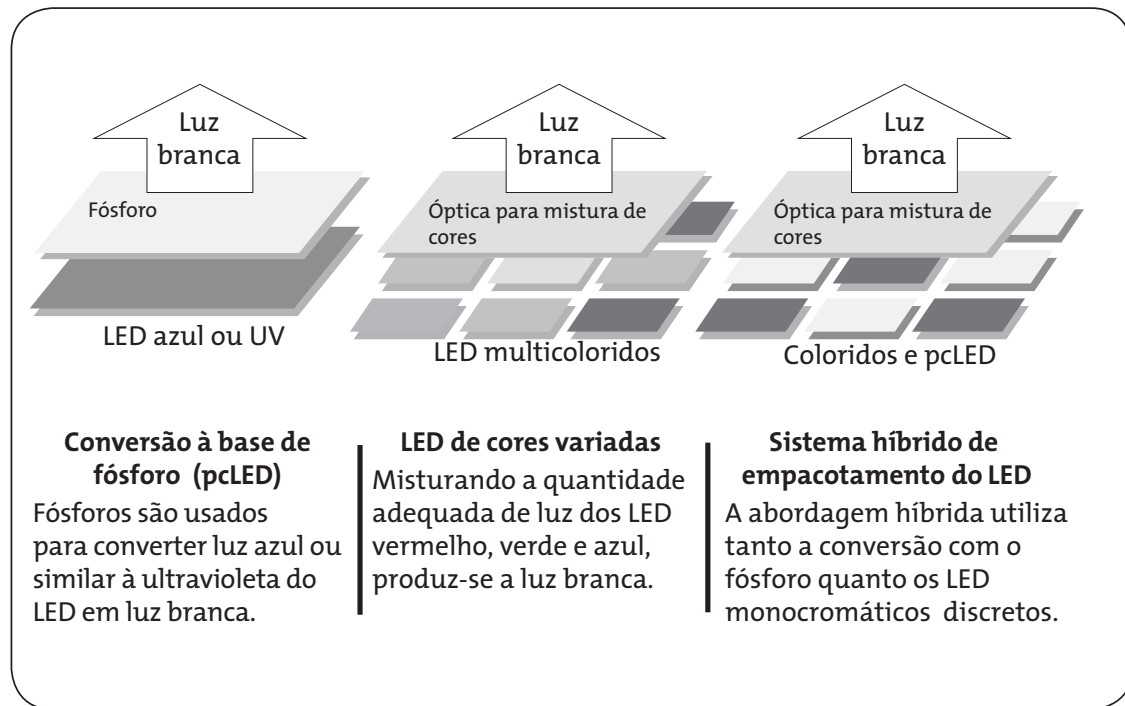
<sup>18</sup> Os Oleds não usam REE.

<sup>19</sup> A emissão da luz, radiação eletromagnética, dos LEDs compreendem a parte visível (luz em suas diversas cores) e invisível (raios ultravioleta).

<sup>20</sup> Os LEDs brancos podem ser caracterizados pela temperatura da cor, denominada *correlated color temperature* (CCT), variando desde aqueles similares às lâmpadas incandescentes (2.700K), mais “quentes”, às lâmpadas fluorescentes (6.500K), “mais frias”. A ANSI C78.377-2008 estabelece oito níveis de CCTs aceitáveis para produtos LED.

máticos, com o intuito de reduzir custos de manufatura. É, portanto, candidato a atuar nos mercados de massa (*back-light displays*).

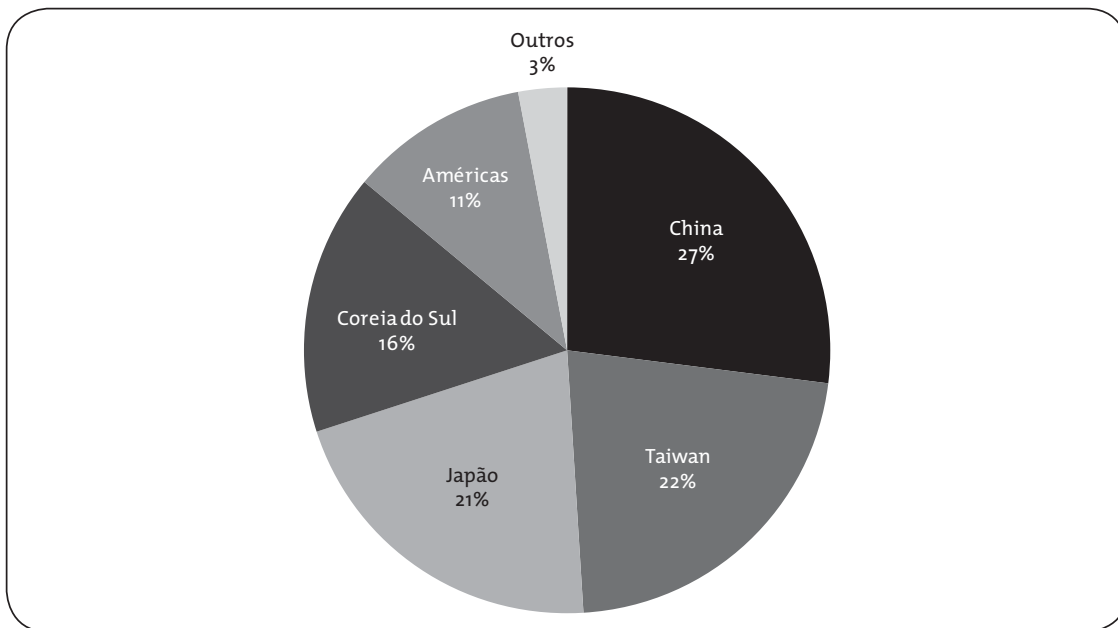
**Figura 4** | Convertendo luz branca



Fonte: U.S. DOE (2015a).

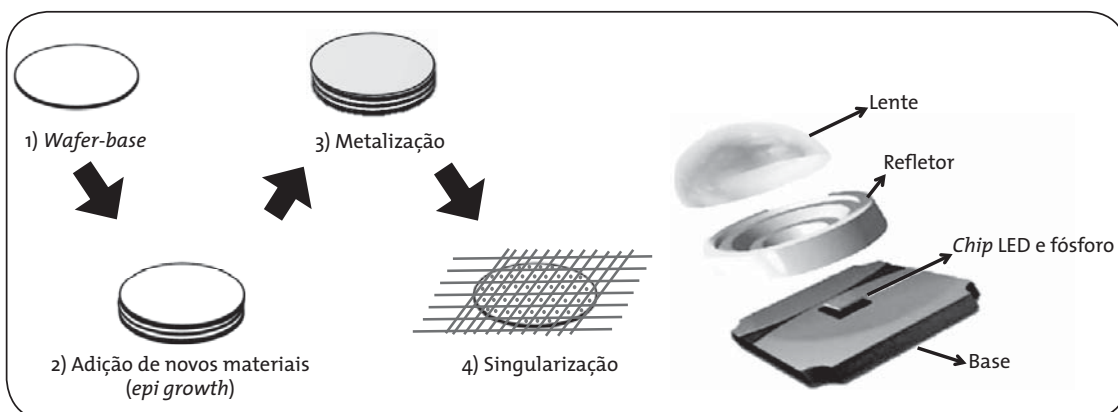
Os processos de produção e de empacotamento (*packaging*) do LED que possibilitam maior rendimento e menor custo são aqueles utilizados na indústria de circuitos integrados. A produção do *chip* LED geralmente corresponde a 70% do custo final do LED. Por essa razão, muitas novas empresas têm entrado nesse segmento, em que se destacam *players* como Cree, Philips Lumileds, Bridgelux, Sora, SemiLEDs e Luminus Devices, nos EUA; Osram, na Alemanha; Nichia, Toyoda Gosei e Sharp, no Japão; além da Samsung Electronics, LG Innotek e Seoul Semiconductors, coreanas; e Everlight, taiwanesa. A China realiza investimentos expressivos na capacidade produtiva do *chip* LED desde 2011: no *ranking* de 2014 da IHS Technology, a chinesa MLS Electronics Co. aparece pela primeira vez no grupo das dez maiores empresas em faturamento<sup>21</sup> no setor.

<sup>21</sup> Disponível em: <<http://electroi.com/blog/2014/07/first-chinese-supplier-breaks-into-top-10-led-rankings-in-2013/>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

**Gráfico 1** | Distribuição geográfica da fabricação de *chips* LED, em 2013

Fonte: SEMI Opto LED Fab Forecast *apud* U.S. DOE (2013).

O processo de manufatura do *chip* LED é ilustrado na Figura 5. A partir do *wafer* (1 – *wafer-base*), composto, por exemplo, por silício, safira ou carbeto de silício, são realizados diversos processos físicos e químicos (2 – *epi growth*) para a adição de novos materiais e construção do dispositivo. Depois ocorre a interligação elétrica (3 – *electrode formation*) e singularização (4 – *cutting*).

**Figura 5** | Processo de manufatura e encapsulamento do LED



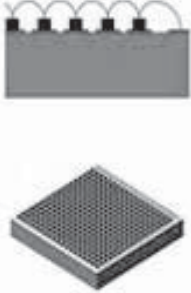
Fonte: Adaptado de Rohm (2016).

Por fim, o *chip* LED é empacotado de modo a fornecer uma interface efetiva de uso. O empacotamento sobre um substrato provê boa conduti-

vidade térmica, controle sobre a fonte de luz (lente/refletor e aplicação de fósforo) e conectividade elétrica, tendo-se o LED encapsulado.

Normalmente, o componente final é chamado apenas de LED ou componente LED. Existem dois tipos de encapsulamento de LED: SMD (*surface mount*) e tipo lâmpada (*through-hole* ou *T-hole*). Há, ainda, uma tendência de se usar a tecnologia *chip on board* (COB) para encapsulamento LED (LED INSIDE, 2015b), ou LED *multichip*, possibilitando maior densidade de *chips* LED (38 vezes mais que a *T-hole* ou 8,5 vezes mais que a SMD) em um único componente. Além da redução do tamanho do LED, outras vantagens do uso do COB seriam maiores durabilidade, estabilidade, confiabilidade, uniformidade da luz emitida e intensidade luminosa. Em contrapartida, exigem maior atenção para a dissipação térmica proveniente da concentração de *chips*. A escolha da forma física se dá em função de alguns requisitos, como o brilho, além de direção da luz e de restrições para a montagem na estrutura final da luminária/lâmpada.

**Figura 6** | Tipos de encapsulamento do LED

Tipo de LED	<i>T-hole</i>	SMD	COB
			
Densidade	9 LED	40 LED	342 LED
Potência	0,4 W	4 W	68 W

Fonte: Portal da ProPhotonix.

Nota: Disponível em: <<http://www.prophotonix.com/resources/Technical-Overviews/led-array-methods.aspx>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

No processo de empacotamento dos LED, há equipamentos de empacotamento de semicondutores convencionais que são apropriados a essa tarefa com poucas customizações. Entretanto, em virtude da necessidade de flexibilidade do processo e da capacidade de empacotar diferentes tipos de produtos na mesma linha de produção, a atividade demanda mão de obra



intensiva. Conseqüentemente, parte expressiva dessa etapa ocorre em regiões de baixo custo de salários, como na Ásia (U.S. DOE, 2014a).

Para a produção do *chip* LED, há esforços para promover inovações em: (i) materiais: melhorias de eficiência luminosa e uso do fósforo para aumentar a extração da luz; (ii) empacotamento: redução do tamanho do componente e uso de novos materiais em substratos para diminuir os custos relacionados a essa etapa produtiva.

### *Lâmpadas e luminárias*

O LED é uma fonte de luz pontual. Para uso em diversas aplicações, há a necessidade de construir o projeto óptico da luminária/lâmpada. O módulo de LED – conjunto óptico – é formado pela montagem dos LED sobre uma placa PCB e, posteriormente, acopladas lentes que conferem a difusão e a abrangência de cobertura da luz emitida, de acordo com o uso final do produto.

**Figura 7** | Conjunto óptico LED



Fonte: Philips.

Nota: Disponível em: <<http://www.ledsmagazine.com/ugc/iif/2013/10/philips-fastflex-led-module-gen2-enables-outdoor-luminaire-design.html>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

Os LED são dispositivos que funcionam, geralmente, em baixa tensão e corrente contínua. Os primeiros LED eram de baixa potência, mas, hoje, existem diversos componentes em média e alta potência. Portanto, para seu funcionamento, em especial nos casos de iluminação geral, são necessários módulos eletrônicos capazes, por exemplo, de converter a tensão da rede

de entrada domiciliar (127V/220V) àsquelas apropriadas para os LED. Tais módulos são denominados “fontes de alimentação”, ou *drivers* – elemento mandatório do conjunto eletrônico.

