

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO, ARTE E HISTÓRIA DA CULTURA

VITOR DAMIANI

FOTOGRAFIA 2D e 3D
Imagens da interdisciplinaridade entre Arte e Ciência

São Paulo
2016

VITOR DAMIANI

FOTOGRAFIA 2D e 3D

Imagens da interdisciplinaridade entre Arte e Ciência

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Educação, Arte e História da Cultura da Universidade Presbiteriana Mackenzie como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação, Arte e História da Cultura

ORIENTADOR: Dr. Marcos Rizolli

São Paulo
2016

D158f Damiani, Vitor
Fotografia 2D e 3D : imagens da interdisciplinaridade entre arte e ciência. / Vitor Damiani – 2016.
97 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Educação, Arte e História da Cultura)
-- Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.
Referências bibliográficas: f. 96 - 97.

1. Fotografia. 2. Arte. 3. Fotogrametria. 4. Cronofotografia. 5. Escaneamento 3D. 6. Impressão 3D. I. Título.

CDD 779

VITOR DAMIANI

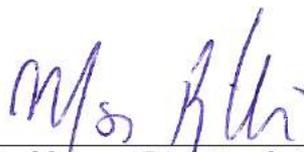
FOTOGRAFIA 2D e 3D

Imagens da interdisciplinaridade entre Arte e Ciência

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Educação, Arte e História da Cultura da Universidade Presbiteriana Mackenzie como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação, Arte e História da Cultura

Aprovado em 06/04/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcos Rizolli – Orientador
Universidade Presbiteriana Mackenzie



Prof. Dr. Regina Lara – Examinadora Interna
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Sullivan Bernardo de Almeida – Examinador Externo
Universidade São Judas Tadeu



AGRADECIMENTOS

Aos que me fizeram, inigualáveis no carinho e amor, obrigado pela vida e pela referência de como vivê-la. Ao meu querido pai (in memoriam), por meu caráter e pelos ensinamentos eternos. À minha mãe, por tudo.

À Mariana, meu amor, meu trampolim motivacional, pela luz dos olhos da minha Nina.

Ao Marcos Rizolli, por acreditar em mim, me motivar e direcionar.

À equipe do DT3D do CTI, especialmente ao Jorge Vicente, Marcelo Oliveira, Izaque Maia e Paulo Inforçatti, pelas ricas discussões, compartilhamento de conhecimento e contribuições inestimáveis.

Ao Marcelo, da Sethi3D, pela contribuição com impressões 3D e proveitoso intercâmbio de experiências.

*Absorva o que for útil,
Descarte o que não for,
E adicione aquilo que for unicamente seu.*

Bruce Lee

RESUMO

A história da fotografia está permeada de (r)evoluções tecnológicas que possibilitaram o desenvolvimento de conceitos em diversas áreas e ampla expressão artística. Nesta pesquisa, propomos a utilização da fotografia como método de conversão de imagens 2D em objetos 3D digitais, passíveis de manipulação e intervenções, para a produção de objeto artístico. Esse processo de criação digital já existe como metodologia, mas outro aspecto tem importante valor aqui: a descrição do movimento através da imagem, e suas diversas formas de representação (como rastro, borrão ou mesmo ausência de matéria). Perguntamos: poderia tal borrão, presente na bidimensionalidade da fotografia em longa exposição de um objeto em movimento, ser representado como um objeto real, palpável? Quais as implicações midiáticas e como o artista poderia utilizar tal metodologia para sua expressão visual? Utilizando conceitos da cronofotografia, vislumbres cubistas, técnicas cinematográficas de *stop-motion* e novas tecnologias, exploramos a transposição de aspectos da imagem em representações tridimensionais reais, com o uso de impressão 3D como recurso para solidificação dos modelos. Este trabalho teve como fruto um objeto artístico, a partir da materialização de movimentos na forma de um objeto real. Mas as possibilidades vão além: impressões 3D com transparências, objetos em grande escala, produção de formas não-humanas, captura de movimentos para aplicação nos objetos escaneados. Portanto, o conhecimento produzido traz contribuições que podem ser utilizadas em outras pesquisas: a metodologia que elaboramos pode ser reutilizada (inclusive com outras finalidades) em diversas áreas de conhecimento, tanto para criações artísticas quanto para aplicações científicas.

Palavras-chave: Fotografia. Arte. Fotogrametria. Cronofotografia. Escaneamento 3D. Impressão 3D.

ABSTRACT

The history of photography is permeated with technological breakthroughs that enabled the development of concepts in different areas and wide artistic expression. In this work, the photography is used as a conversion method from 2D images to 3D digital models that are subject to interventions and manipulations in order to produce an artistic object. The aforementioned method already exists, but another aspect of photography has important value here: the description of the movement through images and its many forms of representation (such as a trail, blur or absence of matter). A question arose: could such a blur be inherited from the bidimensionality of the long exposure photography into a real, touchable object? What are the media-related implications and how could the artist use this methodology to his visual expression? By using concepts of chronophotography, cubist glimpses, cinematic techniques like stop-motion and new technologies, we explore the transposition from image-related aspects into real tridimensional representations, with the use of 3D printing. The results of this work are artistic objects that represent the materialization of the movement in the photography into a real object. Nevertheless, the possibilities go beyond: graduated transparency and large-scale 3D prints, production of non-human forms and customized motion capture as the objects' motion source. Therefore, the knowledge produced brings contributions that can be used in other researches: the applied methodology can be re-used (as well as for other purposes) in various areas of knowledge, both for artistic creations and scientific applications.

