

Gestão de Energia e Legislação

9.4. Iluminação

Curiosidade!

- Iluminação: primeira forma de utilização massificada de energia elétrica
- Energia elétrica vendida sob a forma de horas/luz
- Ainda há quem pague a luz consumida em sua casa!*

Definições Gerais

- Φ - Fluxo luminoso Unidade: *lumen - Lm* ($d\Phi/dt$)
 - Fluxo luminoso: quantidade total de luz emitida por uma fonte de luz por unidade de tempo (um segundo)
- I - Intensidade luminosa Unidade: *candela (cd)* ($d\Phi/dw$)
 - Intensidade luminosa: medida da percepção do fluxo luminoso emitido numa dada direção - fluxo luminoso emitido por unidade de ângulo sólido na direção considerada
- E - Iluminância ou Nível de Iluminação Unidade: *lux (lx)* ($d\Phi/ds$)
 - Iluminância: se um fluxo luminoso de 1 lm incidir numa área de 1 m², a iluminância nessa área é de 1 lux
- η - Eficiência Luminosa Unidade: Lumen/Watt ($d\Phi/dP$)
 - Eficiência Luminosa: é o quociente entre o fluxo luminoso (Φ) emitido e a potência absorvida (P)

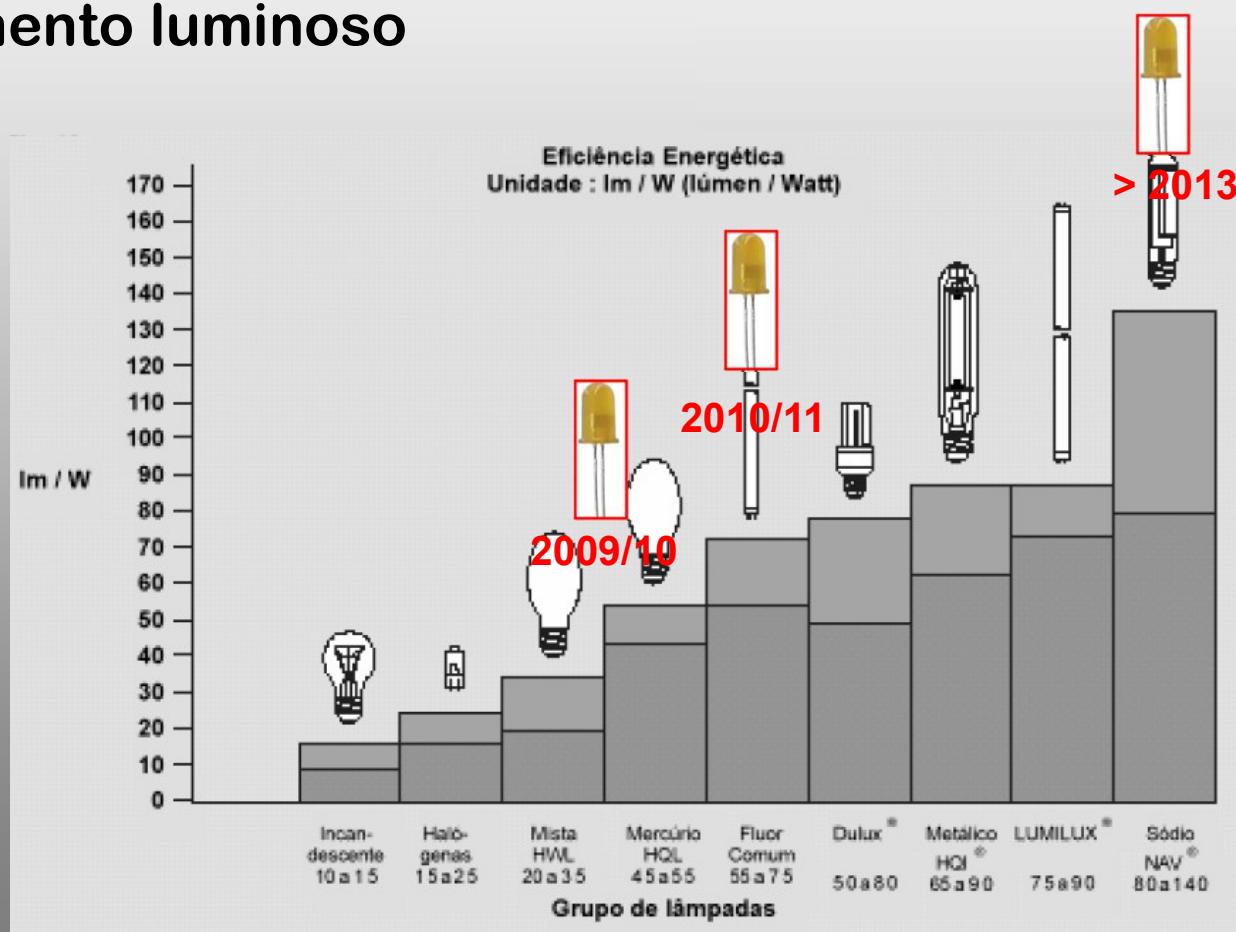
Tecnologias de iluminação

☐ Tecnologias de iluminação



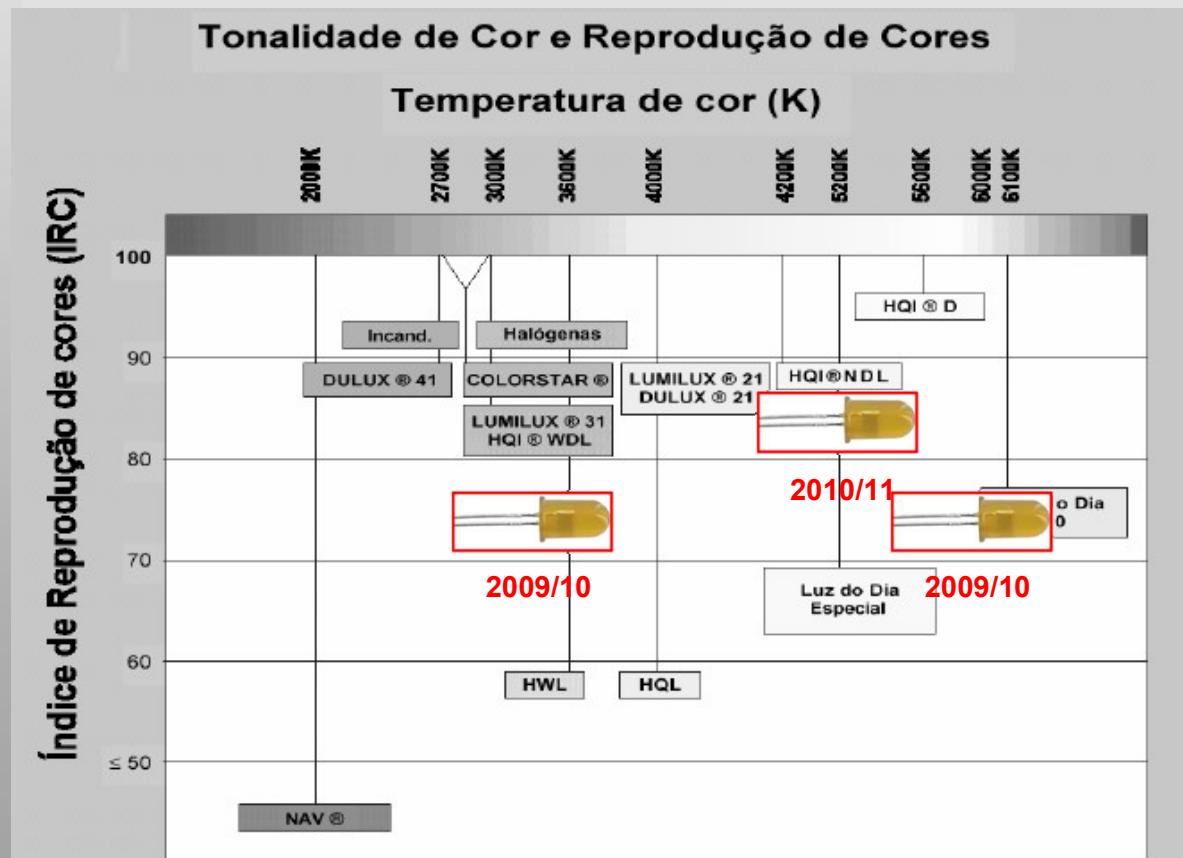
Tecnologias de iluminação

☐ Rendimento luminoso

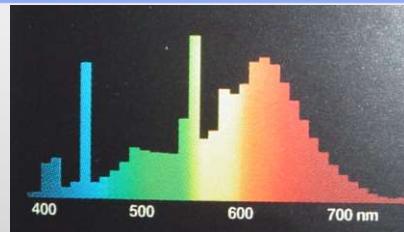


Tecnologias de iluminação

□ Características da luz



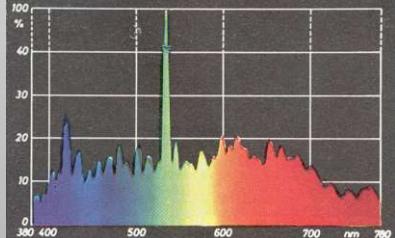