A seleção do *driver* não está limitada apenas à adequação técnica ao módulo LED e ao ambiente de operação. O *driver* confere funcionalidade de controle da intensidade, que oferece algumas vantagens, como:

- Flexibilidade do espaço: permitir ao mesmo ambiente abrigar atividades que requeiram maior ou menor luminosidade, reaproveitando o espaço disponível; ou mesmo apenas complementar a iluminação solar natural, em vez de utilizar a máxima potência do LED.
- Segurança: oferecer mais segurança ao ambiente, em que automaticamente ajustam-se os níveis de iluminação de modo a promover melhor visibilidade e conforto do espaço.
- Produtividade: permitir a seleção do nível adequado para diversas atividades, reduzindo o estresse visual e a fadiga.

O *driver* é um componente crítico e pode impactar significativamente o desempenho e a confiabilidade das luminárias/lâmpadas LED. É citado como a principal causa de falhas nos produtos (U.S. DOE, 2013). Enquanto seu projeto pode ser bem conhecido, a necessidade de ter melhores níveis de integração, mais eficiência e menor custo confere ao *driver* uma característica de interdependência entre seus fabricantes e os fornecedores do LED, de modo a garantir a qualidade (eficiência luminosa, durabilidade, consistência da cor) do produto.

Além do *driver*, o conjunto eletrônico pode ser composto por sistemas opcionais em função das características funcionais do produto final, tais como conectividade (módulo eletrônico para telecomando) e monitoramento (módulo eletrônico com câmeras, sensores meteorológicos, de presença etc.).

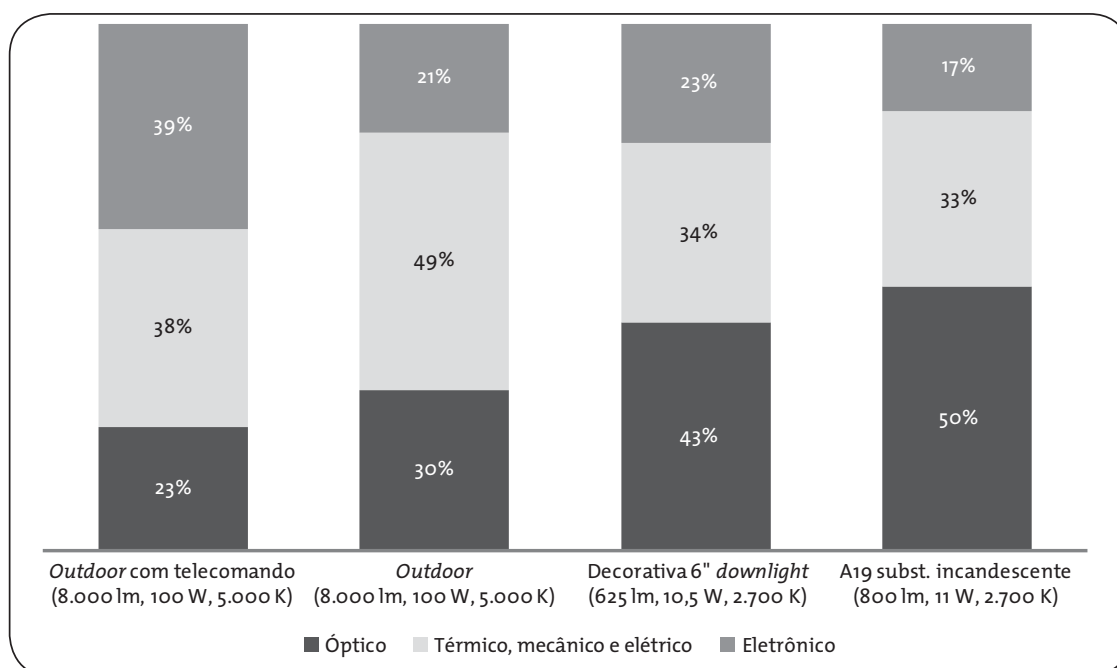
O módulo de telecomando é utilizado em aplicações em que a automação do sistema de iluminação é necessária. Permite a comunicação entre o centro de controle e a luminária (mais especificamente o *driver*). Entre outras funcionalidades, o módulo permite a ação remota de controle e operação de cada fonte de luz. No uso para iluminação pública, por exemplo, o telecomando pode identificar quais lâmpadas estão queimadas na cidade, reduzindo o tempo de troca e o custo de manutenção.

Ainda não existe um padrão tecnológico consolidado para implementar a rede de comunicação entre as luminárias, sendo possível citar exemplos sem fio, como 4G/LTE, ZigBee e RF Mesh; e por fio, como PLC.

O conjunto térmico, mecânico e elétrico determina os aspectos físicos da luminária, garantindo sua qualidade de operação em diversas situações de acordo com o uso ao qual se pretende. Determina ainda a dissipação térmica controlando a temperatura dos demais componentes dentro de suas especificações. O material utilizado de forma mais comum é o alumínio, e as peças são produzidas pelos processos de injeção ou extrusão. Na parte elétrica, são utilizados componentes elétricos simples, como cabos e conectores. Outros componentes presentes em lâmpadas e luminárias LED são fixadores (parafusos), vedações e vidro para proteção dos módulos LED.

O Gráfico 2 exhibe a composição de custos (*bill of material*) de acordo com a aplicação final. Pode-se perceber a maior relevância do conjunto eletrônico em produtos *outdoor* com funcionalidade de telecomando; do conjunto térmico, mecânico e elétrico em luminárias *outdoor* sem telecomando; e do conjunto óptico em ambientes *indoor*.

**Gráfico 2 |** Composição de custos de luminárias e lâmpadas LED



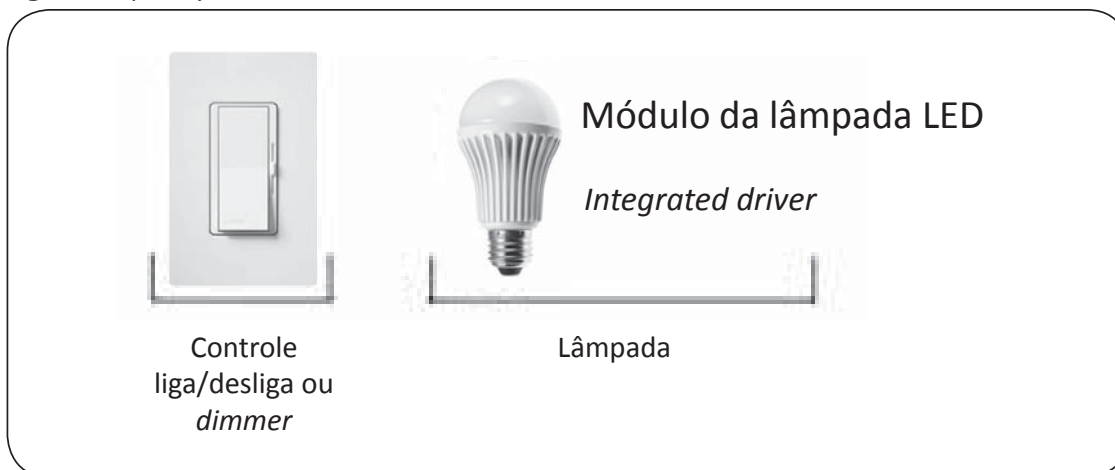
Fonte: Elaboração própria, com base em U.S. DOE (2014a).

Nota: Nas legendas, encontram-se descritas as características de cada lâmpada, como iluminância (lm), potência (W) e temperatura (K).

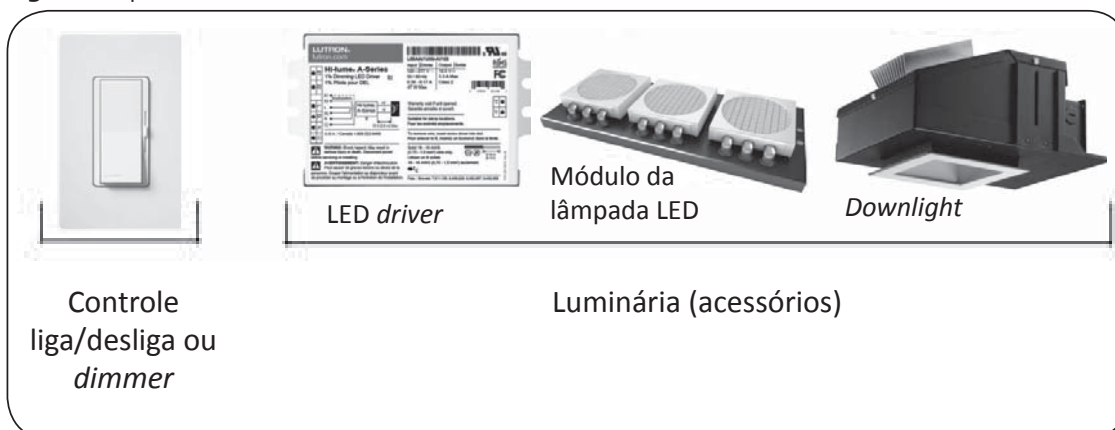
A integração dos conjuntos óptico, eletrônico e térmico, mecânico e elétrico ocorre em dois tipos de produtos finais LED: a lâmpada e a luminária (Figura 8). As lâmpadas LED contêm os soquetes destinados a substituir cada tipo de lâmpada tradicional: incandescentes, compactas fluorescentes (CFL) ou fluorescentes. Uma opção que tem sido ofertada ao mercado como substituição (*retrofit*) às fontes de luz são os módulos de LED, em diferentes formatos, potências e ópticas. As luminárias LED são oferecidas em diversos formatos e contêm uma variedade de opções de *LED driver* (ou fonte de alimentação) para suportar tecnologias de controle ou de uso. A Tabela 2 mostra, para cada produto legado, uma estimativa da participação do LED.

**Figura 8** | Tipos de produtos para iluminação LED

**Figura 8A** | Lâmpada LED



**Figura 8B** | Luminária LED



Fonte: Lutron.

Nota: Disponível em: <[http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/367-2035\\_LED\\_white\\_paper.pdf](http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/367-2035_LED_white_paper.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2016.

**Tabela 2** | Penetração do LED por tipo de produto (%)

Aplicação	2014	2020	2030
Serviços gerais	4	55	> 99
Direcional	6	26	74
Decorativo	1	31	94
Dispositivo elétrico linear	4	44	83
<i>Low/high bay</i>	3	36	73
<b>Total interno</b>	<b>3</b>	<b>42</b>	<b>81</b>
Ruas/rodovias	21	83	99
Estacionamentos	12	74	99
Garagem	8	67	> 99
Exterior de edifício	11	71	99
<b>Total externo</b>	<b>14</b>	<b>75</b>	<b>99</b>
<b>Total global</b>	<b>6</b>	<b>48</b>	<b>84</b>

Fonte: U.S. DOE (2015a).

### Serviços

Dada a durabilidade do LED, prevê-se que, a médio e longo prazos, passado o período de substituição dos parques de iluminação em seus diversos segmentos, haverá uma saturação progressiva do mercado com a menor substituição de dispositivos. As empresas tradicionais do setor de iluminação estão se posicionando não apenas como fornecedoras de produtos, mas também como integradoras de soluções e consultoras de novos serviços.

O mercado de serviços de iluminação deve sair de €1 bilhão em 2010 para €700 bilhões em 2020 (ZISSIS; BERTOLDI, 2014), com novos modelos de negócios que incluem iluminação como um serviço, por exemplo, um fornecedor de solução assume todo o custo de implantação e manutenção do parque de iluminação de uma rede de *shopping centers*.

## Panorama de mercado

### Mercado mundial

O mercado global de iluminação foi de US\$ 76 bilhões em 2014, com crescimento previsto de 5% ao ano até 2020, quando atingirá US\$ 104 bilhões (LED INSIDE, 2015a).

Ao analisar a participação da iluminação LED nesse mercado, é importante ter em vista três diferentes indicadores: valor, unidades vendidas e parque instalado. Segundo a Strategies Unlimited *apud* U.S. DOE (2015b), em 2014 as vendas de lâmpadas LED responderam por 5% das unidades vendidas, 41% do valor total vendido e 3% da base instalada. Em 2020, esses números alcançariam, respectivamente, 42% de unidades, 76% em valor e 33% da base instalada.

A Tabela 3 apresenta a penetração em vendas do LED por diferentes consultorias, que convergem na previsão de crescimento expressivo da participação do LED no mercado de iluminação. Segundo a LED Inside *apud* U.S. DOE (2015b), por exemplo, em 2014 a iluminação LED (lâmpadas e luminárias) representou 26% das vendas (US\$ 20 bilhões) e deverá alcançar 54% em 2018.

**Tabela 3** | Penetração da iluminação LED (%)

Fonte	Escopo	2014	2016	2018	2020	2022
<b>IHS</b>	Lâmpadas	31	42	52	61	67
<b>Strategies Unlimited</b>	Lâmpadas	41	56	68	76	80
<b>Strategies Unlimited</b>	Luminárias	33	44	53	61	69
<b>LED Inside</b>	Lâmpadas e luminárias	26	34	54	-	-

Fonte: U.S. DOE (2015a).