Keywords: Photography. Photogrammetry. Chronophotography. 3D Scan. 3D Printing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Câmera escura.....	17
Figura 2 – "Vista da janela do estúdio". Nicéphore Niépce, 1827	18
Figura 3 – Sapo durante salto ("Leaping Leopard Frog")	21
Figura 4 – Momento exato da execução de um prisioneiro Vietcongue	22
Figura 5 – "Atrás da Estação Saint Lazare", de Henri-Cartier Bresson	23
Figura 6 – Aparência sólida do líquido após gota de água.....	25
Figura 7 – "Change of Position", de Anton Bragaglia	26
Figura 8 – Voo do pelicano	27
Figura 9 – Étienne-Jules Marey em seu estúdio	28
Figura 10 – "Wobbling Pole"	28
Figura 11 – Escultura em bronze	29
Figura 12 – Decomposição do movimento	30
Figura 13 – Rifle fotográfico	31
Figura 14 – Estudos em aerodinâmica.....	31
Figura 15 – "Cavalo durante galope", de Muybridge	32
Figura 16 – "The Horse in Motion", de Muybridge.....	33
Figura 17 – Zoopraxinoscópio.....	33
Figura 18 – O aparelho "Zootropo".....	34
Figura 19 – "Boys playing Leapfrog"	35
Figura 20 – "Uomo che suona il contrabbasso" (1911)	36
Figura 21 – "Nu Descendant un Escalier", de Duchamp	37
Figura 22 – Foto de Muybridge e a representação na pintura de Degas	38
Figura 23 – Salto de motocross (técnica de cronofotografia contemporânea)	40
Figura 24 – Cronofotografia contemporânea.....	41
Figura 25 – Óculos 3D da marca Sony	43
Figura 26 – Objeto real (esquerda) e escaneado em 3D (direita)	44
Figura 27 – Nuvem de pontos 3D da escultura <i>Soror Dolorosa</i> , de Victor Brecheret.....	45
Figura 28 – Exemplo de escaneamento.....	45
Figura 29 – Escâner de contato (CMM)	46
Figura 30 – Escâner de contato (a Laser)	47
Figura 31 – Diagrama do sistema de triangulação	48

Figura 32 – Montagem do escâner (esquerda) e etapas do processo (direita)	48
Figura 33 – Princípio de funcionamento do escâner de Luz Estruturada	49
Figura 34 – Tomografia Computadorizada	49
Figura 35 – Escaneamento 3D do Coliseu	51
Figura 36 – Estúdio com fundo verde e câmeras posicionadas	52
Figura 37 – Estrutura de escaneamento 3D simultâneo com sobreposição digital dos círculos (vermelho) e pontos de câmeras (amarelos)	53
Figura 38 – Estúdio	54
Figura 39 – Algumas das etapas de desenvolvimento do produto	55
Figura 40 – Modelo digital da mesa giratória.....	55
Figura 41 – Mesa giratória.....	56
Figura 42 – Modelo escaneado e as posições das câmeras no espaço	57
Figura 43 – Vista lateral com posições da câmera em relação ao modelo escaneado.....	57
Figura 44 – Placa de Isopor com desenhos para facilitar o processamento das imagens.....	58
Figura 45 – Celular sendo usado para escanear em 3D	60
Figura 46 – Posições da câmera em cada fotografia	63
Figura 47 – Criação do projeto de captura	64
Figura 48 – Origem das imagens	64
Figura 49 – Seleção das imagens	65
Figura 50 – Revisão das imagens	65
Figura 51 – Escolha do nome.....	66
Figura 52 – Resultado do processamento.....	67
Figura 53 – Modelo digital finalizado, em ambiente de visualização online	67
Figura 54 – Modelagem 3D digital (esquerda) e objeto impresso em 3D (direita).....	70
Figura 55 – <i>SuperFrabjous</i> , obra de George W. Hart.....	71
Figura 56 – “Attracted to Light”, de Geoffrey Mann	72
Figura 57 – “Arabesque”, de Peter Jansen	73
Figura 58 – As versões de “Nude Descending a Staircase” de Eliot Elisofon (esquerda), do próprio Marcel Duchamp (centro) e de Peter Jansen (direita).....	74
Figura 59 – “Nude”, longa exposição com corpo de bailarino	75
Figura 60 – Impressora MakerBot e alguns materiais	76
Figura 61 – Impressão 3D em FDM	77
Figura 62 – Obra de Dan Collins	78

