



IV Congresso Brasileiro de
**Eficiência
Energética**



Caso UFJF / PROCEL RELUZ (Convênio ECV 312 /2009)

Professor Henrique A. C. Braga, Dr.Eng

Núcleo de Iluminação Moderna (NIMO)
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

Agenda

1. Introdução
2. Características da via sob estudo
3. Situação atual
4. Equipamentos analisados
5. Especificação
6. Considerações sobre a resposta dinâmica do olho humano
7. Conclusões

Introdução

- 💡 O Núcleo de iluminação Moderna da UFJF (NIMO), tem respondido pelas ações de pesquisa e consultoria em Iluminação e sustentado atividades dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Elétrica, Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Física e Arquitetura e Urbanismo;
- 💡 A equipe é constituída por um grupo multidisciplinar e tem procurado se consolidar através da pesquisas e desenvolvimento no campo de interseção destas áreas desde o ano 2000.

Introdução

- 💡 Em um parceria com o PROCEL/Eletrobras, foi firmado o convênio de cooperação financeira através do Fundo de Desenvolvimento Tecnológico intitulado **“Novas Tecnologias em Iluminação Pública – Desenvolvimento de Ações Priorizando a Eficiência Energética”**.
- 💡 O objetivo principal deste convênio é a implantação de um sistema piloto de iluminação externa empregando tecnologia de estado sólido a ser realizada na quarta plataforma do campus universitário da UFJF.

Introdução

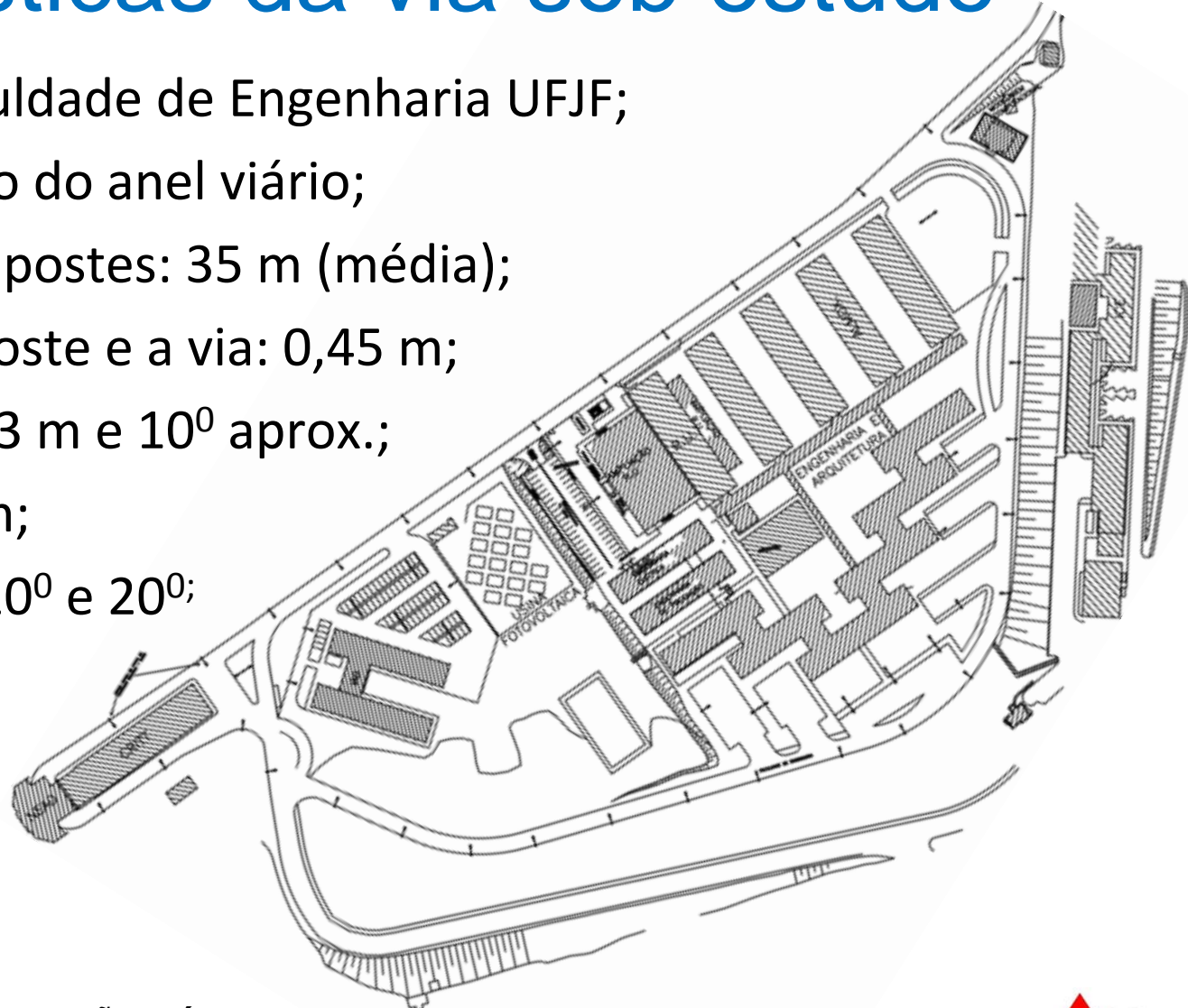
- 💡 O convênio de cooperação contempla:
 - 1) Análise de componentes;
 - 2) Implantação do sistema piloto;
 - 3) Reprodução em laboratório de determinados itens do sistema (drivers de luminárias);
 - 4) Análise de desempenho elétrico e luminotécnico da instalação ao longo de um período de avaliação.

Introdução

- 💡 Atualmente:
 - 💡 A etapa de análise dos componentes já foi realizada;
 - 💡 Já foi realizada a licitação para que a etapa de implantação do projeto piloto possa ser realizada (aguardando dados dos ensaios laboratoriais do equipamento vencedor);
 - 💡 A etapa de reprodução de determinados itens do sistema está em adamento (alguns drivers já estão operando – características desejáveis);

Características da via sob estudo

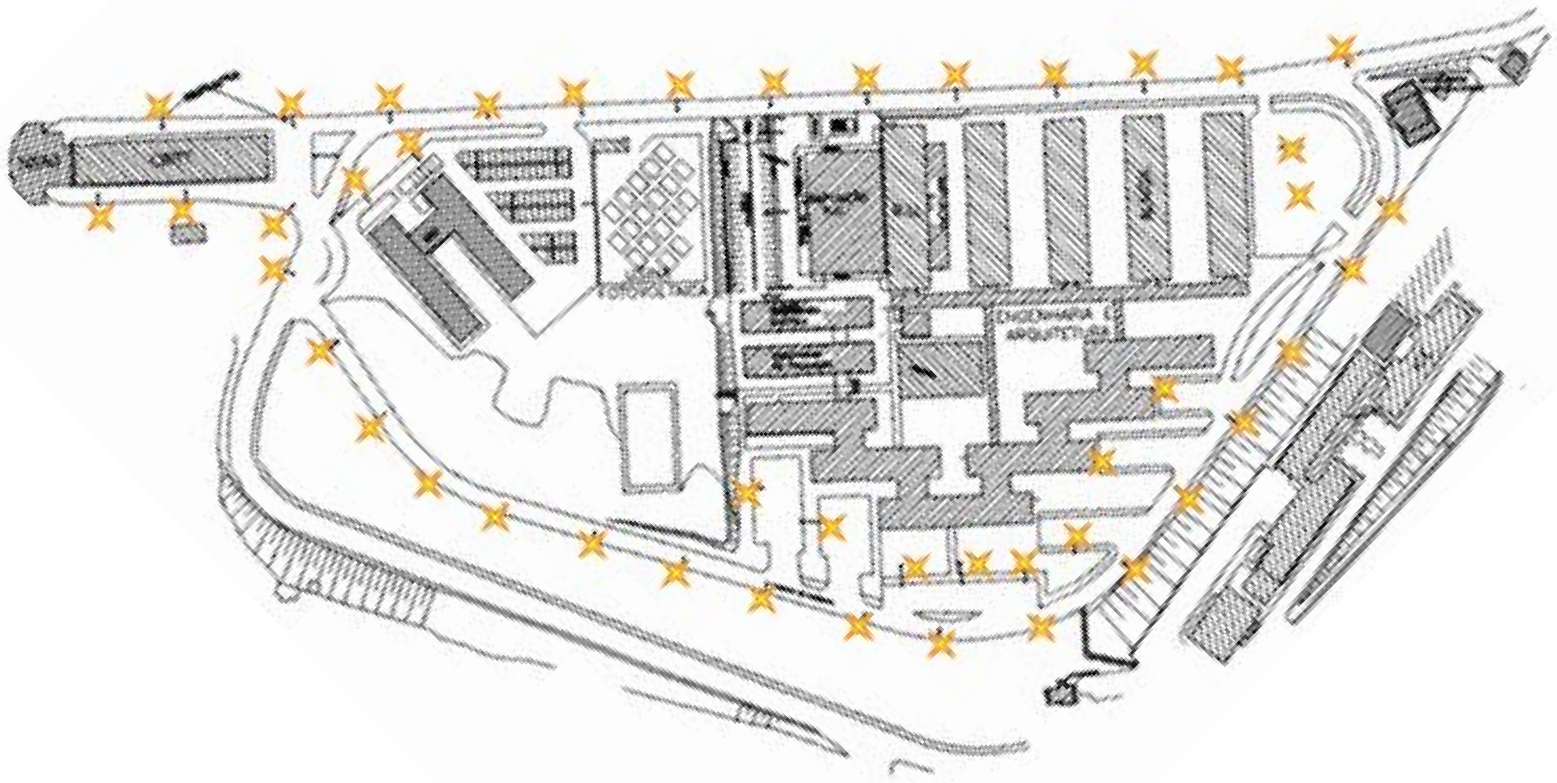
- 💡 Anel viário da Faculdade de Engenharia UFJF;
- 💡 56 pontos ao longo do anel viário;
- 💡 Distância entre os postes: 35 m (média);
- 💡 Distância ente o poste e a via: 0,45 m;
- 💡 Braço do poste: 2,3 m e 10^0 aprox.;
- 💡 Largura da via: 8 m;
- 💡 Inclinação: entre 10^0 e 20^0 ;
- 💡 Altura: 10 m.



ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Características da via sob estudo

💡 Na figura abaixo são apontados os pontos sugeridos para implantação das luminárias LED (45 unidades).



Características da via sob estudo

- 💡 Classificação: Grupo C1 (vias principais) – NBR 5101/92;
- 💡 Níveis mínimos exigidos pela norma:
 - 💡 Iluminância média mínima (E_{med}): 5 lux;
 - 💡 Uniformidade ($U0 = E_{min}/E_{med}$): 0,2.

Situação atual

💡 Atualmente são empregadas lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão de 250 W em luminárias fechadas com compartimento para os reatores eletromagnéticos convencionais (apesar da indicação de 400 W);



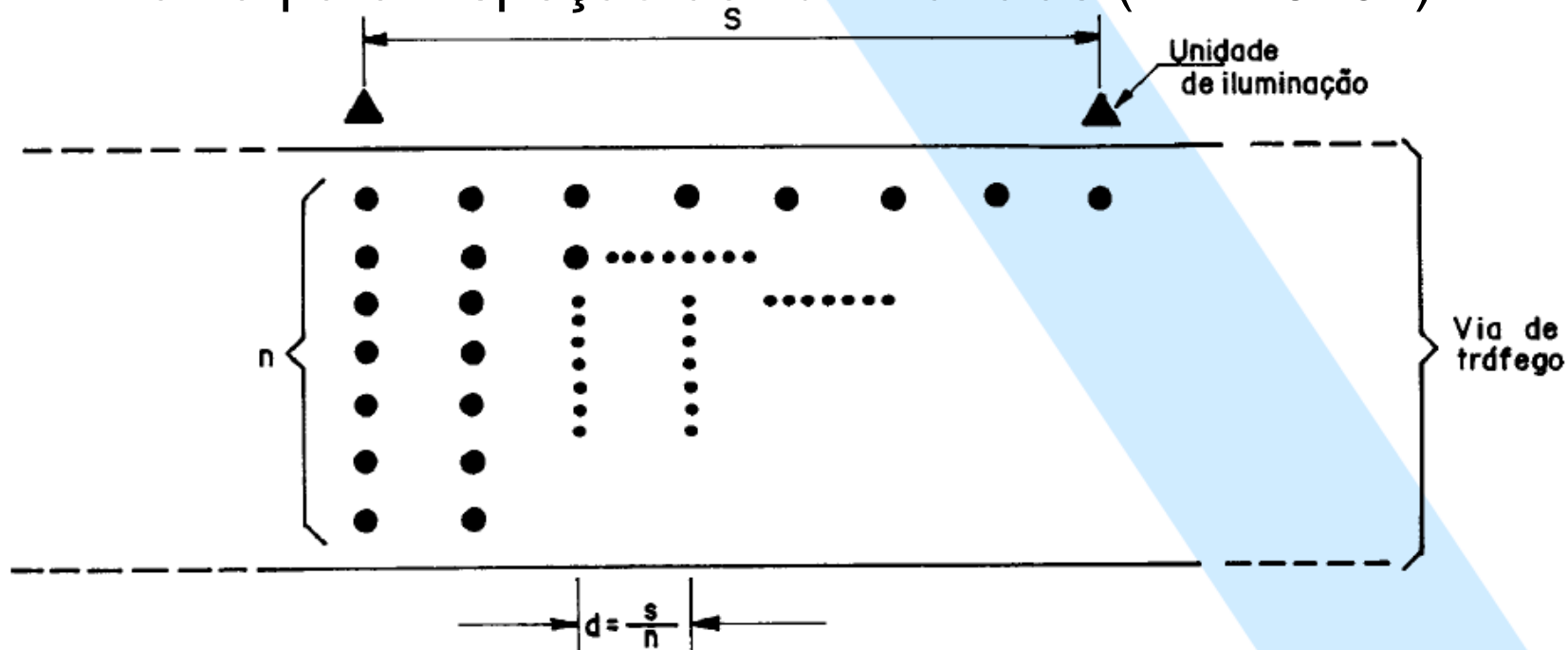
ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Situação atual (análise de campo)

- 💡 Foram realizadas medições em um trecho representativo do anel viário, onde a influência da iluminação proveniente de postes não adjacentes e da arborização podem ser considerados desprezíveis;
- 💡 Medição das iluminâncias de acordo com a malha de inspeção da NBR 5101 (11 linhas transversais à via, igualmente espaçadas, cada uma com 10 pontos equidistantes);

