

Cinematografia digital e fotônica

Digital cinematography and photonics

DOI:10.34117/bjdv7n4-150

Recebimento dos originais: 08/03/2021

Aceitação para publicação: 06/04/2021

João Victor Boechat Gomide

Doutor em Artes e Doutor em Física

Instituição de atuação atual: Universidade FUMEC

Endereço: Universidade FUMEC/ FACE, Rua Cobre 200 - Cruzeiro, MG

E-mail: jvictor@fumec.br

RESUMO

Nesse artigo é destacado o impacto que o surgimento e o desenvolvimento da fotônica provocou na produção audiovisual. O registro e a distribuição da imagem digital só foram possíveis pelos avanços da fotônica. A mudança de paradigma que ocorreu em todas as áreas que utilizam imagens, principalmente ao longo das três últimas décadas, e na cinematografia, com a substituição dos formatos até então dominantes, em filme ou analógico, pelos formatos digitais, está intimamente relacionado com os avanços da Ciência da Luz. A investigação científica e as invenções da fotônica geraram os sensores de semicondutor para a captura da imagem, os lasers, para fazer sua digitalização, e as fibras óticas, para distribuí-la em tempo real, e provocaram uma revolução na forma em que a imagem é capturada, processada, armazenada e distribuída. Esse artigo discute as razões do abandono dos formatos em filme e analógico, como isso foi possível, e compara os fluxos de trabalho químico e digital, tomando como ponto de partida a experiência visual provocada pela imagem cinematográfica. As críticas do diretor Quentin Tarantino são apresentadas e o seu filme, *The Hateful Eight*, é usado como um exemplo da polêmica gerada pelo abandono inexorável da película. Novas perspectivas estão se abrindo hoje, com a conexão 5G e a possibilidade de se enviar as imagens diretamente para as nuvens de armazenamento.

Palavras-chave: Cinematografia, Fotônica, Visão, Cinematografia Digital, Semicondutor.

ABSTRACT

Digital image record and distribution is an invention of photonics. The paradigm shift that occurred in all areas that use images, especially over the last thirty years, with the replacement of the hitherto dominant formats in film or analog, by digital formats, is closely related to advances in the Science of Light. The scientific investigation and inventions of photonics have generated the semiconductor sensors for image capture, the lasers to do image scanning, and optical fibers, to distribute it in real time, and caused a revolution in the way in which image is captured, processed, stored and distributed. This chapter discusses whether there is reason to abandon the film and analog formats, and compares the chemical and digital workflows, taking as its starting point the visual experience caused by the motion picture. Criticism of director Quentin Tarantino is

presented and his production, the film *The Hateful Eight*, is used as an example of the controversy generated by the inexorable abandonment of the film. New perspectives are opening up today, with the 5G connection and the possibility of sending the images directly to the storage clouds.

Keywords: Cinematography, Photonics, Vision, Digital Cinematography, Semiconductor.

1 INTRODUÇÃO

O registro, a distribuição e a manipulação da imagem digital são resultantes das descobertas e do desenvolvimento da fotônica. A fotônica, termo surgido na década de 1970, é o estudo da luz e de outros tipos de energia radiante, cuja unidade quântica é o fóton (Photonics 2021). A mudança de paradigma que ocorreu em todas as áreas que utilizam imagens, principalmente ao longo dos últimos trinta anos, com a substituição dos formatos até então dominantes, em filme ou analógico, pelos formatos digitais, está intimamente relacionado com os avanços da Ciência da Luz. Esse artigo discute como aconteceram as principais alterações na geração da imagem digital e como a fotônica revolucionou a comunicação e as artes visuais, tendo a cinematografia como ponto de partida. Essa mudança tem sido acompanhada por um intenso debate sobre a validade do novo formato, com posições apaixonadas contra ou a favor da imagem digital. Neste artigo, são apresentados os motivos pelos quais toda a produção é cada dia mais digital. Esse texto não irá aprofundar as questões relacionadas à física e à engenharia do desenvolvimento desses dispositivos, apenas o suficiente para discutir as suas aplicações e características principais para a cinematografia.

O termo cinematografia muitas vezes está associado à imagem capturada pela câmera e ao trabalho realizado para obter esta imagem. No entanto o seu significado é muito mais amplo. A definição de John Hora, para o *American Cinematographer Manual*, aponta nuances desta atividade:

Cinematografia não é uma subcategoria da fotografia. Em vez disso, fotografia é apenas uma técnica que o cineasta usa em conjunto com outras técnicas físicas, organizacionais, gerenciais, interpretativas e de manipulação de imagens para efetuar um processo coerente (Borum 2007).

Vários anos se passaram desde que o longa metragem *Life of Pi* (Lee 2012) recebeu diversas premiações e indicações de melhor direção de fotografia em eventos

importantes, como o Oscar e o Bafta (IMDb 2013). Na época, isso gerou um debate intenso sobre a cinematografia em todos os seus aspectos, seja como ferramenta para contar uma história ou como instrumento de registro de uma cena. *Life of Pi* teve a maioria de suas tomadas criadas ou recriadas com computação gráfica e foi gravado com câmeras de cinema digitais, nas cenas com atores reais, e ficou com o Oscar de Direção de Fotografia daquele ano.

O diretor de cinema Quentin Tarantino se manifestou publicamente na época e lamentou a queda da produção em película, ao comentar o seu filme *Django Unchained* (Tarantino 2012), que disputou o Oscar de cinematografia com *Life of Pi*. Tarantino disse que a tecnologia digital estava forçando o seu afastamento da direção cinematográfica (The Hollywood Reporter 2012). Em 2015 ele dirigiu o longa metragem *The Hateful Eight* (Tarantino 2015), em película, no formato 70mm, com diversas peculiaridades na fotografia, que são muito difíceis de reproduzir digitalmente mesmo em 2021.