Figuras 63 e 64 – Boneco articulado com superfície pintada (direita) e superfície original lisa (esquerda)	80
Figura 65 – Ilustração da movimentação do boneco articulado	81
Figura 66 – Modelos sequenciados.....	82
Figura 67 – Modelos gerados à partir do escaneamento 3D de 30 poses diferentes	83
Figura 68 – Produto da justaposição dos modelos.....	84
Figura 69 – Objeto sendo impresso, sobre a mesa de impressão e sob o cabeçote com o filamento	85
Figura 70 – Pés do boneco fatiados no programa <i>Repetier</i>	85
Figura 71 – Material de suporte sustenta as partes para que não fiquem flutuantes	86
Figura 72 – Objeto artístico	87
Figura 73 – Objeto artístico	88
Figura 74 – Objeto artístico	89
Figura 75 – Objetos aumentando até 250 cópias.....	90
Figura 76 – Objeto com 250 posições diferentes embutidas.....	91
Figura 77 – Vista frontal do objeto.....	92

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 IMAGEM 2D E 3D: MÉTODOS, TÉCNICAS E TECNOLOGIAS	15
1.1 O INSTANTE FOTOGRÁFICO.....	15
1.2 CRONOFOTOGRAFIA	27
1.2.1 Um panorama histórico.....	27
1.2.2 Na atualidade	40
1.3 CAPTURA TRIDIMENSIONAL.....	42
2 METODOLOGIA PARA PRODUÇÃO DO EXPERIMENTO: PROPOSTA	52
2.1 ESCANEAMENTO 3D.....	52
2.1.1 Captura Fotográfica.....	60
2.1.2 Processamento das Imagens	63
2.2 MANIPULAÇÃO DIGITAL	69
2.3 IMPRESSÃO 3D	76
3 EXPERIMENTO IMAGÉTICO	80
3.1 O PROCESSO	80
3.2 RESULTADOS.....	87
4 CONCLUSÃO	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

INTRODUÇÃO

A história da fotografia está permeada de (r)evoluções tecnológicas que possibilitaram o desenvolvimento de conceitos em diversas áreas e ampla expressão artística. Houve momentos importantes de seu desenvolvimento, da invenção da cronofotografia até técnicas recentes utilizadas no cinema contemporâneo (e que servem como base para diversas aplicações em diferentes áreas do conhecimento humano).

Nesta pesquisa, a fotografia é utilizada como método de conversão de imagens 2D em objetos 3D digitais, passíveis de intervenções. O processo de criação digital já existe como metodologia, mas outro aspecto tem importante valor aqui: a descrição do movimento através da imagem, e as diversas formas de sua representação (como rastro, borrão ou mesmo ausência de matéria). Perguntamos: poderia tal borrão, presente na bidimensionalidade da fotografia em longa exposição de um objeto em movimento, ser representado como um objeto real, palpável? Quais as implicações midiáticas e como o artista poderia utilizar tal metodologia para sua expressão visual? Utilizando conceitos da cronofotografia, vislumbres cubistas, técnicas cinematográficas de stop-motion e novas tecnologias, exploramos a transposição de aspectos da imagem em representações tridimensionais reais, com o uso de impressão 3D como recurso para solidificação dos modelos.

A popularização do acesso a dispositivos tecnológicos de geração de imagem e computadores, aliada à evolução tecnológica de programas, possibilita uma metodologia de conversão de imagens 2D em modelos digitais 3D. Utilizamos centenas de imagens de um mesmo objeto em ângulos variados e, usando um programa de computador, geramos um modelo 3D equivalente, como uma cópia do objeto. Assim como uma impressora convencional transfere uma fotografia ao papel, a impressão 3D (considerada por muitos como a Nova Revolução Industrial) permite a solidificação do modelo digital em um objeto real, palpável. Na metodologia aqui proposta é realizada a captura de movimentos de um boneco humanoide, para gerar modelos digitais que sofrerão intervenções para produzir um objeto artístico que retenha singularidades das posições capturadas, unidas com a multiplicidade da união em um único bloco. Em suma, é a materialização de movimentos na forma de um objeto real.

Esta dissertação foi dividida em três capítulos. No primeiro, abordamos os pilares que sustentam esta pesquisa: a geração da imagem, a fotografia, sua relação com o tempo e o movimento; a cronofotografia, os equipamentos e técnicas e sua evolução até os dias atuais. Em suma, os métodos, técnicas e tecnologias disponíveis relacionados à obtenção de imagens 2D e questões culturais e artísticas que influenciaram este trabalho. Ainda no primeiro capítulo falamos sobre técnicas de captura e visualização de imagens em 3D e suas possibilidades criativas. Passamos então ao segundo capítulo, em que elaboramos uma proposta de captura tridimensional para a produção de um objeto artístico. Este capítulo está dividido em três partes: falamos sobre a representação digital tridimensional de objetos reais, manipulações digitais e a geração do modelo tridimensional que será enviado à impressora 3D para produção do objeto real (no caso, em plástico). A pesquisa é finalizada no terceiro capítulo, em que apresentamos resultados do ensaio artístico e discutimos sua criação.