Situação atual (análise de campo)

Malha para inspeção de iluminâncias (NBR 5101)



Onde:

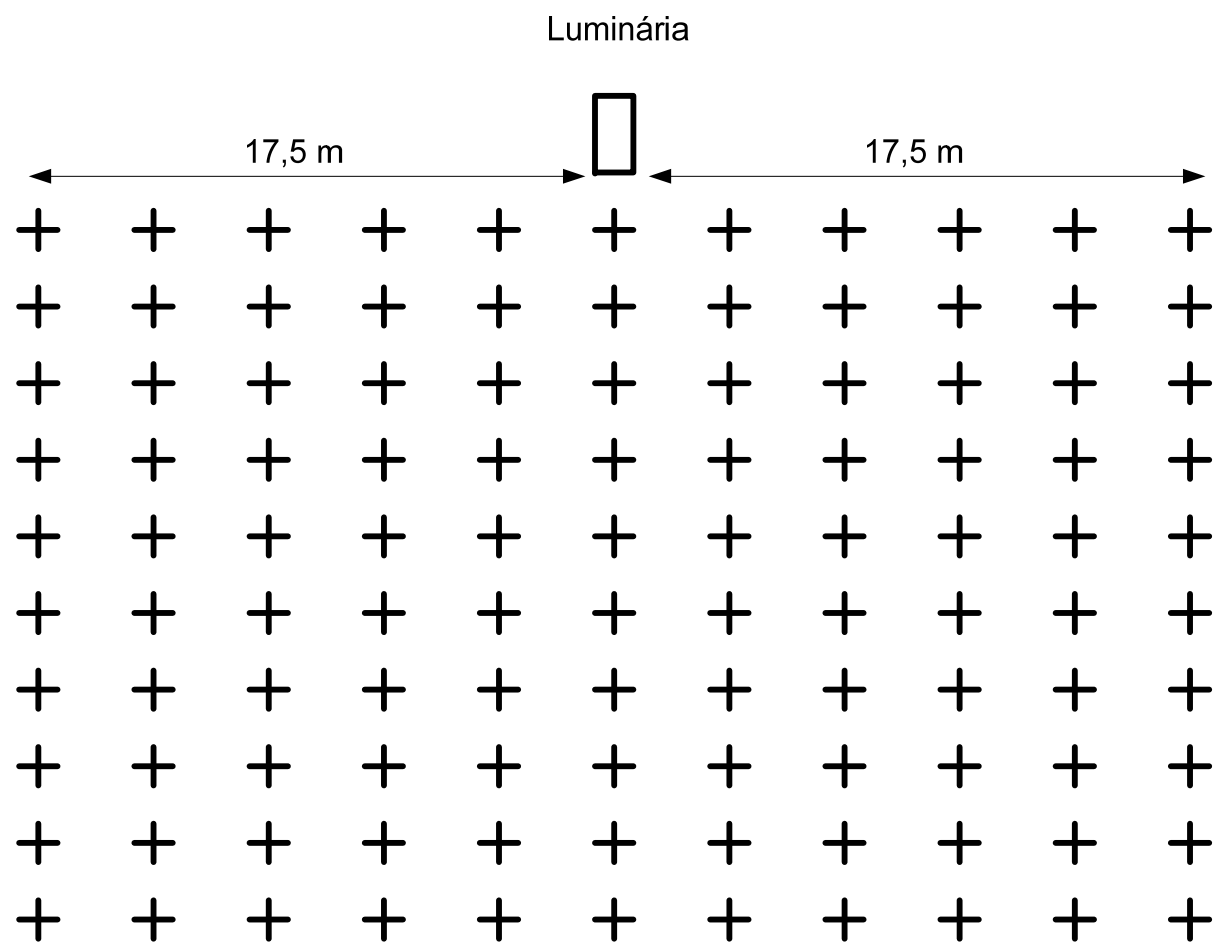
S = espaçamento entre luminárias

d = espaçamento longitudinal entre pontos de medição (ou cálculo)

n = número de pontos transversais

Situação atual (análise de campo)

💡 Posicionamento da malha de inspeção.

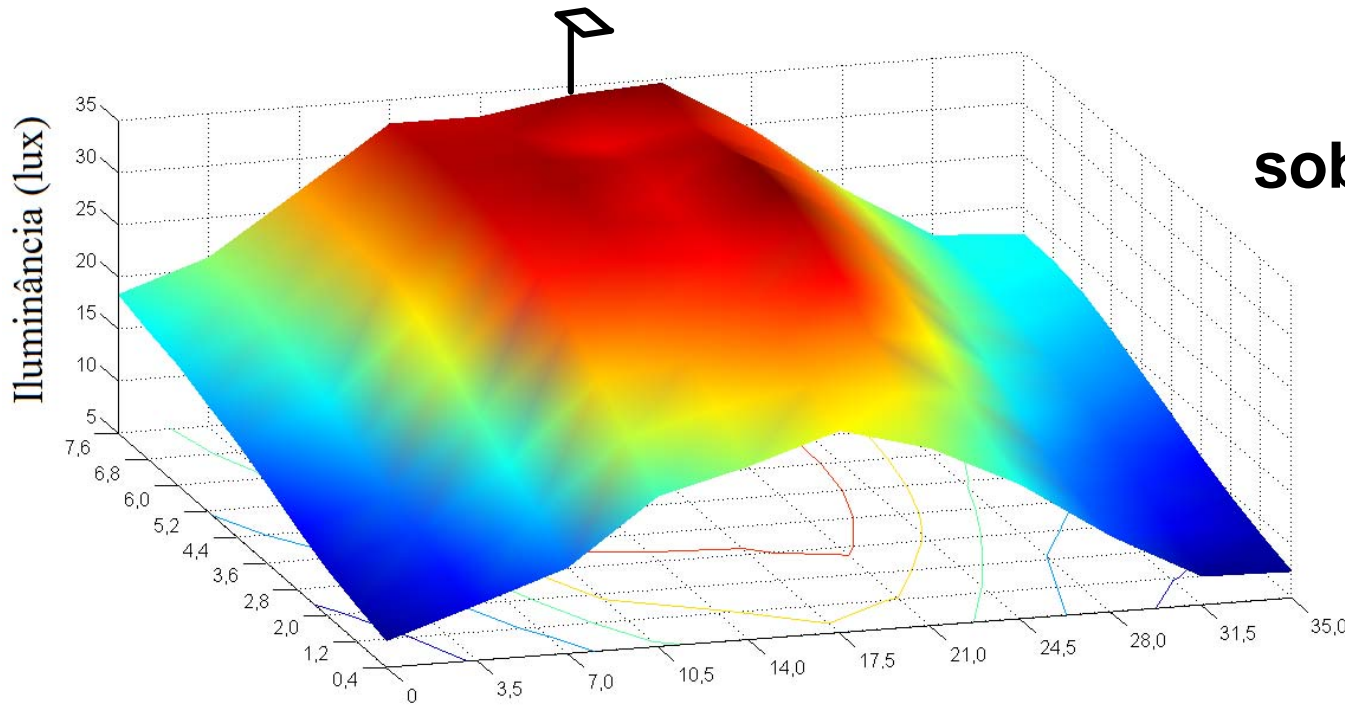


ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Situação atual

💡 Situação atual (VSAP 250 W)

E_{\min}	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
5,0 lux	0,20



**Sistema atual
sobredimensionado**

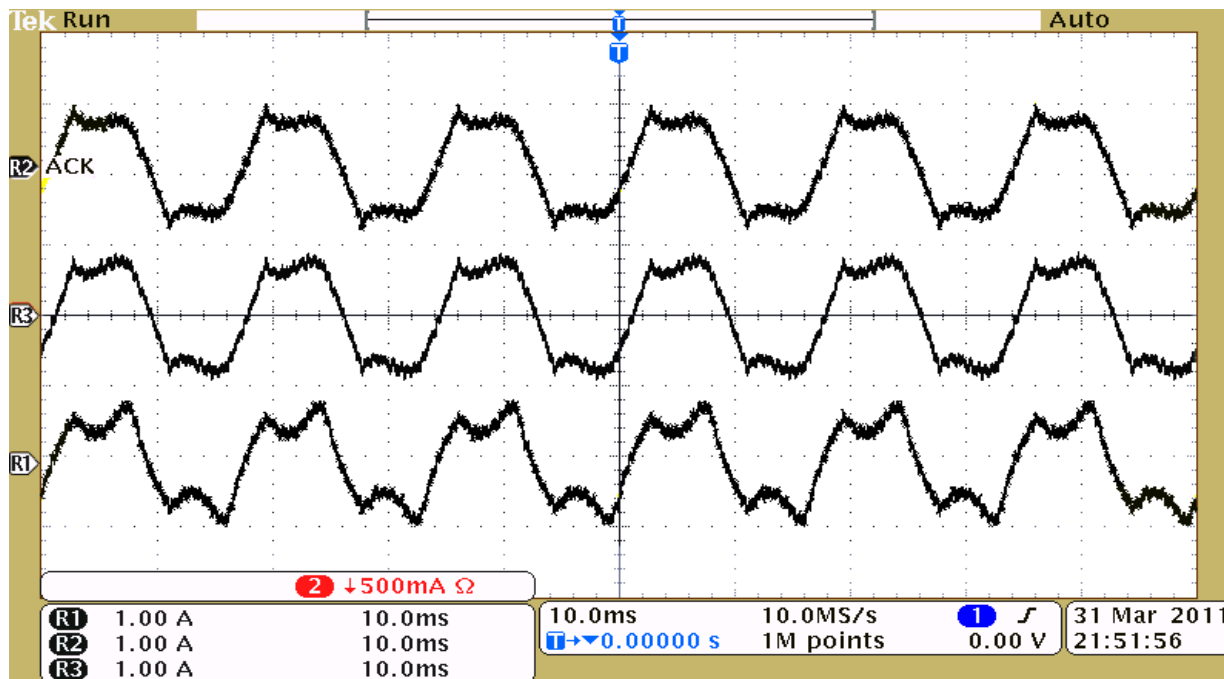
E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
7,5 lux	22,0 lux	34,6 lux	0,34

Situação atual (análise laboratorial)

- 💡 Luminárias alimentadas em 220 Vrms (fonte senoidal de alta precisão – medições em 3 reatores utilizados em campo);
- 💡 Grandezas elétricas adquiridas e processadas por osciloscópio digital;
- 💡 Medições realizadas:
 - 💡 Corrente de entrada
 - 💡 Potência de entrada;
 - 💡 Fator de potência;
 - 💡 THD da corrente de entrada (confronto com a IEC- 61000-3-2 classe C);

Situação atual (análise laboratorial)

- 💡 Corrente de entrada dos três reatores eletromagnéticos analisados



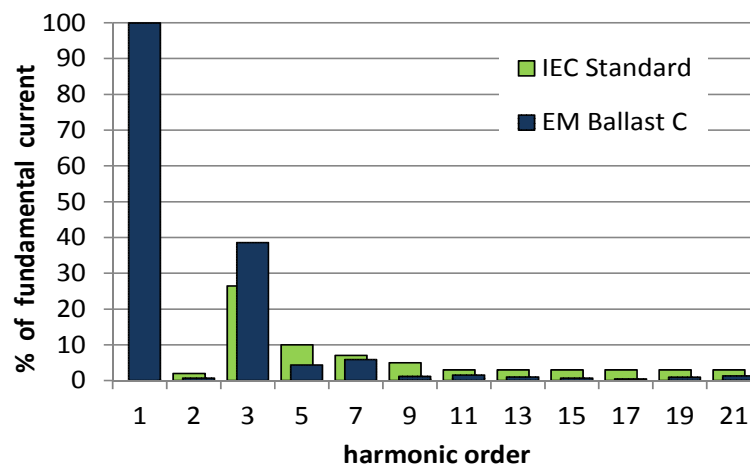
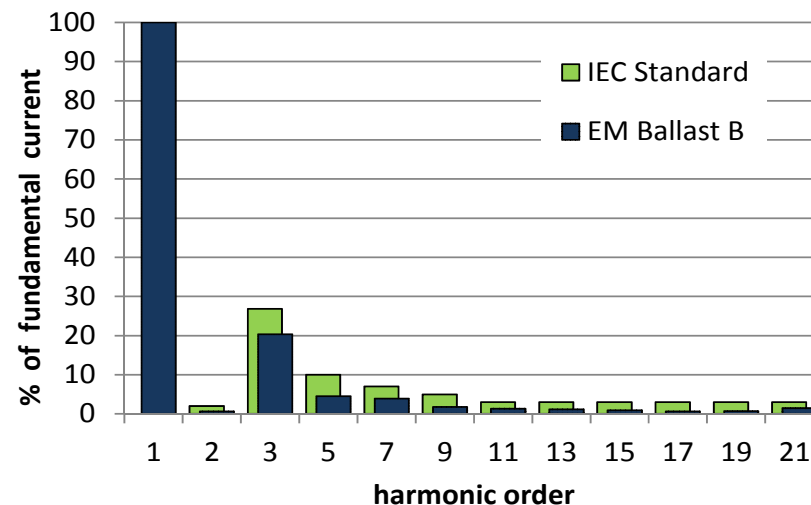
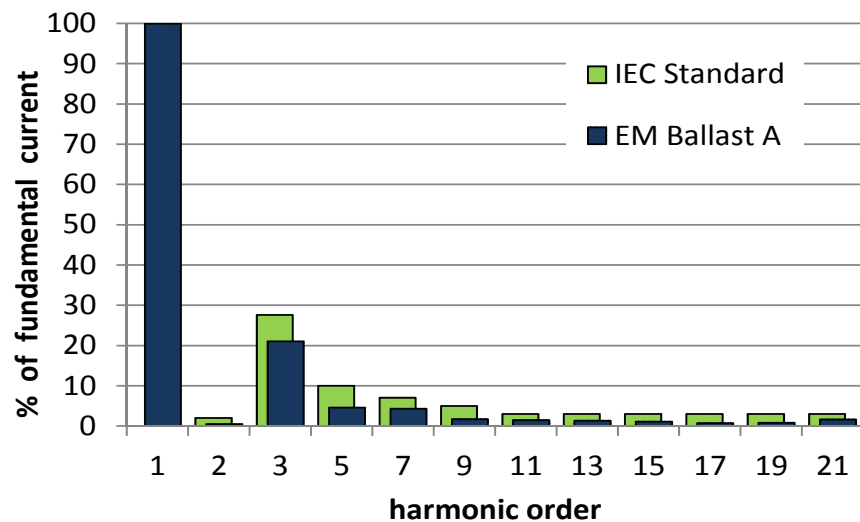
Situação atual (análise laboratorial)

💡 Dados coletados nos reatores

Reator	Potência de entrada	Fator de potência	Corente de entrada	THD	Angulo em relação à fundamental
A	121 W	0.955	0.561 A	22.67 %	19.7°
B	123 W	0.893	0.598 A	21.88 %	27°
C	101 W	0.881	0.521 A	39.65 %	32.2°

Situação atual (análise laboratorial)

💡 Confronto com a IEC



ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Equipamentos analisados

- 💡 Através de contatos com diversos fornecedores de luminárias LED voltadas para iluminação pública, conseguiu-se amostras de seis fabricantes diferentes (Simon/Tecnowatt, Arpelux, Hexa, GE, Revolight e Fiti).
- 💡 Todas as amostras recebidas foram avaliadas pelo NIMO/UFJF através de ensaios em laboratório e de campo, visando a maturação do processo de especificação de equipamentos à base de LEDs destinados à iluminação pública.