A eficiência energética, a erosão do preço do LED (*chip* e encapsulamento) e as políticas industriais são os principais vetores da adoção maciça da tecnologia em diferentes países. Com foco na redução da emissão de CO<sub>2</sub>, Taiwan elencou LED e a geração solar como indústrias-chave<sup>22</sup> da nova economia verde. O Japão, com escassez estrutural de energia, é o mercado de maior crescimento. O país planeja substituir todo o parque de iluminação até 2020 por fontes eficientes. A Europa, com crescentes pressões ambientais e restrições na oferta de energia,<sup>23</sup> e os EUA adotaram o banimento progressivo de lâmpadas ineficientes (ZISSIS; BERTOLDI, 2014).

<sup>22</sup> Programa Dawning Green Energy Industry.

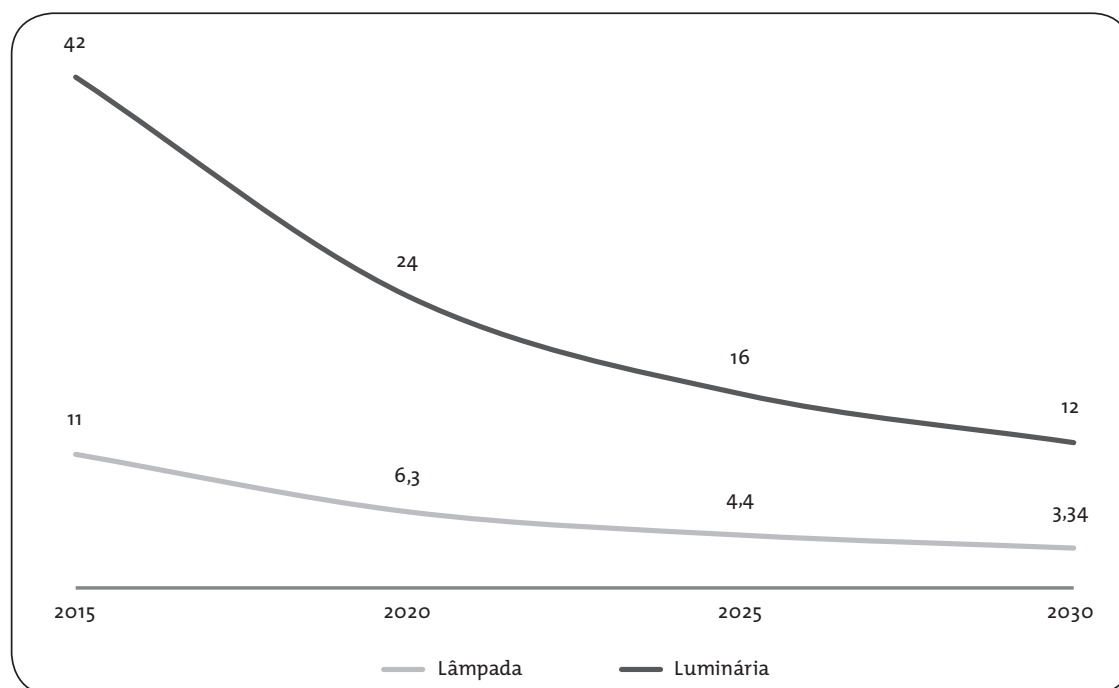
<sup>23</sup> Plano de desligamento progressivo das usinas nucleares na Alemanha.



De 2007 a 2013, o preço caiu de US\$ 200/klm (Cree LR6) para US\$ 52/klm (Cree CR6), e a eficiência aumentou de 50 lm/W para aproximadamente 80 lm/W (U.S. DOE, 2013). Se considerados todos os custos associados à implantação e à manutenção e as vantagens oriundas desse ganho de eficiência, o *payback* de projetos para a iluminação residencial é estimado em torno de dois anos e, para a comercial, em torno de três anos em 2016 (MCKINSEY & COMPANY, 2012).

Os custos de lâmpadas e luminárias deverão cair a cerca de um terço do valor entre 2015 e 2030 (Gráfico 3). Essa redução de custos está atrelada: (i) à eficiência das fontes de luz – redução do custo de produção dos *chips* LED e menor quantidade de *chips* por luminária –; (ii) à redução do custo do processo de montagem das luminárias (18% do custo); e (iii) à revisão de *overhead* (15% do custo) para engenharia de produção, desenvolvimento de produto, documentação, empacotamento, testes e distribuição.

**Gráfico 3** | Projeções de preços médios das lâmpadas e luminárias LED (US\$/klm)



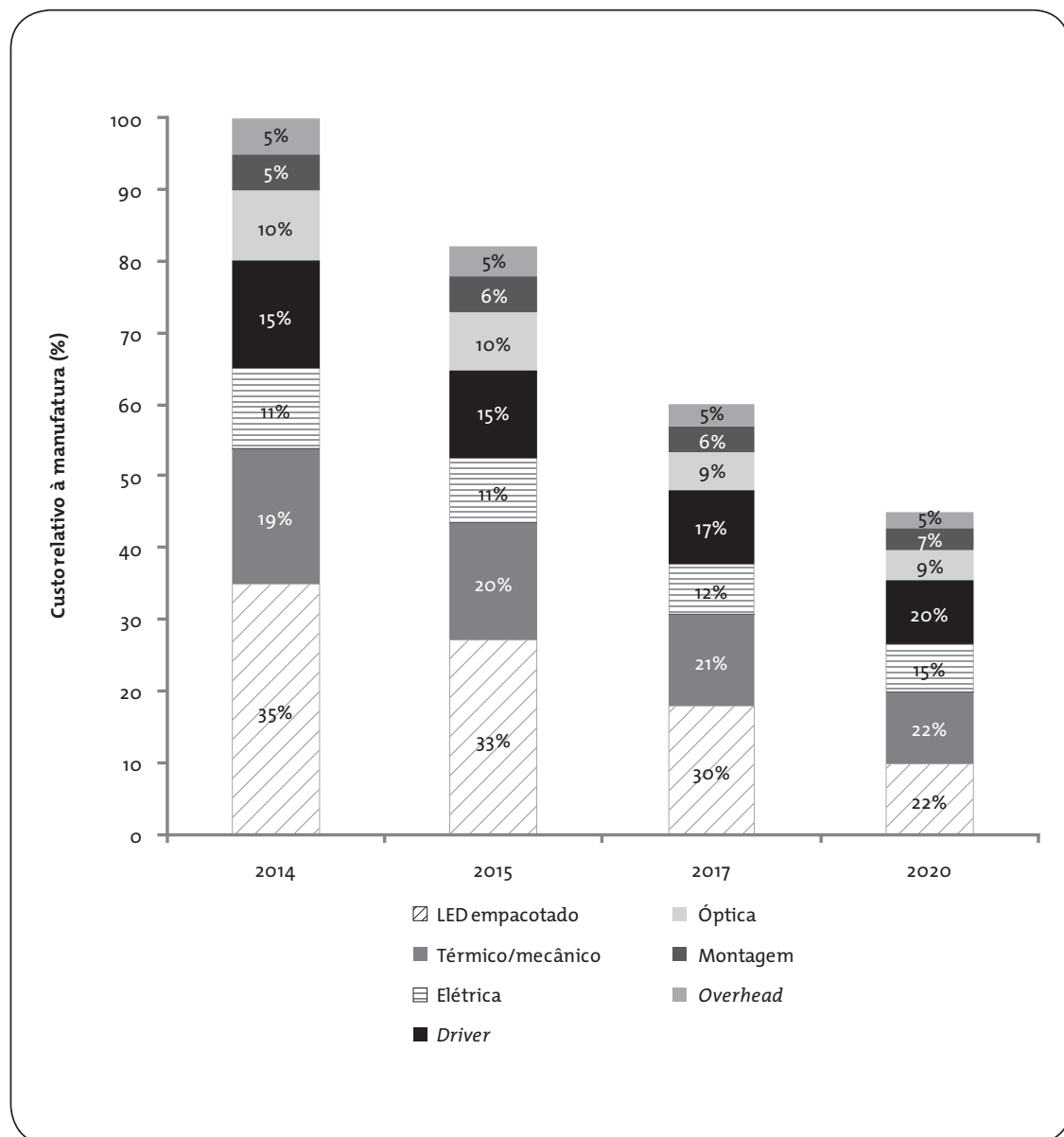
Fonte: U.S. DOE (2014a).

Os LED serão os principais vetores para a redução esperada de custos. Para tanto, serão necessários o aumento da automação e do desempenho

dos equipamentos para a produção de *chips*, a melhora nos processos de controle, de inspeção e de testes, os empacotamentos otimizados (*designs* simplificados, materiais de menor custo e *multichips*), o aumento do nível de integração, entre outros fatores.

No caso das lâmpadas LED no formato de bulbo – lâmpada de soquete em rosca (A19) –, os LED serão responsáveis pela maior redução de custos das luminárias –, saindo de 35% do valor em 2014 para 22% até 2020 (Gráfico 4).

**Gráfico 4** | Custo de manufatura referente à lâmpada LED bulbo (padrão A19)

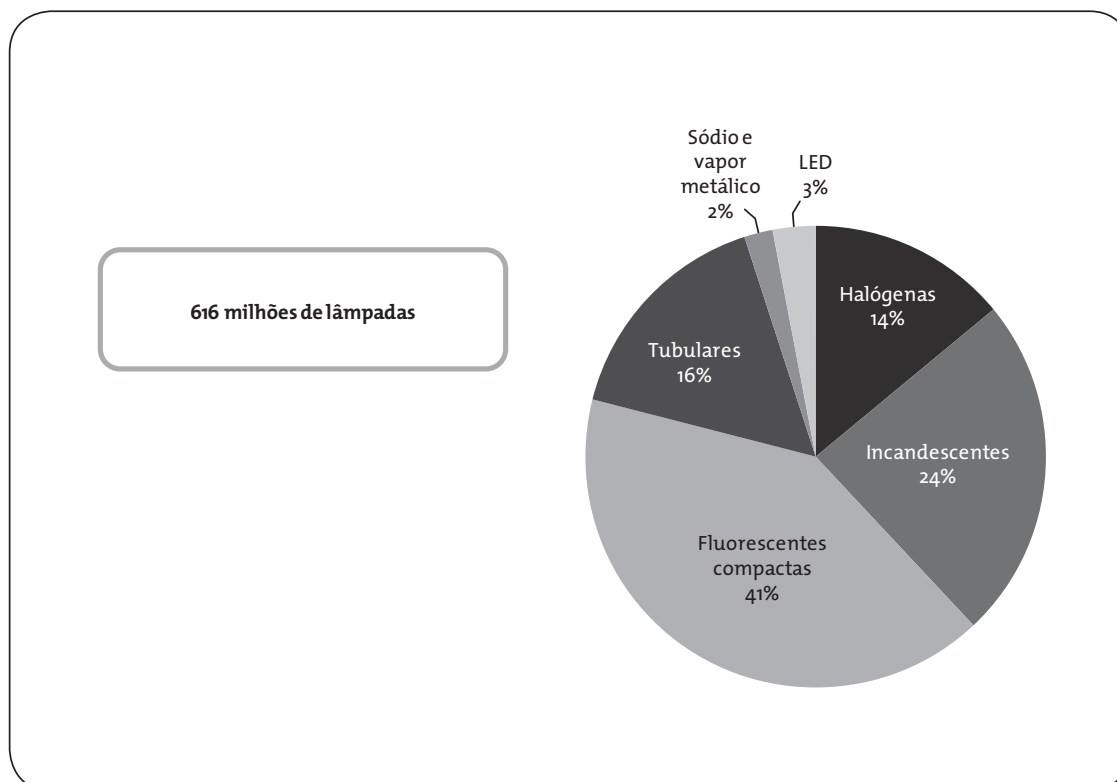


Fonte: U.S. DOE (2014a).

## Mercado brasileiro

Foram consumidas 616 milhões de lâmpadas no país em 2014 (Gráfico 5). As LED representam apenas 3% das unidades comercializadas, demonstrando o amplo espaço para crescimento para substituição de outras tecnologias.

**Gráfico 5** | Distribuição dos tipos de lâmpadas comercializadas no país em 2014



Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Abilux disponibilizados aos autores deste artigo (ano-base 2014).

Na Europa, a eliminação quase total da lâmpada incandescente, que estimula a entrada dos LED e de outras tecnologias mais eficazes, levou três anos e se encerrou em 2012. Em outros países, a escolha foi banir essa lâmpada de vez, começando por Cuba em 2005 e, em sequência, Austrália em 2010, Argentina em 2011 e EUA em 2014.

O Brasil optou por seguir linha semelhante, fixando índices mínimos de eficiência luminosa para fabricação, importação e comercialização das lâmpadas incandescentes por meio da Portaria Interministerial MME, MCT e MDIC 1.007/2010 – *vide* cronograma de banimento no Quadro 1.