1 IMAGEM 2D E 3D: MÉTODOS, TÉCNICAS E TECNOLOGIAS

1.1 O INSTANTE FOTOGRÁFICO

A representação visual de algo sempre é interpretativa: passa pelo crivo de quem a produz, pelos referenciais estéticos da época, pelas tendências sociais e pelos movimentos artísticos. Está, pois, associada ao repertório histórico e cultural de seu criador. Tal interpretação abre possibilidades e também encerra outras. O conhecimento fenomenológico conduz possibilidades de compreensão do mundo real, da compreensão que acontece no homem, em si.

O cérebro humano é constantemente inundado por informações de sensores que estabelecem sua interface com o mundo real. A interpretação visual, portanto, é a transformação e transmissão de uma informação de um meio a outro. Do externo ao interno. E aí então acontece a transformação. Informação vira ação. A interface motora permite o surgimento de uma pintura, por exemplo, sendo ela o resultado de milhares de pequenos acontecimentos sensoriais concentrados na tarefa de representar a própria informação percebida.

O grau de similaridade entre a representação gráfica e a percebida visualmente pode variar consideravelmente conforme a intenção, a alteração, o “dedo” do artista (que não é mero copista, mas uma interface viva entre os dois meios). E o que foi sentido visualmente retorna permeado da singularidade humana, do indivíduo. Portanto: “toda percepção adiciona algo ao percebido, algo que não está lá fora, no mundo fenomênico, e que não faz parte, portanto, da estimulação” (RIZOLLI, 2005).

O mundo visual é uma representação imagética:

No início, havia a imagem. Para onde quer que nos viremos, existe a imagem. Por todo o lado através do mundo, o homem deixou vestígios das suas faculdades imaginativas sob a forma de desenhos feitos na rocha e que vão desde os tempos mais remotos do paleolítico até a época moderna. Estes desenhos destinavam-se a comunicar mensagens e muitos deles constituíram aquilo a que chamamos “os pré-anunciadores da escrita”, utilizando processos de descrição-representação que apenas retinham um desenvolvimento esquemático de representações de coisas reais. (JOLY, RODIL, 1999, p. 18)

Cientes da capacidade do homem de interpretar o que vê, pensamos a representação verossímil do mundo, como ocorreu na caverna de Lascaux¹. As pinturas rupestres mostram o esforço humano para comunicar algo através de desenhos tecnologicamente limitados, pairando no ar dúvidas sobre a fidelidade da representação: estariam os homens de Lascaux tentando reproduzir fielmente nas paredes o que viam no exterior das cavernas? Estariam as pinturas semanticamente corretas, mas tecnicamente limitadas?

Não só em Lascaux, mas em muitas outras cavernas e em diversas superfícies o homem deixou sua marca durante a história. O real intuito dos autores e artistas cabe apenas a eles próprios, mas a necessidade de copiar o mundo para contá-lo visualmente é algo que sempre esteve presente.

Contudo, o processo metodológico de evolução das técnicas passou pela utilização de artefatos tecnológicos como a câmera obscura e a câmera lúcida, que permitiam que os artistas desenhassem sobre as imagens projetadas em uma superfície, contribuindo para a correta interpretação dos elementos compositivos e estruturais da imagem. Tais invenções mecânicas contribuíram para que os artistas pudessem aprimorar o esforço de copiar a natureza.

A partir do século XIV, é ampliado o uso das máquinas de desenhar. Elas são, muitas vezes, constituídas por um caixilho e por um “visor” com o qual o olho pode permanecer fixo sobre o objeto. Alberto Dürer, no século XVI, desenvolverá máquinas com configurações diferentes. Em 1615, M. Marolais inventa o pantógrafo para reduzir e aumentar mecanicamente o desenho com a ajuda de um paralelogramo articulado, que Christophe Scheiner aperfeiçoará aproximadamente em 1660 (AMAR, 2001, p. 13).

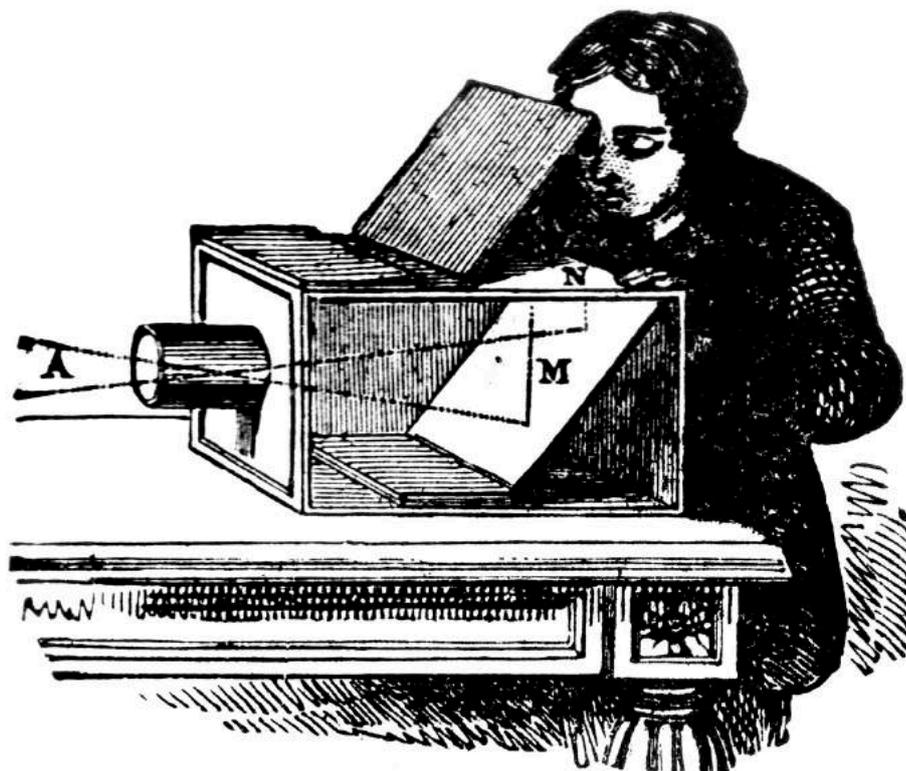
A evolução tecnológica de tais invenções permitiu sua popularização entre os artistas, que tiveram seu trabalho facilitado. Com isso, novos métodos e técnicas de cópia surgiram, como o desenho de perfis de silhuetas – aperfeiçoados por Louis Carrogis (1717-1806), conhecido como Carmontelle –, que consistia em desenhar sobre um papel translúcido a sombra (formada pela chama de uma vela) de um perfil em tamanho natural (Idem, p. 13). Porém, estes equipamentos não isentavam o pintor