A imagem digital sempre buscou o referencial da qualidade obtida em filme, para definir as suas taxas de amostragem e a quantização. A imagem em película procurou mimetizar a experiência provocada pela visão e evoluiu, em mais de cem anos de história, passando pela imagem em preto & branco, as cores e os formatos anamórficos. As etapas da evolução da imagem digital, por sua vez, buscaram aproximar os parâmetros da imagem gerada digitalmente aos da imagem analógica. Várias estratégias foram inventadas, planejadas, executadas e aprimoradas e, quando implementadas, passaram a definir as referências de imagem. Isso é reafirmado por David Stump, premiado diretor de fotografia, em seu livro sobre cinematografia digital, no qual diz que “o melhor conselho que eu posso oferecer com respeito à diferença entre registrar em filme ou registrar digital é o seguinte: é bom e, algumas vezes, desejável superexpor levemente o filme, mas não é bom ou desejável superexpor o digital, a menos que a superexposição seja exatamente o que você quer!” (Stump 2014).

A investigação científica e as invenções da fotônica geraram os sensores de semicondutor para a captura da imagem, os lasers, para fazer a sua digitalização, e as fibras óticas, para distribuí-la em tempo real, e provocaram uma revolução na forma em que a imagem é capturada, processada, armazenada e distribuída. O ano de 2015 foi proclamado como o Ano Internacional da Luz e das Tecnologias Baseadas em Luz pela Organização das Nações Unidas (ONU), um reconhecimento a essa nova área do conhecimento humano, a fotônica, também conhecida como a ciência da luz. A fotônica começou com a invenção do laser, nos anos 1960, e é a ciência e a tecnologia que gera,

controla e detecta ondas luminosas e fótons, que são partículas de luz, base de toda imagem (Photonics 2021).

As principais características da visão exploradas na produção da imagem analógica e, posteriormente, da imagem digital, são apresentadas na próxima seção. São elas que determinam como a imagem será capturada, codificada e modificada.

O filme para a fotografia e para o cinema passou por diversas transformações, ao longo de mais de cem anos de evolução, adotando processos tecnológicos sofisticados para tornar a emulsão sensível a luz mais eficiente para registrar a imagem. No entanto, as larguras dos filmes para cinema têm os mesmos valores, de 8, 16, 35 ou 70 mm, desde o início da fotografia em película. Estas larguras definem a bitola do filme e, conseqüentemente, o tipo de câmera cinematográfica, suas lentes e o projetor de exibição. O processo de geração do quadro de imagem em película será discutido na terceira seção.

A captura da luz pelas fotocélulas de um sensor de semicondutor e o aprimoramento da tecnologia para gerar, armazenar e distribuir imagens são apresentados na quarta seção. Os formatos digitais de vídeo evoluíram da resolução standard para a alta definição e, depois, para o 2K, o 4K e o 8 K, na ultra alta definição, com diferentes padrões de codificação e decodificação (*codec*) da imagem, permitindo facilmente a transposição entre os formatos, a sua distribuição e exibição. Na quinta seção são discutidas as características das câmeras de cinema de 35 mm.

O significado do desafio lançado por Tarantino, no seu filme *The Hateful Eight*, e como isso o distingue da cinematografia digital praticada hoje em dia, é debatido na sexta seção. Em seguida, são apresentadas as conclusões e as perspectivas da cinematografia com a fotônica.

2 VISÃO E O MUNDO TRIDIMENSIONAL

A imagem é uma representação em duas dimensões do mundo tridimensional. As investigações sobre a visão têm trazido um entendimento mais preciso sobre o funcionamento da formação e da interpretação das imagens pelo cérebro. O melhor entendimento do processo da visão tem auxiliado a definição da estratégia de desenvolvimento da imagem digital, principalmente com relação aos codecs e à representação digital da imagem. Em uma revisão sobre os estudos da evolução do olho e da visão, (Trevor 2011) demonstra que “as descobertas sugerem que o nosso olho, no estilo câmera, tem raízes surpreendentemente ancestrais e que, antes de adquirir os

elementos necessários para operar como um órgão visual, ele funcionou para detectar luz para modular os ritmos circadianos dos nossos antigos ancestrais” (Trevor 2011).

No olho, a luz passa pelo cristalino, que funciona como uma lente, e é projetada na retina, em uma projeção em perspectiva. Nas filmadoras ou nas câmeras fotográficas, a luz é capturada pela lente e é projetada em uma área no fundo da caixa escura do equipamento, chamada de plano de projeção, onde está colocado o filme ou o sensor de estado sólido. A cena tridimensional, que está no campo de visão do olho ou da câmera, é projetada no plano, gerando uma imagem bidimensional do enquadramento da câmera. A imagem 1 apresenta dois diagramas com a projeção da luz, para o olho e para uma câmera, que são muito semelhantes geometricamente. Um obturador entre a lente e o plano de projeção interrompe a passagem da luz, para que o excesso de luz não sature o registro da imagem no filme ou no sensor.

Imagem 1: À esquerda, são esquematizadas as imagens sendo formadas no olho e em uma câmera fotográfica; à direita, é apresentada a localização do sensor, mostrado através de um corte na câmera (Gomide 2014)



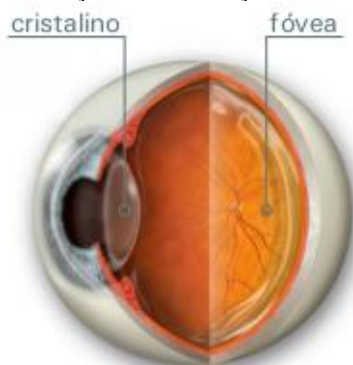
Uma característica determinante da experiência visual é a profundidade de campo. Todos os objetos que estiverem em um certo intervalo de distância do plano de projeção estarão representados nitidamente na imagem e os que se localizarem fora desse intervalo perderão nitidez. Esse intervalo é chamado de profundidade de campo. Os parâmetros que determinam a profundidade de campo são a distância do plano de projeção e dos objetos da cena até a lente, o tamanho da área de projeção e a abertura da lente (Hartley e Zisserman, 2004).

