

Ótica Aplicada para Fotografia Digital

Ética

Exemplos do código de ética:

- Roubo de imagem
- Plágio de fotografia
- Manipulação de imagem

Perspetiva

A perspetiva é a arte que se dedica à representação de objectos tridimensionais numa superfície bidimensional (isto é, plana) com o objetivo de recriar a posição relativa e a profundidade desses objetos. A finalidade da perspetiva é, por conseguinte, reproduzir a forma e a disposição segundo a qual os objetos se apresentam ao olho do observador.

- Ponto de vista

Depende apenas da localização da câmara fotográfica, mais precisamente da pupila de entrada da lente.

Não depende de usarmos uma grande angular ou uma teleobjetiva (teleobjetiva = comprimem a perspetiva)

- Distorção de perspetiva

Não confundir com distorção geométrica.

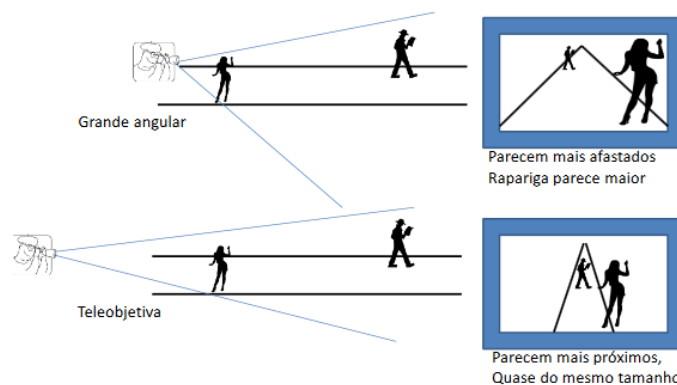
Exemplo da pintura de rua .

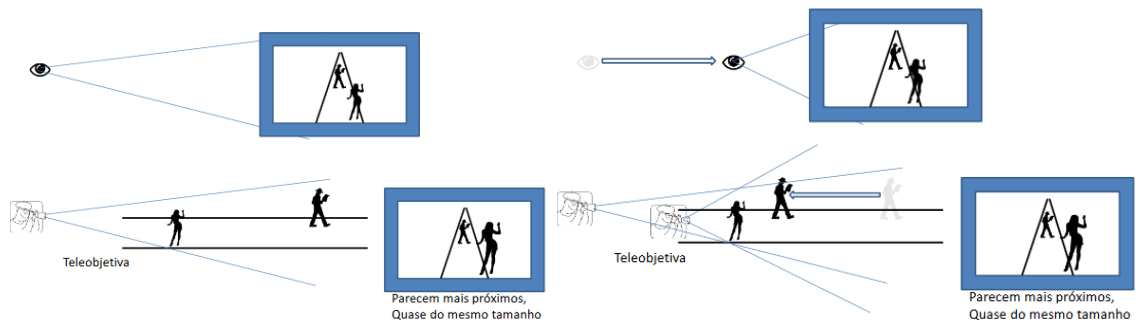
Resulta do olho não ver os objetos com o mesmo ângulo que a câmara fotográfica.

Injustamente atribuído a teleobjetivas e grande angulares.

Ângulo maior => objetos parecem mais próximos.

Ângulo menor (grandes ângulos) => objetos parecem mais distantes e deformados na periferia da foto.





- Distorção de perspectiva (“cantos”)

- Faces / planos paralelos ao sensor mantêm as dimensões.
- Profundidades são exageradas nos bordos da foto.
- Se a foto for vista de onde está a câmara não se vê distorção.

- Distorção geométrica

- Não confundir com distorção de perspectiva.
- É uma deformação da imagem em que retas na cena fotografada não são preservadas na foto (com eventuais exceções).
- Dois tipos comuns: Barril e almofada.

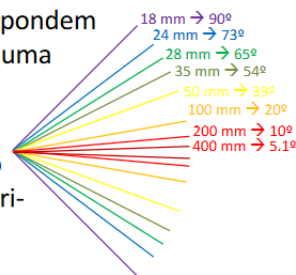
Fisheye (lente olho de peixe): notam-se curvas nas retas que não passam pelo centro.

Mesma foto corrigida por software: as retas voltam a ser retas.

- **Linhas de fuga:** são retas paralelas que convergem no mesmo ponto de fuga. Cada família de retas paralelas distinta tem um ponto de fuga distinto.

Ângulos de visão populares

- As distâncias correspondem à distância focal de uma lente para sensores FF (full-frame)
- Os ângulos de visão correspondem à horizontal



Exposição

- Definição

- Exposição é a luz captada (por unidade de área), isto é, a quantidade de luz que incide no sensor.
- Este conceito é crucial em fotografia porque é o parâmetro mais importante que influencia a qualidade da fotografia em termos de ruído, cor e gama dinâmica.
- O termo é, infelizmente, muito usado com outros significados (os cursores de “exposição” no Lightroom/etc., a inclusão do ISO como fazendo parte da exposição, etc.).

- Três fatores que afetam a luz captada

- O primeiro fator é a luminância da coisa: quanto mais iluminada estiver maior a quantidade de luz captada, outros fatores constantes.
- O segundo fator é o tempo durante o qual captamos luz: quanto mais tempo, maior a quantidade de luz captada (supondo luz contínua, flash é diferente).
- O terceiro fator está relacionado com o tamanho (área) do “buraco” (pupila de entrada) por onde entra a luz e com o ângulo de visão.

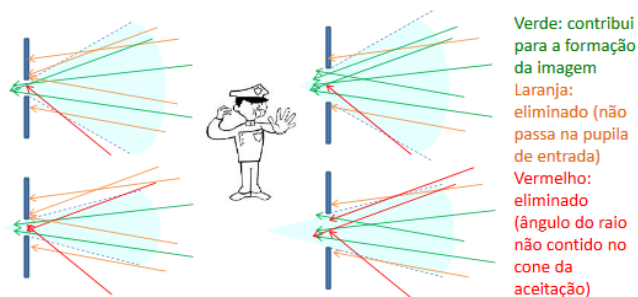
- Escala dos tempos de exposição

- A tabela à direita representa os valores principais para o tempo de exposição; Notem que ao passar de um linha para a seguinte o tempo é reduzido para metade e, quando se sobe uma linha, o tempo é duplicado.
- É frequente as máquinas fotográficas indicarem saltos menores, tipicamente são necessários três (ou dois) saltos para o tempo de exposição se reduzir para metade ou duplicar.

30"
15"
8"
4"
2"
1"
1/2
1/4
1/8
1/15
1/30
1/60
1/125
1/250
1/500
1/1000
1/2000
1/4000
1/8000

Abertura e ângulo de visão

- A quantidade de luz captada depende da abertura e do ângulo de visão



- f-número e abertura

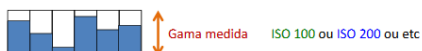
- Para um dado sensor, o ângulo de visão depende da distância focal da lente, f .
 - A quantidade de luz captada é proporcional à razão entre a distância focal e a abertura, chamado f-número.
 - A tabela à direita mostra os valores típicos do f-número
- Exemplo de gama de valores: $f/1.4$, $f/1.6$, $f/1.8$, $f/2.0$, $f/2.2$, $f/2.5$, $f/2.8$, $f/3.2$, $f/3.5$, $f/4.0$, $f/4.5$, $f/5.0$, $f/5.6$, $f/6.3$, $f/7.1$, $f/8.0$, $f/9.0$, $f/10$, $f/11$, $f/13$, $f/14$, $f/16$, $f/18$, $f/20$, $f/22$.
- $d1 = f/1.4 = 36 \text{ mm}$; $d2 = f/2.8 = 18 \text{ mm}$; $d3 = f/5.6 = 9 \text{ mm}$;
 $d4 = f/11 = 4.5 \text{ mm}$; $d5 = f/22 = 2.3 \text{ mm}$.