¹ Complexo de cavernas ao sudoeste de França, famoso por suas pinturas rupestres datadas de 15500 AP (LASCAUX. WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2015. Disponível em <<https://qoo.gl/gfQH5g>>. Acesso em 15/05/2015).

de dedicar muito tempo e de possuir muita habilidade técnica para fixar a imagem no papel.

Com o aprimoramento das técnicas gráficas, o desejo de representação do “real” cresceu e as pinturas foram se tornando mais realistas, representando cenas com uma precisão gráfica cada vez maior. Mas sempre era uma representação de algo, e nunca o “algo” tal qual a imagem vista pelos olhos: parecia que imagens do mundo eram carimbadas em nossos olhos a todo instante. E foi crescendo o desejo de descobrir um método para fixar as imagens desenhadas pela luz, o que moveu pesquisas sobre processos capazes de prendê-la em alguma superfície de modo que a imagem pudesse ser gravada. Tal processo marcou o início de uma revolução na história, que mais tarde resultou na invenção da fotografia como conhecemos hoje.

Figura 1 – Câmera escura



Fonte: Educational Technology Clearinghouse²

² Disponível em <<http://goo.gl/MVXs2h>>. Acesso em 08/04/2015.

A cópia, a similaridade, a representação fiel e a verossimilhança são termos que representam e culminam de certa forma no embrião da fotografia. Além das máquinas de desenhar, que permitiam cópias nos formatos existentes, outros inventos também marcaram sua origem. Com conceitos básicos conhecidos desde a mais remota antiguidade, o surgimento da câmara obscura (Figura 1) marca o início das experimentações e das tentativas de reproduzir o funcionamento do olho humano em um artefato visual que pudesse aprimorar o nível de acuidade formal das imagens. A câmara escura (estudada por Aristóteles no século IV a. C., pelo astrônomo Al Hazen no século XI, por Roger Bacon e por Leonardo da Vinci no século XIII) teve seus recursos aprimorados durante o período do Renascimento, quando utilizada em desenhos em perspectiva e também para facilitar as observações científicas (Idem, p. 14).

Figura 2 – "Vista da janela do estúdio". Nicéphore Niépce, 1827



Fonte: Bibliblogue³

A história da fotografia está permeada, pois, de inventos, engenhocas, traquitanas que tentavam possibilitar o registro da luz (Figura 2). Mas foi com o uso da óptica e da química que a fotografia evoluiu efetivamente.

³ Disponível em <<http://goo.gl/gSJ9IX>>. Acesso em 24/12/2015.

A primeira fotografia bem-sucedida foi produzida em julho de 1827, pelo inventor francês Joseph Nicéphore Niépce, utilizando um material que endurecia em contato com a luz. Tal fotografia precisou de 8 horas de exposição. No início de 1829, concordou em criar uma parceria com o conterrâneo Louis Jacques Mandé Daguerre, que após a morte de Niépce 4 anos mais tarde, desenvolveu placas fotográficas que reduziam o tempo de exposição à luz de 8 horas para incríveis 30 minutos, e conseguiu finalmente que a luz sensibilizasse permanentemente as placas, tornando as fotografias muito mais duradouras. Em 1837, Daguerre conseguiu obter o seu primeiro sucesso - uma fotografia de uma natureza-morta (LEGGAT, 1995, p. 17).

Em 1839 o governo francês comprou os direitos do invento e o tornou público, sendo nomeado daguerreotipo. Surgia a fotografia. Contudo, seu advento causou preocupação entre os artistas da época, como observa Leggat (1995, p. 37): “os artistas viram a fotografia como algo que acabaria com seu trabalho. Delaroche disse que a pintura estava morta [...] Turner, olhando para um Daguerreotipo, disse que ele estava feliz de poder ter tido seu momento”.

