

2

Radiometria e fotometria

Imagens HDR se preocupam em armazenar valores referentes as condições de iluminação do ambiente onde a imagem foi tirada. Dessa forma, a medição das quantidades de energia e principalmente da energia visível são de fundamental importância para o entendimento dos processos associados a geração e manipulação de imagens HDR. Nesse capítulo são introduzidos os conceitos fundamentais de duas ciências responsáveis pelo estudo das diferentes medições da energia luminosa.

2.1

Luz como energia

A luz possui comportamento dual[18]. Tal fato ocorre, pois a luz pode se comportar ora como partícula, ora como onda. A Luz como partícula é representada como pequenos pacotes de energia chamados Fótons. Devido a este fato, a quantidade de pacotes de energia, e conseqüentemente o total de luz pode ser quantizado. A luz como onda permite que estudos sobre a luz possam ser feitos utilizando conceitos como frequência e comprimento de onda. A quantidade de luz emitida, transmitida, absorvida e refletida pelas superfícies define a forma como um ambiente é iluminado. Radiometria é a ciência dedicada à medição da luz. Os conceitos desse capítulo são discutidos mais profundamente em [29].

2.1.1

Medidas radiométricas

Em ambientes do mundo real, as diferentes formas de energia são emitidas, transportadas, absorvidas e refletidas por um sem número de superfícies componentes do ambiente. A quantização da luz é muito importante, pois permite que as diversas interações da luz com diferentes superfícies possam ser estudadas e modeladas. A medida principal para

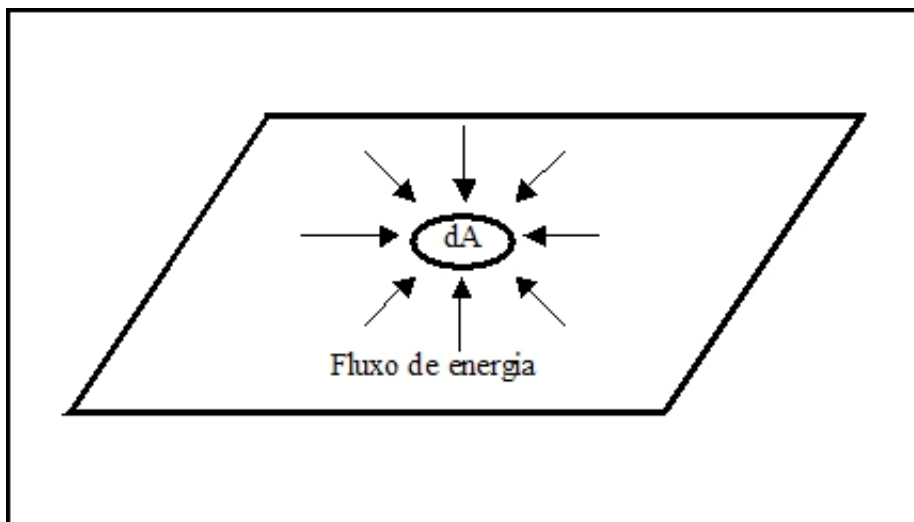


Figura 2.1: Irradiancia

medição do fluxo de energia radiante é chamada fluxo radiante, e sua unidade é *joules* por segundo, ou *watts*. A densidade do fluxo radiante é definida como a quantidade total de fluxo radiante dividido por unidade de área.

Irradiância pode ser definida como a quantidade de fluxo radiante recebida por uma unidade de área em uma superfície, levando em consideração todas as direções possíveis. Pode ser entendida, de maneira menos formal, como a quantidade de energia recebida por uma superfície. A irradiância em uma superfície pode ser calculada independente do comportamento complexo exibido pela energia ao se propagar em um ambiente.

De forma análoga, saída radiante é definida como a quantidade de fluxo radiante emitida por uma unidade de área em uma superfície, levando em consideração todas as direções possíveis. Tanto os valores de irradiância, quanto os de saída radiante, são medidos em *watts* por metro quadrado. Dessa maneira, ambos são medidas da quantidade de energia por unidade de tempo e por unidade de área.