A profundidade de campo no quadro (*frame*) de 35mm do filme, com uma lente de 50mm de distância focal usada em uma câmera de cinema, se assemelha à profundidade de campo da visão humana em grande parte das situações. Quanto menor o dispositivo que captura a luz, seja o quadro da película ou o sensor de estado sólido utilizado para a imagem digital, maior será a profundidade de campo. Essa diferença pode

ser percebida comparando-se a imagem capturada por câmeras de cinema de 35mm das registradas por câmeras de vídeo com sensores de $\frac{3}{4}$ de polegada ou menos, como eram as câmeras de televisão antes da alta definição (HDTV – *high definition television*). A exibição gerada por câmeras de televisão tinha uma profundidade de campo muito grande que, na maioria das vezes, trazia toda a imagem em foco. Sensores de semicondutor, para câmeras digitais, atingiram atualmente dimensões físicas equivalentes ao quadro da película, permitindo a fabricação de câmeras de cinema com esses sensores. As câmeras digitais então utilizam o mesmo conjunto de lentes das câmeras com película.

No olho, a retina é coberta por dois tipos de sensores, os bastonetes e os cones. Os cones são responsáveis pela percepção das cores e os bastonetes do brilho. São aproximadamente 6 milhões de cones, posicionados ao redor do centro da retina, chamada de fóvea, e 125 milhões de bastonetes, espalhados pela retina. A luz é focalizada pela lente do cristalino e projetada ao redor da fóvea. O olho é muito mais sensível a variações de brilho do que de cor, e isso vai determinar a forma em que a imagem é descrita digitalmente. Um corte diagramático do olho está na imagem 2.

Imagem 2: representação de uma secção do olho (Gomide 2014)



Os mecanismos pelos quais percebemos as cores e a intensidade da luz não são de medidas absolutas. A cor de um objeto, em geral, é a combinação de muitas cores diferentes, espalhadas pelo espectro visível. É registrado, porém, apenas o resultado médio dessas cores, que gera a cor que é percebida. O olho humano normal pode detectar, simultaneamente, 130 tons de cor na faixa visível do espectro, distingue fracamente 20 diferenças de saturação em uma cor e em torno de 500 variações de luminosidade (Davson e Perkins, 2013).

A percepção visual dos tons de cores também não é absoluta e depende de como os sensores da retina respondem aos estímulos da luz e como eles são interpretados pelo

cérebro. A percepção é baseada em comparações; isso altera a aparência dos tons de acordo com os contrastes simultâneos do objeto com o ambiente. Também ocorre a formação de pós-imagens, quando se fixa o olhar por muito tempo em um cenário e depois se desvia os olhos, persistindo a imagem do cenário. Deficiências da visão colorida também alteram significativamente a percepção da luz.

Dentro das particularidades do visão, a acuidade visual é uma característica do olho de reconhecer dois pontos muito próximos. Ela é determinada pela menor imagem na retina percebida pelo indivíduo. Sua medida é dada pela relação entre o tamanho do menor objeto visualizado e a distância entre observador e objeto. Para valores menores que o da acuidade visual, dois pontos se fundem, parecendo um só ponto. É essa característica que permite que a imagem digital seja representada como um mosaico de pixels e nos pareça como se fosse contínua, com uma resolução adequada da imagem. A acuidade visual também permite perceber o granulado de alguns tipos de filme.

Outro parâmetro da visão importante, o intervalo ou alcance dinâmico, consiste na diferença entre o valor mais alto e o mais baixo de luminosidade percebida pelo olho. A distribuição da percepção da luminosidade na visão humana não é linear; ela distingue mais nuances nas cores mais escuras do que em cores mais brilhantes. O comportamento é semelhante às películas, seguindo aproximadamente uma curva logarítmica. Os sensores de estado sólido utilizados para capturar a imagem digital têm um comportamento linear. A solução, em todos esses métodos de captura de imagem digital, é aumentar a profundidade de cor em número de bit e distribuir esses valores em uma curva logarítmica, com maior número de valores na região das sombras do que na região de alto brilho (Bianco et al 2012). A adoção dessa estratégia, com as cores sendo representadas com 10 ou mais bit por canal de cor e com resolução cada vez maior, em sensores com área útil maior, tem permitido aproximar a experiência visual da imagem digital da qualidade visual da película, como vai ser discutido nas próximas seções.

3 O QUADRO EM FILME

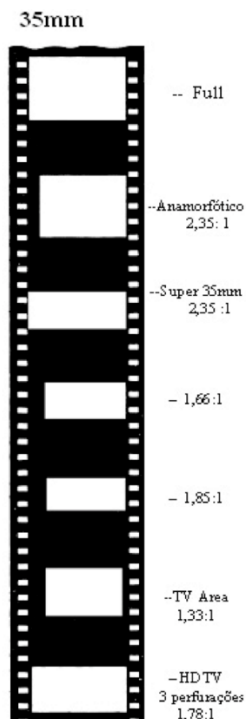
Na cinematografia, a película com cristais de prata é posicionada no plano de projeção. Para a televisão e o vídeo analógico, um sensor do tipo tubo de raios catódicos era instalado nesse plano. No cinema, os filmes foram padronizados com larguras, ou bitolas, fixas, de 8, 16, 35 ou 70 mm. A largura de 35 mm se tornou a mais utilizada na cinematografia e na fotografia, pela sua melhor razão do custo em relação ao benefício,

considerando a qualidade da imagem, o peso do equipamento e a sua portabilidade. No formato de 70 mm, o negativo tem a bitola de 65 mm e o positivo a bitola de 70 mm.

As lentes e todos os componentes óticos, desenvolvidos para esse tipo de película, tinham que levar em consideração a área em que a luz iria incidir na parte fotossensível do filme. Essa área difere em dimensão e distribuição para os diversos filmes de 35 mm, como mostrado no diagrama da imagem 3, dentro de padrões definidos pela indústria, como o Super35 e os formatos anamórficos. O formato de 35 mm de largura foi também adotado nas salas de cinema e se tornou o padrão de exibição. O fotograma da película de 35 mm de largura possui 21,95 mm de largura e 16,00 mm de altura, na proporção de 1,37, no formato acadêmico. Existe também o formato Super 35, com a mesma bitola 35 mm, mas com uma área do fotograma maior, como por exemplo de 24.89 mm × 18.66 mm (Borum 2007, pp. 25-45).