Com o tempo, o medo do desconhecido deu lugar às novas possibilidades que a novidade trazia. Em meio a experimentações e avanços tecnológicos, artistas foram incursionando pelas possibilidades que o mais novo invento trazia. Os ateliês, os estúdios, os laboratórios, enfim, os espaços nos quais o aprendizado empírico tinha espaço para se desenvolver, permitiram que as máquinas e processos evoluíssem significativamente. O fazer e a experimentação possibilitaram a criação de novas técnicas e novas máquinas. Não mais se falava mais sobre o furor causado entre os artistas da época, e sim sobre diversas pesquisas que permitiram que os processos fotográficos fossem otimizados.

Destacamos uma característica importante que a diferencia das pinturas: a reprodutibilidade. Um equipamento analógico fotográfico moderno permite que uma cena seja congelada e, sua imagem, impressa em um filme fotográfico que, através de um processo químico, fixa-a em um negativo, criando uma matriz fotográfica. Esta matriz permite que inúmeras ampliações sejam realizadas, e que cópia(s) da mesma fotografia sejam produzidas. Isto amplia as possibilidades no mundo científico, jornalístico, bem como nos registros históricos e documentais, afinal

Desde o seu surgimento e ao longo de sua trajetória, até os nossos dias, a fotografia tem sido aceita e utilizada como prova definitiva, ‘testemunho da verdade’ de fato ou dos fatos. Graças a sua natureza físico-química – e de hoje eletrônica – de registrar aspectos (selecionados) do real, tal como estes de fato se parecem, a fotografia ganhou elevado status de credibilidade”. (KOSSOY, 1999, p. 19)

A questão da reprodutibilidade continua pertinente mesmo após o avanço tecnológico que se seguiu: a conversão dos sistemas analógicos em sistemas digitais mudou o paradigma no mundo da fotografia. A imagem, antes dependente de um suporte físico (filme fotográfico, negativo ou papel), passou a dispensar a matéria: a informação digital pode ser transmitida para todo o mundo – e para fora dele – por ondas de rádio, internet ou outras tecnologias de transmissão de dados. Viaja pelos meios, como informação contida em um envelope digital, porém sua origem é o próprio mundo físico.

O mundo real (tridimensional e volumétrico, com planos e dimensões em três eixos) é nossa referência, nosso universo de contato sensorial. Desde a caverna de Lascaux, estabelecemos uma relação representativa com o mundo: criamos signos e significados, damos nomes às coisas, desenvolvemos instrumentos e artefatos que aprimoram nosso contato com o mundo, nossa interação e sua consequente transformação. Flusser (1985, p. 33) diz que “instrumentos são prolongações de órgãos do corpo: dentes, dedos, braços, mãos prolongados. Por serem mais longos, alcançam mais longe e fundo na natureza, são mais poderosos e eficientes”. O desenvolvimento tecnológico permite que as ampliemos cada vez mais: na caverna, eram desenhos rupestres; agora, a fotografia captura a luz do mundo visível, transformando o que vemos em algo planejado, mas ainda constituído dos signos do mundo. Sua vantagem é permitir que cenas sejam vistas sem a experiência de corpo presente. Contudo, são signos e não mais “coisas”, ou seja, são representações e não os objetos em si. O mundo fotografado é convertido, planejado, achatado em signos. Do 3D ao 2D. Com muitos ganhos semióticos e perdas volumétricas.

A história da fotografia mostra a evolução tecnológica que possibilitou a fixação da luz em um material⁴ e sua reprodução. Durante a evolução dos métodos fotográficos, o suporte passou de chapas metálicas com banho químico à imaterialidade da fotografia digital. Quanto à luz, foram desenvolvidos métodos para direcioná-la, alterá-la, transpô-la e por fim gravá-la no suporte, e o tempo de exposição é um fator

⁴ Os fatores mais importantes para a captura e fixação de uma imagem são a luz, o tempo de exposição e o suporte.

decisivo para seu desenvolvimento técnico, conceitual e estético⁵. Buscava-se a instantaneidade, o congelamento do momento, a redução sumária do tempo de exposição para que o instante fotografado pudesse ser captado.

Houve experimentos nos quais objetos, movendo-se em alta velocidade, foram captados pela câmera. Em 1851 Talbot gerou uma fotografia na qual se lia com clareza o jornal *The Times*. Detalhe: o jornal estava preso a um disco que girava velozmente⁶. Tal fato foi possível pela utilização da luz intensa de uma faísca elétrica, que simulou o que conhecemos por *flash* (HEMPSTEAD, WORTHINGTON, 2005, p. 83). Mas o problema da instantaneidade só foi resolvido em meados de 1860, quando as câmeras puderam congelar objetos em posições inimagináveis, em momentos instantâneos completamente diferentes de tudo que se havia visto até então.