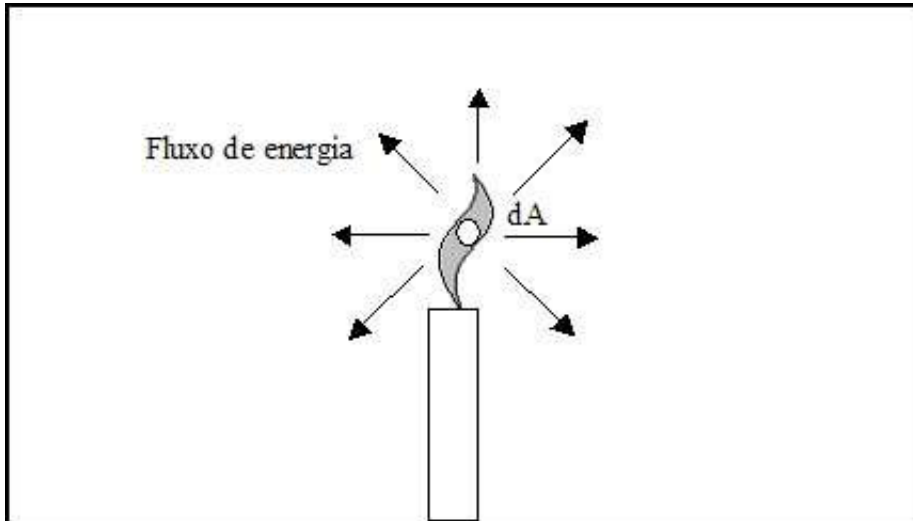


Figura 2.2: Saída radiante

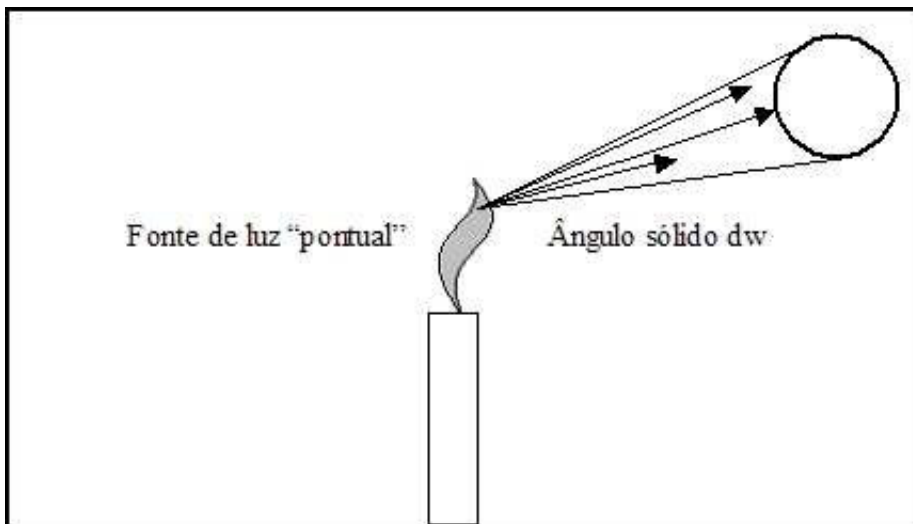


Figura 2.3: Intensidade radiante

Ao considerarmos uma fonte de luz pontual, a quantidade de energia emitida em uma direção particular é denominada intensidade radiante, medida em *watts* por esferoradiano. Um esferoradiano é a medida de ângulo sólido correspondente à área na esfera de raio unitário. Seu conceito é análogo ao radiano no círculo. A intensidade radiante, dessa forma, mede a quantidade de energia por unidade de tempo por unidade de direção.

Radiância é o fluxo de energia sendo transmitido, recebido ou emitido em um ponto específico em uma direção particular. Sua medida é feita em *watts* por esferoradiano por metro quadrado. Luzes que atingem um determinado ponto de uma superfície, vindos de uma determinada direção são o cerne da geração de imagens. A tabela 2.1 enumera as diferentes quantidades e suas unidades.