Equipamentos analisados

- 💡 BWLR-CH200A03S do fabricante Arpelux (200 W);
- 💡 160 LEDs brancos HP arranjados em dois módulos com 80 unidades cada um;
- 💡 Cada um dos módulos é comandado por um driver dedicado (integrado e pode ter a potência ajustada);
- 💡 Tampa frontal facilita manutenção (mesmo em campo);
- 💡 Arquivo .ies disponibilizado.



ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Equipamentos analisados

- 💡 Modelo G2 do fabricante Fiti (140 W);
- 💡 128 LEDs brancos HP rodeados por uma estrutura reflexiva;
- 💡 Os LEDs são dispostos em quatro fileiras com 32 unidades em série cada uma;
- 💡 Driver integrado;
- 💡 Acesso ao interior fácil (mas não em campo).
- 💡 Arquivo .ies disponibilizado.



Equipamentos analisados

- 💡 Layna Assimétrica ASSIM 48 da Simón/Tecnowatt (120 W);
- 💡 48 LEDs brancos HP arranjados em duas fileiras longitudinais de 24 unidades cada uma;
- 💡 Em cada uma das fileiras, metade dos LEDs é equipada com colimadores (melhor espalhamento do fluxo luminoso);
- 💡 Acesso ao interior difícil;
- 💡 Driver externo (350 mA ou 700 mA);
- 💡 Fluxo luminoso de saída 6.240 lm.
- 💡 Arquivo .ies disponibilizado.



Equipamentos analisados

- 💡 Modelos HEXA LUM BL4 do fabricante Hexa (140 W);
- 💡 Quatro módulos de 28 LED brancos HP (total 112 LEDs) ;
- 💡 Driver integrado;
- 💡 Acesso ao interior razoavelmente simples (mas não em campo);
- 💡 Fluxo luminoso de saída 9.500 lm;
- 💡 TCC 6.600 K;
- 💡 Arquivo .ies disponibilizado.



Equipamentos analisados

- 💡 Evolve (R150) Cobrahead do fabricante GE (127 W);
- 💡 A luminária utiliza LEDs brancos HP e um sistema de refletores em alumínio.
- 💡 Fluxo luminoso de saída 8.300 lm.
- 💡 TCC 6.000 K;
- 💡 Acesso ao driver simples (mesmo em campo);
- 💡 Driver integrado;
- 💡 Arquivo .ies disponibilizado.

**Vencedora do pregão
(157 W)**



Equipamentos analisados

- 💡 LM 120 do fabricante Revolight (92 W);
- 💡 1728 LEDs brancos HB, dispostos em 8 módulos com 216 LEDs cada um.
- 💡 Driver integrado;
- 💡 Fluxo luminoso de saída 6.000 lm.
- 💡 Acesso ao interior difícil;
- 💡 Arquivo .ies disponibilizado.



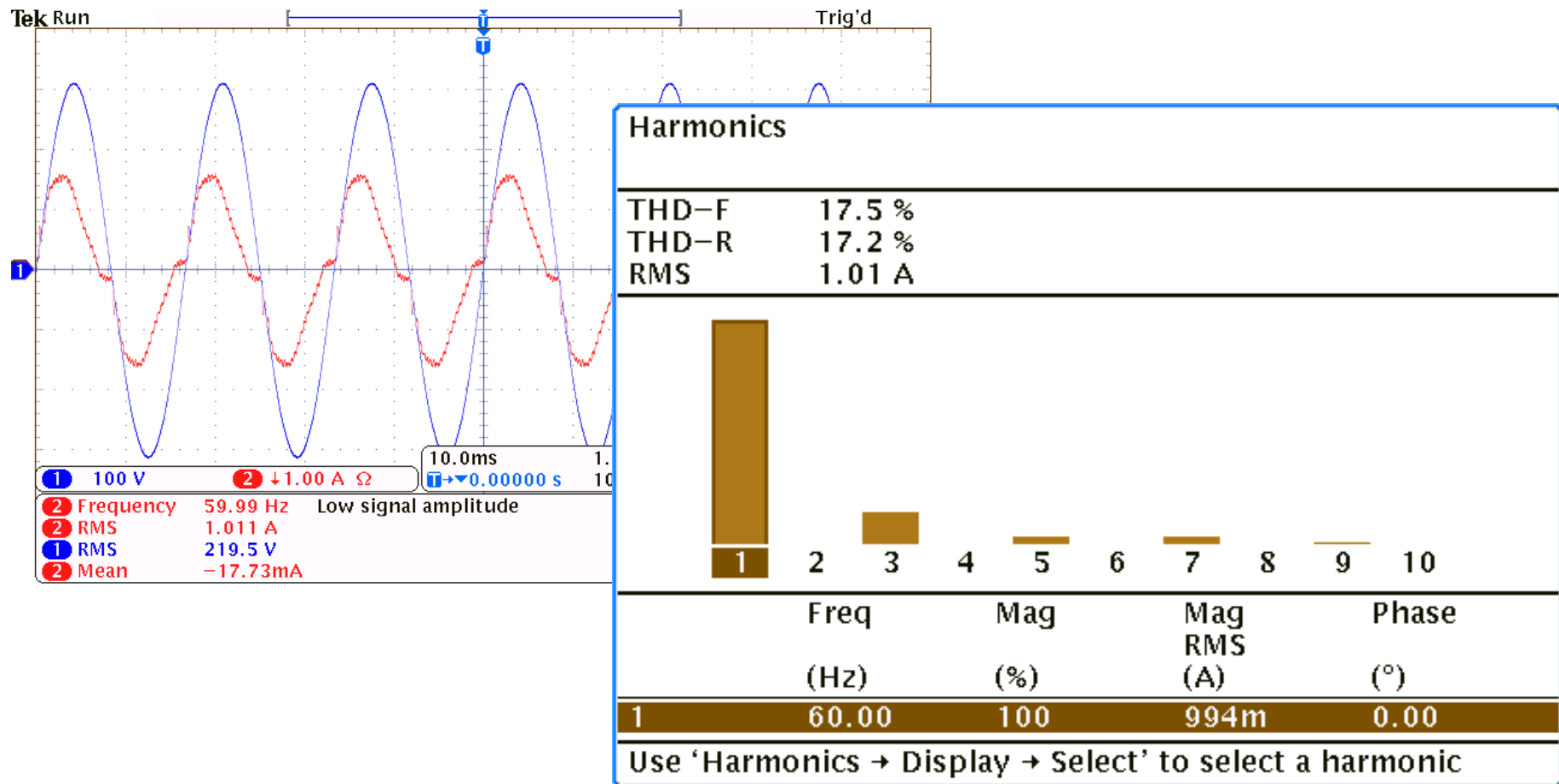
Equipamentos analisados

💡 Dados coletados em laboratório:

Luminária	Potência de entrada	THD	Fator de Potência
Arpelux	197,8 W	17,5 %	0,8918
Fiti	159,6 W	6,25 %	0,9905
Simón/ Tecnowatt	121,7 W	12,4 %	0,9700
Hexa	151,4 W	8,9 %	0,9623
Revolight	100,5 W	22,2 %	0,9636
GE	131,0 W	10,5 %	0,9707

Análise laboratorial

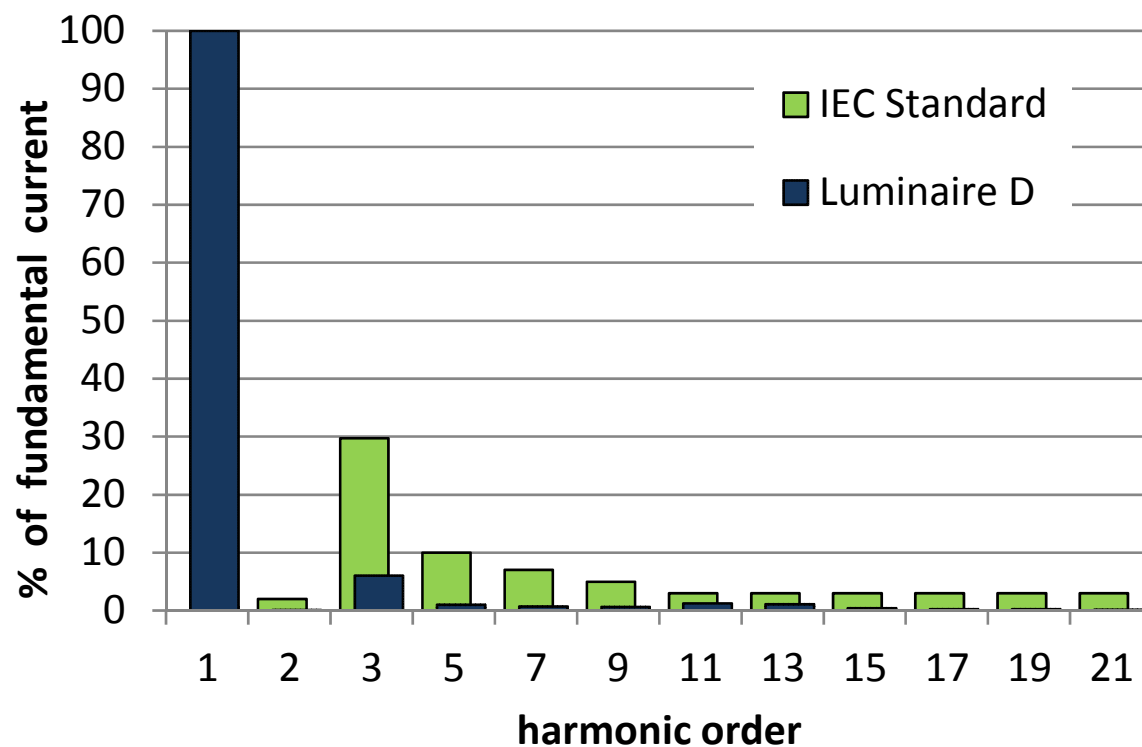
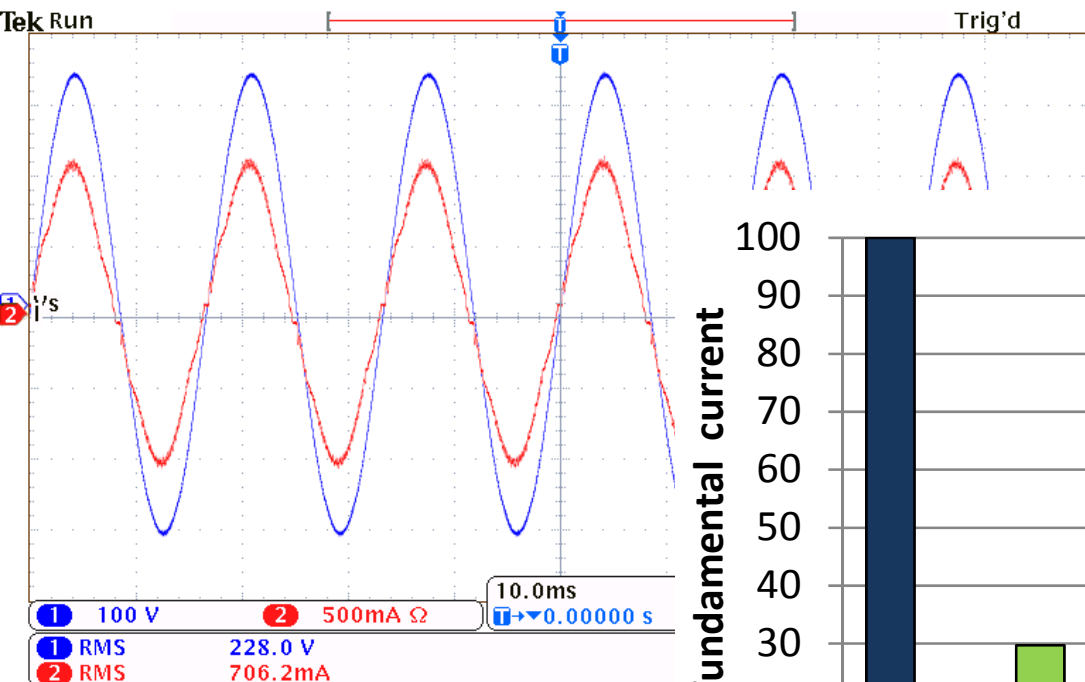
Arpelux