A evolução da tecnologia para fazer a emulsão fotossensível do filme resultou em películas com sensibilidade às cores cada vez maior, com maior intervalo de exposição à luz, granulação dos cristais mais refinada, melhor definição e com maior tempo de vida de armazenamento. O diretor de fotografia podia escolher dentro de uma variedade de filmes negativos ou positivos, balanceados tanto para luz do dia quanto para luz de tungstênio, em um variado intervalo de temperaturas de cor (Borum 2007, pp. 52).

Imagem 3: representação esquemática dos formatos de quadro para a bitola de 35mm (Borum 2007)



A luz incide na parte fotossensível do filme e os cristais de prata sofrem o processo de oxirredução. Depois de feita a fotografia, o filme é enviado para o laboratório, onde passa por banhos químicos, com tempos de duração e temperaturas pré-definidas. Assim, a imagem é revelada e o resultado da fotografia pode ser visto pela primeira vez. O objetivo, no laboratório, é de obter a imagem com as características planejadas previamente. Esse planejamento é baseado na escolha da sensibilidade do filme e dos tipos de lentes e filtros, e nas condições de iluminação e detalhamento de texturas da cena a ser filmada. Muitas vezes, os resultados diferem significativamente do planejado, depois de serem revelados no laboratório. O filme *Delicatessen* é exemplar (Jeunet 1991), como está na declaração do seu diretor, Jean Pierre Jeunet, cujo resultado foi totalmente diferente do planejado. Na sua entrevista para o *making of* do seu outro longa metragem, *Amélie*, que passou por uma pós-produção digital (Jeunet 2004), Jeunet demonstra as diferenças principais entre ambos os formatos.

Para o cinema em película, as cenas do filme são cortadas e montadas em sequência em mesas de montagem, como a Moviola ou o Steenbech, na fase de pós-produção. Se for o caso, as cenas com efeitos visuais são realizadas na impressora ótica, para a inserção dos efeitos. A partir das marcações de cortes da edição e da marcação de luz do diretor de fotografia, é então gerado o interpositivo, também chamado de *master*, para gerar as cópias para exibição. Depois de muitas idas e vindas ao laboratório e na pós-produção, a cópia final, editada, é preparada para a distribuição, acrescentando a banda de áudio. O filme pode ser distribuído no formato negativo ou positivo, dependendo do tipo de exibição (Malkiewicz e Mullen 2005).

Esse é o cenário que encontramos desde a industrialização do cinema, nos anos 1920, até os anos 90 do século passado. A migração do formato em película para o digital tem acontecido paulatinamente e definitivamente desde então. Como resultado, algumas companhias fabricantes de película para fotografia e cinema têm, aos poucos, abandonado a fabricação de filme no formato celuloide. A introdução de recursos digitais na produção cinematográfica começou com os aplicativos desenvolvidos para gerenciar projetos, com planilhas de produção e financeiras, como em tantas outras atividades gerenciais. No entanto, os métodos digitais, tornados factíveis pela fotônica, transformaram radicalmente todas as etapas da produção cinematográfica.

4 O QUADRO DA FOTÔNICA

Atualmente, dois tipos de sensores de estado sólido são utilizados mais amplamente para produzir imagens em câmeras: o CCD (*Charged-Coupled Device*) e o CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*). Ambos foram desenvolvidos como aplicações da fotônica. O CMOS surgiu primeiramente, no início dos anos 1960, e o CCD se baseou em sua arquitetura para ser criado, em 1969. O processo de invenção e construção do CCD aconteceu no lendário Bell Laboratories, um dos mais importantes para o surgimento e o desenvolvimento da fotônica, e essa aventura é recontada pelo seu inventor, George Smith, na palestra da entrega do seu Prêmio Nobel, em 2009 (Smith 2009).

Os sensores de estado sólido, utilizados para capturar imagens em câmeras digitais, transformam a luz em sinal eletrônico. A placa que recebe a luz da cena é constituída por foto-sensores, chamados também de fotocélulas. A luz incide nas fotocélulas do dispositivo e gera uma corrente elétrica, que passa por um conversor de sinal analógico para sinal digital, e é, então, descrita por sequências de bit (*binary digit*), a unidade básica de informação para a computação e a comunicação digitais. Os bit são codificados em padrões desenvolvidos por consórcios de empresas do audiovisual, como o *Motion Pictures Experts Group* (MPEG) e o *Joint Photographic Experts Group* (JPEG), nos chamados *codecs*, para que as imagens possam ser capturadas, armazenadas, distribuídas e reproduzidas. O CCD era o dispositivo mais utilizado até o início dos anos 2000, quando novas formas de construir o CMOS fez com que ele se tornasse o mais utilizado, tanto para câmeras de telefones celulares quanto para câmeras digitais de cinema.

A imagem digital, ao ser exibida, geralmente é construída na forma de um mosaico, a partir de uma matriz de elementos de imagem, os pixels, colocados lado a lado. Cada pixel pode ter um único valor de cor dentro do conjunto limitado de cores disponíveis para cada formato de imagem. A quantidade de pixels determina a resolução da imagem e a quantidade de cores disponíveis a profundidade de cor em bit. A acuidade visual, que é o menor ângulo que a visão consegue reconhecer dois pontos separados, e o tamanho do pixel permitem que se crie a ilusão da imagem ser contínua e não construída como um mosaico. Outros parâmetros também têm que ser ajustados para que a imagem simule a nossa experiência subjetiva da visão (Pedrini e Schwartz 2008).

A imagem digital teve que superar a qualidade dos padrões de imagem analógica existentes, seja na fotografia, na televisão, no cinema ou na mídia impressa. Isso foi

acontecendo paulatinamente, primeiro para a fotografia e a mídia impressa, em seguida para a televisão e, por último, o cinema, com diferentes estratégias e variações tecnológicas. Inicialmente, a área de captura de luz destes sensores era menor que 20 mm e produzia uma imagem semelhante às câmeras de vídeo analógico, com uma profundidade de campo grande. O aumento da área útil dos sensores, o aumento do número de fotocélulas, com a diminuição de seu tamanho, e a representação de um maior número de cores impulsionou o seu uso em câmeras cinematográficas. Tudo isso foi possível também com o melhor desempenho dos processadores e da velocidade de distribuição de dados.