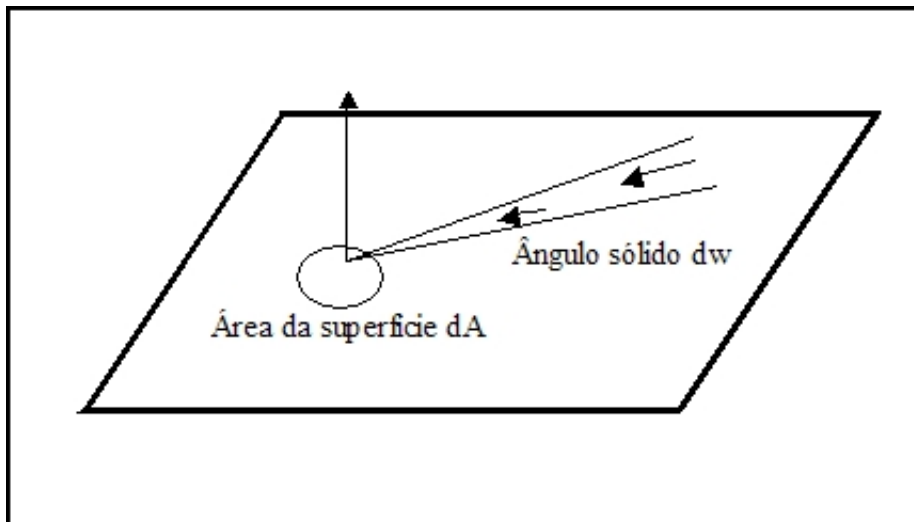


Figura 2.4: Radiância

Quantidade	Unidade
Energia radiante	J (<i>joule</i>)
Fluxo radiante	$J s^{-1} = W$ (<i>watt</i>)
Irradiância	$J s^{-1} m^{-2}$
Saída radiante	$J s^{-1} m^{-2}$
Intensidade radiante	$J s^{-1} sr^{-1}$
Radiância	$J s^{-1} sr^{-1} m^{-2}$

Tabela 2.1: Diferentes medidas de quantidades radiométricas

Cada uma dessas quantidades podem ser definidas para um intervalos fechados de comprimentos de onda. Sendo, dessa forma, referenciados como radiância espectral, Irradiância espectral, e assim por diante para as outras quantidades.

2.2

Medidas fotométricas

Como dito anteriormente, a energia luminosa pode ser medida levando-se em consideração apenas uma faixa específica do espectro da luz. Como a luz pode ser tratada como onda, podemos isolar comprimentos de onda específicos. A fotometria se preocupa com a quantização do espectro das ondas luminosas com comprimentos de onda situados entre 380 e 830 nanômetros. Esta é a faixa de comprimentos de onda visíveis ao olho humano.

O olho humano não é igualmente sensível a todos os comprimentos de onda da faixa visível. E tal variação ocorre de pessoa para pessoa. Porém essa variação é pequena o suficiente para permitir que a sensibilidade

espectral humana seja aproximada com uma única curva. Essa curva é conhecida como curva $V(\lambda)$. Padronizada pela *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE), esta curva é também conhecida como curva de eficiência fotóptica luminosa CIE. A curva é plotada na Figura 2.5.