Análise laboratorial

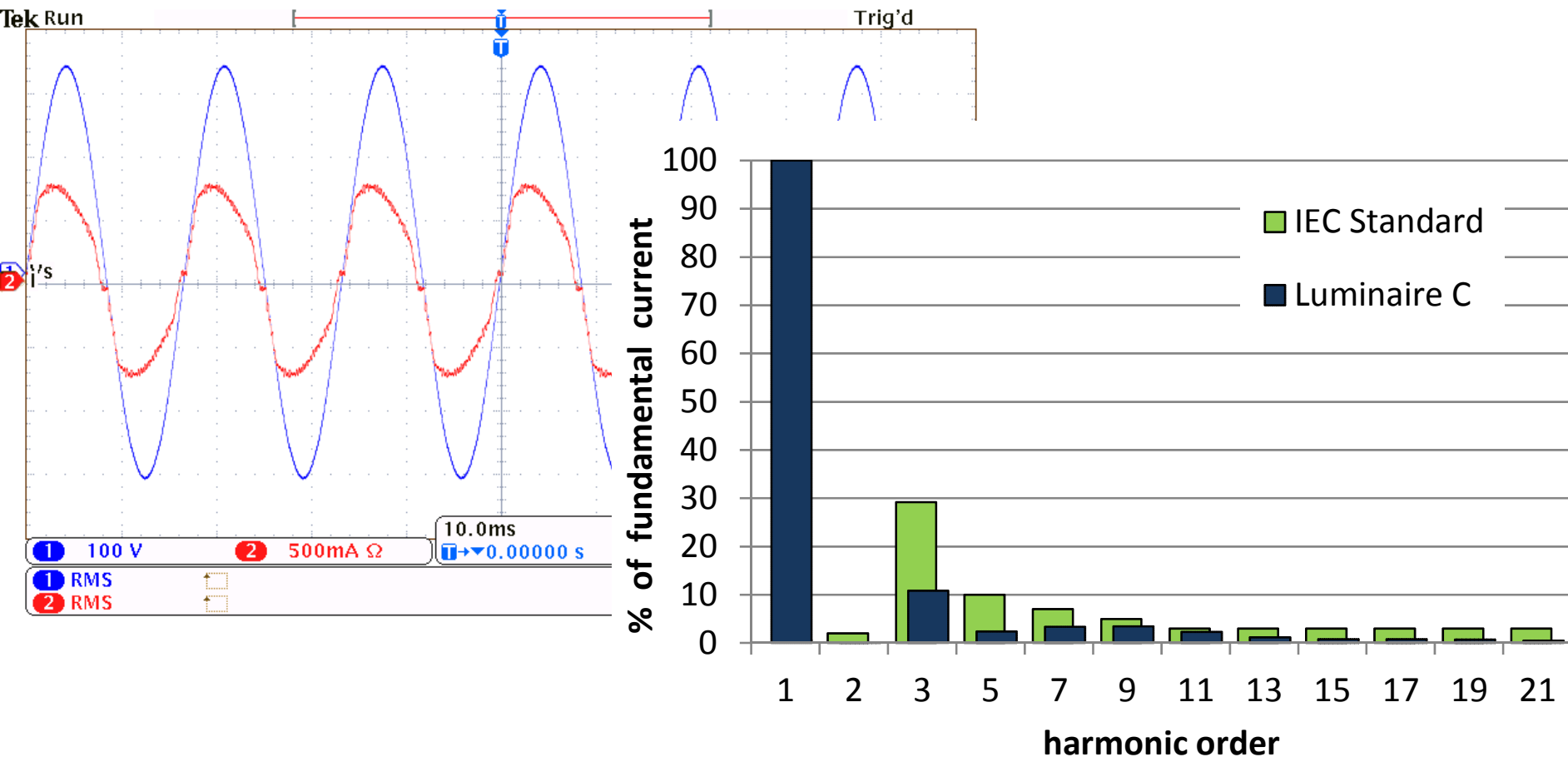


Fiti



Análise laboratorial

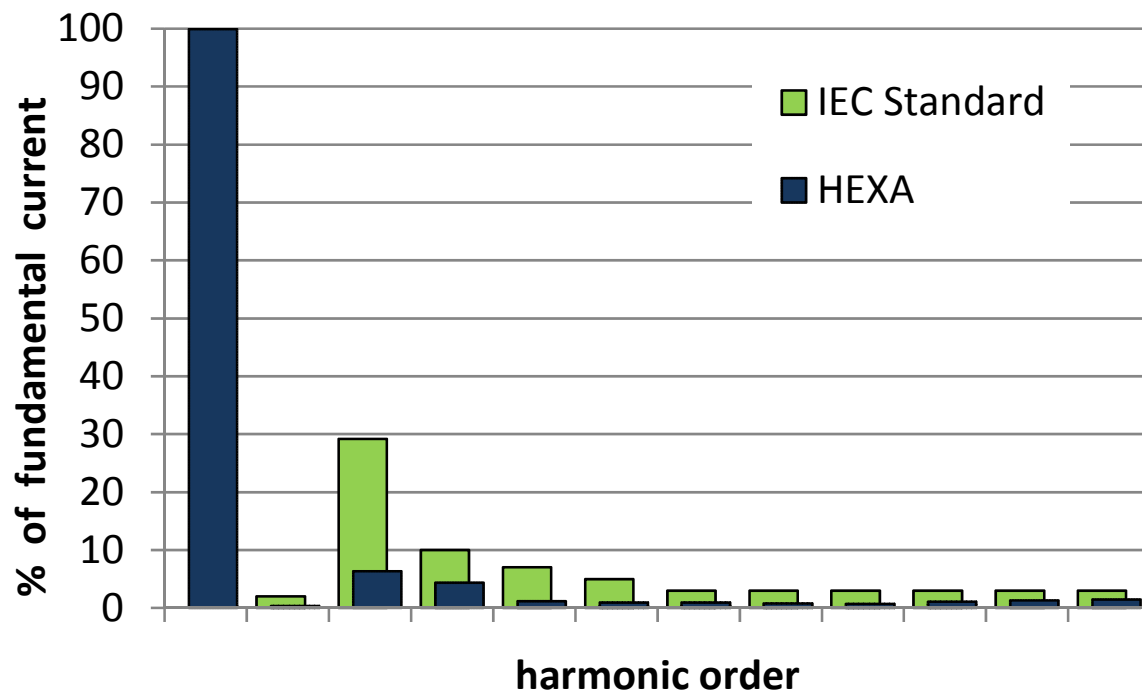
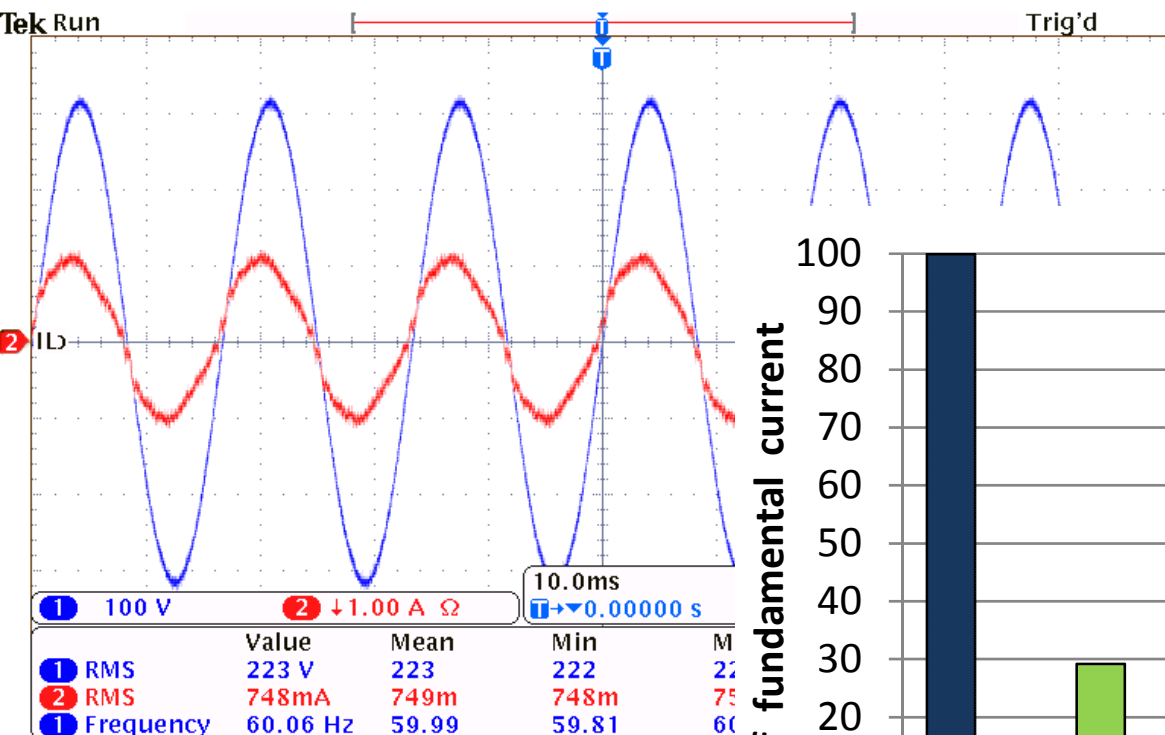
💡 Simón/Tecnowatt



Análise laboratorial

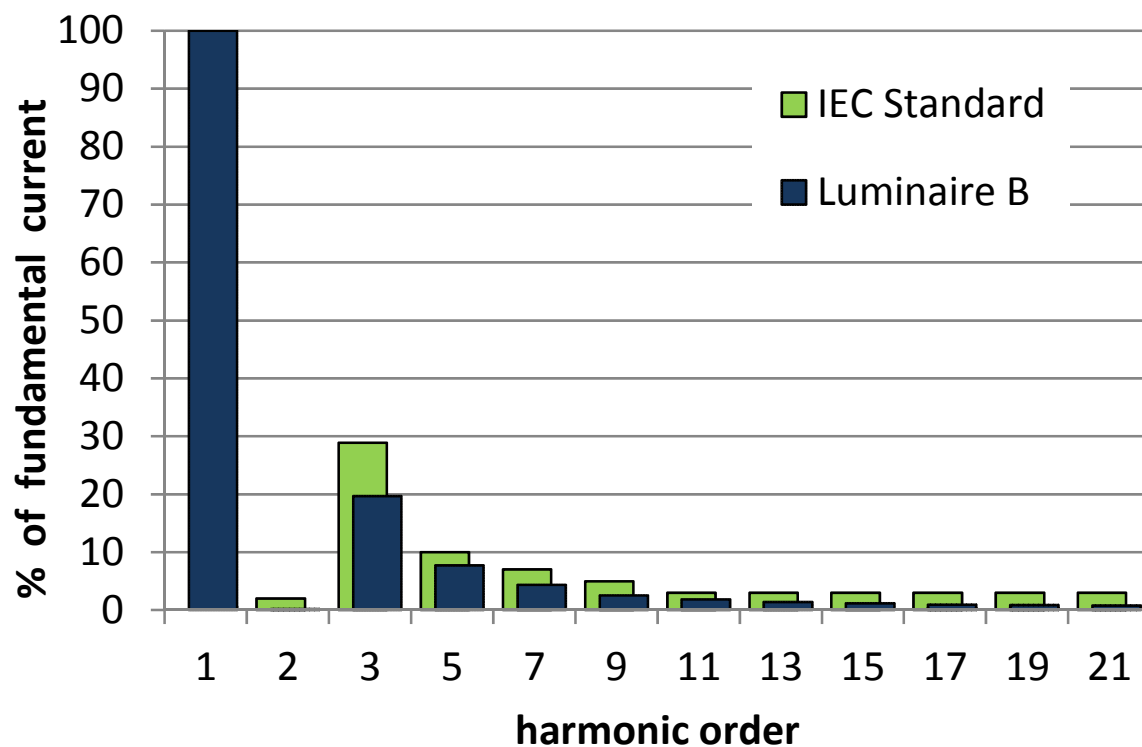
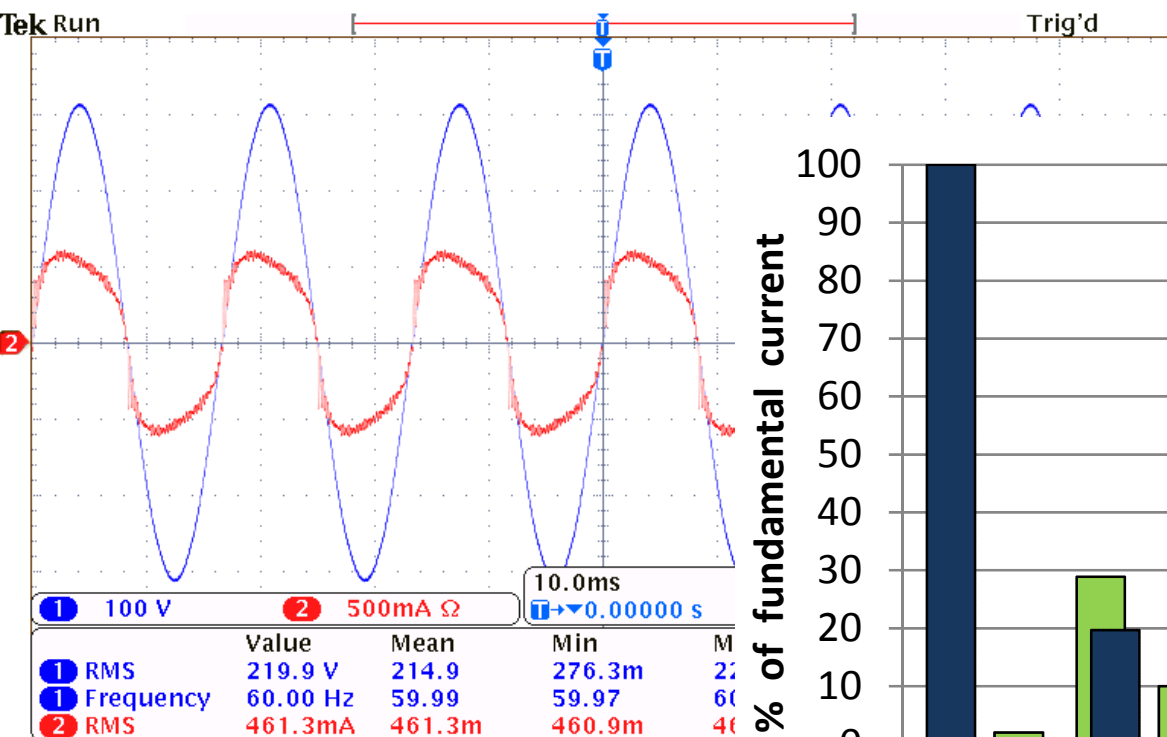