As cores na imagem digital passaram a ser decompostas em suas três componentes a partir do final dos anos 1980, com o aumento da capacidade de processamento dos computadores. Essas componentes podem ser a verde, a vermelha e a azul, ou a ciana, a magenta e a amarela, ou o matiz, a luminosidade e a saturação, ou outras variações, e todas estas representações da cor devem ser equivalentes. A aplicação de um conjunto ou outro de componentes depende do momento em que a imagem está sendo trabalhada e de sua finalização para exibição.

A quantidade de combinações destas componentes, para gerar todas as cores possíveis, é determinada pela quantidade de bit. Um bit permite a representação de duas cores, dois bit quatro, três bit oito cores e, em forma geral, n bit permitem representar uma potência n de 2, em número de cores. Nos formatos de cinema digital mais utilizados, que possuem a resolução de 2048 x 1080 pixels no chamado formato 2K, ou 4096x2160 pixels no 4K, o número de cores possíveis para cada pixel tem 10 bit ou 12 bit por cada componente de cor. Como 10 bit equivale a 1024, o número de cores possíveis para esta profundidade de cor é pouco acima de 1 bilhão e 70 milhões. Para 12 bit, que equivale a 4096 valores por componente, temos pouco mais de 68 bilhões e 700 milhões de cores disponíveis. A imagem representada por 8 bit por componente, que é a mais utilizada ainda hoje, conhecida como *Truecolor*, com 24 bit de valores de cor, ou 16 milhões e 700 mil, será substituída por estas profundidades maiores de cor inevitavelmente, devido ao aumento da capacidade de processamento e à melhoria da qualidade visual da imagem.

Ao mesmo tempo, a imagem digital provocou a convergência dos meios de produção para as diversas mídias e facilitou imensamente a sua distribuição, com codecs padronizados. O armazenamento e a distribuição de arquivos digitais para cinema digital é ainda um desafio, devido à grande quantidade de informações por segundo que deve ser processada. Um quadro de imagem no formato 4K, sem compressão, com 12 bit por

canal de cor, pode chegar a 319 Mbit. Com a cadência de 24 quadros por segundo, o fluxo de bits chega a 7,6 Gbit/seg. Esta quantidade de dados é manipulável apenas por computadores preparados para isso e em redes de 10 Gbits/seg, o que representa um custo adicional para a produção. Por isso, em geral, a distribuição dos arquivos é realizado com fibras óticas, que permite um fluxo de bit maior, como acontece hoje no Japão, onde todas as residências são conectadas a redes de fibras óticas. O padrão mais comum de imagem nessa rede é o 4K e a distribuição em 8K está sendo implementada nos últimos anos, como na transmissão por satélite, como foi apresentada na mesa redonda “Além do HD: soluções 4K/8K para aquisição e pós-produção na próxima geração de formatos de broadcasting” (SETEXPO 2015).

A facilidade em visualizar imediatamente a imagem que foi capturada é um diferencial a favor da imagem digital. No entanto, em alguns formatos de alta resolução e com grande variedade de cores, principalmente para câmeras de cinema, isso ainda não é possível, por causa da dificuldade de processamento da imagem em tempo real. Mesmo assim, atualmente quase todas as câmeras digitais permitem a visualização imediata da imagem capturada e a repetição da visualização quantas vezes for necessária. Se a imagem ou vídeo não agrada, basta apagar o arquivo digital e gravar novamente. Esse é um procedimento impossível de se fazer com o filme. Nas outras etapas do fluxo de trabalho, as ferramentas associadas à imagem digital permitem expandir as possibilidades artísticas e narrativas com relação à imagem analógica e o filme.

O papel da fotônica, modificando todo o fluxo de trabalho, é notável nas mudanças introduzidas na pós-produção para o cinema, que alterou completamente todo o cenário desse setor. A pós-produção acontece depois das filmagens, quando são realizados os efeitos visuais, a sonorização e a edição. A migração da pós-produção para o formato digital aconteceu em diversas etapas. Até os anos 1980, os efeitos visuais eram realizados exclusivamente com truques óticos. No início da edição digital não-linear, as cenas que seriam trabalhadas na pós-produção eram marcadas na lista de corte e as películas eram enviadas para a impressora ótica. Com a possibilidade de digitalizar cada quadro do filme com lasers, e transformá-lo em um quadro digital de alta resolução e alta qualidade, e equipamentos que permitiam manipular a imagem diretamente no computador, a pós-produção passou então a ser realizada diretamente nos computadores.

A transformação dos quadros de filme para o formato digital é chamada de geração do *digital intermediate*, o intermediário digital. Nesse processo, três feixes de laser, nas cores vermelha, verde e azul, passam através da película e varrem cada quadro do filme,

um de cada vez. Após atravessar o filme, a luz dos lasers é registrada em um dispositivo de semicondutor. A saída das imagens trabalhadas, posteriormente, para a película é feita com um processo inverso ao *scanner*, chamada de *transfer*, novamente utilizando os lasers. Com a melhoria dos equipamentos de digitalização dos quadros e do desempenho dos processadores e software de manipulação de imagem, todos os rolos de película passaram a ser digitalizados, guardados no formato digital em discos rígidos, editados e trabalhados diretamente nesse formato, em todas as etapas da pós-produção, incluindo a correção de cor, os efeitos visuais e os letreiros. Depois era feito o *transfer*, para gerar o interpositivo e as cópias para exibição em salas de cinema com película. Com a câmera de cinema digital, todo o processo de captura e armazenamento da imagem agora é realizado digitalmente.

5 CÂMERAS E SENSORES DE 35 MM

As maiores e mais tradicionais fabricantes de câmeras de cinema com película, que são a Aaton, a Arri e a Panavision, abandonaram a película e atualmente só produzem estes equipamentos sob demanda. O fundador da Aaton, Jean-Pierre Beauviala, descreve o motivo: “Praticamente ninguém está comprando câmeras novas de cinema com película. Por que comprar uma nova quando existem tantas câmeras usadas ao redor do mundo?” (Kaufmann 2011)

Na imagem 4 são apresentadas uma filmadora com película e uma filmadora digital, ambas do mesmo fabricante, a Arri.