Tecnologias de iluminação



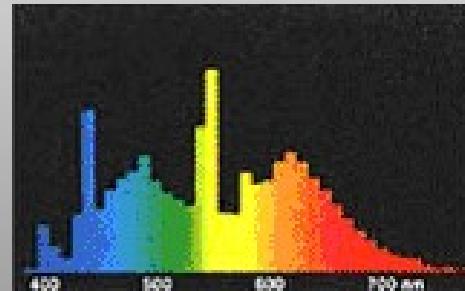
Lâmpada Fluorescente



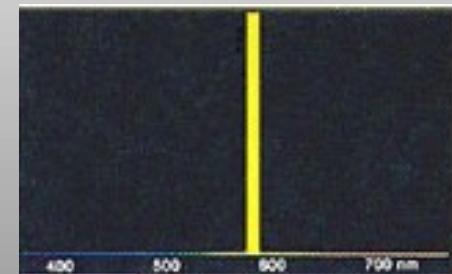
Lâmpada de Sódio AP



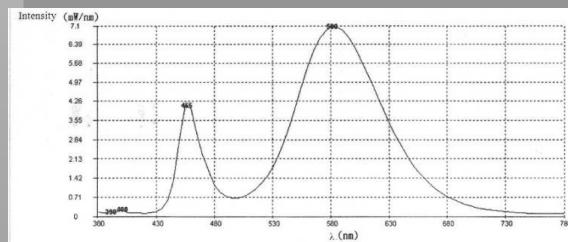
Lâmpada de Iodetos metálicos



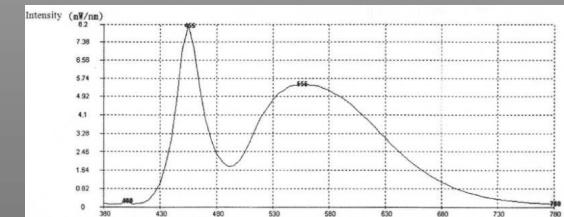
Espectograma de radiação da luz solar



Lâmpada de sódio BP



Neobulb warm white LED



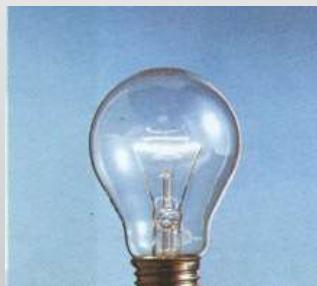
Neobulb white LED

Tecnologias de iluminação

☐ Eficiência luminosa e tempo útil de vida

Tipo de Lâmpada	Potência W	Eficiência luminosa Lumen/Watt	Tempo médio de vida (horas)
Incandescentes:			
- Standard	40 a 1 000	10 a 20	1 000
- Halogéneo	150 a 2 000	21 a 25	2 000
Fluorescentes Tubulares	6 a 65	50 a 95	7 000
Fluorescentes Compactas:			
- Integrais	9 a 25	36 a 50	8 000
- Modulares	5 a 16	60 a 80	
Mercúrio de Alta Pressão	50 a 1000	40 a 60	8 000
Iodetos Metálicos	400 a 2 000	80 a 90	4 000 a 6 000
Vapor de Sódio:			
- Baixa pressão L.P.S.	18 a 180	100 a 200	6 000
- Alta Pressão H.P.S.	50 a 1 000	70 a 125	6 000

Tecnologias de iluminação



□ Lâmpadas incandescentes convencionais

- Numa ampola cheia de gás (árgon e nitrogénio, krypton) o filamento de tungsténio em forma de espiral torna-se incandescente pela passagem da corrente eléctrica.
- Elevada dissipação térmica => reduzida eficiência luminosa