**Quadro 1** | Cronograma do banimento das lâmpadas incandescentes de uso geral

Watt	Exemplos	Datas-limite									
		30 jun. 2012	30 dez. 2012	30 jun. 2013	30 dez. 2013	30 jun. 2014	30 dez. 2014	30 jun. 2015	30 dez. 2015	30 jun. 2016	
Acima de 100	150 W 200 W 300 W 500 W	Fabricação e importação	Comercialização fabricante e importador	Comercialização atacadista e varejo							
Acima de 60 até 100	75 W 100 W			Fabricação e importação	Comercialização fabricante e importador	Comercialização atacadista e varejo					
Acima de 40 até 60	60 W					Fabricação e importação	Comercialização fabricante e importador	Comercialização atacadista e varejo			
40 e abaixo	25 W 40 W							Fabricação e importação	Comercialização fabricante e importador	Comercialização atacadista e varejo	

Fonte: Brasil (2011).

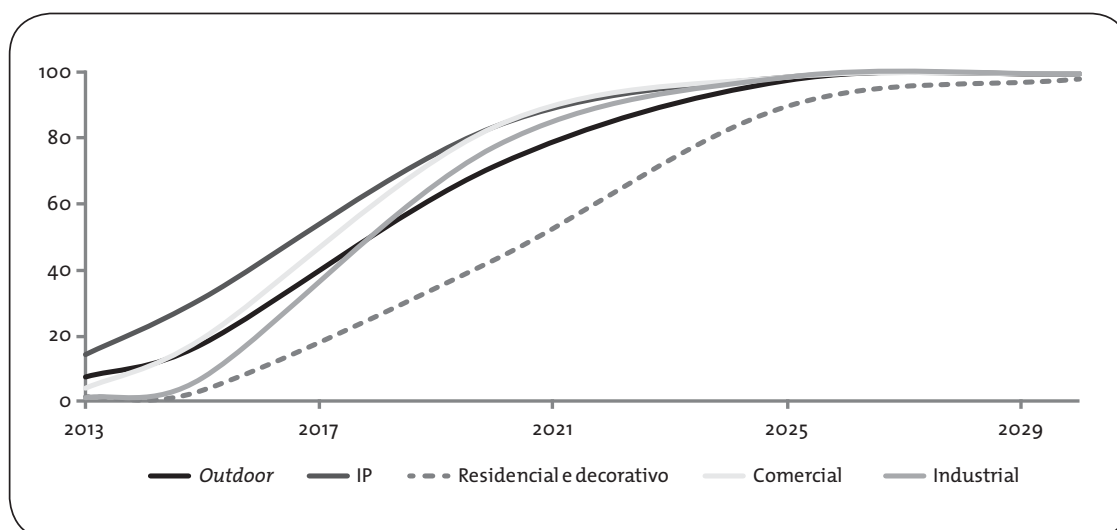
No segmento de iluminação pública (IP), o Procel Reluz,<sup>24</sup> instituído pela Eletrobras em 2000, tem por objetivo financiar o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública e sinalização semafórica, estimulando a substituição de lâmpadas incandescentes, mistas e a vapor de mercúrio, por lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão e a vapor metálico, ambas mais eficientes que as anteriores, porém inferiores ao LED. De 2000 a 2015, o Procel Reluz substituiu cerca de 2,7 milhões de pontos de iluminação pública, ou seja, cerca de 18% do total de pontos de IP no país.

<sup>24</sup> Financiado com recursos do fundo de Reserva Global de Reversão (RGR). Condições básicas de financiamento: 5% de taxa de juros, com 24 meses de carência e sessenta meses de amortização.

## Segmentos de mercado da iluminação LED

A iluminação LED pode ser segmentada em quatro grandes aplicações: residencial, comercial, industrial, *outdoor* (incluindo iluminação pública).<sup>25</sup> O U.S. DOE projeta que até 2030 o LED terá penetrado quase totalmente todos os segmentos, com destaque para a iluminação pública e comercial, que deverão atingir mais rapidamente a penetração próxima de 100%. Os segmentos residenciais e decorativos, mais sensíveis a outros critérios de desempenho – como estética –, terão a adoção em ritmo menos agressivo.

**Gráfico 6** | Penetração da iluminação LED por segmento

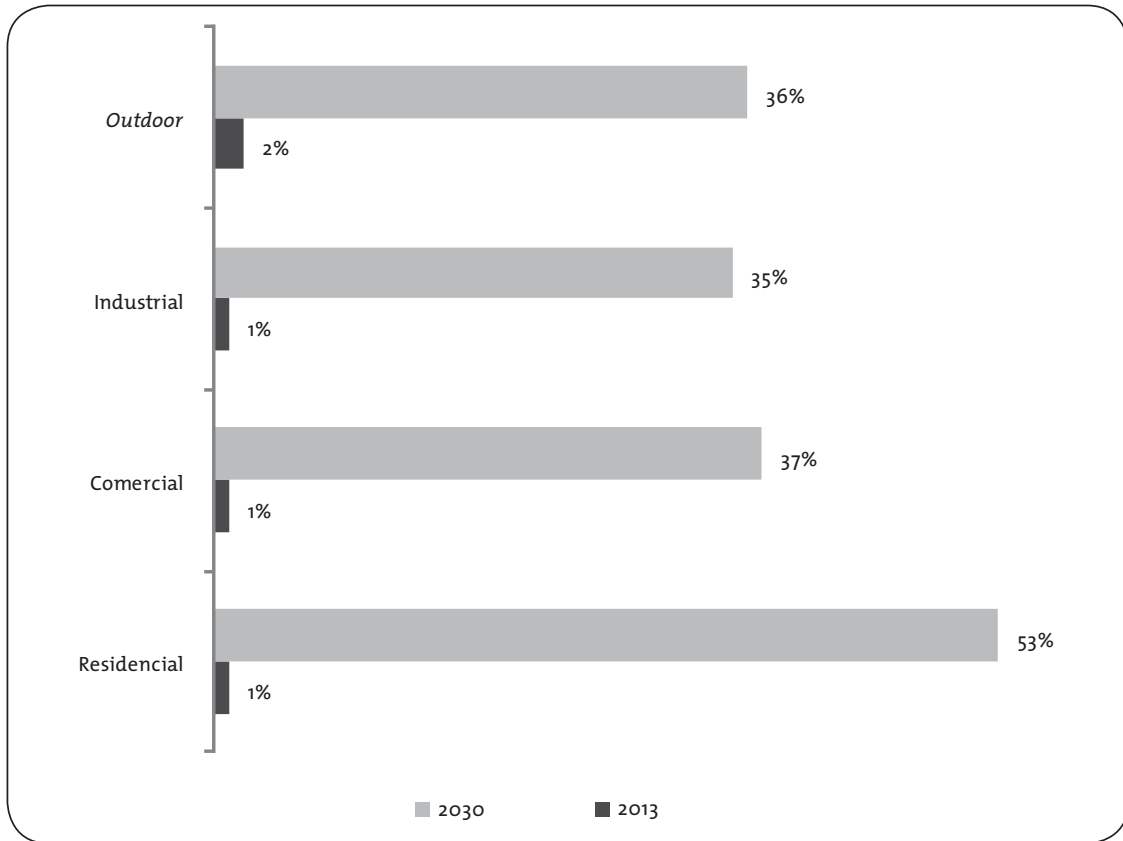


Fonte: Adaptado de U.S. DOE (2014a).

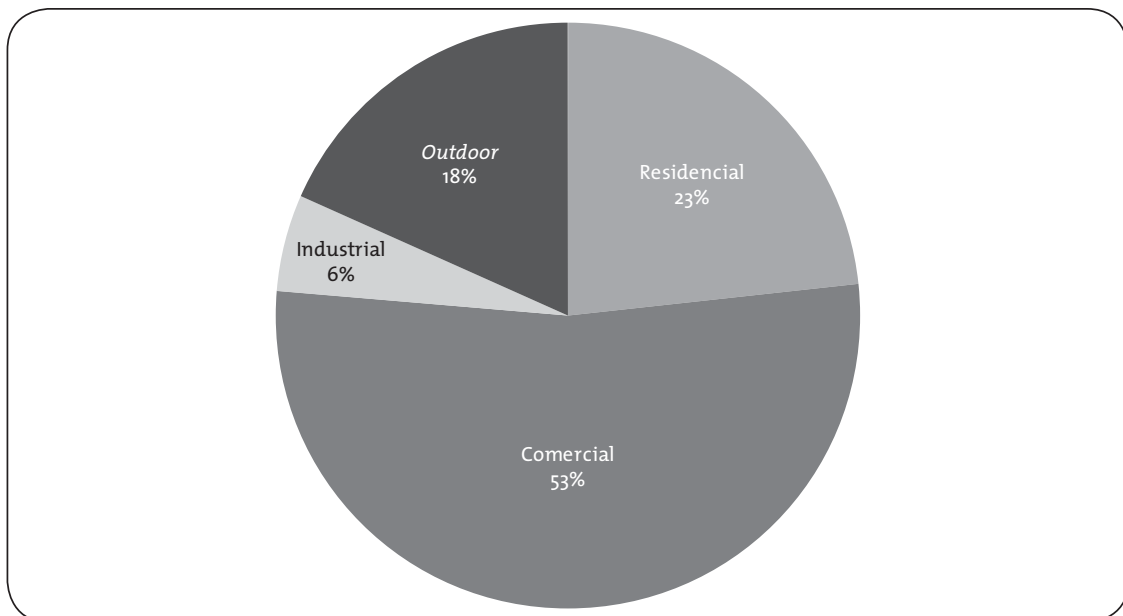
Como referência, até 2020, a introdução do LED na iluminação nos EUA representará uma redução de 15% de energia destinada a esse fim. Em 2030, quando o parque de iluminação em estado sólido estiver consolidado, esse número será de 40%.

O segmento residencial poderá economizar 53% da energia necessária para iluminação em 2030 (Gráfico 7). Contudo, o segmento comercial, que usa por períodos mais prolongados a luz, contribuirá com mais da metade da redução da demanda total (Gráfico 8).

<sup>25</sup> *Outdoor* compreende aplicações em iluminação pública e em demais grandes espaços abertos, como estádios, estacionamentos etc.

**Gráfico 7** | Percentual de redução do consumo de energia em iluminação por segmento nos EUA, em 2030

Fonte: U.S. DOE (2014b).

**Gráfico 8** | Iluminação LED: contribuição para a economia de energia elétrica por segmento, nos EUA, em 2030

Fonte: Elaboração própria, com base em U.S. DOE (2014b).



### *Residencial*

É o maior segmento de iluminação e representou quase 40% do mercado em 2011 (MCKINSEY & COMPANY, 2012). Embora haja uso elevado de lâmpadas incandescentes, o segmento residencial apresentará uma adoção mais lenta (Gráfico 6) por ser o mais sensível a preço. As políticas de banimento de lâmpadas ineficientes terão papel central para acelerar a transição tecnológica.

O *home automation*, automação residencial, deve ser o mercado de maior crescimento para soluções de controle de iluminação. Embora ainda seja um mercado pequeno (MCKINSEY & COMPANY, 2012) – os únicos elementos eletrônicos utilizados são dimerizadores simples –, essa tendência deve ser revertida à medida que a preocupação com a gestão energética se difunde, novos produtos são desenvolvidos e os preços se tornam mais acessíveis para o consumidor final.

### *Comercial/escritórios*

Os escritórios e as instalações comerciais são o segundo maior mercado em iluminação – em 2011, representavam 15% do mercado. A penetração do LED deve se dar em virtude dos seguintes propulsores:

- i. erosão de preços;
- ii. automação predial (e conseqüente redução do desperdício no consumo de energia);
- iii. construção de prédios verdes;
- iv. redução dos custos para operação e manutenção do sistema de iluminação predial, em função da maior durabilidade do produto.

Entretanto, o LED enfrenta barreiras à adoção nesses segmentos. Em primeiro lugar, em função do uso disseminado das lâmpadas fluorescentes, que têm um bom balanceamento entre custo, eficiência e flexibilidade de uso, além de ser uma tecnologia provada. Em alguns escritórios, muitas vezes a decisão por adquirir a tecnologia não é feita por quem paga a conta, especialmente em gestões terceirizadas. No comércio, há maior preocupação quanto à apresentação fidedigna das cores dos bens/mercadorias expostos ao público (medido pelo índice CRI). O LED, apesar dos avanços tecnológicos, ainda apresenta um menor índice quando comparado às lâmpadas incandescentes.

## Industrial

A adoção no segmento industrial ocorrerá por questões específicas ao setor. Com o uso disseminado de lâmpadas fluorescentes e do tipo HID, que apresentam relativo bom desempenho e alta eficiência, os benefícios oferecidos pelo LED não são tão claros nesse aspecto. Em contrapartida, em locais de difícil acesso para a substituição das lâmpadas – pelo elevado custo de operação e manutenção –, questões ambientais – presença do mercúrio<sup>26</sup> – e questões de conforto visual ao homem podem alavancar a tecnologia nesse segmento.