Imagem 4: uma câmera de cinema com película, à esquerda, e uma digital para cinema, à direita, do mesmo fabricante, Arri (Fonte: www.arri.com)



A resolução maior será para pixels menores e maior quantidade de fotocélulas. Duas estratégias diferentes são utilizadas para capturar a luz e dividí-la em suas componentes de cor. Em uma delas, é colocado um prisma logo depois da lente, que

divide a luz nas componentes vermelha, verde e azul, como na imagem 5. Cada componente é capturada por um sensor, em um total de três. A outra estratégia é colocar filtros na frente de um sensor único, e estes filtros separam as componentes. Na imagem 6 é ilustrado o filtro do tipo malha de Bayer.

Imagem 5: diagrama esquemático mostrando a separação da luz pelo prisma após passar pela lente.

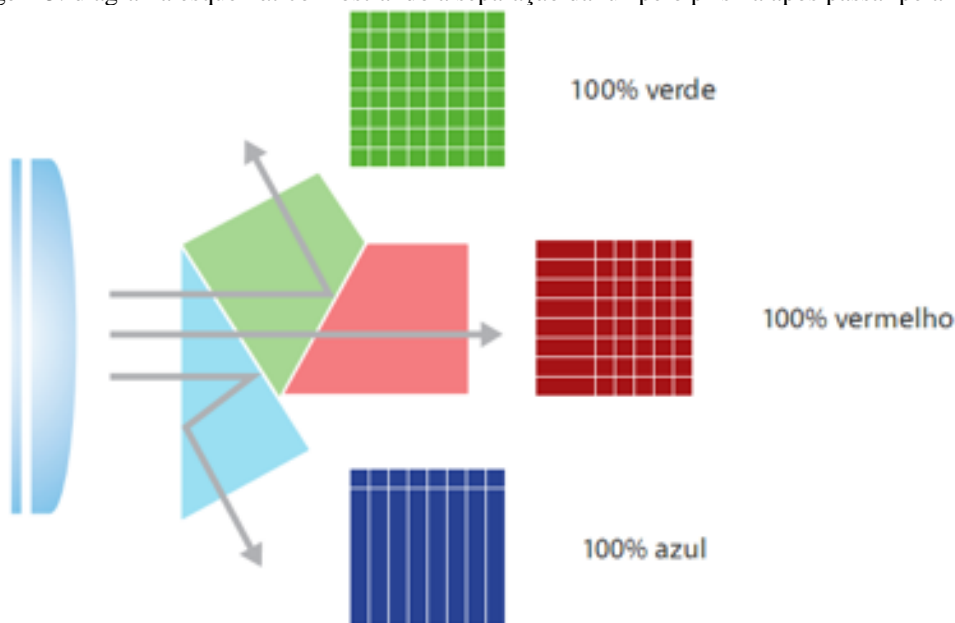
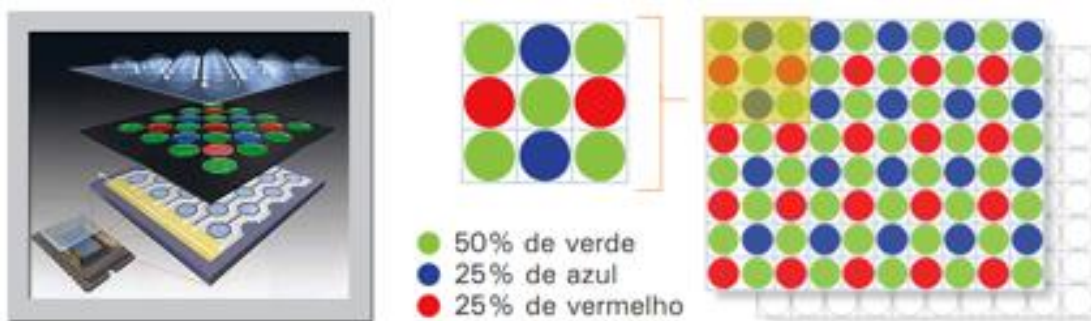


Imagem 6: diagrama com uma malha de Bayer, à esquerda, e a distribuição de cores dos filtros à direita.



Inicialmente, a área de captura de luz destes sensores era menor que 20 mm e produzia imagem semelhante às câmeras de vídeo analógica. O aumento da área útil dos sensores, o aumento do número de fotocélulas, a diminuição de seu tamanho e a representação de um maior número de cores impulsionou o seu uso em câmeras cinematográficas.

O surgimento das câmeras de televisão de alta definição da Sony no final dos anos 1990, da linha CineAlta HDW-F900, com sensores com área útil semelhante ao fotograma de 35 mm, possibilitou começar a fazer cinema digitalmente. Os primeiros

exemplos de filmes realizados com esta câmera surgiram rapidamente, com *Vidocq* (Pitof 2001) e *Star Wars Episode II* (2002). Acompanhei toda a produção de *Os Normais* (Alvarenga 2003), para a Globo Filmes, que utilizava os mesmos recursos. A câmera CineAlta foi posteriormente desenvolvida em colaboração com a Panavision, gerando a Panavision HD-900F. Novos fabricantes entraram no mercado de produção de câmeras digitais, como os tradicionais Aaton, Panavision e ARRI, além de novos fornecedores, como a RED.

Quando se vai gravar no formato digital, se pode rever a cena imediatamente e permanecer com ela no banco de memória da produção ou apagá-la, caso ela não seja útil, processo muito diferente do fluxo de trabalho com película. As imagens são armazenadas em bancos de memória que podem ser acessados pelos equipamentos de pós-produção imediatamente. Atualmente, com a conexão 5G, será possível fazer o armazenamento diretamente na nuvem, sem a necessidade de bancos de memória locais.