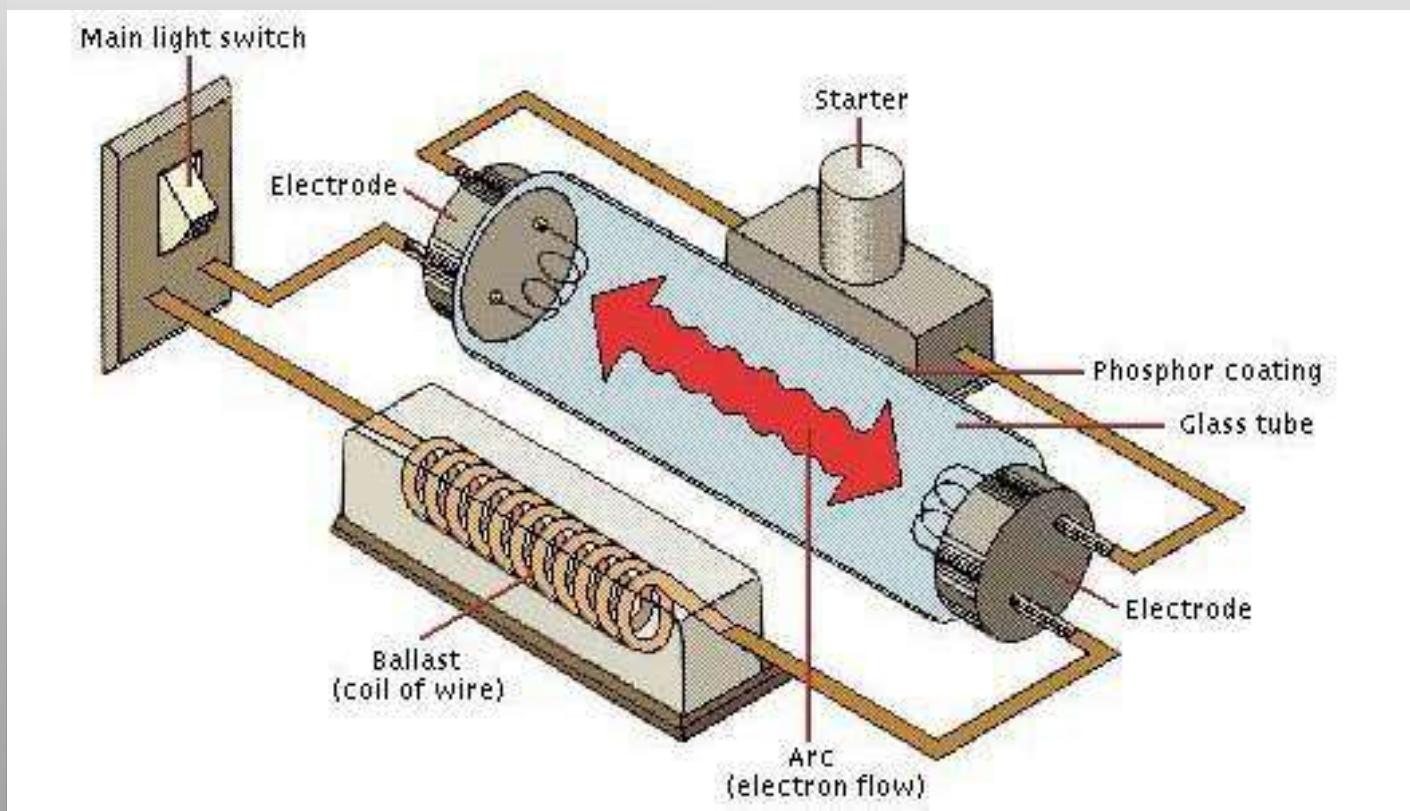
□ Lâmpadas de halogéneo

- Os gases inertes e os halogéneos (flúor, bromo e iodo) combinam-se com as partículas de tungsténio.
- Esta combinação aliada à elevada temperatura do filamento possibilita a re-deposição de partículas no filamento (ciclo regenerativo do halogéneo).

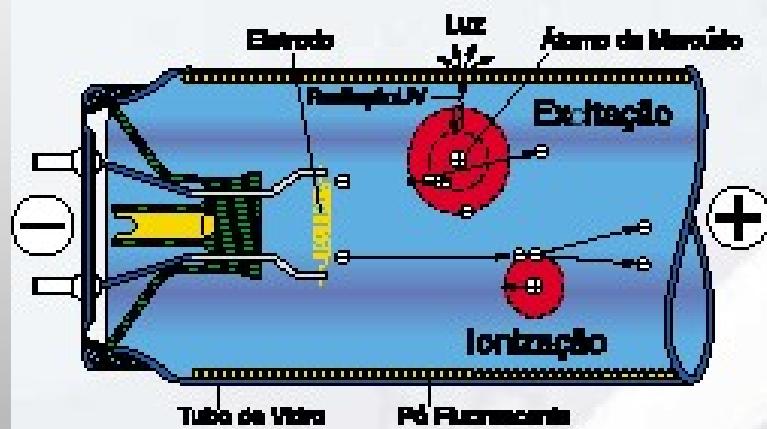


Tecnologias de iluminação

□ Lâmpadas de descarga: princípio de funcionamento



Tecnologias de iluminação



□ Lâmpadas fluorescentes

- Lâmpadas de descarga de vapor de mercúrio em baixa pressão;
- A passagem de corrente eléctrica gera uma radiação ultravioleta. A camada foto luminescente que reveste a superfície interna do tubo converte a radiação UV em luz visível;
- É da interacção com a película foto fosforescente que resultam as mais diferentes alternativas de cor da luz, sendo esta composição que determina a quantidade de luz, bem como a eficiência na reprodução de cor (IRC)

Tecnologias de iluminação

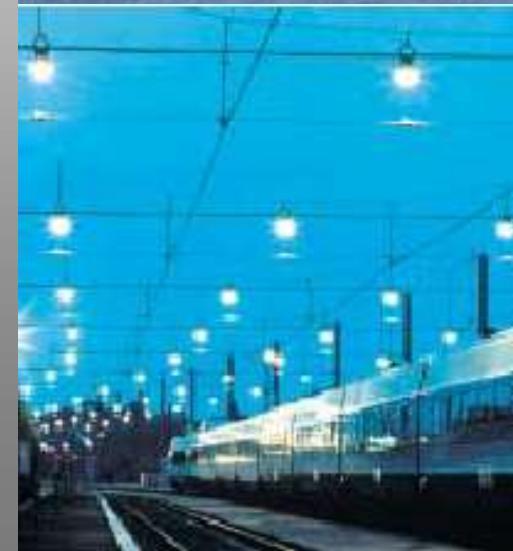
□ Lâmpadas fluorescentes compactas

- O mesmo princípio de funcionamento das lâmpadas fluorescentes, embora com o tamanho mais reduzido.
- Vantagens face às incandescentes convencionais:
 - Consumo de energia pode ser diminuído em 80%;
 - Durabilidade até 15 vezes superior, reduzindo custos inerentes à manutenção;
 - Design moderno e compacto;
 - Menor dissipação térmica, proporcionando maior conforto e menor necessidades energéticas associadas à climatização.



Tecnologias de iluminação

- Lâmpadas de descarga de alta pressão (VMAP, Iodetos metálicos, VSAP)
 - Uma descarga elétrica entre os elétrodos faz com que o gás de enchimento ou vapor ionizado do tubo de descarga emita luz.
 - Aplicações:
 - Iluminação pública e industrial