- ISO

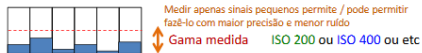
- “ISO” é uma norma que relaciona a luminância da cena com a claridade da imagem final.
- Em geral, nas câmaras fotográficas digitais, é definida em relação ao ficheiro jpeg criado na câmara, não ao ficheiro RAW.
- A exposição, sendo a quantidade de luz que chega ao sensor por unidade de área, é fixa no momento em que se capta a fotografia e não depende do tratamento eletrónico e digital posterior que acontece quer na câmara fotográfica quer no processamento posterior da foto.
- Assim, a exposição depende do tempo de exposição e da abertura para além da iluminação da cena, mas NÃO do ISO.

Sensor – captação de luz

- O sensor converte os fótons da luz incidente em eletrões que armazena em cada pixel



- Se o sensor receber menos luz, o número de eletrões armazenados é menor



- Neste caso é possível medir apenas valores mais pequenos. Acima do máximo a leitura satura no valor máximo: diz-se que a foto fica “queimada”

1.

ISO – captação de luz

(definição baseada na saturação do sensor)

- Mede a velocidade a que o sensor enche até 12.8 % quando se fotografa uma superfície mate que reflete 12.8 % de uma iluminação padrão nela incidente



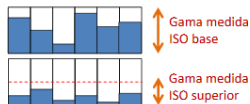
- Se a superfície refletir 100% (superfície branca), o sensor encherá completamente
- Em geral usam-se padrões que refletem 18 %. Esse facto dá alguma folga pois o sensor só saturará se a superfície “refletir” 141 % da luz incidente

2.

ISO – captação de luz

(definição baseada na saturação do sensor)

- Se a leitura do sensor for configurada para ler apenas quantidades mais pequenas de eletrões, a velocidade a que o sensor “enche” será maior, tal como o ISO



- No exemplo gráfico de baixo o ISO é o dobro do de cima porque demora metade do tempo (é duas vezes mais rápido) encher só até metade da capacidade máxima

3.

ISO – Exemplos

- Se a luz captada for suficiente para “encher” o sensor usa-se o ISO de base



- Se a luz captada encher até metade, o ISO será o dobro do ISO base.

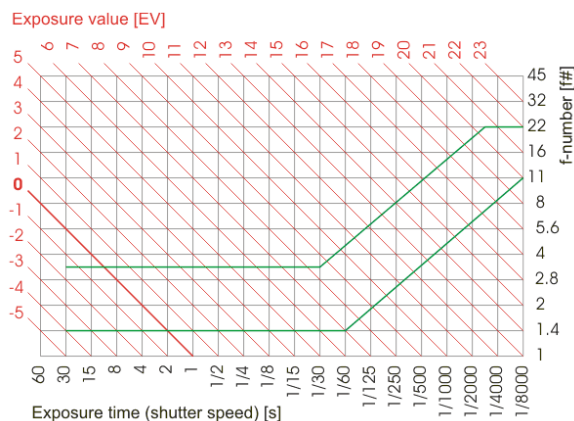
- Reparem que o ISO não tem nada a ver com a “sensibilidade” do sensor



4.

- Exposure Value

- É um parâmetro que caracteriza a capacidade do sistema para captar luz
- Também é usado para caracterizar a luminância de uma cena para um dado valor do ISO
- Somar 1 EV corresponde a duplicar a luz captada (= aumentar 1 stop)



Percepção e Composição

- **Ponto cego:** os nossos olhos têm pontos cegos, onde não vemos, mas o sistema visual “engana” o cérebro fazendo-o crer que vê.

- Visão a cores/cinza, dia/noite

- Três cones sensíveis no vermelho, verde e azul, responsáveis pela visão a cores. Exigem “bastante” luz.
- Bastonetes sensíveis no azul, visão a preto e branco. Mais sensíveis pelo que exigem menos luz.
- Adaptação pouca → muita luz é rápida. Adaptação inversa é lenta.
- Por isso, usa-se luz vermelha para ver sem prejudicar a adaptação dos bastonetes a pouca luz. Exemplo: um fotógrafo da via láctea tem de trabalhar no escuro (só bastonetes) e pretende manter a adaptação a pouca luz. Contudo precisa de luz para controlar a câmara e usa uma luz vermelha que é visível pelos cones vermelhos mas não detetada pelos bastonetes. Logo não afeta a adaptação à pouca luz.

- Processamento da imagem na retina

- O estímulo captado pelos cones e bastonetes não é enviado na totalidade ao cérebro.
- Há mecanismos na retina que “pré processam” a imagem e só enviam ao cérebro a parte que consideram relevante.

- Processamento da imagem no cérebro

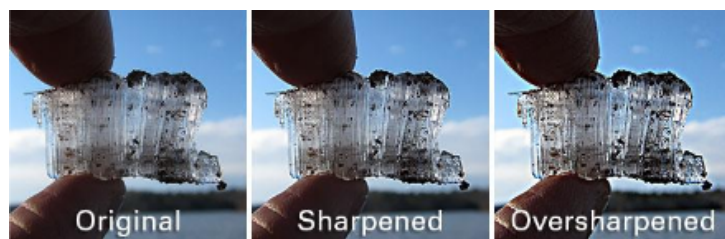
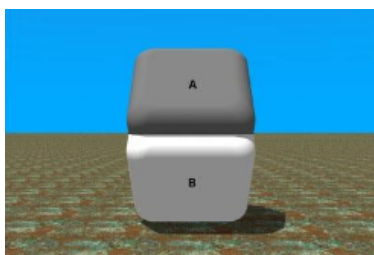
A informação que chega ao cérebro é dividida em zonas de processamento especializadas:

- Zona de processamento de cor
- Zona de processamento de gradientes (variação rápida de luminosidade)
- Zona de processamento de movimento
- Zona de processamento de faces (humanas, animais, ...)

- **Ilusões óticas:** são uma janela para perceber como o sistema visual vê o mundo.

- Percepção de luminosidade

- Para dar a ilusão de maior nitidez numa imagem criam-se linhas clara/escura ao longo dos bordos (contraste).
- Os objetos ficam com halos o que é um sinal de processamento exagerado.



- Percepção de cor

- Na imagem ao lado, os olhos são exatamente iguais, embora não pareçam
- O nosso sistema de visão supõe que a face esquerda foi iluminada com luz de cor diferente e compensa automaticamente a cor. No entanto o olho e apenas ele é igual, não iluminado com outra cor pelo que o nosso sistema visual vai compensar erradamente a cor do olho.

- Constância da “claridade”

“claridade” no sentido de mais claro ou menos escuro.

Em geral, vemos uma superfície branca como branca, uma cinzenta como cinzenta e uma preta como preta. Não importa se há luz do sol ou da lua cheia. Contudo, o sol ilumina algumas centenas de milhares de vezes mais do que a lua cheia. Tanto assim que uma folha preta ao sol pode refletir mais luz do que uma folha branca ao luar. Para a máquina fotográfica não é assim, o que pode levar a confusões.

- Constância da cor

- Uma folha branca parece-nos branca vista com luz “branca” (sol direto), azul (sombra; luz do céu sem nuvens), laranja (pôr do sol), etc.
- Uma banana parece ter sempre a cor de uma banana, etc. Porquê?
- Parte da resposta poderá dever-se ao pré processamento do sinal na retina.
- A sombra do gato deitado na neve é azul. O contexto neste caso não nos deixa ver a neve à sombra como branca.