Com o aumento do intervalo dinâmico, da profundidade de cor, da resolução e com estratégias para aproximar o desempenho dos sensores de estado sólido ao da película, a migração para o formato digital é natural. A facilidade de sincronizar duas câmeras de cinema digital foi um dos motivos do sucesso do ressurgimento da produção do cinema 3D, para posterior exibição estereoscópica. Estudos sobre o desempenho dos sensores de estado sólido podem ser encontrados em (Clark 2021). Dados detalhados sobre a performance de filmes da Kodak podem ser obtidos no portal do fabricante (Kodak 2021).

6 THE HATEFUL EIGHT E A CINEMATOGRAFIA

O diretor de cinema Quentin Tarantino tem sido um crítico contundente ao avanço da cinematografia digital e de seus equipamentos e métodos de trabalho. Em 2013, ele disse que se aposentaria por causa da maneira como a imagem é representada e distribuída digitalmente. Quase todas as salas de exibição utilizam atualmente o formato digital e, como declara, ele odeia a forma de gravar digitalmente. Para Tarantino, no caso do uso do formato digital, é mais simples e correto fazer diretamente para a televisão, sem passar por toda a pressão da produção cinematográfica. Ele afirmou, em uma entrevista que aconteceu logo depois da premiação do Oscar em 2013, que não foi preparado para o digital e que iria se tornar apenas um escritor para cinema (The Hollywood Reporter 2013).

Em 2015, Tarantino lançou mais um longa metragem, que ele escreveu e dirigiu. Esse filme traz consigo um grande diferencial no tipo de imagem produzida, que é pouco acessível para o formato digital ainda. Tarantino utilizou uma câmera com a bitola 70 mm e o seu diretor de fotografia, Robert Richardson, encontrou um conjunto de lentes anamórficas para essa câmera, que foram usadas no clássico *Ben-Hur*, e não eram utilizadas desde 1966. Isso abriu a possibilidade de trabalhar no formato com o fator de forma, isto é, a razão entre a largura da imagem pela sua altura, de 2,76, muito maior que os formatos de cinema comumente utilizados, que vão de 1,85 a 2,35. Para comparação, o fator de forma da televisão digital de alta definição é de 1,78. O formato ultra largo é ideal para registrar paisagens e para enquadrar, em um diálogo, todos os personagens (British Cinematographer 2016).

O filme *The Hateful Eight* tem grande parte das cenas gravadas em ambientes fechados, como a cabine da carruagem e o salão da estalagem. O impacto visual das cenas internas da carruagem e da estalagem se deve ao enquadramento de todos os personagens, com a visão panorâmica do cenário, utilizando a profundidade de campo mais reduzida da bitola de 70 mm. Para resolver o problema do tamanho da câmera no interior da carruagem, a cabine foi reproduzida em estúdio e aberta na quarta parede, para o posicionamento da filmadora. Nestas cenas, se sente a falta do movimento mecânico da carruagem, mas isso não compromete a maneira em que se contou a estória. Na imagem 7, o diretor de fotografia Robert Richardson utiliza a câmera Panavision de 70mm durante a filmagem de *The Hateful Eight*. Poucos modelos de câmera de cinema digital utilizam sensores com área útil semelhante ao quadro da bitola de 70mm, como a Arri Alexa 65 e a Phantom 65, as primeiras com essa dimensão, lançadas na mesma época em que as cenas do longa metragem *The Hateful Eight* estavam sendo filmadas.

O filme foi lançado em um *Roadshow*, em quase cem salas de cinema nos Estados Unidos preparadas para exibir o formato de bitola 70 mm em película. Todo o processo de produção e pós-produção foram realizados na forma tradicional, com tratamento químico. O *digital intermediate* foi gerado a partir do filme editado. Isto fez com que todas as características da fotografia em película fossem mantidas na versão digital, com as características do formato de 70 mm acrescidos na qualidade da imagem.

Imagem 7: o diretor de fotografia Robert Richardson, na gravação de uma cena externa, no inverno do Colorado, EUA, com a câmera Panavision de 70mm e o conjunto de lentes anamórficas (Fonte: British Cinematographer 2016)



7 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

O desenvolvimento dos sensores de estado sólido, dos lasers e da fibra ótica revolucionou a forma de capturar, armazenar e distribuir a imagem. Desde meados da década de 1990, se observou uma popularização cada vez maior do uso da imagem digital, para variadas mídias. A fotografia em película foi substituída pela fotografia digital. Praticamente todos os fabricantes de filme para fotografia abandonaram a produção da película fotográfica.

A possibilidade de transpor o quadro do filme para um quadro digital, com o uso de lasers para digitalizar a imagem, e sensores de estado sólido, para capturá-la, modificou a maneira de se realizar os efeitos visuais e a edição das imagens. Posteriormente, com os sensores de estado sólido atingindo as dimensões do quadro do filme, com aumento da resolução da imagem e da profundidade de cor, o mesmo conjunto de lentes utilizado para o cinema em película pode ser utilizado para as câmeras digitais. Essa convergência dos meios de produção fez com que o visual da televisão se transformasse, assim como a maneira de se produzir para o cinema. Essa última conquista começou no início dos anos 2000, com os primeiros longas metragens totalmente capturados digitalmente, *Vidocq* (Pitof 2001) e *Star Wars: Episode II* (Lucas 2002), e a utilização de câmeras digitais de cinema pelas produtoras de conteúdo para televisão.

Gene Warren, diretor da *Fantasy II Film Effects*, que produziu, dentre outros filmes, o *Drácula de Bram Stoker* (1992), *Underworld* (2003) e a série televisiva *Lost* (2004-2008), comenta a transformação nos meios de produção: “Nós finalmente paramos de usar a impressora ótica em 2002. Até o fim podíamos criar composições incríveis com nossas velhas máquinas. Mas não conseguíamos competir com os garotos que podiam gastar alguns poucos milhares de dólares em uma workstation e alguns software. Qualquer um pode agora juntar algumas camadas de imagem apertando poucas teclas, mas não há dúvida de que saber como realmente uma tomada funciona – seja ela digital ou ótica – é uma arte. Mas a honorável técnica de obter uma grande imagem daquelas velhas máquinas imensas é atualmente redundante e esse talento tradicional será logo perdido para sempre” (Rickitt 2007).