Hexa



Análise laboratorial

💡 Revolight

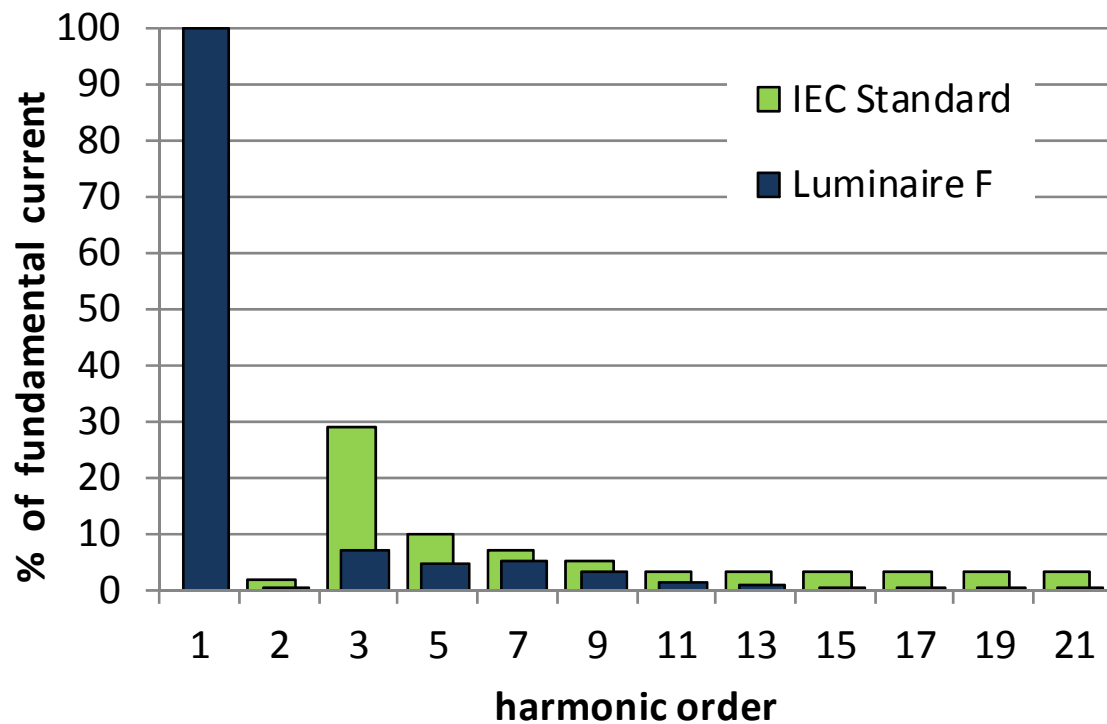
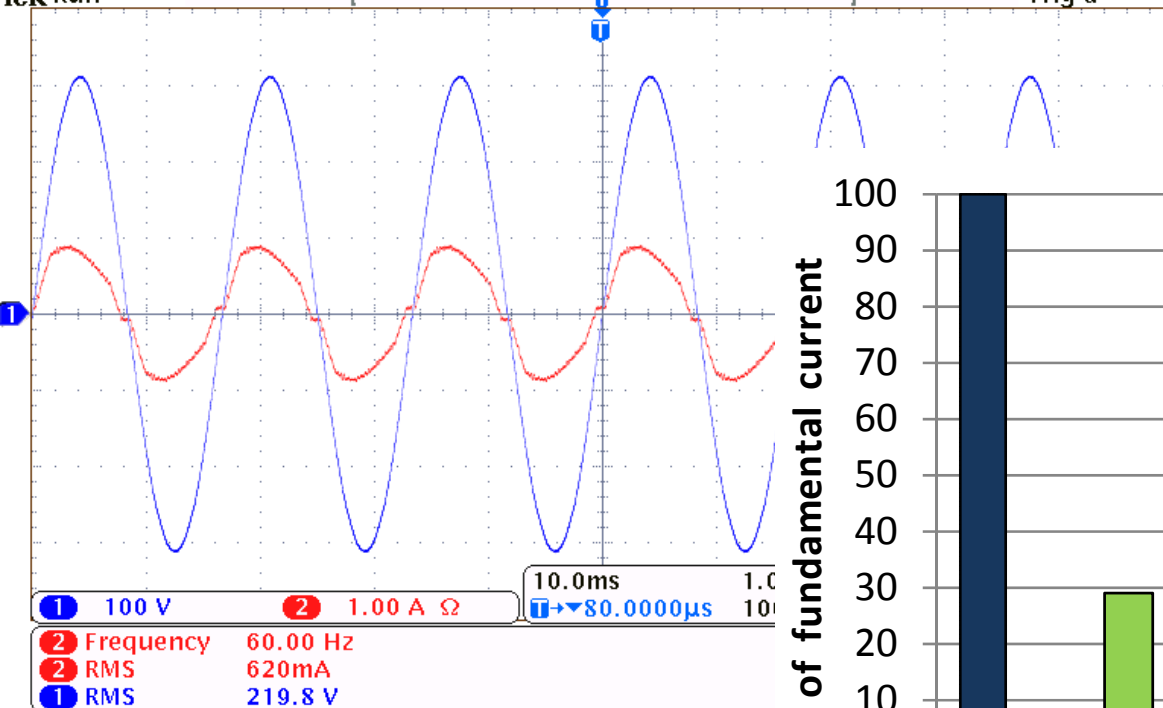


Análise laboratorial



GE

Tek Run Trig'd

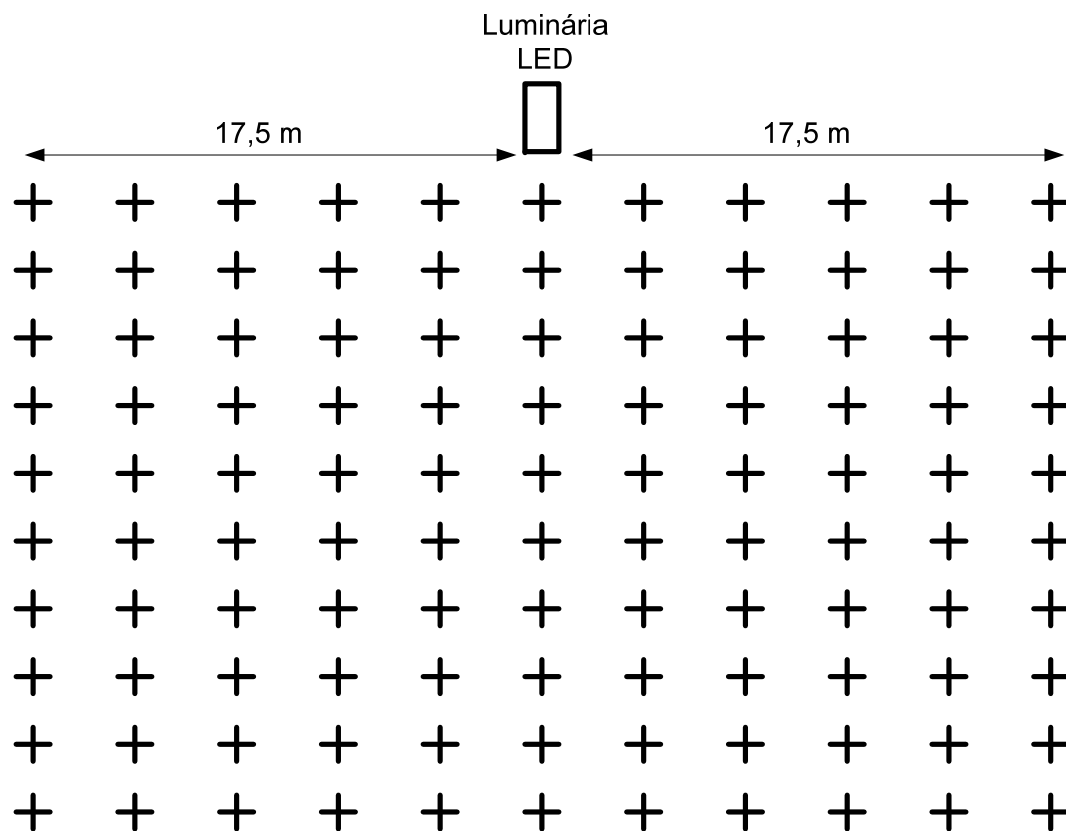


Análise de campo

- 💡 De acordo com o número de amostras cedidas pelos fabricantes, o posicionamento da malha de inspeção foi alterado (diminuir as interferências na medição);
- 💡 Novamente:
 - 💡 Luminárias instaladas em um trecho representativo do anel viário, onde a influência da iluminação proveniente de postes não adjacentes e da arborização podem ser considerados desprezíveis;
 - 💡 Medição das iluminâncias de acordo com a malha de inspeção da NBR 5101 (11 linhas transversais à via, igualmente espaçadas, cada uma com 10 pontos equidistantes);

Análise de campo

- 💡 Arpelux (200 W)
- 💡 Posicionamento da malha de inspeção (1 luminária).



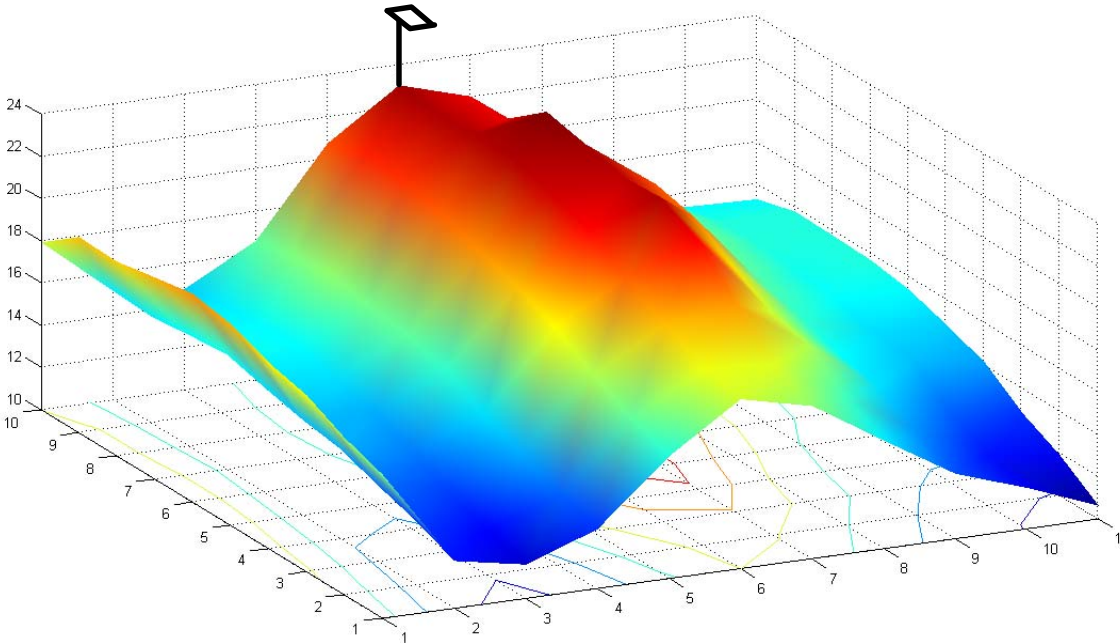
ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Análise de campo

💡 Arpelux (200 W)

E_{\min}	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
5,0 lux	0,20

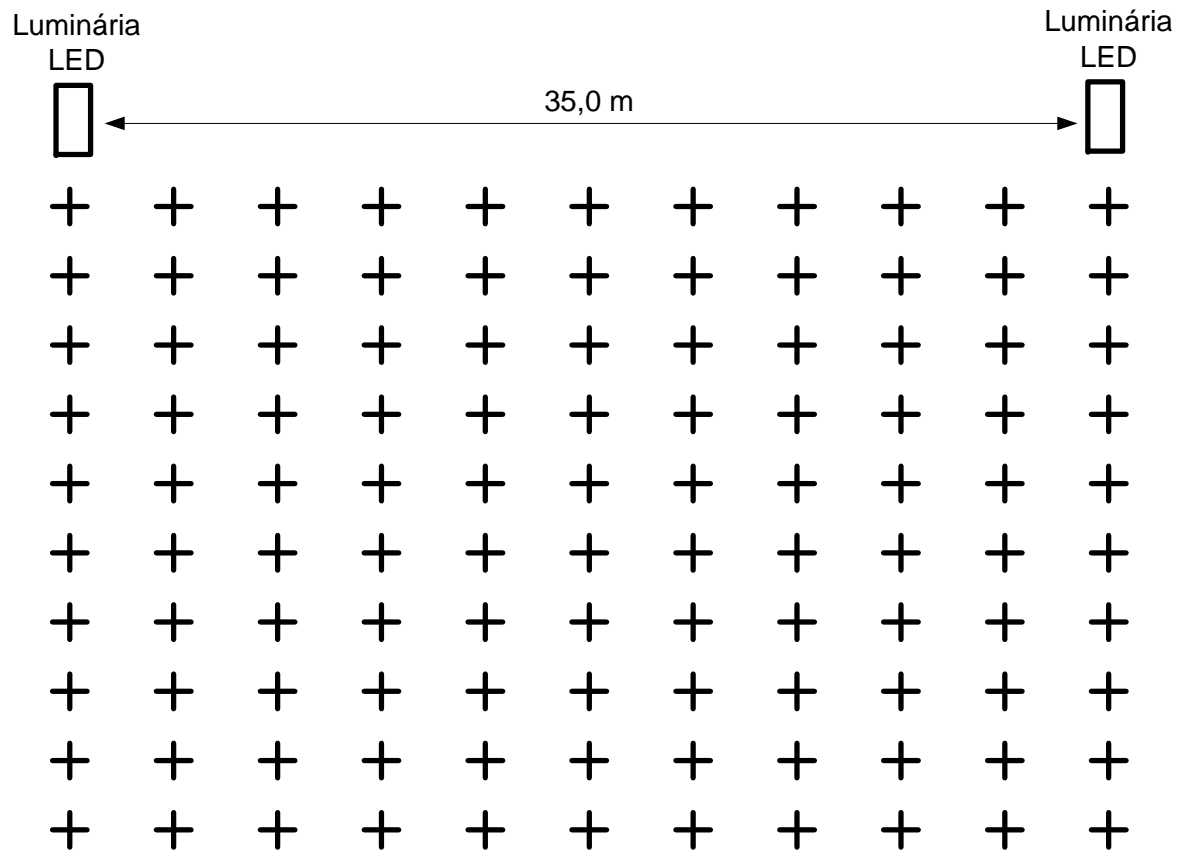
**Ladeada por VSAP
Muito interferência!**



E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
10,6 lux	17,0 lux	23,0 lux	0,62

Análise de campo

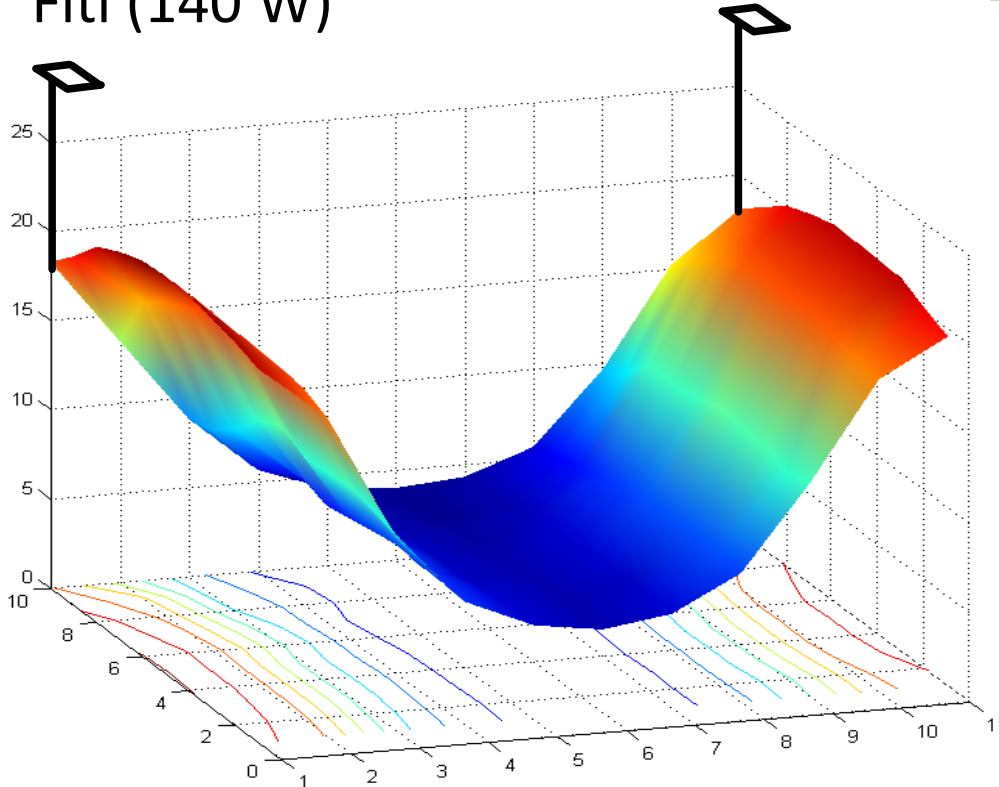
- 💡 Fiti (140 W)
- 💡 Posicionamento da malha de inspeção (2 luminária).



ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Análise de campo

💡 Fiti (140 W)



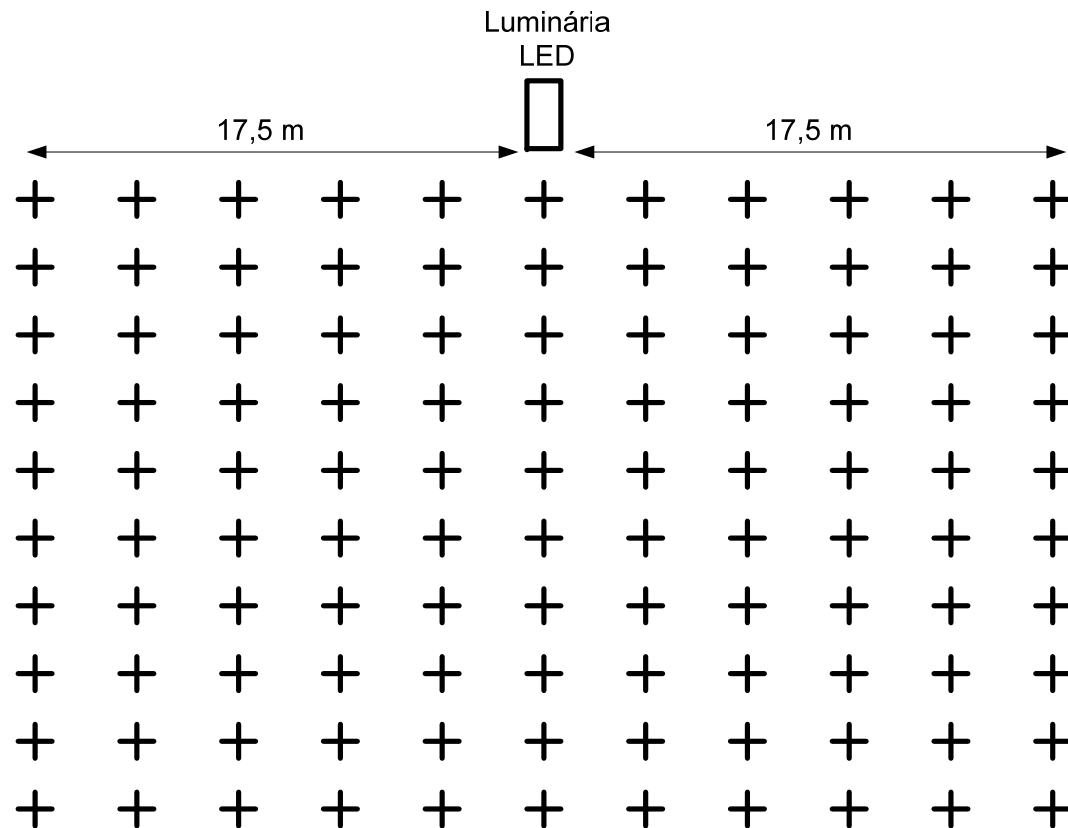
E_{\min}	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
5,0 lux	0,20

Atende à norma

E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
4,0 lux	11,5 lux	22,2 lux	0,35

Análise de campo

- 💡 Simón/Tecnowatt (120 W)
- 💡 Posicionamento da malha de inspeção (3 luminárias).

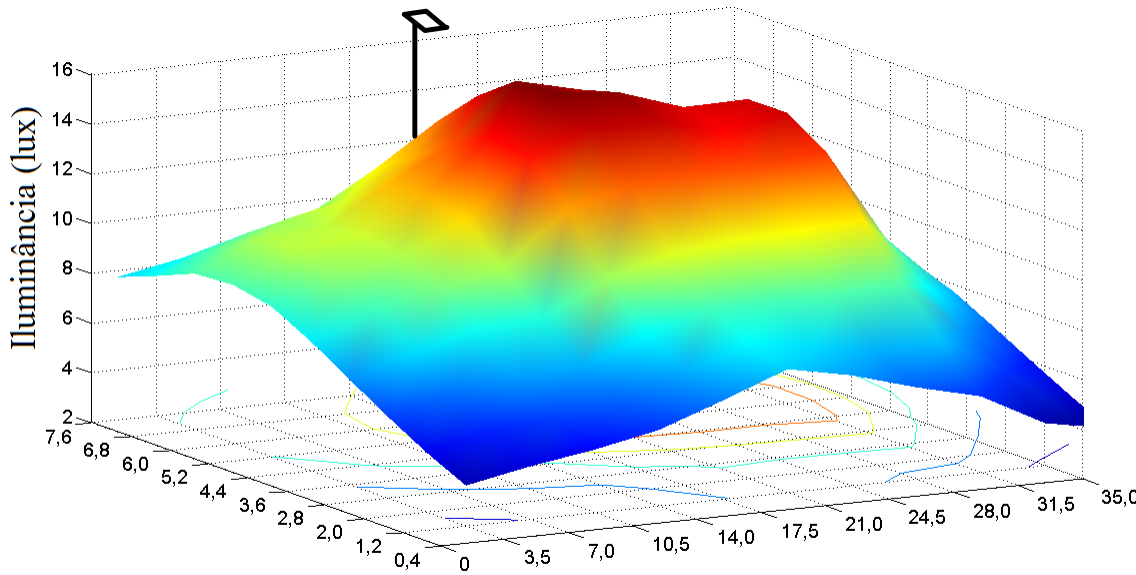


**ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS**

Análise de campo

💡 Simón/Tecnowatt (120 W)

E_{\min}	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
5,0 lux	0,20

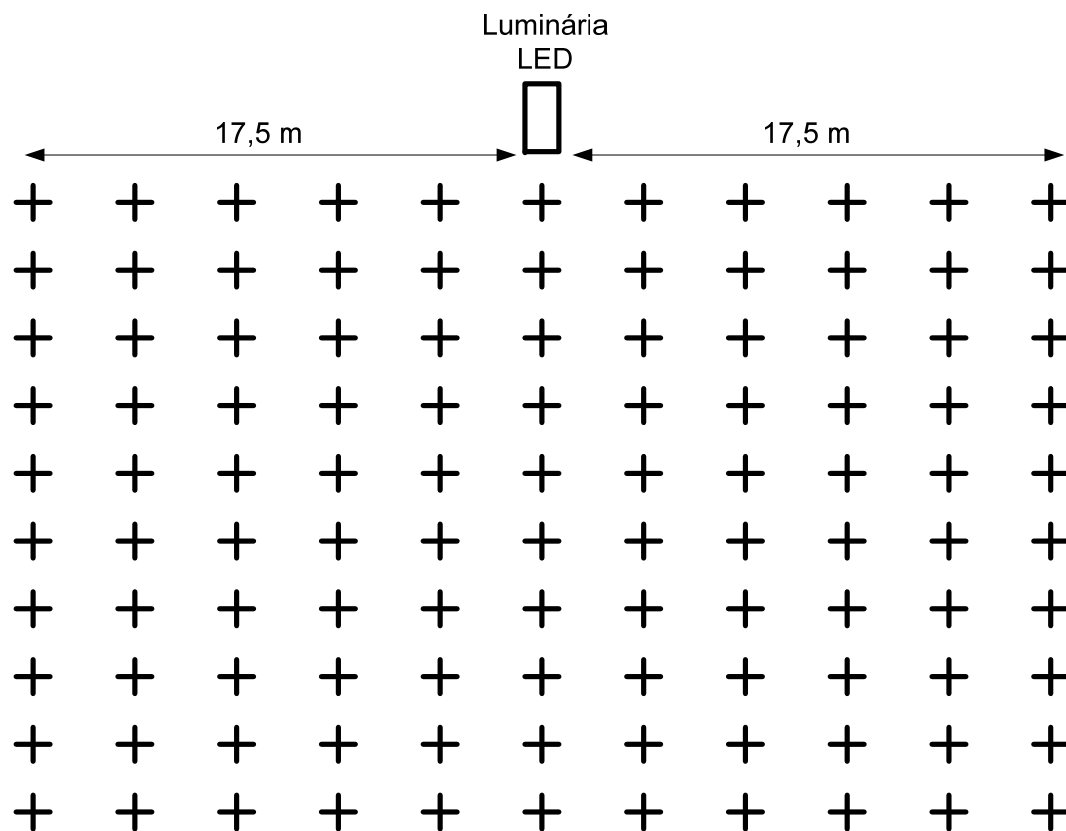


Atende à norma

E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
3,2 lux	8,8 lux	14,7 lux	0,36

Análise de campo

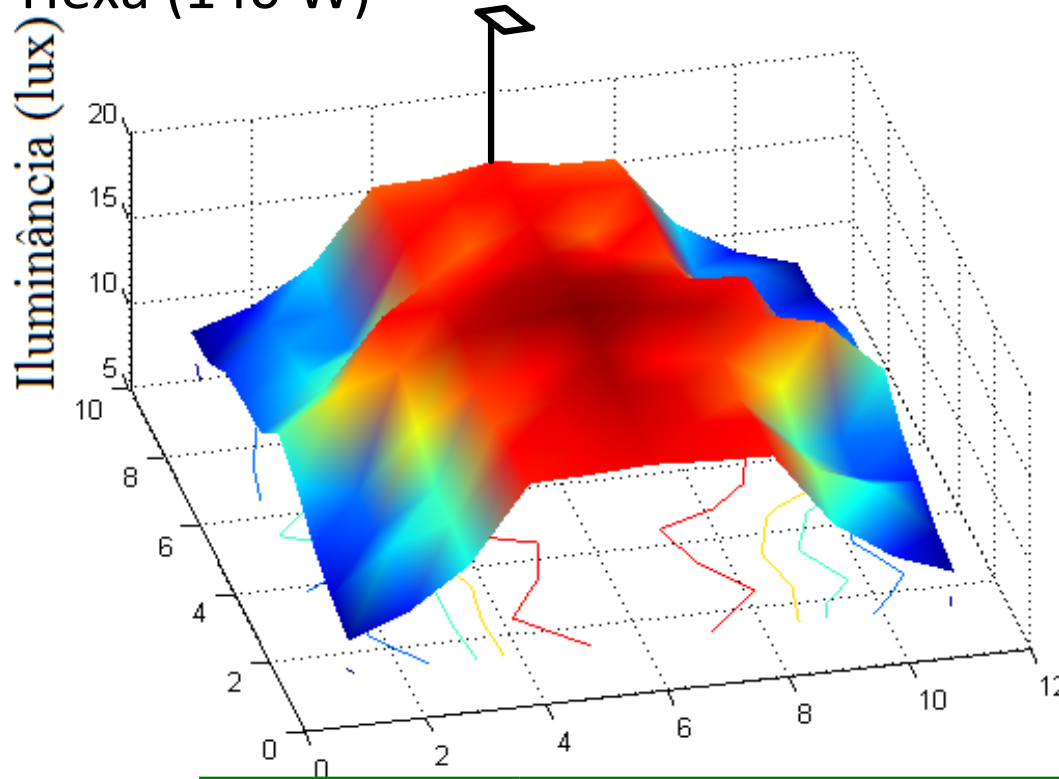
- 💡 Hexa (140 W)
- 💡 Posicionamento da malha de inspeção (3 luminárias).



ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Análise de campo

Hexa (140 W)

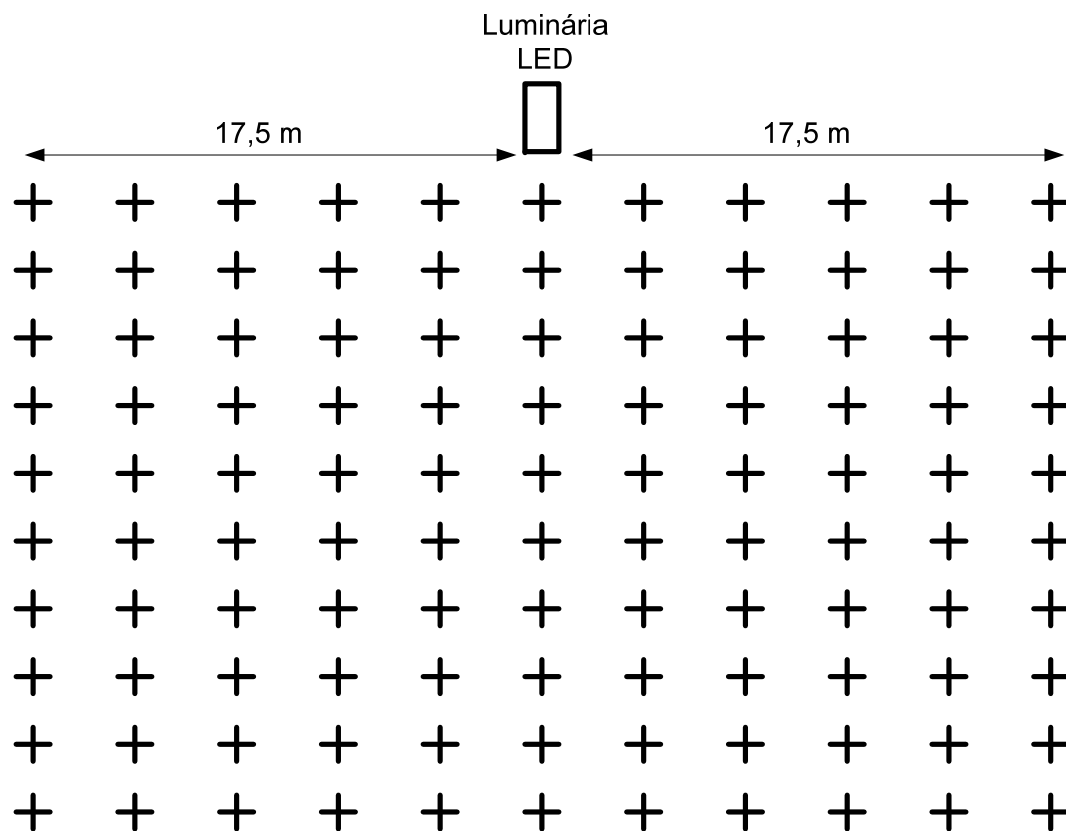


Atende à norma

E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
7,9 lux	12,2 lux	17,3 lux	0,64

Análise de campo

- 💡 Revolight (92 W)
- 💡 Posicionamento da malha de inspeção (3 luminárias).