- Constância do tamanho

Quando vemos um grupo de pessoas, elas parecem-nos todas (mais ou menos) do mesmo tamanho. Mas, dependendo da distância, o tamanho angular pode variar muito. Numa foto, objetos próximos ocupam grandes áreas e objetos longínquos pequenas áreas.

Se quisermos que objetos do mesmo tamanho real tenham o mesmo tamanho na foto, a máquina fotográfica deve estar (aproximadamente) à mesma distância de todos esses objetos. Se queremos que um objeto ocupe uma área maior da foto, devemos colocar a máquina fotográfica (rigorosamente a pupila de entrada da lente) mais próxima desse objeto.

- Percepção 3D

- Pode dever-se à visão estereoscópica (dois olhos com pontos de vista distintos) ou a uma série de outras pistas (objetos próximos tapam objetos longínquos, tamanho angular dos objetos, nível de detalhe que conseguimos distinguir, etc.)
- As fotos são bidimensionais. A percepção 3D pode dever-se a:
 - Objetos próximos tapam objetos longínquos
 - Objetos próximos ocupam uma área maior
 - Objetos próximos estão mais nítidos
 - Objetos próximos estão mais iluminados
 - Sombras (etc)

- Composição de fotos

- A composição de uma foto é a arte de distribuir os diversos elementos na imagem final. Deve ter em conta o tamanho, a forma, a cor, a nitidez, o brilho, o número de elementos, etc.
- O objetivo é criar uma composição esteticamente atrativa, que desperte o interesse em explorar visualmente a foto, que ajude a transmitir a ideia, história, mensagem, etc. que o fotógrafo pretende transmitir.
- O mesmo problema já condicionava os pintores da antiguidade pelo que é um tópico com uma longa história.

- Composição versus percepção

- A composição devia basear-se nos princípios da percepção. Contudo baseia-se mais em “regras” e “teorias” antigas. Como se se tratasse de astrologia.
- Tal como a astrologia vai buscar fundamentação à ciência, em particular à matemática.

- Controlo do olhar

- Um aspeto importante é controlar para onde o olhar do observador se dirige e em que ordem quando aprecia uma foto.
- Regra geral o olhar atraído primeiramente por:
 - Objetos que ocupam maior área na foto
 - Objetos mais brilhantes na foto
 - Objetos mais nítidos na foto
 - Caras; zonas para onde olhar dessas caras se dirige
 - Cores contrastantes

Movimento do olhar: linhas (implícitas ou explícitas); hierarquia de objetos, etc.; diagonais, triângulos, curvas, etc. ; simetria.

Exemplos:

1. Retrato com o fundo desfocado. O fundo desfocado ajuda a orientar o olhar para o sujeito retratado, tornando o retrato mais interessante.
2. Foto com vinheta: os bordos mais escuros que o centro ajudam a concentrar o olhar no centro da foto evitando que este vá explorar o que se passa fora da foto.
3. Uma pessoa num dos lados da foto “deve” olhar para dentro da foto. Isso ajuda a guiar o olhar do observador para explorar o resto da foto.

- Objetos que se tocam:pintores versus fotógrafos

Quando objetos se tocam numa foto (pássaros a voar, membros de animais ou pessoas, etc.), eles parecem ser um único objeto.

Por isso os fotógrafos evitam essas coincidências tal como os pintores.

Este fenómeno está na base do efeito das fotos de pessoas a segurar ou a deitar abaixo a torre de Pisa, etc.

Luz e Iluminação

- Os modelos da luz

Há três modelos habitualmente usados para explicar o comportamento da luz:

- O modelo da ótica física que explica todos os fenómenos de propagação da luz (fotografia: difração, etc.).
- O modelo da ótica quântica que explica a interação com a luz com a matéria (“pacotes” de ondas = fótons – a interação da luz com a matéria é quantificada) (fotografia: sensores, ruído).
- O modelo da ótica geométrica, o modelo mais simples mas o mais útil em fotografia.

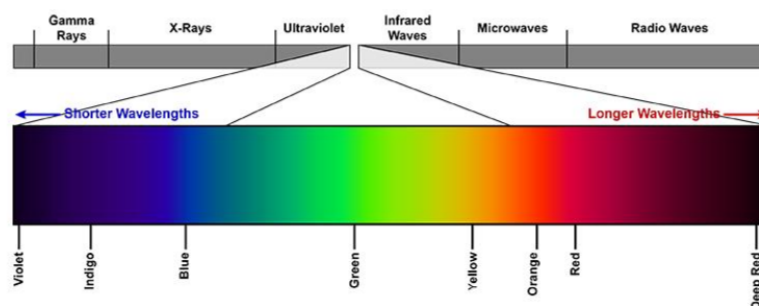
- Raios de luz

- A luz é um fenómeno ondulatório mas, para fotógrafos, é útil o modelo aproximado de raio de luz (modelo da ótica geométrica).
- A luz propaga-se em linha reta (meio homogéneo).
- Um conjunto de raios de luz formam um feixe de luz.
- Os raios de luz são invisíveis exceto se poeira, vapor, etc., desviar a luz deles para os nossos olhos / câmaras fotográfica.

- Propriedades da luz (raio de luz)

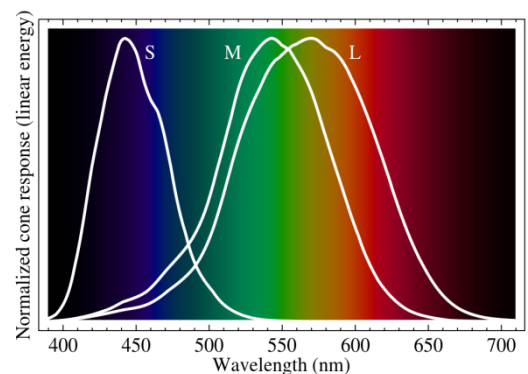
- Intensidade → mais ou menos luz.
- Espectro (comprimento de onda ou distribuição de comprimentos de onda) → cor.
- Polarização (não detetável pelos nossos olhos): inclui luz não polarizada, polarização linear e polarização circular. Esta última de interesse técnico. As duas anteriores são exploradas para obter efeitos fotográficos especiais.

- **Espectro electromagnético:** uma propriedade da luz varia continuamente e é caracterizada pela energia dos fótons ou comprimento de onda da radiação.



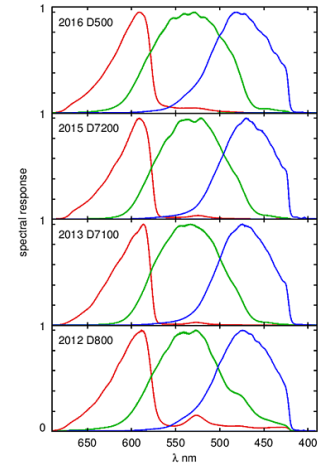
- Cor: percepção sensorial

- Três cones distintos nos nossos olhos permitem identificar os comprimentos de onda mais populares na luz que atinge os nossos olhos.
- O nosso sistema visual e cérebro atribuem uma cor a essa luz.
- A cor atribuída vai depender do contexto.
- Mesmo para fótons de um só comprimento de onda dois ou mesmo três cones são estimulados.



- Cor: sensor digital

- Filtros usados por algumas máquinas fotográficas da Nikon para gerar a cor.
- Notem que o espectro está invertido face ao do slide anterior.
- Notem ainda que os filtros variam de modelo para modelo de máquina fotográfica.