A rápida e sustentada evolução dos dispositivos derivados da fotônica, com a melhoria dos processos de construção obtidos com a compreensão dos processos envolvidos, vai continuar a modificar significativamente o cenário da produção audiovisual por muitos anos. Atualmente, as tendências são o aumento da resolução da imagem, com a adoção dos formatos 4K e 8K, e a expansão do fornecimento de vídeo sob demanda, por empresas como a Netflix. Isso tem forçado uma readequação da distribuição de televisão do tipo *broadcast*, ameaçando muitas vezes a existência desse sistema, que tem visto diminuir significativamente a sua audiência. Também os sensores das câmeras atingiram dimensões equivalentes à bitola de 70 mm do cinema em película, com os resultados incorporados na qualidade da imagem final. A conexão 5G vai permitir que as imagens sejam imediatamente enviadas para as nuvens de armazenamento, dispensando o uso de armazenamento local do material gravado. Em todos esses eventos, o papel da fotônica é central para disponibilizar os recursos para realizar as mudanças radicais dos meios de produção e das possibilidades narrativas e de linguagem das mídias.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho teve o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e do Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA 2003, Os Normais (2003). Dir. José Alvarenga Jr, Brasil.
- BIANCO, S., BRUNA, A., NACCARI, F. and SCHETTINI, R. (2012) *Color space transformations for digital photography exploiting information about the illuminant estimation process*. JOSA A, vol. 29, no. 3, pp. 374-384.
- BRITISH CINEMATOGRAPHER 2016, no site do British Cinematographer, sobre o diretor de fotografia de The Hateful Eight, Robert Richardson, em <https://britishcinematographer.co.uk/robert-richardson-asc-the-hateful-eight/>, acessado em 20/02/2021.
- BURUM, S.H. (2007). *American Cinematographer Manual*, 7th ed, Hollywood, EUA, The ASC Press, 886 pp.
- CLARK, R.N. 2021, "Digital Camera Sensor Performance Summary" no portal <http://www.clarkvision.com/articles/digital.sensor.performance.summary/>, visitado em 15/02/2021.
- DAVSON, H. and PERKINS, E.S. (2013) "*Human Eye*", in Encyclopedia Britannica, <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1688997/human-eye>, visitado em 20/02/2021.
- GOMIDE, J.V.B. (2014) - *Imagem Digital Aplicada*. São Paulo, Brasil, Editora Campus/Elsevier, 200 pp.
- GOULD, R. G. (1959). "The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". In Franken, P.A.; Sands R.H. (eds.). The Ann Arbor Conference on Optical Pumping, the University of Michigan, 15 June through 18 June 1959. p. 128. OCLC 02460155
- HARTLEY, R. e ZISSERMAN, A. (2004). *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press. 655 pp.
- IMDb 2013, premiações e indicações para prêmio do filme Life of Pi, no endereço http://www.imdb.com/title/tt0454876/awards?ref_=tt_awd, acessado em 20/02/2021.
- JEUNET 1991, *Delicatessen* (1991). Dir. Jean-Pierre Jeunet e Marc Caro, França.
- JEUNET 2004, *Amélie* (2004). Dir. Jean-Pierre Jeunet, França.
- KODAK 2021, informações sobre diversos tipos de película para cinema: http://motion.kodak.com/motion/Products/Distribution_And_Exhibition/index.htm, visitado em 15/02/2021.
- LEE 2012. *Life of Pi* (2012). Dir, Ang Lee, EUA.
- LUCAS 2002, *Star Wars: Episode II* (2002). Dir. George Lucas, EUA.
- MALKIEWICZ, K. e MULLEN, M.D. (2005). *Cinematography*, 3th ed., New York, EUA, Fireside Book. 272 pp.

PEDRINI, H. e SCHWARTZ, W.R. (2007) *Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações*. São Paulo, Brasil, Thomsom Learning. 528 pp.

PHOTONICS 2021, em *What Is Photonics*, em https://www.photonics.com/Articles/What_Is_Photonics/a65926, acessado em 20/02/2021.

PITOF 2001, *Vidocq* (2001). Dir. Pitof, França.

RICKITT, Richard (2007). *Special Effects, the History and Technique*, 2nd ed, New York, EUA, Billboard Books. 384 pp.

SETEXPO 2015, evento da Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão, o *Broadcast and New Media Technology Trade Show & Conference*, com a mesa redonda “*Além do HD: soluções 4K/8K para aquisição e pós-produção na próxima geração de formatos de broadcasting*”, no endereço eletrônico <http://www.setexpo.com.br/2015/sessions/alem-do-hd-solucoes-4k-8k-para-aquisicao-e-pos-producao-na-proxima-geracao-de-formatos-de-broadcasting/>, acessado em 20/02/2021.

SMITH, G.E. (2009). *The invention and early history of the ccd*. Palestra de entrega do Prêmio Nobel de 2009, na página oficial do Prêmio, em https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2009/smith_lecture.pdf, acessado em 20/02/2021.

STUMP, D. (2014). *Digital Cinematography: Fundamentals, Tools, Techniques, and Workflows*. Focal Press. 494 pp.

TARANTINO 2013, *Django Unchained* (2012). Dir. Quantin Tarantino, EUA.

TARANTINO 2015, *The Hateful Eight* (2015). Dir. Quantin Tarantino, EUA.

THE HOLLYWOOD REPORTER 2013, entrevista com Quentin Tarantino, para o portal The Hollywood Reporter, em <http://www.hollywoodreporter.com/news/quentin-tarantino-says-digital-projection-394853>, visitado em 15/02/2021.

THE HOLLYWOOD REPORTER 2016, artigo sobre a cinematografia do filme *Hateful Eight* no portal The Hollywood Reporter, em <http://www.hollywoodreporter.com/news/how-hateful-eight-cinematographer-revived-852586>, visitado em 15/02/2021.

TREVOR, D.L. (2011). *Evolution of the Eye*. Scientific American 305, 64 - 69.