## Outdoor

O segmento *outdoor* compreende luminárias para iluminação pública – estradas, ruas, pontes etc. – e grandes espaços – estacionamentos, estádios esportivos etc. Ele será o terceiro maior mercado em valores nominais para o LED. Em 2011, correspondeu a aproximadamente 6% do mercado de iluminação LED (MCKINSEY & COMPANY, 2012). Ao contrário dos demais, esse segmento é influenciado por intervenções de políticas públicas. A demanda pela gestão eficiente do serviço público, a perspectiva de redução do preço das luminárias LED e a economia de energia constituem fundamentos de tendência tecnológica em rápida evolução.

A Figura 9 ilustra o uso de LED para redução no consumo e para melhoria de conforto visual na cidade de São Paulo.

**Figura 9** | Exemplo de projeto de IP na cidade de São Paulo: iluminação anterior (HPS) e iluminação atual (LED)



Fotos: Ilumatic.

<sup>26</sup> O Brasil é um dos 128 países signatários da Convenção de Minamata, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), que dispõe sobre o banimento do mercúrio em diversos produtos e em setores como industrial e mineração. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=456>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

O Quadro 2 apresenta os propulsores de mercado que levarão a uma substituição tecnológica e os pontos em que a tecnologia LED precisa atender às expectativas de cada tipo de consumidor por aplicação.

**Quadro 2** | Propulsores e pontos críticos para a adoção do LED em diferentes aplicações

<b>Aplicação</b>	<b>Tecnologia incumbente de iluminação predominante</b>	<b>Propulsor para substituição tecnológica</b>	<b>Ponto crítico da tecnologia LED</b>
<b>Residencial</b>	- Incandescente - Decorativa	- Preço	- Preço das lâmpadas (principalmente de <i>retrofit</i> )
<b>Comercial/escritório</b>	- Fluorescente - Incandescente	- Preço - Durabilidade	- Depende de políticas de incentivo a selos “verdes” em edificações
<b>Industrial</b>	- HID (vapor de sódio/mercúrio) - Fluorescente	- Custo de manutenção <i>total ownership cost</i> (TOC)	- Durabilidade
<b>Outdoor</b>	- HID (vapor de sódio/mercúrio)	- Custo de manutenção <i>total ownership cost</i> (TOC)	- Durabilidade

Fonte: Elaboração própria.

## Iluminação pública

### Infraestrutura para cidades inteligentes

A IP telecomandada é o primeiro de vários serviços públicos que podem ser prestados no novo paradigma de cidades inteligentes, com a introdução de funcionalidades adicionais ao poste de iluminação – como controle de iluminação, sensoriamento do ambiente, conexão à rede de dados, monitoramento, publicidade digital, serviços públicos.

Na IP tradicional, temporizadores simples são os únicos elementos de controle da iluminação – a luminária acende em potência total e apaga em horas programadas. Sistemas de controle de iluminação mais dinâmicos permitem maximizar eficiência energética e tempo de vida das fontes luminosas,

combinando, por exemplo, a iluminação natural do ambiente e/ou condições climáticas. Os sistemas de controle dinâmicos podem, ainda, ajustar a intensidade luminosa da IP para aumentar a segurança ou a visibilidade em respectivas regiões de cobertura.

Ainda no campo da eficiência, a redução em custos de operação dos sistemas de IP (SIP) pode ser obtida graças ao monitoramento em tempo real do *status* de funcionamento da luminária, com manutenção preventiva e também direcionada.

A consultoria Gartner prevê que a evolução esperada para tecnologias associadas à IP será feita em estágios:

- Estágio 0: Simples substituição das luminárias, para gerar economia de energia.
- Estágio 1: Primeiros serviços inteligentes, por exemplo, dimerização da luz em momentos de baixa necessidade de consumo e atendimento a áreas com maiores índices de criminalidade. Intervenções pontuais por dispositivos móveis para emergências ou manutenção.
- Estágio 2: As luminárias passam a se comunicar em rede, monitorando o ambiente (por meio de diversos sensores). Podem ainda funcionar como portal de acesso à rede municipal de serviços públicos e à rede móvel, especialmente as picocélulas e microcélulas 4G em áreas urbanas.
- Estágio 3: Podem ser usadas como ponto de acesso às redes de dados em banda larga. Cria-se novo ecossistema e novo modelo de negócios para provedores privados de serviços de comunicação (CSP) móveis, bem como provedores de serviços públicos.

### **Impulsionadores e potencial da iluminação pública em LED no país**

No país, havia aproximadamente 19 milhões de pontos de IP, consumindo cerca de 13.512 GWh (3% da energia elétrica distribuída pelas concessionárias) em 2012. A iluminação pública representou gastos de R\$ 2,18 bilhões<sup>27</sup> com energia e outros R\$ 2,28 bilhões com manutenção

<sup>27</sup> A tarifa média para IP, em 2013, foi de R\$ 161,27/MWh.

e operação, totalizando despesas de R\$ 4,46 bilhões para as prefeituras. Não obstante, apresenta potencial eficiência energética de 9 TWh de economia de energia elétrica, redução de 50% do consumo, no país, até 2030 (BRASIL, 2007).

Visando atender à Constituição Federal (CF) de 1988 – que definiu que a iluminação pública é de responsabilidade do município e, para isso, permite a cobrança da Contribuição de Iluminação Pública (CIP) –, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) decidiu, por meio da Resolução Normativa 414/2010, que os ativos de IP sob a responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica fossem transferidos para os municípios a partir de 2015.

Tal ambiente de mudança regulatória cria oportunidades para revisão do parque instalado, sobretudo para aquelas prefeituras com população residente acima de cem mil habitantes, que gozam de contribuições normatizadas para iluminação pública (CIP/Cosip) e que têm histórico de arrecadação.

No Brasil, algumas experiências pontuais de substituição por LED têm sido realizadas nas principais cidades brasileiras como efeito-demonstração por fabricantes nacionais e estrangeiros.<sup>28</sup>

A cidade de São Paulo, município com o maior número de pontos de IP – estimados em 618.335<sup>29</sup> em dezembro de 2014 –, encontra-se entre as primeiras a lançar edital para a contratação de parceria público-privada (PPP) para implantação e operação de toda a infraestrutura da rede de IP, com prazo de vigência de vinte anos e investimentos estimados em R\$ 1,3 bilhão.

Atribui-se importância a PPP de São Paulo como referência de futuro para conjunto de cerca de sessenta municípios que poderão replicar a experiência cursada na maior cidade do país. Será projeto com pioneirismo internacional, com atratividade para fabricantes organizados em megacorporações, assim como para a indústria nacional. Em levantamento preliminar, estima-se que exista um potencial de troca entre quatro e cinco milhões de luminárias públicas, totalizando entre R\$ 5 e

---

<sup>28</sup> Em Florianópolis, instalaram-se 366 luminárias LED na ciclovia da avenida Beira-Mar Norte e foi obtida uma economia de 50% do custo da energia.

<sup>29</sup> Conforme o “Anexo V – Plano de Negócios” do Edital de Licitação.

R\$ 6 bilhões de investimentos (se considerado o custo médio de luminárias em R\$ 1,2 mil e apenas as prefeituras com mais de cinquenta mil habitantes e Cosip superior a R\$ 1 milhão/mês).

## Oportunidade de adensamento tecnológico

### Indústria brasileira de iluminação

Segundo dados da Pesquisa Industrial Anual/Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PIA/IBGE), em 2013 o segmento de lâmpadas e luminárias (“Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 27.4 Fabricação de lâmpadas e outros equipamentos de iluminação”) representou cerca de 3% da receita líquida e 16% das empresas do setor de equipamentos elétricos.<sup>30</sup> Cerca de 450 empresas fabricavam produtos na indústria de iluminação, com aproximadamente 15 mil funcionários e receita líquida de R\$ 2 bilhões (Tabela 4).<sup>31</sup>

**Tabela 4** | Dados básicos da indústria de iluminação

Dados	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2013/2007 (%)
<b>Número de empresas</b>	493	419	437	452	464	420	452	(8)
<b>Valor bruto da produção industrial (R\$ milhão)</b>	1.624	1.247	1.080	1.551	1.746	2.042	1.978	22
<b>Receita líquida industrial (R\$ milhão)</b>	1.621	1.231	1.069	1.535	1.741	1.918	2.035	26
<b>Valor da transformação industrial (VTI) (R\$ milhão)</b>	743	518	486	738	783	991	874	18
<b>Pessoal ocupado</b>	15.952	12.477	12.956	14.762	16.296	14.740	14.919	(6)
<b>Massa salarial (R\$ milhão)</b>	379	214	207	277	331	319	353	(7)
<b>Média salarial (R\$ mil/funcionário)</b>	24	17	16	19	20	22	24	(1)

Fonte: PIA Empresa/IBGE (valores nominais).

<sup>30</sup> Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos (CNAE 27).

<sup>31</sup> Apurado pela relação valor da transformação industrial/valor bruto da produção.



Segundo dados da Abilux disponibilizados aos autores deste artigo, que agregam valores do comércio, o setor emprega cerca de 37 mil trabalhadores direta e indiretamente. Aproximadamente 75% das empresas estão no estado de São Paulo e em torno de 20% delas são de grande porte.

Historicamente, o setor experimentou uma perda progressiva da produção de lâmpadas. Desde a abertura econômica da década de 1990 e a reorganização mundial da produção de plantas de elevada escala, combinada com a agressividade chinesa em tecnologias substitutivas – como o CFL na década de 2000 –, o país perdeu diversas plantas importantes, o que fez com que *players* como a GE deixassem de produzir no país. No quadro geral, o setor consolidou-se como fabricante de luminárias (58% do faturamento) e tornou-se revendedor – em alguns casos, apenas montador – de lâmpadas importadas.

A balança comercial do setor indicou em 2014 *deficit* em torno de R\$ 800 milhões (Tabela 5), com cerca de 40% desse total destinado a lâmpadas fluorescentes,<sup>32</sup> não mais produzidas no país.

**Tabela 5** | Balança comercial do setor de iluminação, 2010-jun. 2015 (R\$ milhões)

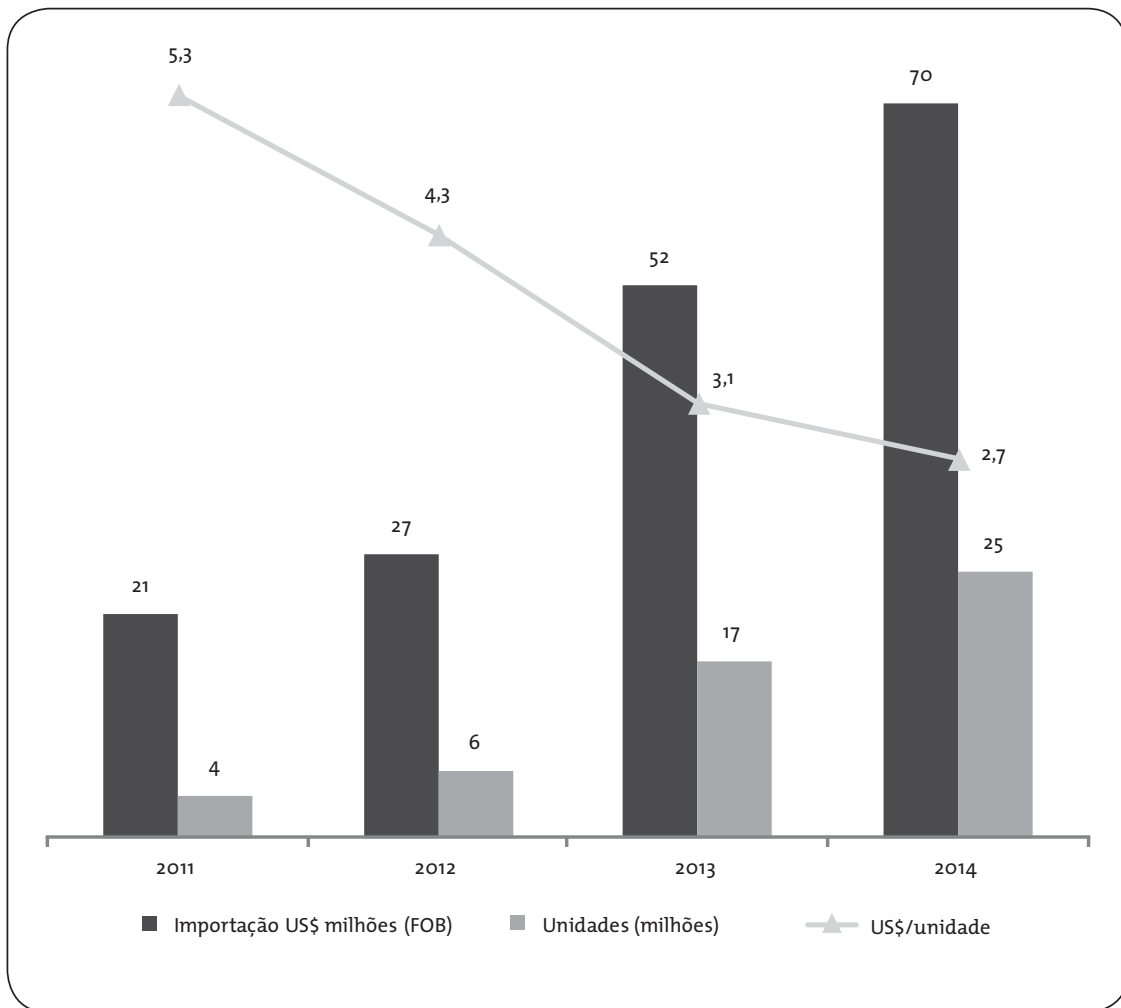
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Var. 2010-2014 (%)	Var. a.a. (2010-2014)
<b>Exportações</b>	53,6	56,9	46,8	45,9	43,3	17,4	(19,2)	(5,2)
<b>Importações</b>	711,8	745,4	723,8	877,0	812,6	331,7	14,2	3,4
<b>Saldo</b>	<b>(658,2)</b>	<b>(688,5)</b>	<b>(677,0)</b>	<b>(831,1)</b>	<b>(769,3)</b>	<b>(314,3)</b>	<b>16,9</b>	<b>4,0</b>

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de Aliceweb.