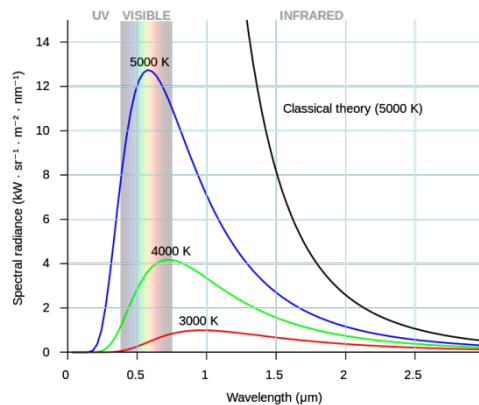


- Cor: processamento em fotografia

- Controlar a cor implica calibrar a máquina fotográfica e todos os dispositivos de visualização da imagem (ecrãs e impressoras).
- Frequentemente é também necessário controlar a iluminação do objeto a fotografar.

- Escala de cor: temperatura corpo negro

- Fontes térmicas de luz, como o Sol, uma lâmpada incandescente, uma vela ou uma fogueira, emitem um espectro próximo do de um corpo negro com a mesma temperatura.
- É um espectro contínuo e quanto maior a temperatura do corpo negro mais “fria” ou azulada é a luz; menor temperatura do corpo negro, mais “quente” ou avermelhada é a luz.
- Escala Kelvin de temperatura da cor.

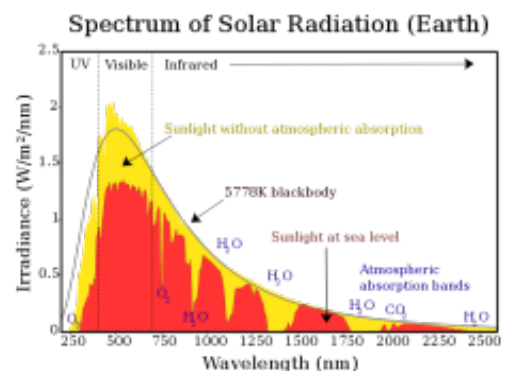


- Fontes de luz comuns

- Sol: emissão térmica, espectro contínuo.
- Tungsténio: emissão térmica, espectro contínuo.
- Fogo: emissão térmica, espectro contínuo.
- Flash: descarga, espectro contínuo.
- Lâmpadas fluorescentes: descarga, espectro discreto.
- LED: eletroluminescência, espectro discreto.

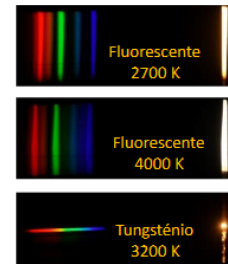
- Espectro da luz solar na Terra

- O espectro da luz solar direta aproxima-se bastante da de um corpo negro de 5500 K.
- É essencialmente contínuo na zona visível.
- Ao atravessara atmosfera o vermelho vai mais longe e o azul é mais dispersado.



- Espectros de lâmpadas

Os espectros foram obtidos improvisando uma rede de difração em frente à objetiva.

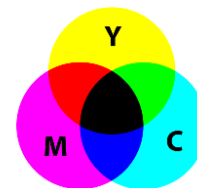
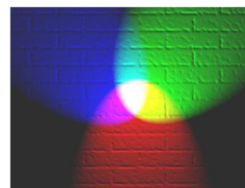


- Preferência por espectros contínuos

- As fontes de luz com espectros contínuos como o Sol, uma lâmpada incandescente ou até um flash são normalmente mais convenientes para fotografia.
- Fontes de luz com espectros descontínuos como é o caso das lâmpadas fluorescentes e de LEDs podem ser problemáticas e alterar a cor percebida dos objetos fotografados.

- Adicionar / subtrair cor

- Adição: somar luz de várias fontes
- Subtração: pigmento
- Subtrai-se cor quando luz é parcialmente absorvida ou desviada:
 - No caso de se misturarem pigmentos numa tinta, apenas a luz que não seja absorvida por nenhum dos pigmentos será refletida / transmitida.
 - Caso de se sobreporem filtros de transmissão.



- Iluminantes

- A cor (aparente) dos objetos varia com a cor da luz que os ilumina.
- Um objeto iluminado diretamente pelo sol a meio do dia aparenta determinada cor.
- O mesmo objeto numa zona à sombra, iluminado principalmente pela luz do céu azul, aparentará uma tonalidade azulada.
- O mesmo objeto iluminado à luz de uma vela aparentará uma tonalidade avermelhada.

- **Balanço de branco:** corrige a cor aparente dos objetos em função da cor da luz que os ilumina.

- Correção da cor

- Mostra o efeito que tem selecionar diferentes modos de balanço de branco:
 - Incandescent, luz amarelada, é corrigida reforçando o azul em falta.
 - Shade, luz vinda do céu azul, é corrigida reforçando o vermelho em falta.

- Filtros de correção de cor

- Baixar a temperatura da cor (tornar a luz mais alaranjada): CTO (color temperature orange).
- Aumentar a temperatura da cor (tornar a luz mais azulada): CTB (color temperature blue).
- Úteis especialmente quando se usam fontes de luz distintas (por exemplo, lâmpada incandescente e flash).

- Polarização

- A polarização é uma propriedade da luz que nós não vemos com os olhos.
- Contudo, vários fenómenos naturais alteram a polarização da luz e é possível alterar a imagem captada com fins técnicos ou artísticos variando a forma como se controla a

polarização.

- A polarização também tem uma série de consequências técnicas que devem ser controladas.

- **Polarizador linear**

- É um dispositivo que permite alterar o estado de polarização da luz que o atravessa. Isso é conseguido eliminando a vibração do campo elétrico numa direção.
- Apenas a luz vibrando na direção perpendicular às linhas condutoras do polarizador o atravessa.

- **Polarização do céu**

- A polarização do céu azul pode ser controlada com um polarizador.
- É importante que apenas uma região pequena do céu seja capturada, caso contrário o céu não fica com um padrão uniforme.

- **Combinação de polarizadores**

- A combinação de polarizadores lineares permite controlar / eliminar a luz transmitida.
- Esse efeito permite criar filtros neutros variáveis e também controlar a luz refletida em fotografia de produto.

- **Plástico sobre tensão**

- Este é um exemplo em que, colocando plástico entre dois polarizadores se obtém cores interessantes.
- Nem todos os plásticos funcionam igualmente bem.

- **Luz refletida especularmente**

A luz refletida especularmente (em superfícies de vidro, água, verniz, camada oleosa, etc.), é habitualmente polarizada, pelo menos parcialmente. Eliminá-la permite ver o fundo do lago, ter cores mais vivas na vegetação, etc.

- **Interação com objetos**

- É possível transformar luz polarizada linearmente em luz polarizada elítica ou circularmente.
- A polarização circular não tem tanto interesse para o fotógrafo, mas é usada tecnicamente em filtros polarizadores para lentes, em óculos 3D, etc.

- **Interação da luz com objectos**

- A luz que atinge um objeto pode:
 - voltar para trás → luz reflectida.
 - ser absorvida → luz absorvida.
 - ser transmitida → luz transmitida.
- A luz refletida/ transmitida pode:
 - seguir um ângulo especial → reflexão especular / transmissão especular
 - ir em todas as direcções → reflexão difusa / transmissão difusa
 - alterar a intensidade.
 - alterar o espectro (cor).
 - alterar a polarização.

- Reflexão especular (espelhos)

- O raio incidente é refletido numa direção precisa.
- O espelho toma a cor do objeto que reflete.
- As superfícies espelhadas devem ser iluminadas não fazendo incidir luz direta nelas mas iluminando as superfícies que elas refletirem.