Tecnologias de iluminação

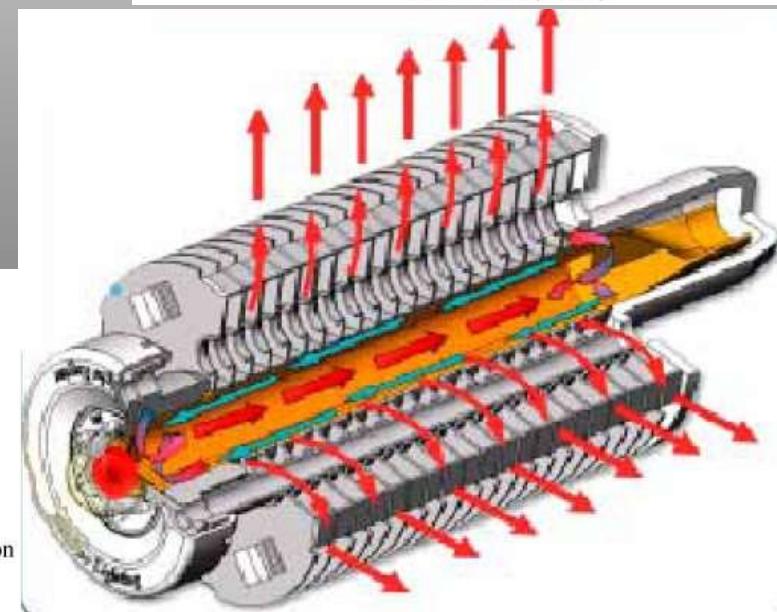
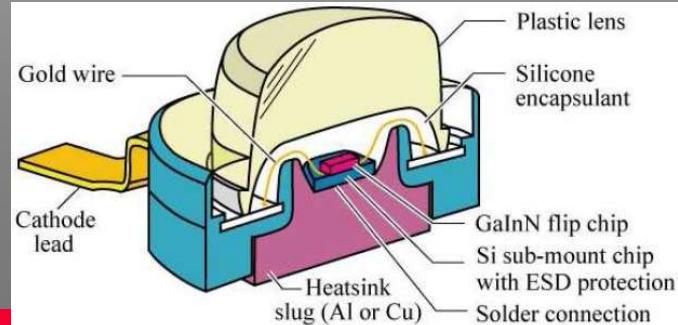
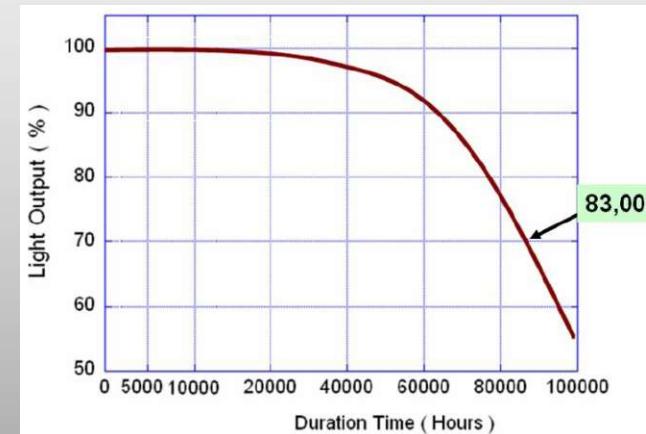
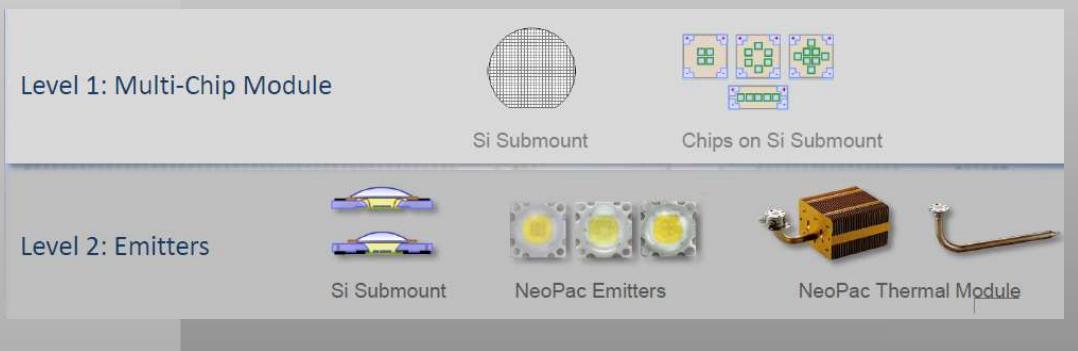
- *Light Emitting Diode:*
 - Junção P-N construída por intermédio da dopagem do silício (Arsénio, Gálio, Índio e Fósforo);
 - Numa junção P-N típica a maior parte da energia é **libertada sob a forma de calor**. A adição de arsénio, gálio e fósforo permite, no entanto, que a energia se liberte sob a forma de luz
 - A cor depende da concentração das impurezas de dopagem:
 - Gálio: infra-vermelho
 - Indium Gallium Nitride (compósito misto de Nitrito de Gálio e Índio): Azul
 - Indium Gallium Nitride + **Fósforo**: LED branco

Tecnologias de iluminação

❑ Dificuldade:

- ❑ Estabilidade térmica da junção (< 60°C):

❑ Desenvolvimento:



Tecnologias de iluminação

Dificuldade:

- Estabilidade térmica da junção (< 60°C):

Desenvolvimento:

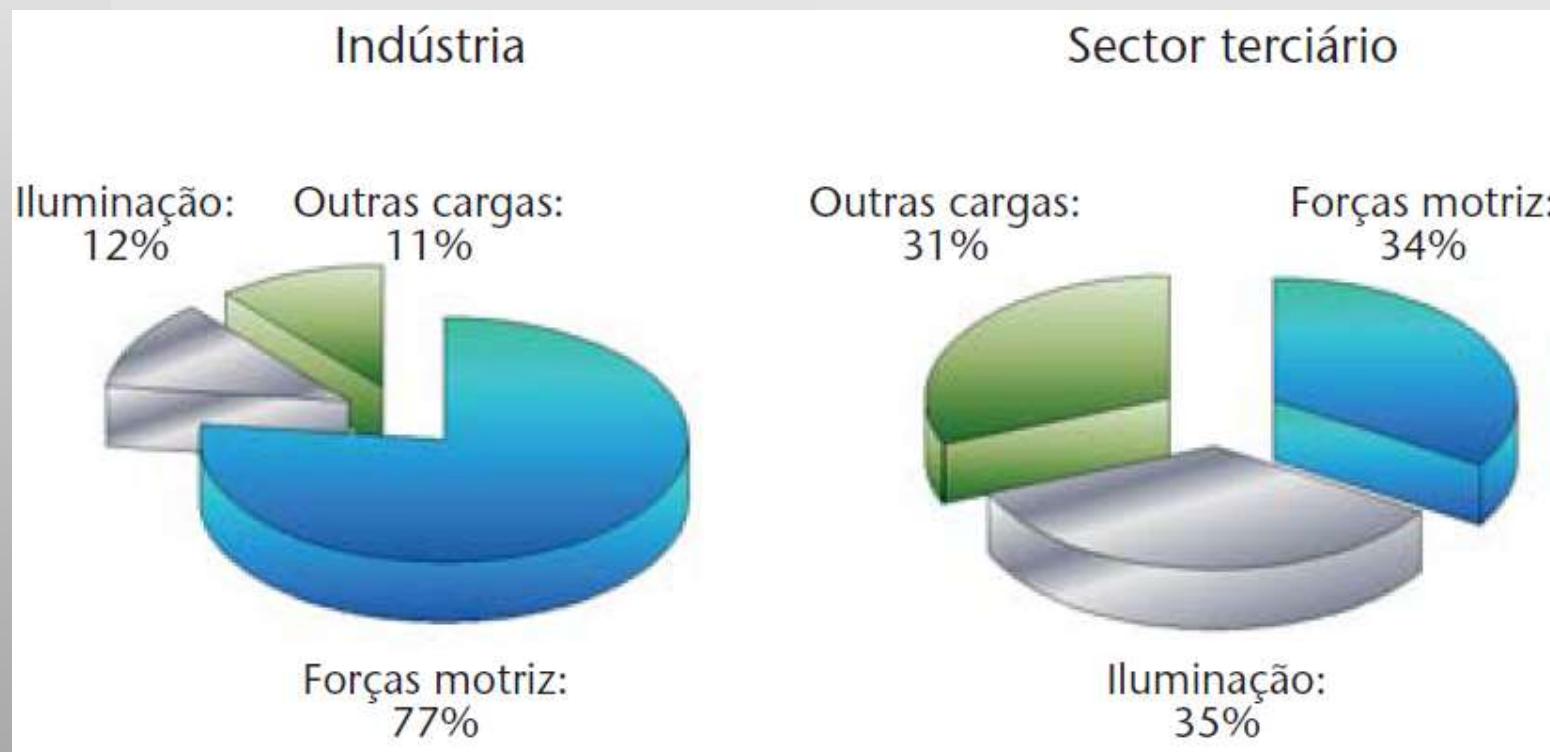


Tecnologias de iluminação

□ Conclusão:

- A tecnologia Led apresenta hoje rendimentos > 100 lm/W;
- O IRC deste tipo de tecnologia é hoje > 80;
- Apesar de no passado a temperatura de cor ter estado segmentada em dois grandes grupos:
 - *Warm white*: 2700 a 3700 °K;
 - *White*: 4500 a 7000 °K.
- É hoje possível obter Led's com diferentes tonalidades de cor (tanto fixa, como variável), com fluxo luminoso variável, entre outras funcionalidades, tais como, o RGB

Enquadramento energético



Enquadramento energético

$$E = \int P \cdot dt$$

$$\rightarrow E = \int p(t) \cdot dt$$

$$\rightarrow E = P \int dt$$



ORC's na iluminação

- Utilização de Luz natural
 - Técnicas passivas de aproveitamento da luz solar;
 - Orientação das fachadas – adequada área de fenestração;
 - Aproveitamento de entradas de luz (clarabóias, poços de luz);
 - Superfície de incidência da luz natural (pintura com cores claras, limpeza e manutenção)
- Eliminação de consumos supérfluos
 - Sensibilização dos utilizadores;
 - Utilização de controlo horário programável;
 - Sistemas de controlo que regulem o fluxo luminoso face à utilização da área iluminada;

ORC's na iluminação



ORC's na iluminação

- Utilização de adequados níveis de iluminação (DIN 5035)
 - Eventual substituição de lâmpadas por outras de potência inferior;
 - Remoção de alguns pontos de luz.