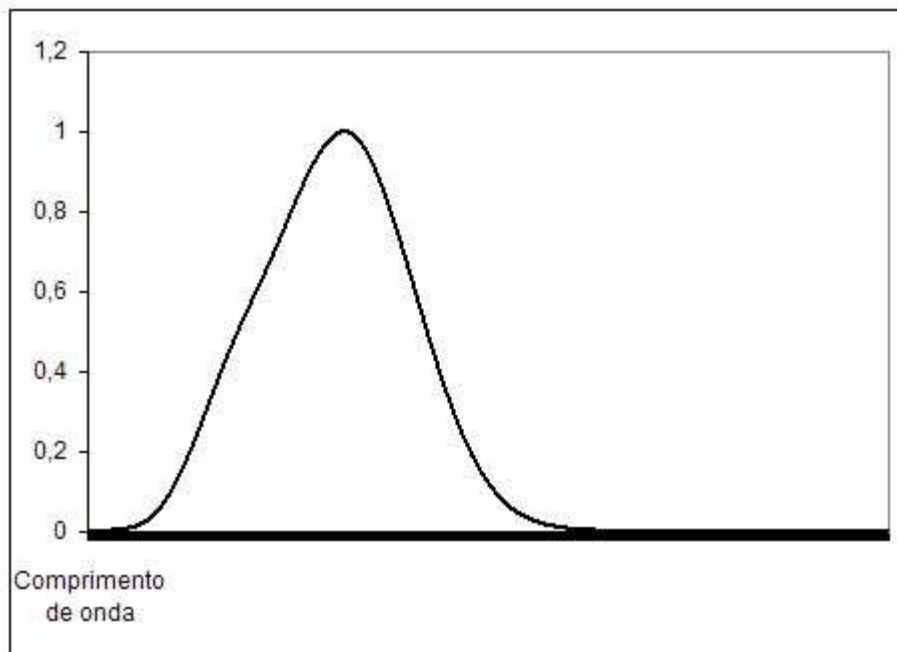


Figura 2.5: Plotagem da curva $V(\lambda)$.

Pela curva da Figura 2.5, é possível verificar que a sensibilidade máxima da visão humana se encontra aproximadamente no comprimento de onda de 555 nm.

Ao pesar espectralmente quantidades radiométricas com a curva $V(\lambda)$, estas são convertidas em medidas fotométricas. Dessa forma, todas as medidas radiométricas apresentadas anteriormente possuem suas contrapartes fotométricas.

Fluxo luminoso ou potência luminosa é o fluxo radiante fotometricamente pesado. Sua unidade de medição é o *lumens*. Um Lumen é definido como 1/683 watt de fluxo radiante no comprimento de onda de aproximadamente 555 nm.

Ao se medir o fluxo luminoso em um ângulo sólido em particular, a quantidade obtida é a intensidade luminosa, medida em lumens por esferoradianos. Um lumen por esferoradiano é definido também como uma *candela*. Tal nome ocorre devido ao fato dessa ser aproximadamente a intensidade luminosa de uma vela (*candle* em inglês). Os equivalentes fotométricos da saída radiante e da irradiância são saída luminosa e iluminância. Ambos são medidos em lumens por metro quadrado.

Quantidade	Unidade
Energia luminosa	$lm\ s$
Potência luminosa	$lm\ (lumen)$
Saída luminosa	$lm\ m^{-2}$
Iluminância	$lm\ m^{-2}$
Intensidade Luminosa	$lm\ sr^{-1} = cd\ (candela)$
Luminância	$cd\ m^{-2} = (nit)$

Tabela 2.2: Diferentes medidas de quantidades fotométricas

Luminância é definida como a radiância fotometricamente pesada, e representa uma medida aproximada de quão iluminada uma superfície aparenta ser. Como a radiância, a luminância é a medida mais relevante para imagens HDR. Sua unidade é candelas por metro quadrado ou *nits*. A pesagem espectral dos valores de radiância é feita através da multiplicação pelos valores de cada componente espectral com os valores correspondentes da função de *weight* e então integrar os resultados. Tal processo é representado na equação 2-1.

$$L_v = \int_{380}^{830} L_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (2-1)$$

É fácil verificar que diferentes valores de L_e podem gerar a mesma luminância L_v . Dessa forma o mapeamento radiância para luminância não é uma função bijetiva, não possibilitando a transformação inversa. A luminância provê limites naturais dos espectros visíveis. Dessa forma, qualquer comprimento de onda fora desse espectro será descartado, e não precisa portanto ser armazenado ou processado, uma vez que não afeta a forma como o olho percebe a iluminação do ambiente. A luminância tem também papel importante nos *tone-mapping operators*, uma vez que vários destes [35, 42] se utilizam da luminância média da cena em seus cálculos.