### *Transição para a iluminação LED*

As importações de lâmpadas LED cresceram a uma taxa de 50% a.a. em valor (85% em quantidade) entre 2011 e 2014 (Gráfico 9), correspondendo a 10% das importações do período. Em contrapartida, os preços unitários dos bens importados caíram 20% a.a. no mesmo período.

<sup>32</sup> Fonte: Aliceweb, Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) entre 85041000, 85391010 e 85399090, 85414011 e 85414021, 94051010 e 94059900.

**Gráfico 9** | Evolução da importação de lâmpadas LED

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Abilux disponibilizados aos autores deste artigo (ano-base 2014).

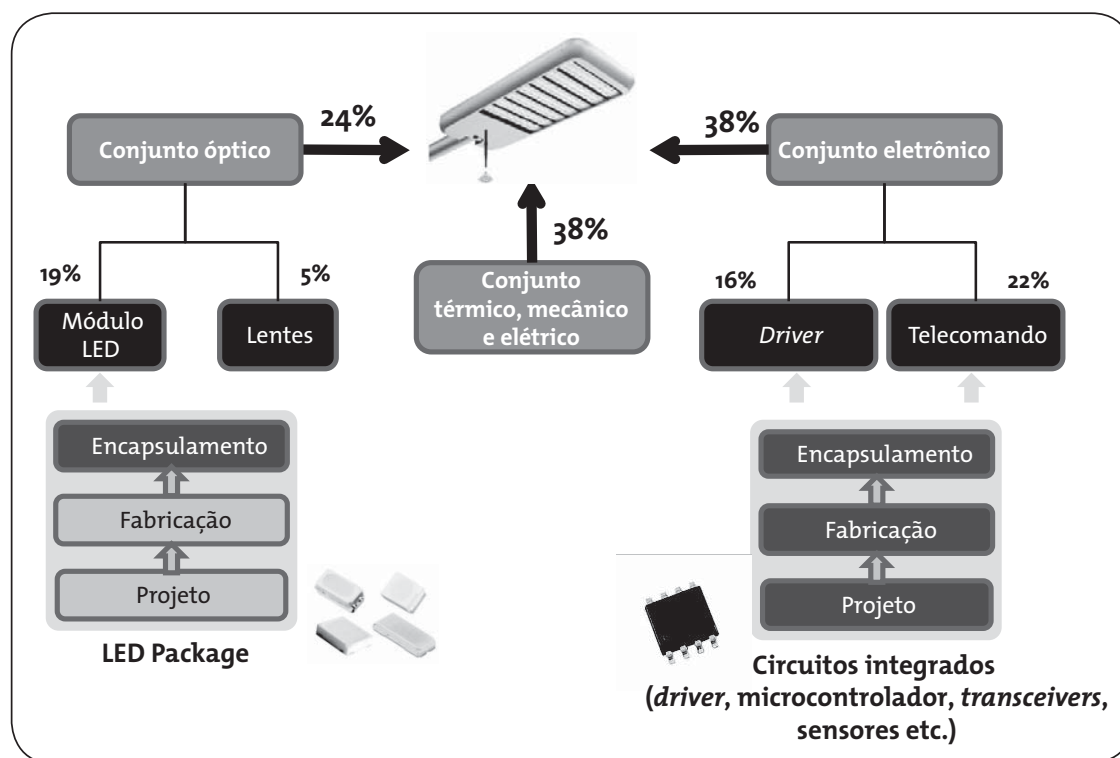
Com a perspectiva de o LED protagonizar a iluminação em todos os segmentos, o *deficit* da balança comercial poderá se agravar. Os motivos serão analisados em mais detalhes nas subseções a seguir. Alguns fatores que levam ao aumento das importações no setor são: (i) maior valor unitário das lâmpadas LED à medida que se diversificam as aplicações; (ii) tendência de unificação da fonte de luz (lâmpadas) com a estrutura (luminária) nas tecnologias de estado sólido; e (iii) novas funcionalidades agregadas pela eletrônica embarcada.

### Cadeia de valor da iluminação pública em LED

A Figura 10 reproduz a divisão dos custos de uma luminária de iluminação pública, dividida pelos conjuntos térmico, mecânico e elétrico,

óptico e eletrônico. Observa-se que o peso somado dos conjuntos óptico e eletrônico, cujas cadeias produtivas e tecnológicas não estão fixadas no país, corresponde a 62% do custo de uma luminária *outdoor*.

**Figura 10** | Composição de custo das luminárias LED com telecomando para uso *outdoor*



Fonte: U.S. DOE (2013).

Nota: Imagem: Luminária Illumatic.

A análise do estágio de desenvolvimento da cadeia produtiva e de mercado conduzida pelo BNDES para iluminação *outdoor* indicou que não existe uma necessidade premente de induzir o adensamento de itens do conjunto térmico, mecânico e elétrico, já que existe capacidade instalada competitiva no país, e os custos logísticos para importação de componentes volumosos são barreiras naturais à importação.

Por sua vez, concluiu-se que o conjunto óptico não deveria ser foco inicial de fomento ativo à atração de fabricantes de *chips* LED, pois se trata de um componente relativamente simples, cuja competitividade em custos de outros países (com destaque para a China) dificilmente seria suplantada pela produção local. Todavia, entendeu-se como viável a atração da etapa de encapsulamento (ou *back-end*) do LED, uma vez que o tipo de maqui-

nário utilizado é semelhante ao existente em algumas empresas no país que encapsulam *smartcards*.

A maior oportunidade de adensamento encontra-se no conjunto eletrônico. O processo de produção dos componentes eletrônicos das luminárias LED é maduro e similar ao de outros equipamentos eletrônicos montados no país, o que não representa, portanto, ganho significativo para o setor. Contudo, a inovação nos produtos será por meio da eletrônica embarcada, que permitirá oferecer maior flexibilidade de uso.

O potencial da introdução de luminárias LED telecomandadas, por exemplo, pode ser o início da criação da infraestrutura para cidades inteligentes. Abre uma significativa oportunidade para criação de parcerias tecnológicas e produtivas locais no campo da eletrônica. Um amplo conjunto de sensores, circuitos integrados, sistemas de comunicação, aplicativos e outros será utilizado para prestação de serviços de informação a partir do poste de luz.

O diagnóstico da cadeia eletrônica local e do ecossistema de microeletrônica em construção no país sugere que os desafios tecnológicos para desenvolvimento dessa eletrônica estão ao alcance do estágio de maturidade do complexo eletrônico brasileiro.

### **Breve diagnóstico da cadeia eletrônica e ecossistema de semicondutores brasileiros**

A despeito de o faturamento seguir em crescimento nos últimos anos, a indústria eletrônica brasileira se caracteriza por perfil essencialmente montador, com progressiva dependência das importações (partes, peças e componentes), reduzida e decrescente exportação e agregação de valor local (RIVERA *et al.*, 2015). Além do esvaziamento da cadeia eletrônica nacional ser crítico em si – o *deficit* comercial atingiu R\$ 22 bilhões em 2014 –, ele tende a se tornar uma questão relevante para a indústria nacional, pois setores como bens de capital, automotivo, equipamentos médicos, entre outros, incorporam conteúdo cada vez mais significativo de eletrônica em seus bens. O custo total da eletrônica embarcada nos automóveis deverá custar em torno de 50% dos carros produzidos no mundo em 2030, ao passo que o conteúdo de semicondutores embarcados crescerá dos US\$ 315 em 2012 para US\$ 385 em 2030 (PWC, 2015).

Em linhas gerais, a perda de competitividade do complexo eletrônico resulta de dois fatores conjugados: (i) atrofiamento da capacidade de engenharia e inovação local para o desenvolvimento dos bens eletrônicos; e (ii) crescimento da participação do valor e funcionalidades dos componentes estratégicos – *displays* e circuitos integrados (CI ou *chip*) – no bem final.

### *Projeto do produto eletrônico*

Por se concentrar nas etapas de montagem dos bens e equipamentos, o país tem retido uma porção cada vez menor do valor da cadeia produtiva. O caso iPad ilustra bem como se distribui o valor nos produtos eletrônicos: a Apple se apropria de cerca de 30% do valor do produto em lucros, ao passo que os fabricantes (montadoras) asiáticos ficam com apenas 7% (dos quais 2% são referentes à montagem final). Tal perda de valor da manufatura ocorre em detrimento daquelas empresas responsáveis pelo desenho do produto (projeto) e de seus componentes-chave, pela marca, pela integração com *software* embarcado e por prover os serviços e soluções ao usuário final. A empresa responsável pelo projeto do produto decide onde se localizará a manufatura, o que favorece o desenvolvimento de fornecedores locais, concentra os empregos de alta qualificação e controla a cadeia de distribuição até seus clientes finais.

Na transição tecnológica para o mundo digital, as empresas de iluminação do país, de forma geral, ainda não incorporaram o domínio tecnológico dos principais módulos eletrônicos – *driver* e telecomando – que compõem as luminárias. O corpo técnico dessas empresas é capaz de realizar o projeto dos conjuntos mecânico e óptico das peças, mas ainda carece do domínio sobre o conjunto eletrônico. Por conseguinte, hoje esses módulos são, em geral, importados.

### *Semicondutores*

Elo crítico, responsável por cerca de 20% do *deficit* do setor e 43% dos componentes importados em 2014, os semicondutores concentram cada vez mais as funcionalidades de bens e equipamentos eletrônicos na indústria e no consumo. A tendência para os próximos anos é de agravamento de *deficit* comercial, à medida que se proliferam os dispositivos eletrônicos em novos mercados, como o da Internet das Coisas (Internet of Things – IoT).

Tal diagnóstico foi vislumbrado há mais de uma década, quando em 2003 o BNDES contratou o estudo da consultoria AT Kearney<sup>33</sup> para mapear as alternativas para uma nova entrada do país no setor. Os resultados do estudo apontaram para a importância do ecossistema integral da microeletrônica, com vistas ao fortalecimento do complexo eletrônico local e/ou a redução do impacto na balança comercial. Desde então, três políticas industriais tornaram o setor um dos focos do país – a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, em 2003; a Política de Desenvolvimento Produtivo, em 2008; e o Plano Brasil Maior, em 2011 –, tendo como opção estratégica o desenvolvimento do ecossistema baseado em inovação a partir de tecnologias maduras de microeletrônica que não concorressem frontalmente com os grandes *players* e fossem sinérgicas com o tecido da indústria local. Como resultado, um arcabouço jurídico de incentivos fiscais e diferentes “embriões” desse ecossistema foram constituídos: duas fábricas de semicondutores, sete para encapsulamento de semicondutores e 22 empresas de projeto de *chips* (*design house*). Alguns desses empreendimentos contaram com o apoio do BNDES no valor total de US\$ 462 milhões.

A implantação de um ecossistema de semicondutores requer persistência e visão de longo prazo do país. Coreia, Japão e Taiwan são exemplos de nações que tiveram políticas que atravessaram décadas para se estabelecer no mercado internacional, para realizar o *catch up* tecnológico e desenvolver reputação e mercados. Nesses casos, o uso de extenso pacote de incentivos foi adotado, incluindo compras públicas e incentivos à exportação (RIVERA *et al.*, 2015). Depois de ter construído os embriões locais, restam muitos desafios para o amadurecimento desse ecossistema. Talvez o principal deles resida na necessidade de incentivar o desenvolvimento de mercados para os CI desenvolvidos e/ou produzidos localmente. Tal indução torna-se importante pelos seguintes motivos:

- Fornecedores e compradores de CI necessitam desenvolver uma relação de parceria e confiança, por se tratar de um componente crítico. Isso pode levar anos para estar pronto para uso nos equipamentos eletrônicos das empresas compradoras.