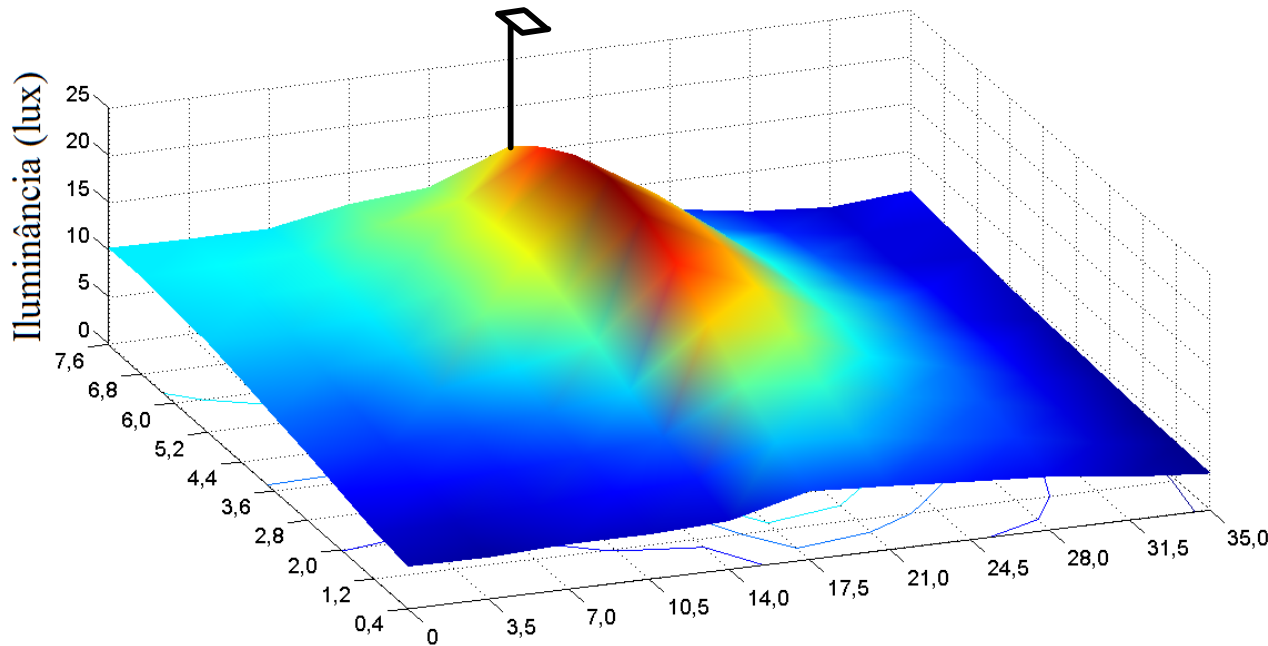


ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Análise de campo

💡 Revolight (92 W)

E_{\min}	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
5,0 lux	0,20

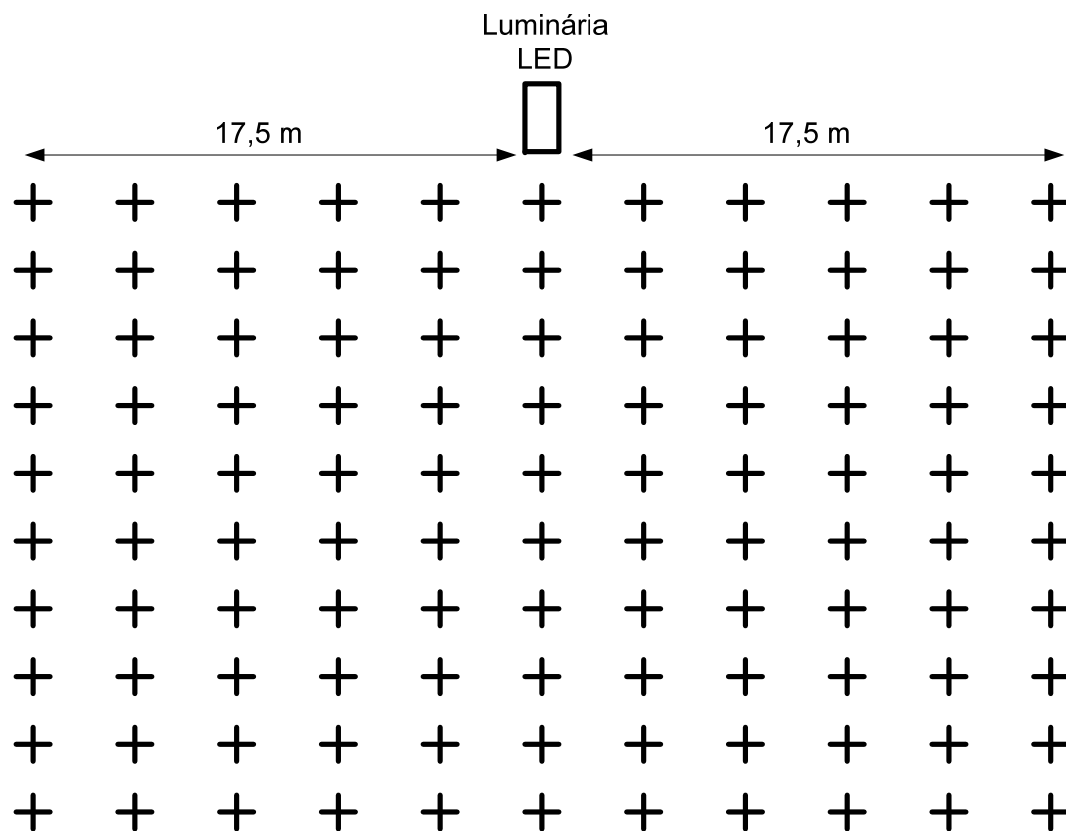


Atende à norma

E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
3,9 lux	9,1 lux	21,7 lux	0,42

Análise de campo

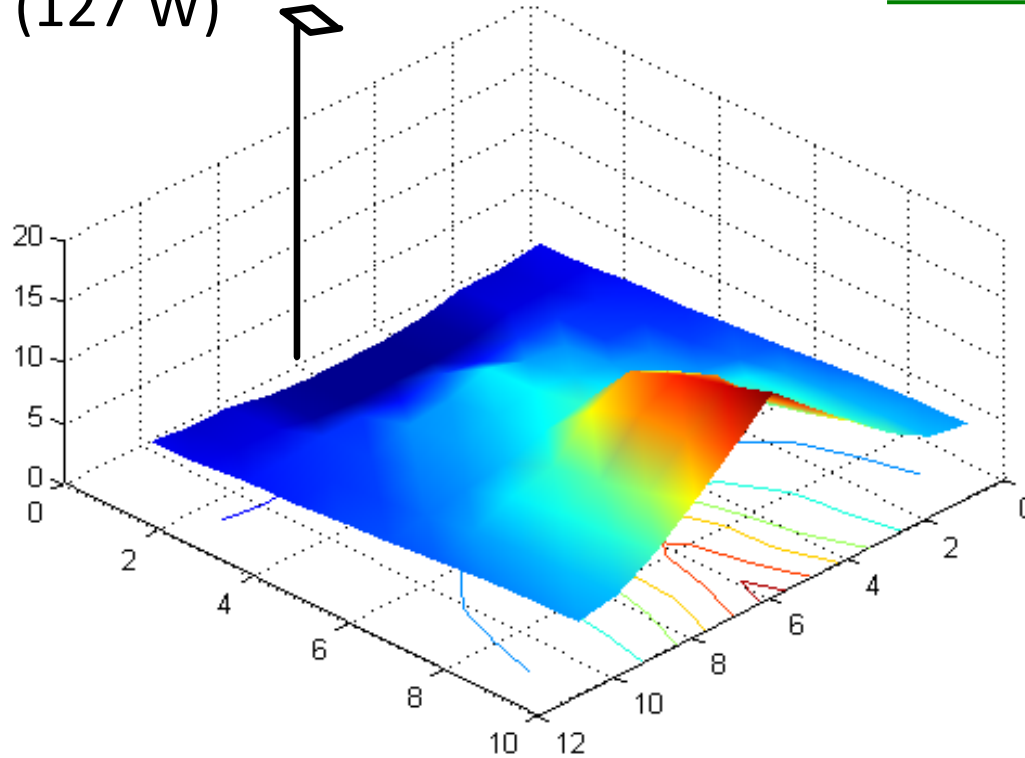
- 💡 GE (127 W)
- 💡 Posicionamento da malha de inspeção (3 luminárias).



ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE EMPREGANDO
LEDS

Análise de campo

💡 GE (127 W)



Atende à norma

E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
2,2 lux	6,4 lux	16,9 lux	0,34

Análise de campo

💡 Quadro comparativo

E_{\min}	$U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
5,0 lux	0,20

Luminária	E_{\min}	E_{med}	$E_{\text{máx}}$	U_0
Arpelux	10,6 lx	17,0 lx	23,0 lx	0,62
Fiti	4,0 lx	11,5 lx	22,2 lx	0,35
Simón/ Tecnowatt	3,2 lx	8,8 lx	14,7 lx	0,36
Hexa	7,9 lx	12,2 lx	17,3 lx	0,64
Revolight	3,9 lx	9,1 lx	21,7 lx	0,42
GE	2,2 lx	6,4 lx	16,9 lx	0,34

Análise de campo

💡 Diferença entre as tecnologias LED e VSAP



Especificação

- 💡 Pautando-se nas análises realizadas pelas amostras cedidas pelos fabricantes, bem como na realização de diversos cursos, participação em eventos e consultas às normas e recomendações pertinentes (nacionais e internacionais), a equipe do NIMO (apoiada pelos técnicos da Eletrobras), promoveu a especificação do equipamento a ser adquirido por meios licitatórios;
- 💡 Passo importante para decisões futuras sobre aquisição de luminárias LED para IP, uma vez que não existem normas nacionais estabelecidas para este tipo de equipamento.

Especificação

- 💡 Pontos priorizados na especificação:
 - 💡 Arranjo geométrico dos LEDs livre;
 - 💡 Acionamento eletrônico (driver) integrado a luminária;
 - 💡 Exigência de ensaio em laboratório especializado (2 amostras, 1000h) empregando goniofotômetro, de modo a garantir condições eletro-fotométricas satisfatórias;
 - 💡 Fluxo luminoso inicial superior a 8500 lm;

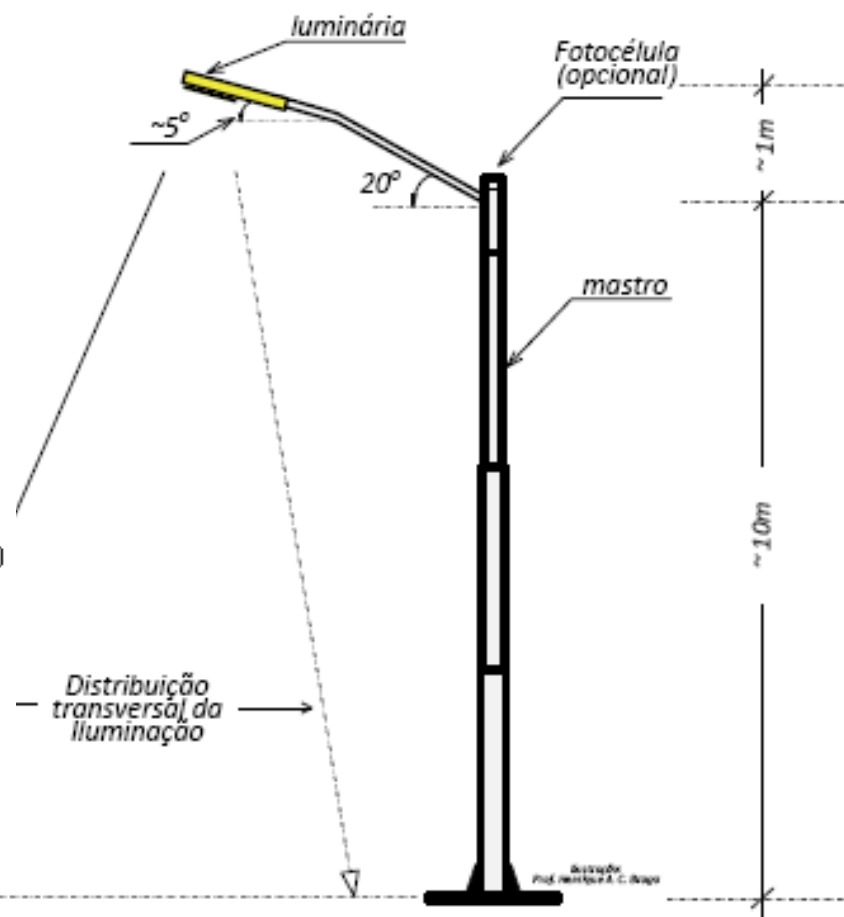
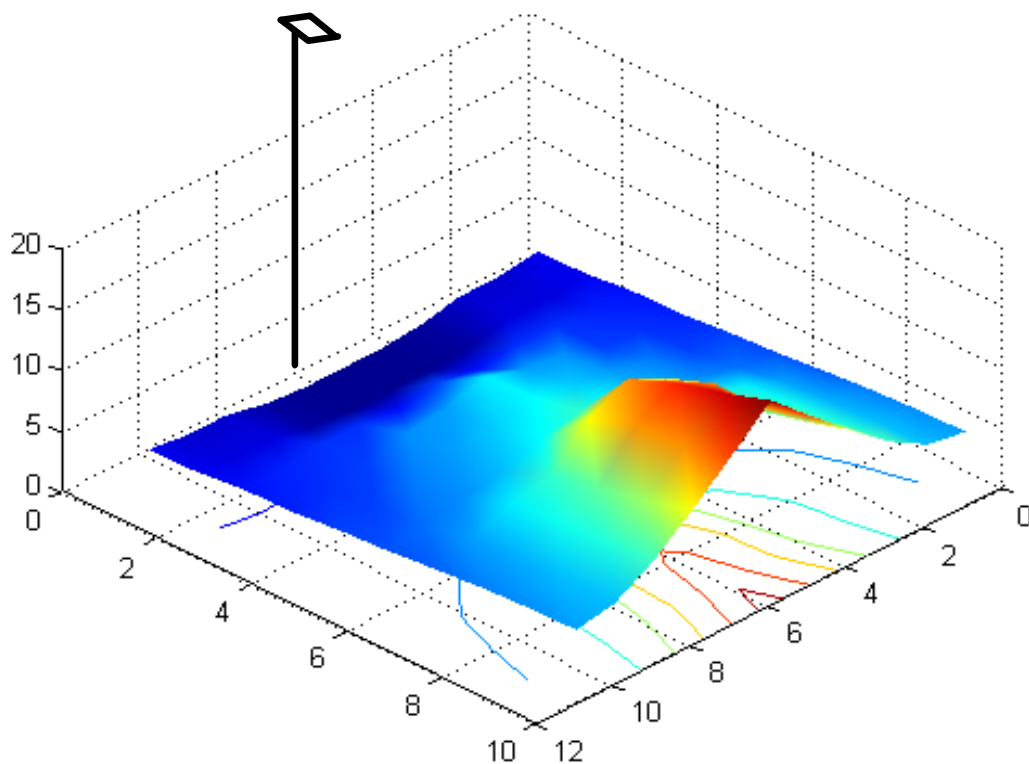
Especificação