Tipo de actividade	níveis recomendados (lux)
Escritórios	
. Sala de trabalho	500
. Arquivos	200
. Salas de desenho	750
Indústrias	
. Fabricação em geral	300
. Depósitos	50
. Inspecção comum	500
. Inspecção delicada	750
. Empacotamento/Encaixotamento	200
. Montagem simples	200
. Montagem delicada	1 500

ORC's na iluminação

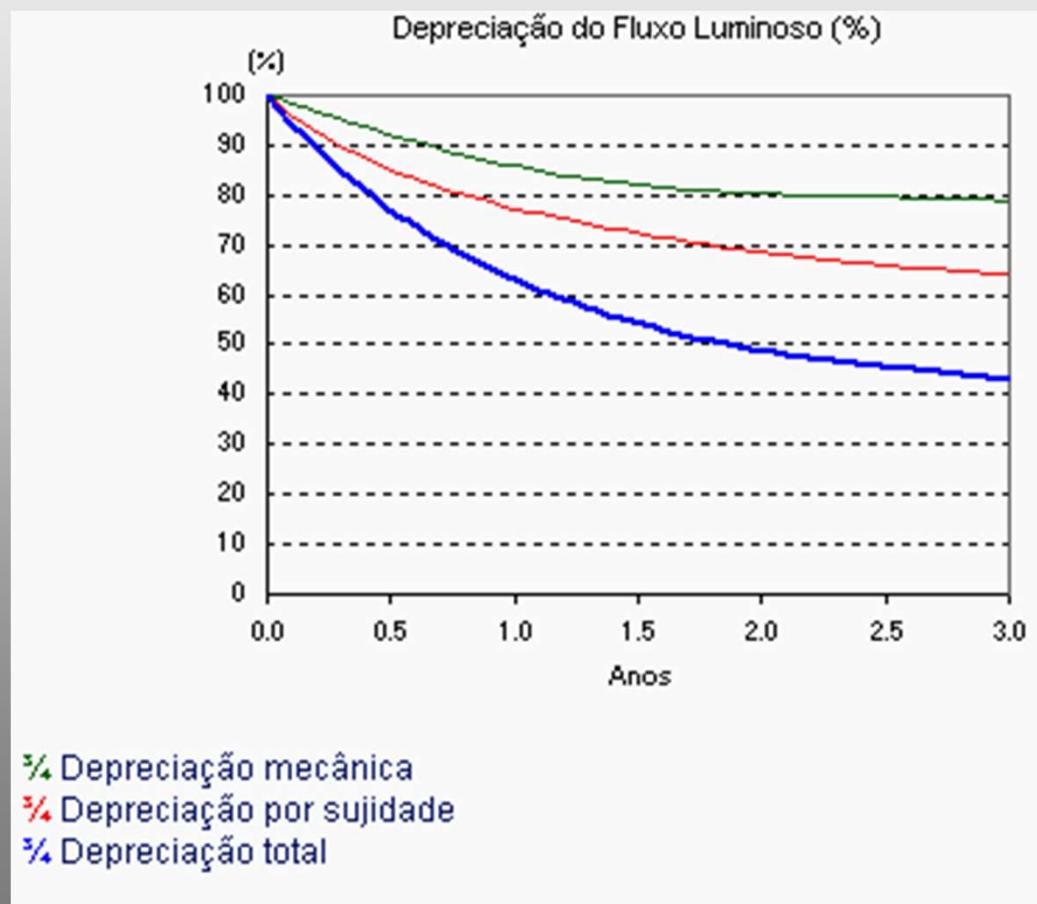
□ Utilização de Luz localizada

- Manter iluminado uniformemente um determinado espaço de trabalho pode corresponder a um desperdício relativamente à alternativa de iluminação local de cada posto de trabalho
 - *Trade-off conforto vs eficiência !!!*

□ Manutenção adequada

- Acumulação de pó e humidades => diminui os níveis de emissão das lâmpadas e prejudica o coeficiente de reflexão das luminárias.
- Após determinado nº de horas de funcionamento a eficiência da lâmpada (lm/W) tende a diminuir

ORC's na iluminação



ORC's na iluminação

- **Implementação de um plano de manutenção dos sistemas de iluminação**
 - Limpezas regulares das lâmpadas, refletores e luminárias;
 - Substituição massiva programada de lâmpadas (com custos previsíveis e bem determinados);
- **Melhoria dos coeficientes de reflexão**
 - A utilização de materiais com adequados coeficientes de reflexão evita a absorção excessiva de luz pelos revestimentos interiores dos espaços a iluminar;
 - A elevada eficiência que se pode assim obter pode, no entanto, comprometer o conforto psicológico e a componente estética.

ORC's na iluminação

Coeficientes de reflexão de alguns materiais e cores

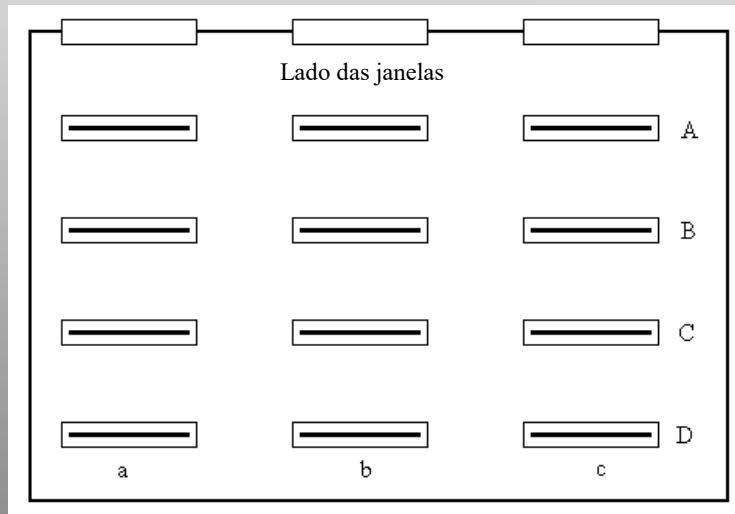
Materiais	%
Rocha	60
Tijolos	5..25
Cimento	15..40
Madeira clara	40
Esmalte branco	65..75
Vidro transparente	6..8
Madeira aglomerada	50..60
Azulejos brancos	60..75
Madeira escura	15..20
Gesso	80

Cores	%
Branco	70..80
Creme claro	70..80
Amarelo claro	55..65
Rosa	45..50
Verde claro	45..50
Azul celeste	40..45
Cinza claro	40..45
Bege	25..35
Amarelo escuro	25..35
Marrom claro	25..35
Verde oliva	25..35
Laranja	20..25
Vermelho	20..35
Cinza médio	20..35
Verde escuro	10..15
Azul escuro	10..15
Vermelho escuro	10..15
Cinza escuro	10..15
Azul marinho	5..10
Preto	5..10

ORC's na iluminação

- ❑ Segregação adequada de circuitos

- ❑ Adequado fraccionamento dos circuitos de iluminação



Forma mais vantajosa
de fraccionamento
segundo:

A/A/A ; B/B/B;...