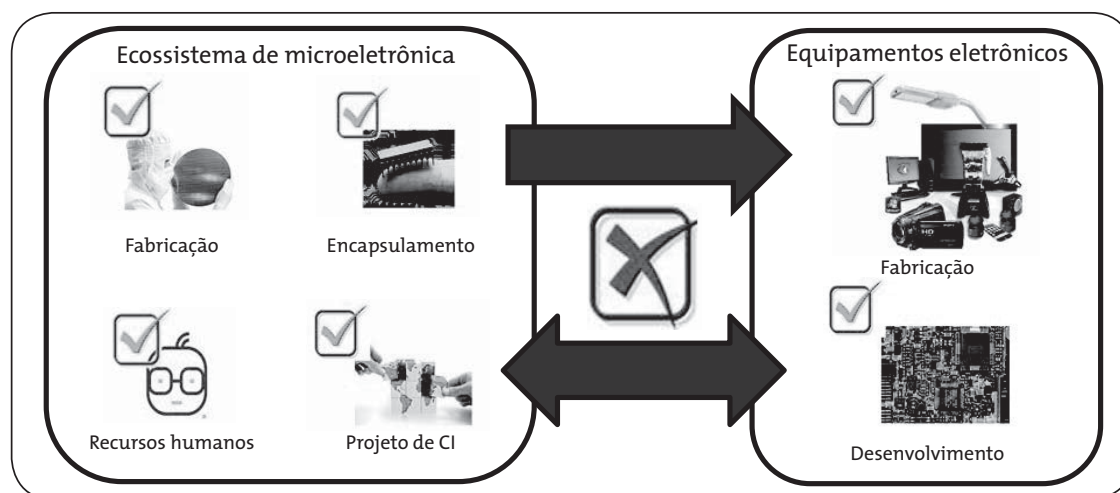
---

<sup>33</sup> Os resultados desse estudo foram sinteticamente apresentados pelo BNDES por Gutierrez e Mendes (2004).

- Quando a oportunidade de mercado para empresas de CI é muito grande, os grandes fornecedores globais já estão posicionados; quando muito pequena, o investimento para desenvolvimento e fabricação não se paga.
- A cadeia de fornecimento das empresas de eletrônica está baseada na compra de *kits* fechados no mercado internacional, nos quais os *chips* são componentes já montados no exterior. Essa forma de aquisição de partes e peças dificulta a inserção de *players* locais de semicondutores.

Em síntese, a Figura 11 apresenta o diagnóstico do ecossistema: os primeiros embriões já foram criados, restando o desafio imediato de conectá-los ao mercado.

**Figura 11** | Semicondutores: ecossistema incipiente e dificuldade de desenvolver mercados



Fonte: Elaboração própria.

## Oportunidade de adensamento

### *Oportunidade para projeto local de módulos eletrônicos*

Além de representar uma parcela significativa do valor da luminária, o negócio de módulo de *driver* é baseado em relação de confiança e flexibilidade entre fornecedor e fabricante de luminária. Seu *roadmap* tecnológico prevê uma integração contínua em número progressivamente menor de componentes e incorpora funções como o microcontrole e telecomando a



médio prazo. Tais características, somadas à consolidação dos fabricantes de luminárias LED, levaram a mais de setenta movimentos de integração e de aquisições no mercado, segundo McKinsey & Company (2012).<sup>34</sup> A introdução de um estímulo ao uso do *driver* projetado localmente poderá desenvolver/fortalecer/atrair empresas concentradas nesse componente, que poderão fornecer para mais de um fabricante de luminária e, possivelmente, exportar para mercados que possuem fábricas locais de luminárias, mas não desses módulos.

Atualmente, os fabricantes de módulos de telecomando são de diversos portes, pois as tecnologias utilizadas ainda não estão consolidadas no mercado, não havendo, portanto, uma claramente vencedora. Esse motivo torna oportuna uma ação de indução ao desenvolvimento local, permitindo que empresas locais se posicionem ainda em fase relativamente inicial de desenvolvimento da solução. Mais do que isso, é provável que os fabricantes de módulos de telecomando se posicionem em um elo muito especial no fornecimento de soluções para cidades inteligentes. Cada tecnologia desenvolvida entregará um conjunto de serviços possíveis, com maior ou menor benefício em cada aplicação específica.

### *Oportunidade para semicondutores*

Apesar de os semicondutores estarem presentes em todos os segmentos de mercado de iluminação LED, as luminárias para uso *outdoor* se apresentam como uma oportunidade especial, dado o peso relativo no valor final do bem e o estágio amadurecido da tecnologia. Somados, os CI utilizados nas luminárias públicas, por exemplo, representam entre 3% a 5% do valor final da luminária (ou de US\$ 15 a US\$ 25 para luminárias de US\$ 500).

Observando o ecossistema brasileiro de semicondutores, a Tabela 6 lista os principais CI de uma luminária *outdoor* e mostra as oportunidades de desenvolvimento de CI locais citando as empresas ou institutos de ciência e tecnologia (ICT) com iniciativas capazes de fornecer produtos para projetos das luminárias.

---

<sup>34</sup> Somente para dar alguns exemplos de fornecedores de luminárias e *drivers* integrados, citam-se iWatt (EUA) e Meanwell (Taiwan) e as aquisições de empresas fornecedoras de *drivers*, como a Lightech, adquirida pela GE (EUA) em 2011, e a eldoLED (Holanda), adquirida pela Acuity Brands (EUA), em 2013.

Tabela 6 | Principais CI nas luminárias LED

Principais CI	Funcionalidades	Oportunidades de inovação	Players locais potenciais
<b>Driver</b> (US\$ 0,5 a US\$ 2,5)	Controle da conversão de voltagem (PFC e PWM) + liga e desliga os LED	Talvez o maior elemento de inovação para atender aos requerimentos dos LED de modo a assegurar seu tempo de vida e luminância.	Projeto: Unitec/Chipus, NXP, Silicon Reef, LSITec/Excelchip, Eldorado
<b>Microcontrolador</b> (US\$ 1 a US\$ 2)	Gerencia funcionalidades da luminária (Firmware)	Dispositivo genérico (8 bits ou 16 bits), podendo ser incorporado no CI do <i>driver</i> no futuro.	Projeto: Chipus/SMDH (concluído), NXP, Silicon Reef, LSITec; Excelchip Fabricação: Unitec
<b>Comunicação</b> (US\$ 1 a US\$ 5)	Modulação dos sinais e transmissão dos dados (ex.: 3G/LTE, 6Low/Pan)	Não há padrão vencedor definido.	Projeto: CPqD (LTE concluído), NPX Unitec, Silicon Reef, Eldorado Fabricação: Unitec
<b>Sensores</b> (US\$ 0,3 a US\$ 2,5)	Medidor de energia consumida, condições do ambiente (ex.: fotodetetores)	Diversificar funcionalidades.	Projeto: Chipus, Unitec, Silicon Reef, Eldorado Fabricação: Unitec
<b>Outros CI</b> (US\$ 0,5 a US\$ 3)	Amplificadores de sinal, comparadores etc.	Mercado massificado, baixo valor do CI. Baixa oportunidade de inovação.	

Fonte: Elaboração própria.

Entre as empresas de *design* de CI, a NXP, filial de uma das dez maiores empresas do setor do mundo, destaca-se como exemplo da capacidade dos engenheiros brasileiros, ao ter projetado integralmente o microcontrolador presente nos módulos de controle de tração de carros que vão do brasileiro Fiat Uno à italiana Ferrari. A *start-up* Silicon Reef está lançando seu primeiro produto na Europa<sup>35</sup> e venceu o Desafio Brasil 2009, premiação da Intel Capital; a *design house* Chipus possui um microcontrolador de 16 bits que pode ser utilizado no controle de dimerização e acionamento remoto de luminárias. Além desses *players* locais, é razoável considerar a possibilidade de mais empresas multinacionais virem realizar o desenvolvimento

<sup>35</sup> Chip EH01 é uma solução de gerenciamento de energia para diversas aplicações de captura de energia (*energy harvesting*), como carregador solar de bateria, dispositivos móveis que usam energia solar etc.

no país, caso iniciativas similares de exigência de projeto local de CI sejam incentivadas em outros produtos.

As etapas de fabricação e de encapsulamento dos CI ou ainda não têm foco no segmento de LED, ou estão em construção. Todavia, com o desenvolver de seus projetos, oportunamente podem atender a algumas das necessidades do mercado de iluminação LED:

- na fabricação: Unitec e Ceitec; e
- no encapsulamento: Smart, HT Micron e Multilaser – fábricas de encapsulamento de memórias –, além de empresas que possuem processo *chip on board* (COB) de encapsulamento.

### Estímulos à produção local

Além do apoio do BNDES que será apresentado no item a seguir, entre as principais políticas e ações que podem auxiliar o aproveitamento da oportunidade de fabricação local em síntese, estão:

- Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays (Padis), Lei 11.484/07: desonera significativamente impostos federais para fabricação e encapsulamento de *chips* LED.
- Lei de Informática (Lei 8.248/91): lâmpadas LED, ao serem controladas eletronicamente, passam a ser elegíveis aos incentivos fiscais da Lei de Informática, com desoneração relevante na venda (Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI).
- Certificação Inmetro: para melhoria da qualidade do produto comercializado, bem como proteção para itens do mercado cinza (contrabando).

### Apoio do BNDES

#### *Credenciamento de luminárias LED para uso outdoor e industrial*

Postos o desafio para a indústria eletrônica e a oportunidade de financiar a implantação de um projeto de grande porte como a PPP de iluminação pública da cidade de São Paulo, os benefícios e a perspectiva de aceleração da introdução da iluminação LED no país, o BNDES entendeu como oportuno

desenhar uma política de financiamento para a aquisição de luminárias, com foco nos seguintes objetivos:

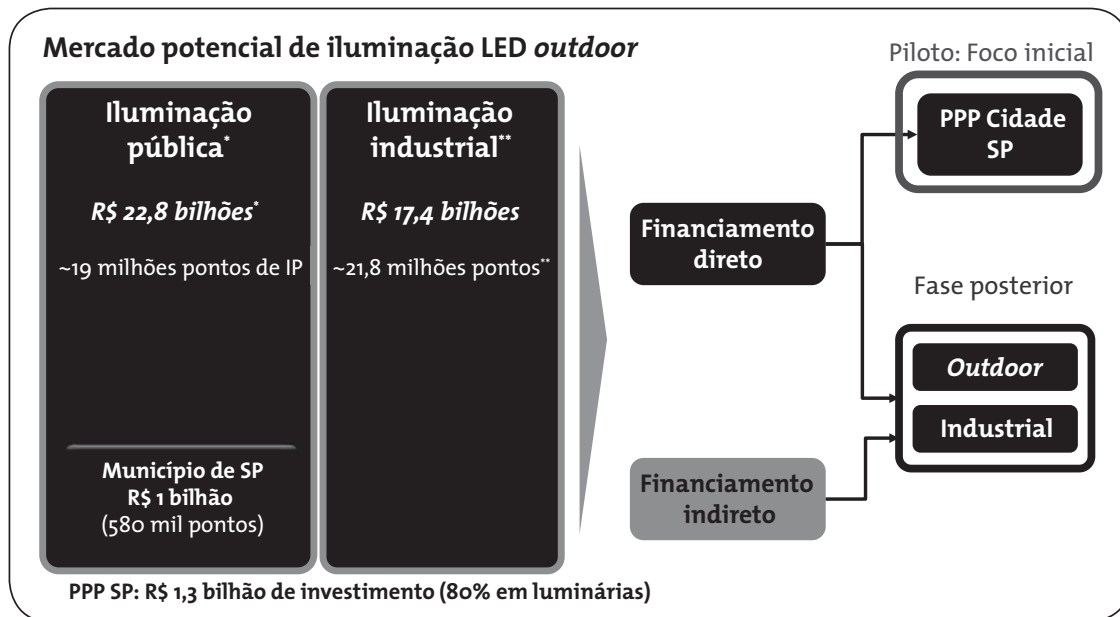
- i. Induzir a inovação nos fabricantes de luminárias, dominando a etapa de desenvolvimento de produto, que deixa de ser analógico (tecnologias incumbentes) e passa a ser eletrônico (LED). Essa é uma condição básica para que essas empresas tenham condições de encomendar o projeto de circuito integrado que melhor se enquadra em seus novos produtos. Os subsistemas eletrônicos *driver* e módulo de telecomando são os focos nesse caso.
- ii. Estimular a encomenda de CI desenvolvidos localmente.
- iii. Incentivar a produção e encapsulamento local de CI (projetados ou não projetados localmente).

Cumpramos ressaltar que, antes dessa iniciativa, luminárias não eram consideradas máquinas ou equipamentos. Não eram, portanto, passíveis de credenciamento e financiamento pelo BNDES. O potencial impacto em termos de eficiência energética, adensamento tecnológico e melhoria das cidades foi decisivo para o Banco revisar esse posicionamento.