- 💡 Driver com fator de potência superior a 0,92 e THD de corrente inferior a 20%;
- 💡 Garantia mínima para o conjunto (LEDs e driver) de 5 anos;
- 💡 Distribuição de intensidade luminosa longitudinal em relação à via classificada como média, distribuição de intensidade luminosa em relação à via classificada como Tipo I

Especificação

- 💡 Apesar das boas características de desempenho elétrico e fotométrico da luminária vencedora do pregão (Cobrahead GE – 157 W) observou-se, durante os ensaios de campo realizados que a inclinação do braço dos postes utilizados no anel viário (entre 10° e 20°), não é muito favorável à instalação da luminária;
- 💡 Com esta inclinação a fluxo luminoso é concentrado do centro da pista para a calçada oposta ao poste.

Especificação

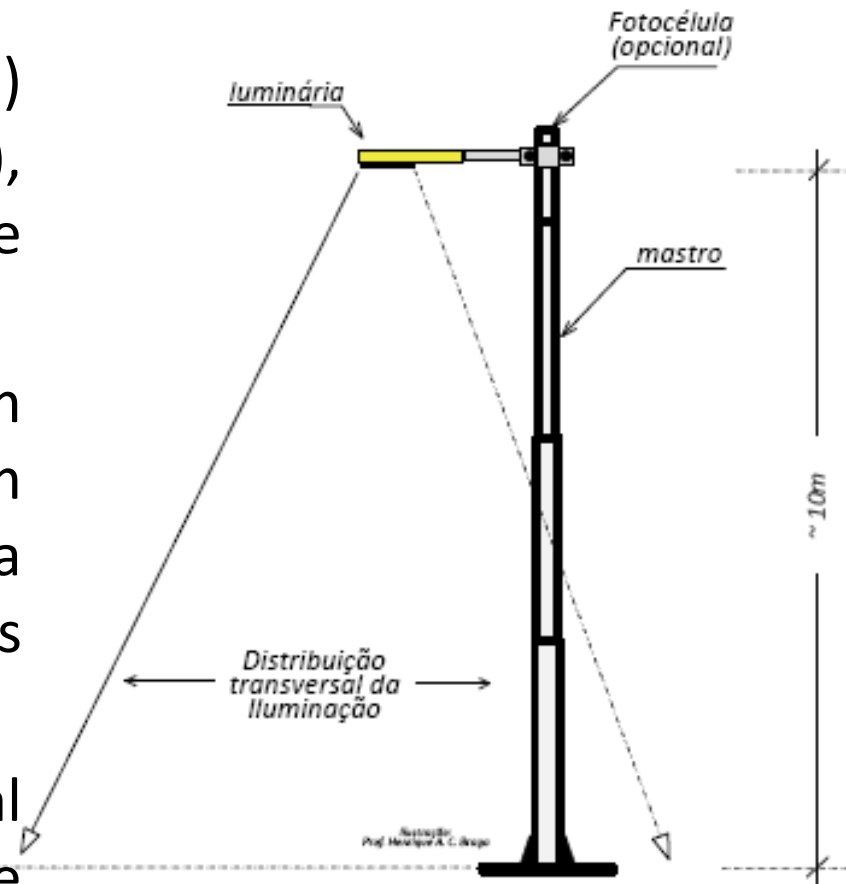


Especificação

A amostra cedida (modelo A6) apresenta baixa potência (127 W), fluxo luminoso insuficiente e assimetria do arranjo geométrico;

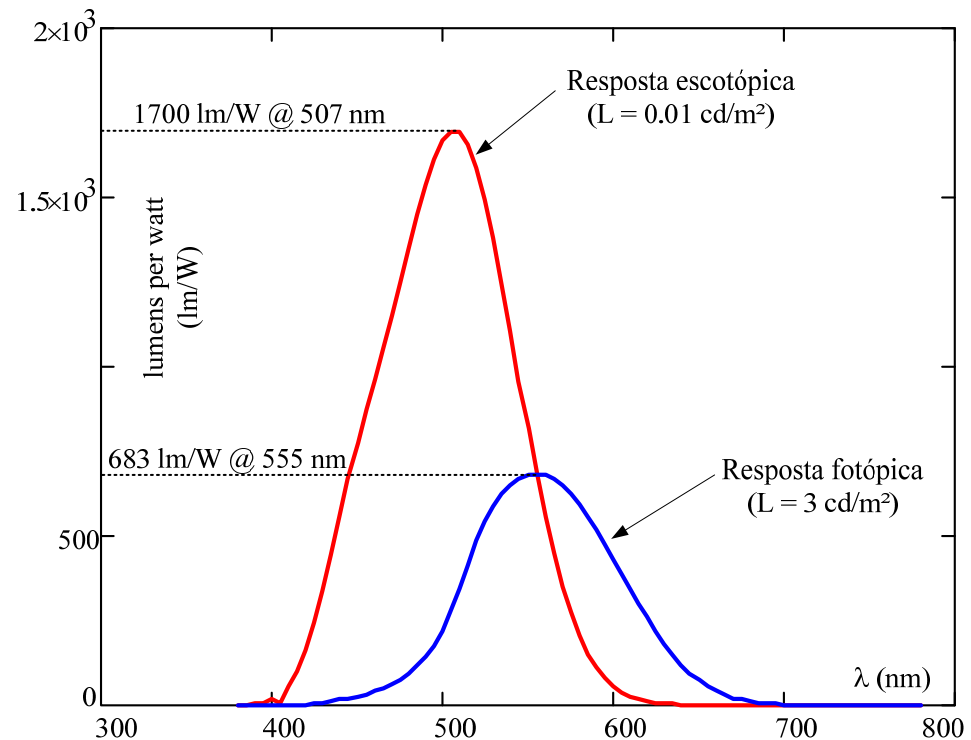
Simulações computacionais com modelos A2 e A3, que propiciam retroiluminação, apontam para condições fotométrica mais favoráveis;

Ainda assim, a afixação horizontal (0°), pode contribuir significativamente na melhoria da distribuição luminosa (apontado por simulação);



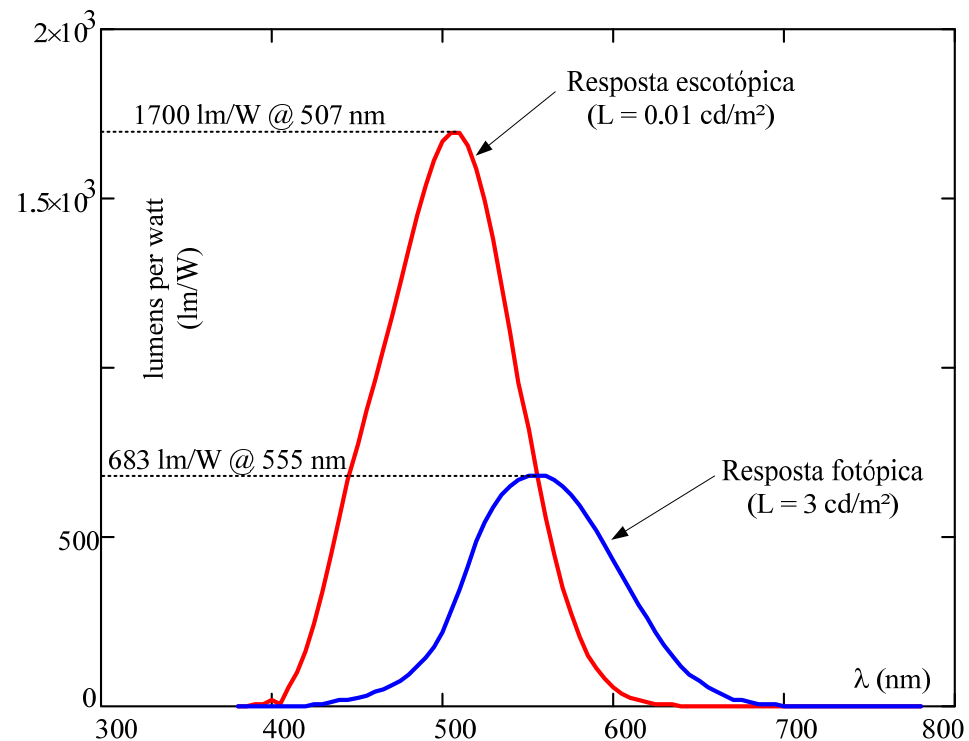
Considerações sobre a resposta dinâmica do olho humano

- 💡 A equipe do NIMO tem se preocupado em considerar a resposta dinâmica do olho humano em suas análises;
- 💡 De acordo com o nível de luminância o olho responde de forma diferenciada;
- 💡 Regime fotópico e regime escotópico;







Considerações sobre a resposta dinâmica do olho humano

💡 O deslocamento do pico da curva de sensibilidade do olho para um comprimento de onda mais baixo, faz com que fontes com luz com distribuição espectral de potências mais deslocada para o azul produzam fluxo luminoso efetivo mais alto.

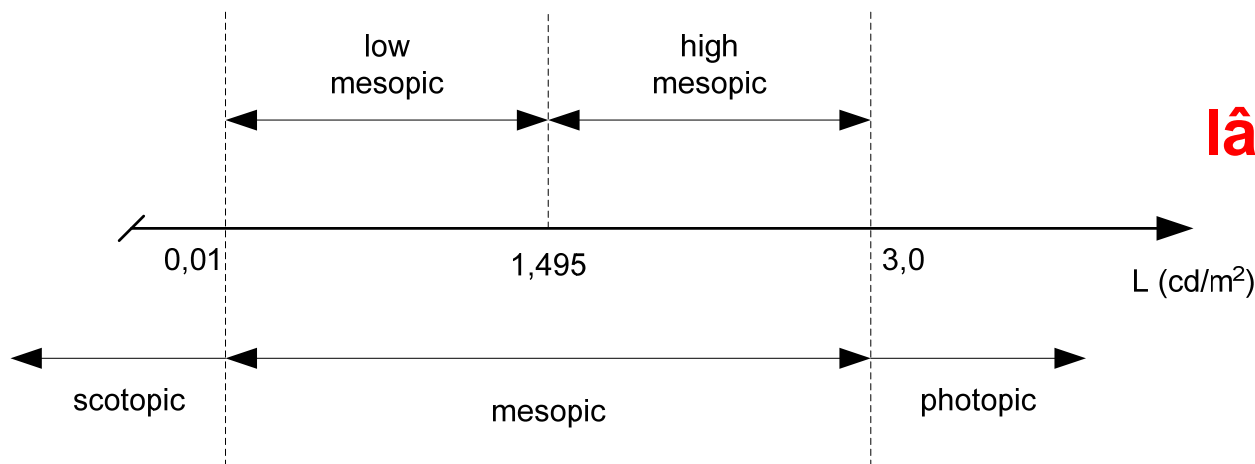


Considerações sobre a resposta dinâmica do olho humano

Measured Source	Luminous Efficacy:		Radiant Efficiency	Color-Related:	
	Photopic	Scotopic		CCT	CRI
High Pressure Sodium 70 W	77 lm/W 	44.4 lm'/W	29.2%	1902 K	27.3%
Metal Halide 70 W	60.9 lm/W 	107.2 lm'/W	26.6%	4497 K	69.8%
Low Power HB-LED 20 mA	46.2 lm/W 	94.5 lm'/W	14.8%	5915 K	79.2%
Power HB-LED 350 mA	85.9 lm/W 	167.8 lm'/W	27.3%	6217 K	70.5%

Considerações sobre a resposta dinâmica do olho humano

- Em IP, os níveis típicos de luminância apontam para operação do olho em regime mesópico (região baixa mesópica);



Seriam as lâmpadas VSAP as mais indicadas para IP?

- Assim, considerar a resposta escotópica do olho humano leva a uma melhor tradução da real sensação de iluminamento;

Conclusões

- 💡 Experiência NIMO/UFJF, proporcionada pelo convênio
- 💡 Expansão do Laboratório
- 💡 Possibilidade de ensaios de pré-certificação
- 💡 Dúvidas NIMO/UFJF, proporcionadas pelo convênio!
- 💡 Desafios LEDs em IP no Brasil (e no mundo)
- 💡 Próximos passos (implantação do piloto, testes com drivers NIMO, acompanhamento do desempenho elétrico/luminotécnico 18 meses)
- 💡 Futuro: Novos recursos no ponto de luz, smart grids, Control GIP (www.controlgip.com.br/)

Agradecimentos



- Contactos:
- henrique.braga@ufjf.edu.br
- <http://www.ufjf.br/nimo>