- ❑ Sistemas de controlo automático:
 - ❑ Células fotoelétricas
 - ❑ Ciclos horários
 - ❑ ...

ORC's na iluminação

- Utilização de tecnologias mais eficientes

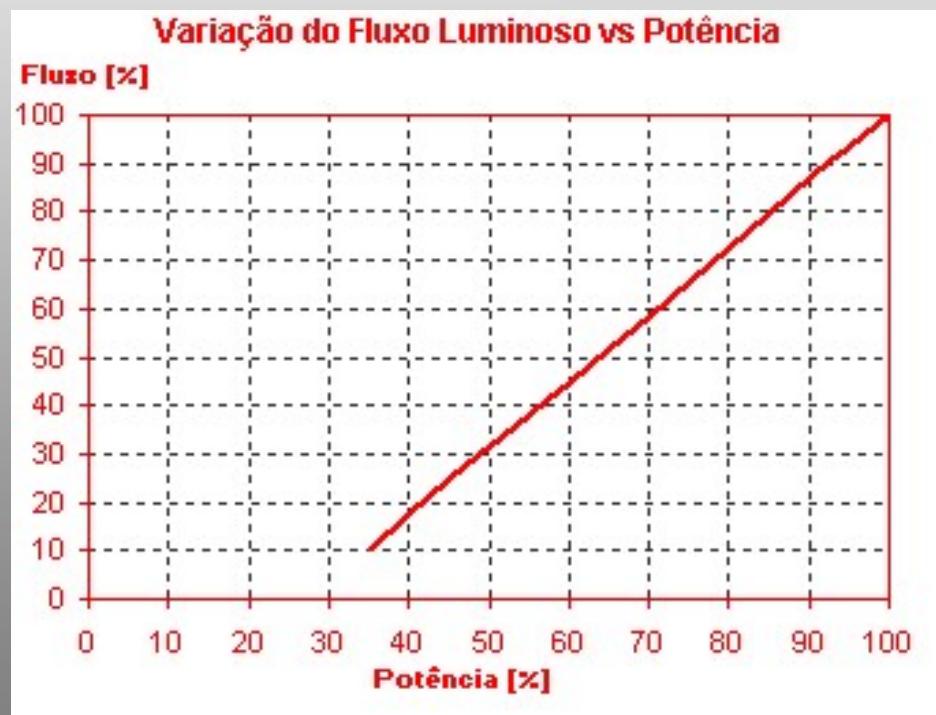
Tipo de Lâmpada	Potência W	Eficiência luminosa Lumen/Watt	Tempo médio de vida (horas)
Incandescentes:			
- Standard	40 a 1 000	10 a 20	1 000
- Halogéneo	150 a 2 000	21 a 25	2 000
Fluorescentes Tubulares	6 a 65	50 a 95	7 000
Fluorescentes Compactas:			
- Integrais	9 a 25	36 a 50	8 000
- Modulares	5 a 16	60 a 80	
Mercúrio de Alta Pressão	50 a 1000	40 a 60	8 000
Iodetos Metálicos	400 a 2 000	80 a 90	4 000 a 6 000
Vapor de Sódio:			
- Baixa pressão L.P.S.	18 a 180	100 a 200	6 000
- Alta Pressão H.P.S.	50 a 1 000	70 a 125	6 000

ORC's na iluminação

- Balastros convencionais com elevadas perdas no cobre e no ferro => elevados consumos de energia
- Balastros de baixo consumo e perdas reduzidas (melhorias construtivas)
- Balastros eletrónicos (de elevada frequência)
 - Frequência elevada (>20 kHz) => aumento da longevidade e duração das lâmpadas;
 - Consumos energéticos mais moderados (cerca de 20% menos);
 - Controlo do fluxo luminoso – *dimming* – manual ou automático
 - Analógico (1-10V / 0-20 mA)
 - Digital

ORC's na iluminação

☐ Regulação do Fluxo Luminoso



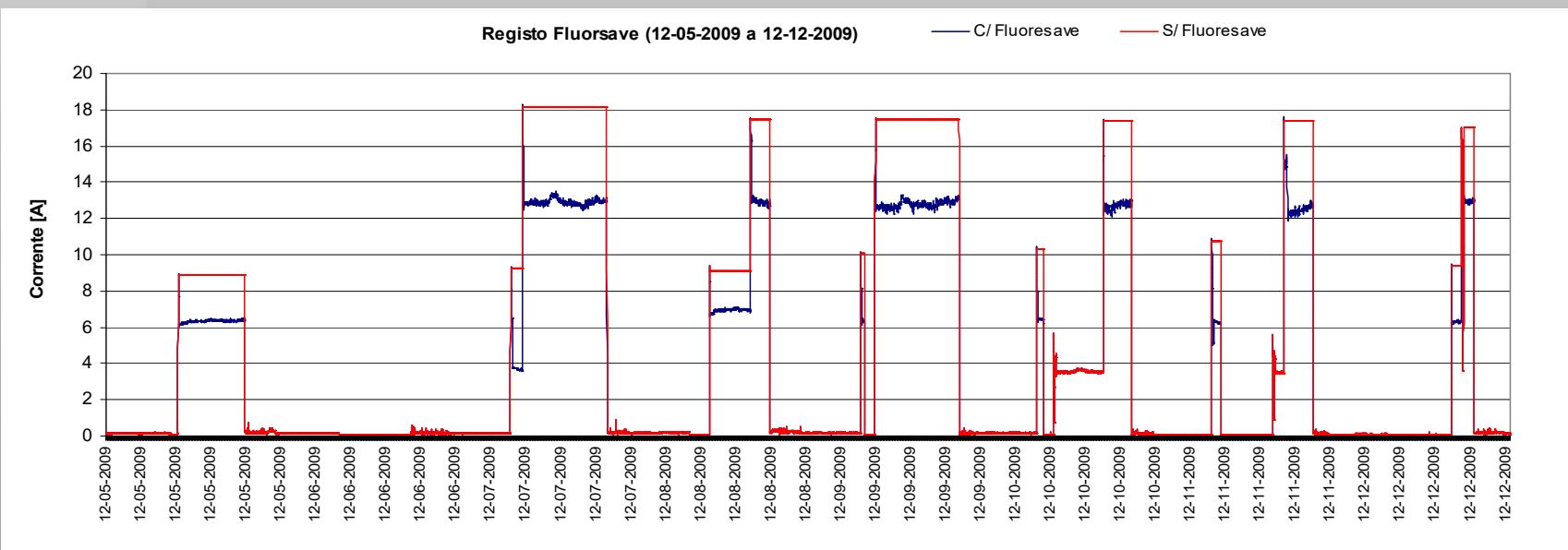
ORC's na iluminação

□ Reguladores de tensão (em desuso)

- Numa qualquer lâmpada de descarga decorrido o período de arranque a tensão de operação poderá ser reduzida sem que a lâmpada se apague (dependendo do estado da lâmpada e das condições de rede)
- Sendo, na sua essência, uma resistência não linear, o gás de descarga apresenta um maior valor resistivo à passagem de corrente eléctrica => para uma redução de x% de tensão a corrente é reduzida em $k*x\%$ ($k>=1$) => poupança energética considerável

ORC's na iluminação

□ Reguladores de tensão (aplicação real)



ORC's na iluminação

□ Vantagens

- Poupanças energéticas compreendidas entre os 20 e os 50%
- Reduzidos custos de instalação
- Efeito positivo sobre a duração de vida útil da lâmpada
- Ampla gama de aplicações