Para mitigar os riscos de uma ação inovadora como essa – é a primeira vez que o BNDES passaria a considerar critérios intangíveis, como o projeto de produtos e componentes como critério de credenciamento –, o Banco optou por realizar um credenciamento específico para a PPP de iluminação pública de São Paulo. Outrossim, foi sinalizado aos envolvidos na disputa do referido certame que o objetivo seria estender a política para outros instrumentos de fomento, como financiamento direto ou via agente financeiros (indireto) para outras prefeituras e indústrias diversas (Figura 12).

Até o momento da elaboração deste artigo, as condições de financiamento a esse piloto foram tornadas públicas, mas ainda não havia sido realizado o certame da cidade de São Paulo. A metodologia implantada para São Paulo previa uma condição de financiamento em custo financeiro básico em Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) corrigida pelo “Fator N” (“Fator de Nacionalização”). Quanto maior a nacionalização de tecnologias e processos, maior o “Fator N” e maior seria a participação em TJLP. O “Fator N” poderia chegar a 100%, tornando o financiamento à comercialização de luminárias um dos mais atrativos entre todas as linhas e produtos do BNDES.

**Figura 12** | Foco da política de adensamento tecnológico e produtivo com a iluminação LED *outdoor* e industrial



Fonte: Elaboração própria, com base em McKinsey (2012) e em documento da Abilux enviado aos autores.

\* Estimativas Abilux: R\$ 1.200/luminária.

\*\* Estimativa Abilux: 312 mil indústrias (IBGE) com setenta luminárias em média.

A metodologia previa ainda a existência de itens básicos – requisitos mínimos para credenciamento da luminária – e eletivos – que incrementariam o “Fator N” sem, todavia, serem mandatórios. Como requisitos básicos, foram previstos, além do critério tradicional de credenciamento de apuração de 60% do valor e peso, a montagem local de módulos eletrônicos, a utilização de módulo eletrônico – *driver* ou telecomando – projetado no país, além de dois CI desenhados localmente.<sup>36</sup>

### Cartão BNDES

O Cartão BNDES é um produto cujo foco maior é o apoio ao médio, pequeno e microempreendedor. Nesse sentido, são credenciados como itens financiáveis não somente máquinas e equipamentos, mas também materiais e insumos. Nesse contexto, entre 2007 e 2015, o Banco financiou cerca de R\$ 1 bilhão em aquisição de lâmpadas e luminárias, itens tradicionalmente

<sup>36</sup> Para reconhecimento do projeto realizado localmente, poderão ser utilizados instrumentos como a Portaria MCTI 950/06, que atesta que um bem eletrônico foi projetado no país, e Portaria MCTI 1.309/14, que tem papel equivalente para circuitos integrados.

considerados materiais – quase a totalidade em tecnologias tradicionais (não LED).

Há lâmpadas e luminárias LED credenciadas no Cartão BNDES, que deverá se consolidar como importante instrumento para a difusão da tecnologia no país.

#### *Apoio à indústria: inovação e produção*

O BNDES apoia projetos fabris e planos de inovação de empresas com diversos instrumentos já existentes. Para as empresas do setor de iluminação LED, poderiam ser utilizados, entre outros, os seguintes instrumentos:

- BNDES Inovação: para financiamento do plano de inovação de fabricantes de luminárias e módulos eletrônicos;
- BNDES PSI Projetos Transformadores: para financiamento à fabricação de semicondutores (*chips* de LED e CI); e
- BNDES Funtec: para desenvolvimento de CI.

#### *Apoio a projetos de eficiência energética*

Além do credenciamento e financiamento à comercialização de luminárias *outdoor* e industrial, o Banco estuda alternativas para apoio a melhora da eficiência de outros segmentos de uso *indoor*, como prédios comerciais. Os critérios de adensamento tecnológico a serem perseguidos estavam em estudo no momento de elaboração do presente artigo.

## **Conclusão**

A substituição das luminárias dotadas de tecnologias incumbentes pelas que incorporam a tecnologia LED impactará significativamente na redução do consumo de energia elétrica do país, em todos os segmentos da iluminação. De fato, os avanços na tecnologia LED e da microeletrônica de Gordon Moore nos últimos anos devem finalmente “aposentar” em médio prazo a centenária invenção de Thomas Edison.

Apesar de o preço do LED ainda se configurar como barreira à adoção da tecnologia em larga escala, ele vem decrescendo rapidamente e ganhando em desempenho. Além da redução do consumo de energia, a troca de luminárias e lâmpadas por LED gera, entre outros benefícios, maior durabilidade,



menores custos de manutenção, a possibilidade de controle digital remoto e a versatilidade do uso de diferentes cores. Essas vantagens são oriundas dos *chips* LED, bem como o avanço e uso da eletrônica. E é justamente nesse domínio tecnológico que reside uma oportunidade de adensamento tecnológico local relevante: o desenvolvimento de módulos eletrônicos e semicondutores.

A PPP para iluminação pública promovida pela prefeitura de São Paulo é uma das maiores experiências em LED em áreas públicas no mundo até a presente data<sup>37</sup> prevendo investimentos superiores a R\$ 1 bilhão para a substituição de 620 mil luminárias. Cabe notar que iluminação pública corresponde a cerca de 4% de todo o consumo energético nacional. O Plano Nacional de Eficiência Energética inclui o BNDES no rol das principais fontes de financiamento dos projetos dessa natureza.

Tal projeto proporciona a envergadura necessária para criação de uma política de conteúdo tecnológico local, servindo como piloto para a iniciativa de credenciamento inovadora em implantação no BNDES. Trata-se da primeira vez que um equipamento credenciado no Banco necessita ter seu projeto de desenvolvimento eletrônico feito no país. Com essa política, o BNDES reforça ao mercado a importância da engenharia e tecnologia local, exigindo que módulos – *driver* ou telecomando – sejam projetados no país. Sem engenheiros trabalhando em projeto de produtos eletrônicos, dificilmente vai haver uma indústria de microeletrônica local.

Depois de mais de uma década de priorização da microeletrônica em políticas industriais, o país obteve êxito em formar projetistas, incentivar a atração e o nascimento de empresas que projetam, encapsulam e/ou fabricam *chips*. O atual estágio de desenvolvimento do ecossistema brasileiro aponta para a necessidade de incentivar os mercados locais à exportação desses bens, quebrando uma barreira de entrada provocada pela falta de um *track record* de *chips* entregues e clientes atendidos – muito comum em uma indústria fortemente baseada na confiança e relacionamento, como é a de semicondutores.

A indução do Banco à formação de parcerias entre fornecedores de *chips* e de fabricantes de luminárias públicas é estratégica nesse momento em que

<sup>37</sup> Na China, em 2009, foram instaladas 222 mil luminárias de iluminação pública LED e, em 2011, 1.120 mil dessas luminárias (ZISSIS; BERTOLDI, 2014).



conceitos de cidades inteligentes são testados no mundo inteiro. O poste será um dos elementos básicos da rede de coleta de informações e prestação de serviços que farão parte do nosso dia a dia em futuro breve. Com as parcerias formadas, aumentam consideravelmente as chances de a inclusão de novas tecnologias e serviços (como segurança, controle de veículos etc.) se dar com tecnologia e produção locais.

Por fim, é importante ressaltar a necessidade de manutenção e aprofundamento da ação conjunta entre BNDES e demais órgãos do governo para potencializar o impacto na indústria local. A existência de instrumentos que reconhecem a origem do desenvolvimento de bens eletrônicos e circuitos integrados – respectivamente, as Portarias MCTI 950/06 e 1.309/14 – é basilar para uma política de conteúdo tecnológico local. A definição de padrões mínimos de qualidade pelo Inmetro é importante para evitar a desestruturação do mercado, bem como as medidas de incentivo à eficiência energética promovidas pelo Ministério de Minas e Energia e pela Agência Nacional de Energia Elétrica, por exemplo.

## Referências

ALMEIDA, A. *et al.* Accelerating the deployment of solid state lighting (SSL) in Europe. *JRC Scientific and Policy Reports*, 2012. Disponível em: <<http://goo.gl/c87pVg>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

AT KEARNEY. Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency, LightingEurope & ZVEI. *Market Study*, jun. 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/Wv14VW>>. Acesso em: 7 jul. 2015.

BERGSTRÖM, L. *et al.* Blue LEDs – Filling the world with new light. *The nobel prize in physics 2014*. Disponível em: <<http://www.kva.se>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2030/Ministério de Minas e Energia*. (Colaboração Empresa de Pesquisa Energética). Brasília: MME/EPE, 2007.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Portaria Interministerial 1.007, de 31 de dezembro de 2010. Regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de lâmpadas incandescentes. *Diário Oficial da União*, n. 4, 6 jan. 2011.

GEREFFI, G. *et al.* *Carbon-reducing technologies and U.S. Jobs*. Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University. 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/2eZj3T>>. Acesso em: 6 ago. 2015.

GUTIERREZ, R. M. V.; MENDES, L. R. Complexo eletrônico: o projeto em microeletrônica no Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, 2004, n. 30, p. 157-209.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Ligh'ts labour's lost*. Policies for energy-efficient lighting, 2006, p. 31. Disponível em: <<https://goo.gl/2fxW0a>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

LED ADVANCE. *LED operating life: durable light quality*, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/hdWW8s>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

LED INSIDE. *Asian manufacturers spur low priced lighting era*, 2015a. Disponível em: <<http://goo.gl/VTgF1n>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. *Major LED Package Trends in 2015*, 2015b. Disponível em: <<http://goo.gl/d9QPdO>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

MCKINSEY & COMPANY. *Lighting the way: Perspectives on the global lighting market*, 2. ed. 2012. Disponível em: <[https://www.mckinsey.de/files/Lighting\\_the\\_way\\_Perspectives\\_on\\_global\\_lighting\\_market\\_2012.pdf](https://www.mckinsey.de/files/Lighting_the_way_Perspectives_on_global_lighting_market_2012.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2015.

MORROW, T. HB-LEDs and Solid State Lighting: Challenge and Opportunities. In: SOLID-STATE LIGHTING MANUFACTURING R&D WORKSHOP, San Jose, jun. 2012. Disponível em: <<http://88.198.249.35/get/ff9fon8UdvQWRoOjZr1W6YO8cR0E3Rfo6086y1wL5wg,/HB-LEDs-and-Solid-State-Lighting-Challenges-and.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2015.

OSRAM. *Life cycle assessment of illuminants: a comparison of light bulbs, compact fluorescent lamps and LED lamps*. 2009. Disponível em: <<http://goo.gl/QoYq1t>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

PWC – PRICEWATERHOUSECOOPERS. Spotlight on automotive. *PwC Semiconductor Report*, 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/5OZDDq>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

RIVERA, R. *et al.* Política de inovação no complexo eletrônico: o papel da Portaria 950/06 MCT. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 39, p. 55-95, mar. 2014.

RIVERA, R. *et al.* Microeletrônica: qual é a ambição do Brasil?. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 41, p. [345]-396, mar. 2015.

ROHM. *LED Fundamentals*, 2016. Disponível em: <<http://www.rohm.com/web/global/led-lighting/lecture/led>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

SBF – SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. *Por que Prêmio Nobel para o LED azul*, 2014. Disponível em: <<http://goo.gl/6Xlm4T>>. Acesso em: 17 jun. 2015.

TSENG, C. Global and China LED Fab Investment. In: LED CHINA CONFERENCE 2015. SEMI. Disponível em: <<http://goo.gl/wxQJZP>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

U.S. DOE – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Critical materials strategy*, 2011. Disponível em: <[http://energy.gov/sites/prod/files/DOE\\_CMS2011\\_FINAL\\_Full.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. *Using LEDs to their Best Advantage*, 2012a. Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led\\_advantage.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_advantage.pdf)>. Acesso em: 2 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. *Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products*, 2012b. Disponível em: <<http://goo.gl/QwRAJT>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. *Adoption of light-emitting diodes in common lighting applications*. 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/ECSHQY>>. Acesso em: 7 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. *Solid-state lighting research and development: manufacturing roadmap*, 2014a. Disponível em: <<http://goo.gl/cd5UnO>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. *Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications*, 2014b. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/energysavingsforecast14.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. *LED Basics*, 2015a. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/ssl/led-basics>>. Acesso em: 30 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. *Solid-State Lighting R&D Plan*, 2015b. Disponível em: <[http://energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f22/ssl\\_rd-plan\\_may2015\\_0.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f22/ssl_rd-plan_may2015_0.pdf)>. Acesso em: 9 ago. 2016.

ZHANG, K.; VAN ZEIJL, H. W. *The global landscape of SSL*. China SSL status International SSL Alliance Sino-NL cooperation, 2012.

ZISSIS, G.; BERTOLDI, P. Update on the Status of LED market. *European Commission JRC Science and Policy Reports*. 2014. Disponível em: <[http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/reqno\\_jrc92971\\_jrc92971\\_online.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/reqno_jrc92971_jrc92971_online.pdf)>. Acesso em: 7 jul. 2015.