- Difusor perfeito

- Um difusor perfeito é chamado lambertiano.
- A superfície deve aparentar o mesmo brilho vista de qualquer ângulo.

- Reflexão numa superfície envernizada

A luz incidente é reflectida de forma especular no cimo da camada de verniz e de forma difusa na madeira.

Neste caso particular a reflexão especular é (parcialmente) polarizada linearmente e pode ser eliminada com um polarizador.

(!!) O uso do polarizador torna as cores mais vivas. Porquê? (!!)

- Reflexão especular: dielétricos

- Dielétricos: vidro, água, verniz, acrílico, etc.
- Luz refletida (e transmitida...) depende de:
 - Ângulo de incidência.
 - Direção de polarização da luz.

- Polarização e polarizadores lineares

- O campo elétrico oscila na perpendicular à direção de propagação do raio de luz.
- Se oscilar numa só direção a luz diz-se linearmente polarizada.
- Se oscilar em direções arbitrárias diz-se não polarizada.
- Qualquer luz refletida segundo o ângulo de Brewster é linearmente polarizada.

-Direcionalidade dos raios de luz e definição das sombras (!!)

- A transição luz-sombra pode ser abrupta ou suave.
- A explicação pode ser dada por traçado de raios de luz.
- Crítico: o tamanho angular da fonte de luz.

- Difusores por reflexão

- Refletir a luz (flash, sol) no teto, nas paredes, no chão ou em superfícies especialmente concebidas para o efeito.

- Controlar a direccionalidade da luz

- Permite controlar a transição luz-sombra (brusca ou suave).
- Permite controlar as faces iluminadas e escuras do objeto a fotografar (quer alterando a posição das fontes de luz, por exemplo o flash, quer movendo e reorientando o objeto ou manequim, por exemplo, quando não podemos mover a fonte de luz como é o caso do sol).

- Controlo da reflexão especular e difusa

- Muitas superfícies comportam uma mistura de reflexão especular e difusa.
- Podemos alterar o aspeto de uma superfície alterando a direção da luz incidente e/ou usando polarizadores.

Exemplo:. superfície preta (→ sem reflexão difusa) brilhante (→ com reflexão especular) com relevo

- Superfícies brancas

- Superfície branca → reflexão difusa presente.
- Reflexão especular pode existir ou não.
- Se tiver relevo, iluminação em contraluz realça o relevo.
- Iluminação frontal resulta em foto sem contraste.

Lentes

- Imagem → sensor

- Supondo o sensor uma superfície (plana) sensível à luz, basta incidir quantidades / qualidades diferentes de luz em zonas diferentes para formar uma silhueta.
- Uma forma fácil consiste em projetar uma sombra com o auxílio de uma fonte de luz pontual e um objeto opaco.
- O corpo humano é um sensor de reação lenta que funciona com luz UV.

- Máquina de sombra: pinhole

- Aproveitando a propagação da luz em linha reta, pode-se construir uma câmara pinhole que projeta uma sombra.

Nota: o pinhole não cria uma imagem, apenas projeta uma sombra!

- O uso do pinhole tem duas vantagens relativamente ao uso de uma fonte de luz pontual:

1. Em vez de criar apenas silhuetas, permite representar a superfície frontal dos objetos, incluindo cor. Isto acontece porque no pinhole aproveitamos toda a superfície dos objetos como se de fontes de luz pontual se tratasse.

2. Permite usar um sensor de pequenas dimensões mesmo quando se fotografa objetos grandes.

- Embora o pinhole seja conhecido e explorado desde a antiguidade, continua na moda. Há quem tente fazer negócio vendendo pinholes de diversos diâmetros para câmaras digitais correntes.

- Diferenças entre lentes e pinholes

- O pinhole não cria uma imagem. A luz passa por ele sempre a divergir de pontos do objeto original.
- A lente, por sua vez, desvia os raios de luz que se cruzarão uma segunda vez, no local onde se forma a imagem.

- Parâmetros das lentes

- A distância focal de uma lente caracteriza a sua capacidade em desviar a luz: quanto menor a distância focal, tanto maior é a sua capacidade em desviar a luz (f).
- A abertura é o diâmetro da pupila de entrada (do orifício por onde entra a luz e que se vê quando se olha do lado do objeto) ($D = f / N$).

- **Objetiva fotográfica: valores nominais**

- O valor nominal da distância focal é o valor da distância focal da lente quando foca um objeto no infinito. É habitual a distância focal diminuir ao focarmos mais próximo.
- O valor nominal da abertura, expresso em f-número (N), é o máximo valor da abertura, ou seja o mínimo valor do f-número.
- Lentes com maiores aberturas (mais precisamente menores f-números) podem captar a mesma luz em menos tempo. Por isso, a abertura nominal da lente chama-se “velocidade” da lente. Lentes rápidas são mais caras mas apreciadas para fotografar objetos em movimento e/ou pouco iluminados (exemplo: desporto).

- **Tamanho das objetivas: distância focal**

- As lentes são tipicamente maiores (mais compridas) para distâncias focais maiores.
- Contudo, para distâncias focais muito pequenas o tamanho das lentes tende a aumentar.
- As lentes a laranja são para DSLR (distância da lente ao sensor longa por causa do espelho) e o tamanho mínimo verifica-se para $f \approx 50\text{mm}$.
- As lentes a amarelo são para mirrorless (distância da lente ao sensor pequena) e para $f \approx 35\text{mm}$ ainda não se atingiu o mínimo tamanho.



- **Tamanho das objetivas: abertura**

- As lentes têm todas a mesma distância focal e são para as mesmas máquinas fotográficas
- Quanto maior a abertura (menor f-número) maior a lente (devido à necessidade de controlar as aberrações e devido a serem lentes mais caras e incluírem mais funcionalidades).
- O preço cresce ainda mais depressa.

- **Tamanho das objetivas: outros factores**

- Vários outros fatores afetam o tamanho das lentes:
 - Zooms tendem a ser maiores que as lentes fixas.
 - Estabilizadores óticos tendem a aumentar o tamanho das lentes.
 - Melhor correção das aberrações tende a aumentar o tamanho das lentes.
 - Robustez, resistência à entrada de água e pó, tende a aumentar o tamanho das lentes.
 - Lentes com maior círculo de imagem tendem a ser maiores.

- **Flange distance:** em geral, máquinas fotográficas DSLR, com visor ótico que implica introduzir um espelho para desviar a luz do sensor para o visor, têm uma maior distância do sensor à lente (flange distance).

- **Lentes retro focus**

- É possível aumentar o espaço livre entre a lente e o sensor usando uma montagem retro focus. O tamanho da objetiva é maior.

- Necessidade de lentes retro focus

- O ângulo com que os raios chegam ao sensor é maior para menores distâncias focais, mas a distância da lente simples ao sensor também diminui.
- Se a flange for grande, é necessária uma lente retrofocus.

- **Lentes teleobjetivas:** é possível reduzir o tamanho (setas verdes) de uma objetiva de grande distância focal usando uma montagem teleobjectiva.

- Conveniência de lentes teleobjectivas

- Para lentes de grande distância focal, o desenho da teleobjetiva permite construir lentes mais curtas.
- Por exemplo, uma lente de 800 mm não precisa de medir 80 cm de comprimento. As lentes da Nikon e da Canon medem cerca de 46 cm.

Círculo de imagem projectada

- As lentes projetam uma imagem circular. Fora do círculo não chega luz.
- A transição não é abrupta e é responsável por os cantos e bordos das fotos ficarem mais escuros que o centro da foto. A esse efeito chama-se vinheta.