□ Desvantagens

- Leve depreciação do fluxo luminoso da lâmpada
- Dependência do estado da rede elétrica e da lâmpada

ORC's na iluminação

□ Outras soluções tecnológicas

Soluções de Controlo da Iluminação	Poupanças Potenciais	Consumo anual (kWh/m ²)
Interruptor Manual	base de análise	20,0
Interruptor horário programável	10%	18,0
Detector presença	20%	16,0
Dimmers c/ detecção de luminosidade	29%	14,2
Detector de luminosidade e detecção de presença	43%	11,4

□ Outras soluções (não tecnológicas):

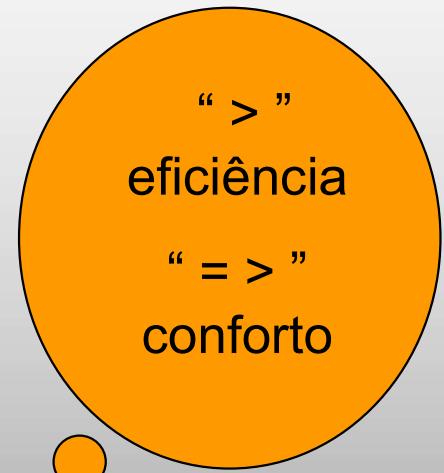
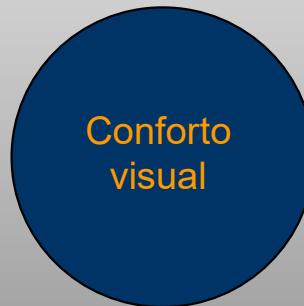
□ A Engenharia!

ORC's na iluminação

- A engenharia ... em que consiste
 - Adequação dos níveis de iluminação às necessidades (DIN 5035)
 - Privilégio à iluminação de tarefa
 - Análise cuidada das uniformidades
 - Uso adequado e racional de todas as tecnologias existentes
 - Ao nível da iluminação
 - Ao nível do controlo
 - Ao nível das características da luz
 - *Algum engenho!*

ORC's na iluminação

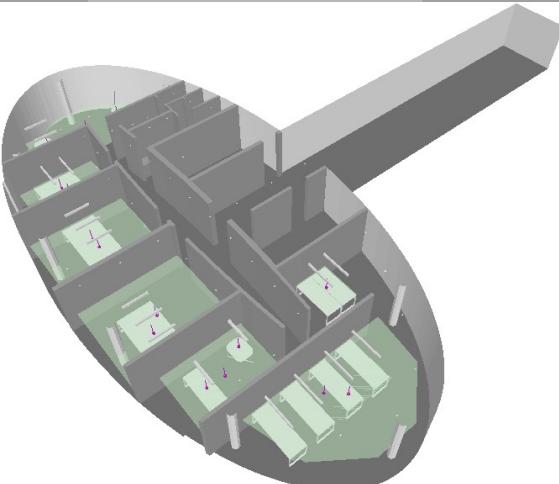
□ em suma ...



ORC's na iluminação

□ Alguns resultados

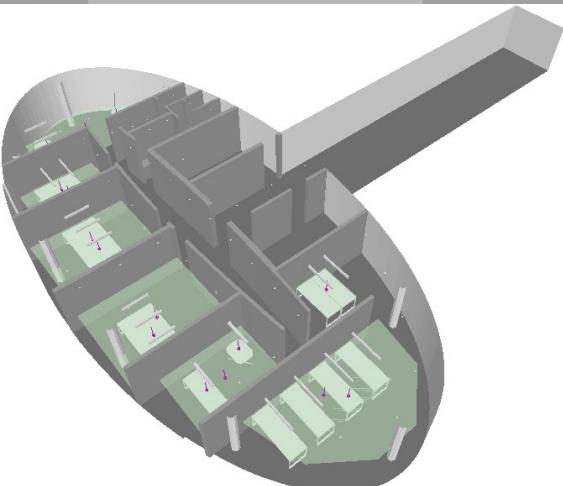
Espaço	Existente [W/m²]	Proposto [W/m²]	ΔW [%]	ΔC [€/ano]
Átrio	7.31	4.63	36.6	127,1
WC	11.7	1.43	87,7	70.8
Arq.	16.5	14.4	12.5	36.54
Gab.	13.6	12.73	6.4	76.32
Circ.	6.77	1.79	73.6	26.53



ORC's na iluminação

□ Alguns resultados

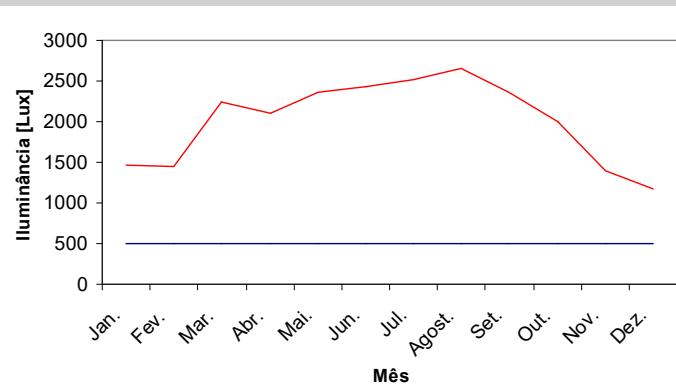
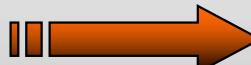
Espaço	Existente [W/m ²]	Proposto [W/m ²]	ΔW [%]	ΔC [€/ano]
Átrio do auditório	7,31	4,63	36,6	208.59
Circ.	6.77	1.79	73.6	



ORC's na iluminação

□ A luz natural

Potenciar a radiação difusa



Regulação automática de fluxo ... sempre e quando faça sentido

Aplicação de filtros UV

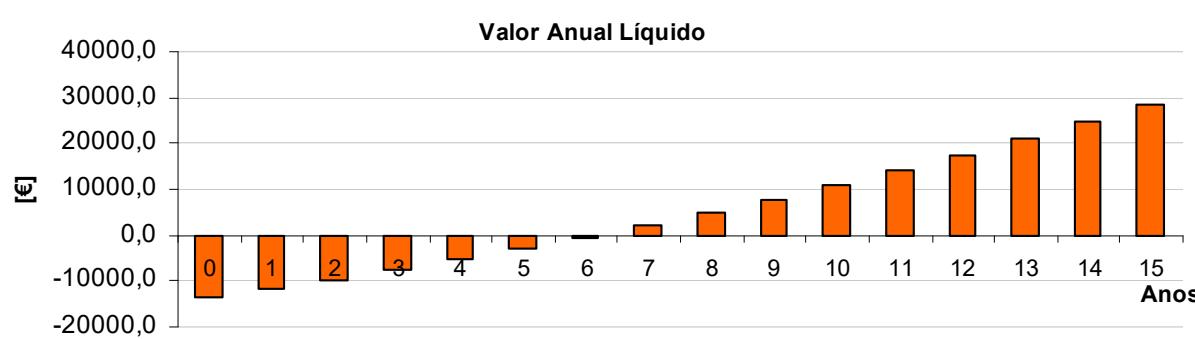


ORC's na iluminação

Índice de satisfação:



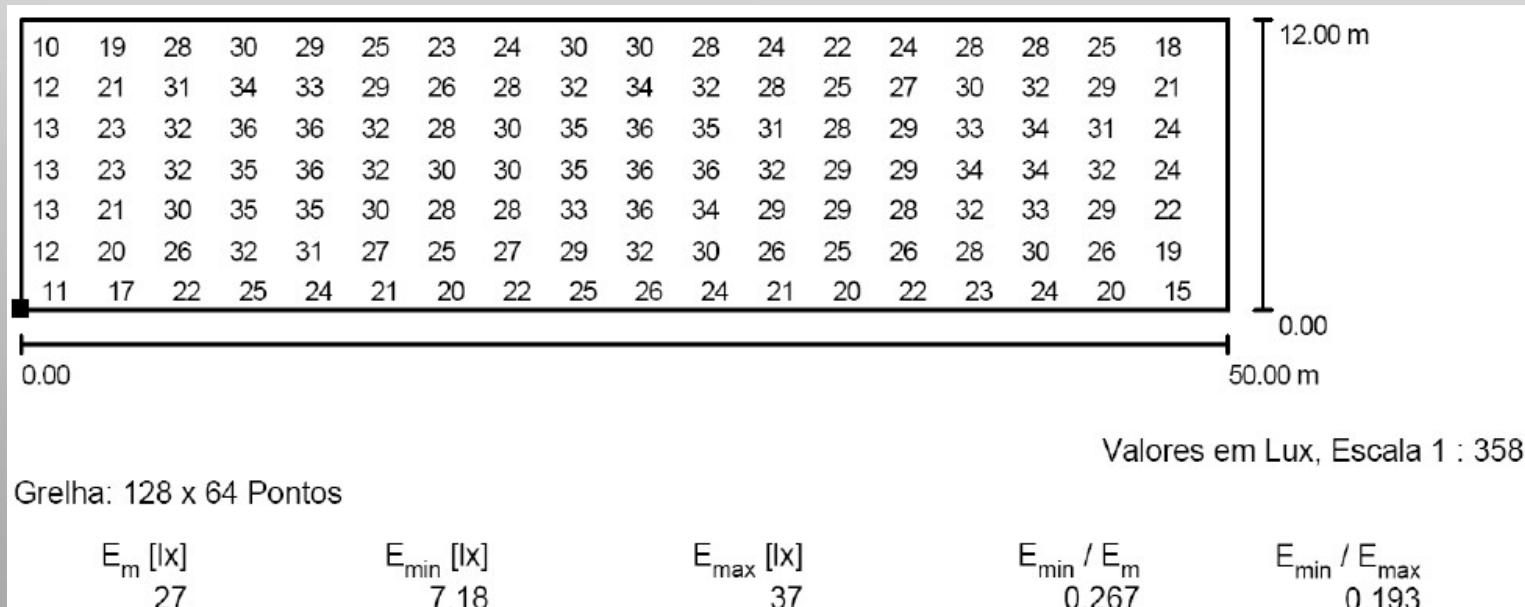
Índice de satisfação:



ORC's na iluminação

índice de satisfação:

- Iluminação pública ... um exemplo ...
- Níveis de iluminação propostos (*50% do existente !*)



ORC's na iluminação

Índice de satisfação:



- Iluminação Pública ... um exemplo ...
 - Redução de 30 e 40% de potência instalada
 - Redução de 39 e 52% de custos de O&M



ORC's na iluminação

□ Portaria 138-I/2021 (requisitos mínimos de desempenho energético)

Tipo de espaço	DPI100 _{x max} [(W/m ²)/100 lux]
Escritórios com mais de 6 pessoas, salas de desenho	1,3
Escritório individual 1-6 pessoas	1,5
Salas de reuniões, salas de conferências, auditórios	1,5
Show room e salas de exposição, museus	1,5
Salas de congressos/ Hall de exibições	1,5
Salas de aula, salas de leitura, bibliotecas, salas de trabalho de apoio	1,5
Laboratórios, salas de exames/tratamento ⁽¹⁾ , blocos operatórios ⁽¹⁾	1,5
Salas de pré e pós-operatório	2,1
Cozinhas, armazéns, arquivos, polidesportivos/ginásios e similares	2,1
Cozinhas industriais e hoteleiras e armazéns de apoio	2,1
Salas técnicas, arrecadações e outros locais de armazenagem	2,1
Parques de estacionamento interiores	2,1
Ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes	2,1
Lojas de comércio e serviços, retalhistas em geral — zona de público, espaços fabris em geral	2,1
Hall/entradas, corredores, escadas, salas de espera, instalações sanitárias, enfermarias e quartos individuais de clínicas e hospitais ⁽²⁾ , salas de refeições (exceto restaurantes)	2,3

Densidade de potência instalada máxima por tipo de espaço, por cada 100 lux

ORC's na iluminação

- No projeto de iluminação devem ainda ser considerados equipamentos de controlo e regulação de fluxo eficientes, instalados para funcionamento em modo autónomo/individual ou interligados em rede para efeitos de gestão de iluminação centralizada ...
- ... a iluminância dos espaços deve cumprir com os valores previstos nas normas referidas, não podendo exceder bem mais de 30% ...
- ... A verificação dos níveis de iluminação dever ser realizada através de estudo luminotécnico com recurso a software ... este deve ser passível de utilização em relação a qualquer marca e produto, aparelho ou serviço de iluminação

ORC's na iluminação

- No que reporta aos mecanismos de controlo, esta mesma Portaria estabelece:
 - Os sistemas de iluminação fixos devem recorrer à segregação dos circuitos elétricos de potência, nomeadamente:
 - Utilização de circuitos independentes por cada zona funcional;
 - Adoção de circuito elétrico independente que alimente as luminárias junto às janelas;
 - Adoção de circuitos elétricos independentes por filas de luminárias, paralelas ou alternadas entre si;
 - Adoção de circuitos independentes para as luminárias das circulações
 - No caso de sistemas com balastros endereçáveis dispensa-se a verificação das condições anteriores;
 - Os sistemas de controlo de controlo a instalar devem funcionar em protocolo aberto, ou possuir interfaces que lhes permita comunicar abertamente com outros sistemas, de forma a serem integrados nos sistemas de automação e controlo dos edifícios, sempre que aplicável, tornando possível a gestão centralizada da instalação com vista à obtenção do nível máximo de eficiência energética e funcionalidade operacional da instalação

ORC's na iluminação

Funções mínimas a adotar em sistemas de iluminação a instalar em edifícios de comércio e serviços

Tipo de espaço	Regulação constante de luminosidade ⁽¹⁾	Deteção de presença ⁽²⁾	Deteção de movimento ⁽²⁾	Comando manual ⁽³⁾	Controlo horário ⁽⁴⁾
Escritório individual 1-6 pessoas	X	X		X	
Escritórios com mais de 6 pessoas, salas de desenho	X	X			
Salas de reuniões, salas de conferências, auditórios	X	X		X	
Show room e salas de exposição, museus					X
Salas de Congressos/ Hall de exibições	X			X	
Salas de aula, salas de leitura, bibliotecas, salas de trabalho de apoio	X	X		X	
Laboratórios, salas de exames/tratamento, blocos operatórios.....				X	X
Salas de pré e pós-operatório				X	
Cozinhas, armazéns, arquivos, polidesportivos/ginásios e similares			X		X
Cozinhas industriais e hoteleiras e armazéns de apoio...			X		X
Salas técnicas, arrecadações e outros locais de armazenagem.....			X		
Parques de estacionamento interiores			X	X	
Ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes			X		X
Lojas de comércio e serviços, retalhistas em geral — zona de público, espaços fabris em geral	X				
Hall/entradas, corredores, escadas, salas de espera, instalações sanitárias, enfermarias e quartos individuais de clínicas e hospitais, salas de refeições (exceto restaurantes)	X	X		X	

+ Questões ?