Acessórios

- Acessórios de limpeza

Os acessórios para limpeza incluem:

- Sopradores, pincéis, panos de limpeza, etc.
- Líquidos de limpeza.
- Inclui limpeza de lentes, de sensores, etc.

- Tripés

Tripés servem diversas finalidades incluindo:

- Suportar uma câmara numa posição fixa.
- Estabilizar a câmara numa exposição longa para evitar fotos tremidas.

Detalhes dos tripés:

- Para fotografia os tripés de três pernas sem ligação entre elas são regra geral preferíveis.
- A altura deve ser adequada sem uso da coluna central.
- A resistência deve ser adequada ao peso do equipamento.

Cabeça:

- Há diversos tipos de cabeças (de bola, de cremalheira, para vídeo,...).
- Encaixe standard tipo Arca-Swiss é uma enorme vantagem.

- Correias

Correias e afins servem para transportar e fixar câmaras:

- Há correias para fixar a câmara à mão, de pendurar à volta do pescoço, de tiracolo, etc.
- Há estruturas que se fixam à cintura onde se pode pendurar as câmaras.

- Proteção/impermeabilização

- Para-sóis e filtros neutros podem proteger as lentes.
- Há todo o tipo de capas protetoras, umas para só para guardar/transportar o equipamento, outras que podem ser usadas durante a utilização do equipamento.
- Há capas de plástico para proteger da chuva.
- Há caixas herméticas para mergulho (em geral extremamente caras).
- Alguns modelos de câmaras têm melhores proteções e até permitem a submersão em água.
- Perigos: Pó, areia, água, sal, etc.

- Modificadores de luz

Refletores / difusores:

- Refletores ou transmissores, podendo ambos ser especulares ou difusos.
- Guarda-sóis (?)
- Caixas de luz.
- Barn doors.
- Snoots.
- Filtros de cor e filtros especializados.
- Suportes tipo A e tipo C.
- Boom arm (etc.)

- Fontes de luz

Luz contínua / Flash:

- Flash é uma luz tipicamente muito intensa mas de curta duração temporal.
- Alguns flashes têm incorporada uma luz contínua para ajudar o fotógrafo a visualizar o efeito que terá o flash.
- Alguns flashes têm um modo de simulação de luz contínua (HighSpeed Sync, HyperSync, Hi-sync).
- Alguns flashes funcionam com baterias outros ligados à corrente.

- Fonte de luz pontual

- A iluminância de uma fonte de luz pontual diminui com o inverso do quadrado da distância:
 - Ao dobro da distância a iluminância é um quarto.
 - A um décimo da distância é 100 vezes maior.
- Flash sem modificadores: Luz pontual.

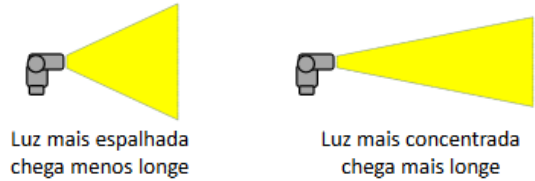
- Consequências

Por exemplo, gotas de chuva:

- Câmara à sombra.
- Iluminadas só pelo flash.
- Próximas: grande iluminância.

- Zoom

- O flash só necessita iluminar a zona a fotografar
- Muitos flashes permitem fazer “zoom”:
 - Aumenta o alcance do flash
 - Poupa energia (pilhas ou baterias!)
 - Ajuda a controlar a zona iluminada pelo flash (luz indireta, etc.)
 - Altera a localização (imagem) da lâmpada (devido à ótica de zoom)



- Número guia (NG)

- Definição: $NG = \text{distância} \times f\text{-número}$ (para ISO 100) (nota: a distância do flash ao objeto, não da câmara).
- Facilita a parametrização manual do flash
 - Para $f/4$ e $d = 5\text{ m}$ é necessário $NG = 20$ (metros).
 - Em sites americanos, o NG pode vir em pés.
- Usado para indicar a potência máxima do flash
 - $NG = 50$ é duas vezes mais potente que $NG = 36$.
 - Dobrar o NG quadruplica a potência do flash.
 - NG depende do zoom do flash: os fabricantes usam esse facto para enganarem os consumidores.

- Watt-segundo

- Os flashes de estúdio indicam a quantidade de luz emitida em W·s. Esta é uma unidade de energia.
- A conversão para o GN não é direta:
 - Ws mede a energia armazenada nos condensadores e libertada no disparo do flash. Só uma parte dessa energia é efetivamente convertida em luz visível.
 - O GN mede a luz efetivamente emitida.

- Captar luz ambiente e flash

- A quantidade de luz ambiente captada depende do tempo de exposição e da abertura.
- A quantidade de luz do flash captada só depende da abertura.
- Este facto pode ser explorado para balancear a luz do flash e a luz ambiente sem alterar a quantidade de luz emitida pelo flash.

- A fonte de energia

- Os flashes usam lâmpadas de Xénon que requerem tensões de algumas centenas de volts.
- A energia tem de ser libertada num (muito) curto espaço de tempo: para isso usam-se condensadores.
- Nos flashes de estúdio, ligados à corrente, pode desperdiçar-se energia
 - O condensador é carregado com a quantidade de energia necessária à emissão da quantidade certa de luz.
- Nos flashes tipo cobra, dependentes de pilhas ou baterias, deve aproveitar-se toda a energia
 - O condensador recebe a carga máxima.
 - Um circuito de eletrónica interrompe a descarga quando a quantidade certa de luz tiver sido emitida.

- Efeitos na duração do flash

- No caso dos flashes de estúdio típicos, a duração aumenta ao diminuir a intensidade.
- No caso dos flashes tipo cobra típicos, passa-se o contrário.

- Efeitos na cor do flash

- A cor da luz emitida pelo flash não é constante durante o pulso de luz:
 - Nos flashes de estúdio a cor fica mais avermelhada quando se selecionam menores potências
 - Nos flashes tipo cobra a luz fica mais azul.
 - O flash Einstein™ E640 exemplificado usa um método misto para manter a cor constante.

- **Air-gap flash:** este tipo de flash consegue gerar pulsos de luz com menos de um microssegundo, mas usa tensões elevadas (dezenas de kilovolts).

Sensores e Ruído

- Formato dos sensores

- O formato e tamanho do sensor depende da sua finalidade.
- Os formatos (aproximadamente) quadrados aproveitam melhor o círculo de imagem da lente, mas apenas se for esse o formato final.

- Tamanhos dos sensores

- Há uma grande variedade de tamanhos de sensores.
- As vantagens e inconvenientes de cada tipo serão melhor compreendidas quando abordarmos a “equivalência” entre tamanhos diferentes de sensores.

CCD: Charge Coupled Device

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor

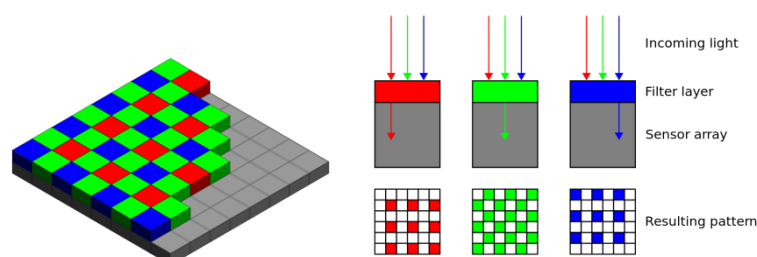
- Sensores curvos

- Este tipo de sensores, em desenvolvimento atualmente, pode ser útil para máquinas fotográficas que não trocam de lente.
- Para as máquinas fotográficas que trocam lentes poderá não ser tão útil.

- Padrão bayer

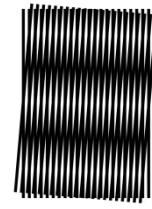
- Este é o padrão mais divulgado para detetar cor.
- Este padrão é muito regular o que o torna suscetível ao moiré.
- Para evitar o moiré usa-se um filtro anti-aliasing que consiste habitualmente em quadruplicar a imagem ligeiramente deslocada para reduzir o detalhe fino da imagem.

Nota: por cada pixel vermelho há um pixel azul e dois pixéis verdes.



- Moiré

Para evitar o moiré usa-se um filtro anti-aliasing que consiste habitualmente em quadruplicar a imagem ligeiramente deslocada para reduzir o detalhe fino da imagem.

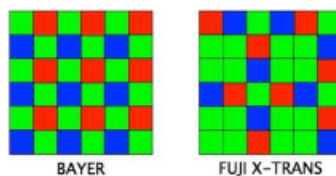


- Filtro anti-aliasing

Este tipo de filtro gera quatro imagens transladadas lateralmente o que reduz alguns problemas relacionados com os filtros Bayer e não só. O assunto foi muito discutido quando Nikon lançou um modelo de câmara com duas versões (com e sem o filtro anti-aliasing). Ricoh, Pentax, simula em algumas câmaras este filtro fazendo vibrar o sensor.

- Padrão X-Trans

- Este o padrão equipa apenas alguns sensores das câmaras da Fujifilm.
- Pretende reduzir o efeito moiré.
- Poucos softwares comerciais têm bons algoritmos de demosaicing deste padrão.



- Penetração dos fotões no silício

- A zona do visível vai, sensivelmente, dos 400 aos 700nm.
- O azul penetra menos do que o vermelho.

Nota: este efeito afeta todos os tipos de sensores, dependendo da profundidade da zona que capta a luz.

- Demosaicing

- Corresponde à conversão da informação bruta do sensor (ficheiro RAW) num formato JPG ou similar.
- Pode criar artefactos na imagem.

- Ruído intrínseco à luz: shot noise

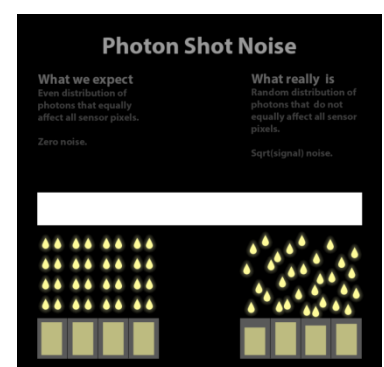
- A cadência a que chegam os fotões ao sensor tem carácter aleatório.
- A variabilidade nas contagens devida a essa aleatoriedade chama-se shot noise.

- Variação do ruído shot noise

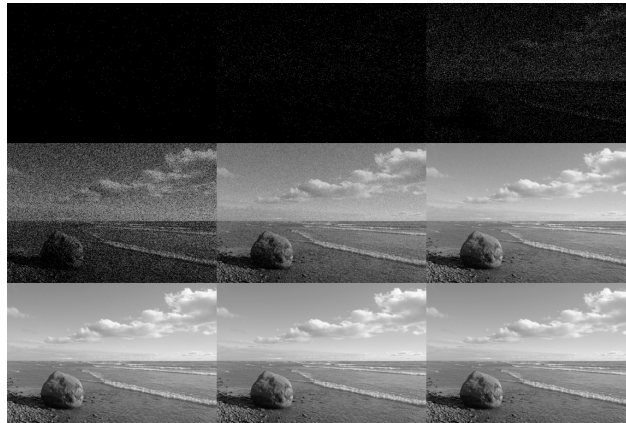
- Podemos caracterizar o ruído pela largura a meia altura do histograma.
- Quando o valor médio passa de 10 para 50 (cinco vezes mais), o ruído aumenta 2.2 vezes.
- O ruído visível é o ruído relativo ao sinal e este diminui quando aumenta a luz captada.

- Ruído shot noise numa foto

- À direita mostra-se o resultado de fotografar uma superfície branca uniformemente iluminada: Esperaríamos o mesmo sinal (contagem) em todas as fotocélulas (esquerda) e não é isso que obtemos (direita).



- **Efeito do shot noise nas fotografias:** as zonas da foto com pouca luz têm ruído mais visível.



- Shot noise versus “electronic” noise

- A luz que é filtrada por cor e atinge o sensor onde excita eletrões armazenados em condensadores (ruído: shot noise).
- Em seguida esses eletrões são transferidos, eventualmente amplificados e medidos em ADCs (Analogto Digital Converter) (esta operação acrescenta ruído “eletrónico”).
- Uma vez em formato digital, o sinal pode ser processado ‘sem’ adicionar ruído.

- Ruído devido à leitura do sensor

- A conversão do sinal analógico (fotões que chegaram ao sensor e foram convertidos em eletrões) em sinal digital (sinal binário, zeros e uns) também introduz variações (ruído ADC).
- Este ruído soma-se ao shot noise em quadratura:
 - Pouca luz: predomina o ruído do ADC.
 - Muita luz: predomina o shot noise.

- Efeito do ruído nas fotos

- Há diversas fontes de ruído (shot noise, ADC, térmico, padrão, ...).
- O efeito é mais visível nas zonas com pouca luz captada.

Otimizar o sensor: ISO

- Se a luz captada for suficiente para “encher” o sensor usa-se o ISO de base



- Se a luz captada não “encher” completamente o sensor existe a opção de usar um ISO mais alto: o sistema de conversão A→D é otimizado, reduzindo o ruído por comparação ao ISO mais baixo.



- O engano do ISO

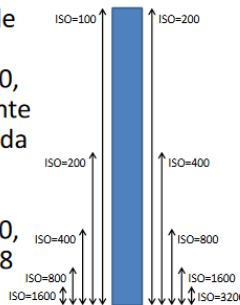
- O procedimento muitas vezes inverte-se:
 - O fotógrafo seleciona o ISO à priori.
 - A câmara sugere ao fotógrafo quanta luz deve captar (isto é, qual deve ser a exposição) para o sensor não saturar com o ISO escolhido.
 - O fotógrafo obedece e tira a foto.
- Nas condições acima, as fotos com maior ISO terão maior ruído, não porque o ISO é maior mas porque a exposição (luz captada) foi menor.
- Uma mesma foto poderá ter zonas com maior ruído e outras com menor ruído. Porquê?
- Se o ruído dependesse do ISO, ele deveria ser igual em toda a foto porque o ISO foi o mesmo para toda a foto.
- Contudo verifica-se sempre que as zonas de maior ruído receberam menos luz (menor exposição).

- A técnica ETTR para reduzir o ruído

- ETTR (Exposing To The Right) é uma técnica (complexa de pôr em prática se levada ao extremo) que tenta maximizar a quantidade de luz captada.
- Problemas práticos:
 - Histogramas não fidedignos do sinal captado.
 - Não linearidades do sensor.

Escala de ISO

- Um sensor com um ISO de base igual a 100, se seleccionarmos o valor 200, só converterá corretamente fotocélulas cuja luz captada não ultrapasse 50% do valor máximo. Se seleccionarmos o valor 800, converterá apenas até 1/8 do valor máximo, etc.



- Relação entre o ISO e o ruído

- Regra geral, para a mesma luz captada, maior ISO => conversor otimizado => menos (ou igual, depende da máquina fotográfica) ruído visível.
- Contudo, selecionando um ISO maior a máquina fotográfica procura captar menos luz (para evitar a saturação) o que resulta numa foto com mais ruído visível.
- Conclusão: em geral selecionam-se maiores ISO quando se capta menos luz. O ruído visível está diretamente relacionado com a luz captada e só indiretamente relacionado com o ISO.

- Ficheiro: formatos RAW e JPG

- O sensor tem uma resposta dita linear: deteta igualmente bem um incremento de luz quando há pouca luz como quando há muita luz.
- O olho humano não é linear (diz-se que tem uma resposta logarítmica, tal como o ouvido humano): quanto mais luz ambiente, maior o incremento de luz necessário para ser detetável.

- O formato RAW guarda a imagem com todo o detalhe captado pelo sensor: ficheiros maiores.
- O formato JPG procura guardar apenas os detalhes detetados pelo olho humano
 - deita fora muita da informação captada pelo sensor.
 - ficheiros menores.

- **Posterização**

- Resulta dos níveis digitais serem discretos.
- Com degraus suficientemente pequenos não é visível.
- É mais evidente em zonas da fotografia com gradientes mais suaves.

- **Gama dinâmica**

- A separação em stops entre o máximo de luz capturada sem saturar e o menor incremento de luz detetável pelo sensor é chamado gama dinâmica.
- Quando o sensor não consegue captar toda a imagem, é possível combinar várias imagens.
- A gama dinâmica dos sensores das máquinas fotográficas atuais varia entre menos de 10 stops e 14 ou mais stops (o valor também depende da forma como for definido).
- Mesmo assim, em fotos de paisagem contendo céu e terra, fotos noturnas, fotos incluindo fontes de luz (por exemplo, o sol), etc., as máquinas fotográficas não conseguem captar toda a gama dinâmica.

Shutter e Flash

- **Aplicações do tempo de exposição**

- Tempos longos:
 - em pouca luz, para registar o rasto de movimento.
 - tempo de exposição: 5 s
- Tempos curtos:
 - “parar” o movimento; usar aberturas maiores; evita fotos tremidas.
 - tempo de exposição: 1/1600 s

- **O obturador (shutter)**

- O tempo de exposição é controlado pelo obturador, responsável por iniciar e terminar a captação da imagem.
- Há várias tecnologias diferentes para implementar o obturador, cada qual com as suas vantagens e desvantagens.
- Três efeitos vão ser abordados nesta apresentação:
 - Distorção da imagem.
 - Vibração.
 - Sincronização com o flash.
- O obturador tem duas funções:
 - Iniciar a coleta de luz.
 - Terminar a coleta de luz.
- Idealmente o início e o fim seriam simultâneos para todos os pixéis: possível mas caro.
- Início: fácil, é possível eletronicamente fazer o reset simultâneo de todos os pixéis.

- Fim: difícil, não há nenhum mecanismo eletrônico barato que permita interromper a coleta de luz.

- Tipos comuns de obturadores

• Mecânicos:

- Obturador de plano focal
 - Muito comum: 1 por máquina fotográfica
 - Limitações no uso do flash
- Obturador central
 - Raro: 1 por lente (médio e grande formato).
 - Maior flexibilidade no uso do flash.

• Eletrônicos: silenciosos e sem vibrações

- Rolling
- Global

- Obturador de plano focal

- Tempo que demoram as cortinas a percorrer o sensor: 3 a 5ms (valores típicos).
- Logo a parte de baixo da foto é obtida 3 a 5ms mais cedo.
- Se o tempo de exposição da imagem for curto esse atraso pode criar deformações em objetos em movimento.
- Para tempos de exposição longos não se nota o efeito.

- Exposição do sensor

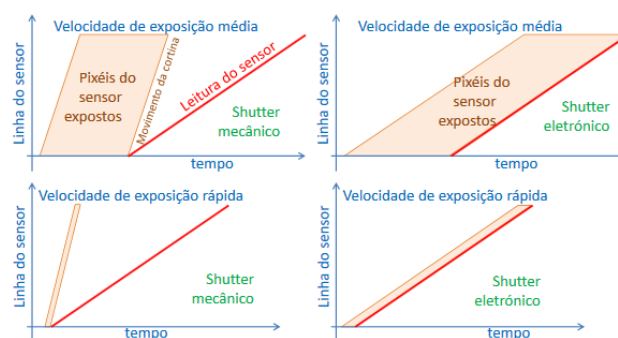
Exemplo: tempo de varrimento 2.5 ms, exposição 10 ms \leftrightarrow 1/100 s

- linha de baixo exposta de $t_1=0$ ms a $t_2=10$ ms
- linha do meio exposta de $t_1=1.25$ ms a $t_2=11.25$ ms
- linha de cima exposta de $t_1=2.5$ ms a $t_2=12.5$ ms

- Rolling shutter

- O obturador eletrônico é muito mais lento a fazer a leitura do sensor (em vez de 2 a 5 ms de varrimento das cortinas do obturador mecânico podemos estar a falar de muitas dezenas de milissegundos).
- Por isso os efeitos veem-se em fotos com tempos de exposição menos curtos e, portanto, são muito mais comuns.

Leitura do sensor



- O problema da vibração

- Com sensores cada vez com maior resolução e lentes a condizer está a tornar-se mais crítico eliminar as vibrações devidas às cortinas do obturador. Essas vibrações causam fotos tremidas.
- A principal causa dessas vibrações é a primeira cortina e muitas máquinas substituem-na por uma eletrónica (EFCS = Eletronic First Courtin Shutter).
- A ideia é ter o melhor dos dois mundos:
 - Evitar o rolling shutter do obturador eletrónico.
 - Evitar as vibrações do obturador mecânico.

- EFCS – má sincronização

- O ritmo do varrimento da cortina eletrónica devia reproduzir o ritmo do varrimento da cortina mecânica e tal não acontece.
- O efeito pode ser um lado da foto aparecer mais escuro (ou mais claro) quando se usam tempos de exposição muito curtos.

- Incompatibilidade com o flash

- O flash tem uma duração típica inferior a ou da ordem de 1 ms.
- O tempo de varrimento das cortinas típico (do obturador mecânico) é de alguns milissegundos.
- Para uma iluminação uniforme do sensor pelo flash, este tem de acontecer com o sensor todo exposto.
- Velocidades máximas típicas de sincronismo: 1/160 s, 1/200 s, 1/250 s, 1/ 320 s, etc.

- Flash e velocidade de sincronização

- O flash é um pulso curto de luz, tipicamente muito mais curto que o tempo que as cortinas do sensor demoram a percorrê-lo.
- Por isso o flash só pode ocorrer quando o sensor estiver totalmente exposto.
- O tempo de exposição mínimo para uma foto correta é igual à soma do tempo que as cortinas demoram a percorrer o sensor mais a duração do flash.
- Daí a velocidade máxima compatível com o uso do flash (chamada velocidade de sincronização) ser 1/250 s (= 0.004 s) ou 1/200 s (= 0.005 s) ou etc.

- Flash como luz contínua

- Para tempos mais curtos do que a velocidade de sincronização do flash nem toda a foto é iluminada pelo flash. Contudo, muitas vezes é necessário usar flash com tempos de exposição mais curtos (quando há muita luz ambiente).
- Há duas soluções:
 - simular uma luz contínua com o flash emitindo muitos pulsos curtos de luz (HSS = High Speed Sync)
 - criar um pulso de luz mais longo e esperar que não se note na foto a variação da intensidade do flash (Hi-Syncou HyperSync)

- O flash como fonte de luz contínua

- Para tempos de exposição curtos, em que o sensor não está completamente exposto em nenhum momento, só se podem usar fontes de luz contínuas.
- Alguns flashes simulam essa situação, mas a quantidade de luz emitida é muito reduzida.