Figura 3 – Sapo durante salto (“Leaping Leopard Frog”)



Fonte: Stephen Dalton⁷

Experiências como a de Talbot não puderam ser empregadas fora de laboratórios até o desenvolvimento de placas mais sensíveis e de sistemas de obturadores mais eficientes, que mais tarde possibilitariam fotografias de instantes

⁷ Disponível em <<http://www.stephendalton.co.uk>>. Acesso em 12/05/2015.

precisos (Figura 3). Após 1858 algo novo surgiu no universo da fotografia: o tempo de exposição de 1/50 de segundo foi alcançado. Com a introdução da fotografia instantânea, um vasto número de imagens de cidades, a maioria realizadas com câmeras estereoscópicas⁸, multiplicaram-se em um mercado que parecia insaciável. Instantes congelados foram produzidos por fotógrafos como H. P. Robinson (que registrou nas ruas de Leamington a “passagem dos objetos de um dia”) e também, por exemplo, pela Companhia Estereoscópica London⁹ em 1861, (mostrando as “charretes com as pernas dos cavalos levantadas, sem um borrão sequer, e passageiros em cada uma de suas ações perfeitamente definidas”). A precisão em detalhes das vistas de Paris (1861) também eram ditas maravilhosas (SCHARF, 1986, p. 181). Portanto, a representação do momento congelado, o fracionamento do movimento em uma imagem estática, foi viabilizada pelo instantâneo (Figura 4).

Figura 4 – Momento exato da execução de um prisioneiro Vietcongue



Fonte: Wikipédia¹⁰

As fotografias instantâneas eram realizadas em equipamentos fotográficos grandes, difíceis de utilizar e muito caros. Contudo, não demorou para que os custos de produção baixassem, viabilizando a popularização e disseminação de equipamentos

⁶ A olho nu, não seria possível saber que se tratava de um jornal, muito menos lê-lo.

⁷ Disponível em <<http://www.stephendalton.co.uk>>. Acesso em 12/05/2015.

⁸ Técnica usada para obter informações do espaço tridimensional, através da análise de duas imagens obtidas em pontos diferentes.

⁹ Empresa inglesa fundada em 1854 cujo foco era a venda de fotografias estereoscópicas e de dispositivos para visualizá-las em 3D.

¹⁰ **Eddie Adams (photographer)**. Disponível em <<http://goo.gl/u7Xl>>. Acesso em 02/03/2015.

fotográficos pessoais. Além do custo, as máquinas fotográficas foram tendo também seu tamanho reduzido até serem compactadas em aparelhos portáteis.

A miniaturização promovida pela engenharia contemporânea permitiu que as câmeras se tornassem recursos de um outro aparelho: os telefones celulares modernos. A profusão de imagens que nos bombardeia constantemente é uma das manifestações mais diretas desta facilidade metodológica. Contudo, a possibilidade técnica não implica na criação artística: poder fotografar não nos torna conhecedores da arte da fotografia. O aparelho fotográfico está programado para realizar determinadas fotografias, com limites muito bem definidos em suas especificidades técnicas – abertura, tempo de exposição, temperatura de cor – e o usuário pode ser um simples apertador de botões de disparo de um processo automatizado. Como coloca Flusser (1985, p. 73):

Quem contemplar álbum de fotógrafo amador, estará vendo a memória de um aparelho, não a de um homem. Uma viagem para a Itália, documentada fotograficamente, não registra as vivências, os conhecimentos, os valores do viajante. Registra os lugares onde o aparelho o seduziu para apertar o gatilho.

Figura 5 – “Atrás da Estação Saint Lazare”, de Henri-Cartier Bresson



Fonte: MoMA ¹¹

Neste caso, quem cria a fotografia não é o homem: é a máquina produzida pelo homem. Para que possa ser criação humana, é preciso compreender o que a

¹¹ Disponível em <<http://goo.gl/4g7V5r>>. Acesso em 02/03/2015.

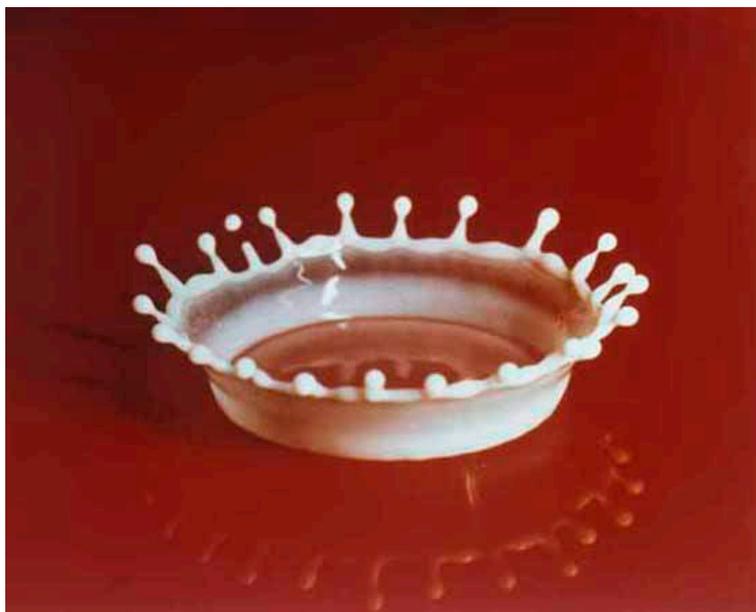
máquina faz, como foi programada e quais seus limites, extremos e possibilidades, para que possa desafiá-la conscientemente, criar distorções de seu funcionamento; enfim, (re)configurá-la. Esse fazer envolve muito mais do que entender o funcionamento técnico do aparelho: compreender como a luz entra pela lente, o que acontece subsequentemente e quais as etapas de processamento até que uma imagem seja produzida é fundamental para o domínio do equipamento; mas olhar para fora, entender de onde vem a luz, alterar seu próprio ponto de vista, compreender o entorno, os elementos em cena e prever consequências factuais permite que o fotógrafo una a máquina à sua intenção, criando uma fotografia consciente. É clara a distinção entre tirar e fazer uma fotografia. Um dos grandes “fazedores” de fotografias do século XX foi o francês Henri Cartier-Bresson, para quem o instante preciso e os elementos compositivos eram como uma obsessão. Ele define o ato fotográfico:

To take a photograph is to hold one's breath when all faculties converge in a face of fleeing reality. It is at that moment that mastering an image becomes a great physical and intellectual joy. To take a photograph means to recognize, simultaneously and within a fraction of a second, both the fact itself and the rigorous organization of visually perceived forms that give it meaning. It is putting one, head, one, eye, and one, heart on the same axis¹² (CARTIER-BRESSON, SAND, 1999).

Uma análise compositiva desta fotografia de Cartier-Bresson (Figura 5) pode ser tão extensa quanto sua beleza, porém nos cabe observar a precisão do instante, o congelamento do momento. Não se trata apenas de uma captura de um momento: tanto o posicionamento do fotógrafo quanto dos demais elementos integrantes são fundamentais para a expressão dramática e dinâmica, e foi necessário aguardar o momento exato, após o salto da escada e antes que o pé pudesse tocar na água. O fotógrafo Harold Edgerton também produziu diversas fotografias que consistiam em um congelamento do tempo, de um momento tão preciso. Em uma delas registrou o momento exato da formação das ondas resultantes de uma gota caindo na água (Figura 6). Mesmo sem a volumetria e espacialidade tridimensional do original, tal fotografia dialoga com o conceito de instante preciso utilizado por Cartier-Bresson ao explorar um momento insólito que não se repete: fixou-o, de certo modo, e o transformou em imagem reproduzível e criticável.

¹² “Tirar fotos é prender a respiração quando todas as faculdades convergem para a realidade fugaz. É neste instante que apoderar-se de uma imagem torna-se um prazer físico e intelectual. Fotografar é – simultaneamente e numa mesma fração de segundo – reconhecer o fato em si e organizar rigorosamente as formas visuais percebidas para expressar o seu significado. É por numa mesma linha: cabeça, olho e coração” (tradução livre).

Figura 6 – Aparência sólida do líquido após gota de água



Fonte: Harry Hansom Center¹³

Impossibilidades técnicas fizeram com que as pesquisas metodológicas avançassem, resultando em novas maneiras de produzir uma fotografia: mais recursos, tempos de exposição reduzidos ao instantâneo, equipamentos com tamanho reduzido. O processo evolutivo das técnicas permitiu que escolhas estéticas pudessem ser feitas sem determinadas limitações técnicas. O fotógrafo pode decidir qual conceito da fotografia será mobilizado e controlar fatores¹⁴ que permitam, por exemplo, que penas de um pássaro possam ser descoladas da realidade cronodinâmica¹⁵, de seu movimento e vibração real. Assim como na fotografia de Cartier-Bresson na qual o congelamento do movimento foi alcançado através de regulagens de parâmetros do equipamento fotográfico, um fotógrafo pode, por exemplo, produzir a fotografia de um pássaro em pleno voo, congelando intencionalmente as asas do animal de modo que ele pareça flutuar no ar, apagando o processo físico de luta contra a gravidade. Uma outra possibilidade seria registrar o movimento do bater de asas com um tempo de exposição mais lento. O tamanho do borrão resultante da asa do pássaro se movendo em pleno voo pode ser controlado através do tempo de exposição na fotografia.

¹³ Disponível em <<http://goo.gl/4vdhMq>>. Acesso em 18/06/2015.

¹⁴ Tempo de exposição, abertura do diafragma e sensibilidade do filme (ou ganho do sinal do sensor digital).

¹⁵ Ver 1.2.1 *Panorama histórico*.

Figura 7 – “Change of Position”, de Anton Bragaglia



Fonte: The Metropolitan Museum of Art¹⁶

O borrão produz uma imagem (como na Figura 7, por exemplo) que não poderíamos ver a olho nu: é necessário o uso de algum equipamento que capte a luz durante longos períodos. Curiosamente, as impossibilidades técnicas do Daguerreotipo revelaram um ponto de vista interessante: embora o longo tempo necessário de exposição à luz (30 minutos) impossibilitassem o retrato instantâneo, abriram a possibilidade de ver (e registrar!) algo que nenhum olho humano conseguiria. Tais borrões eram representações imagéticas estáticas de um processo dinâmico. Era o embrião da cronofotografia.

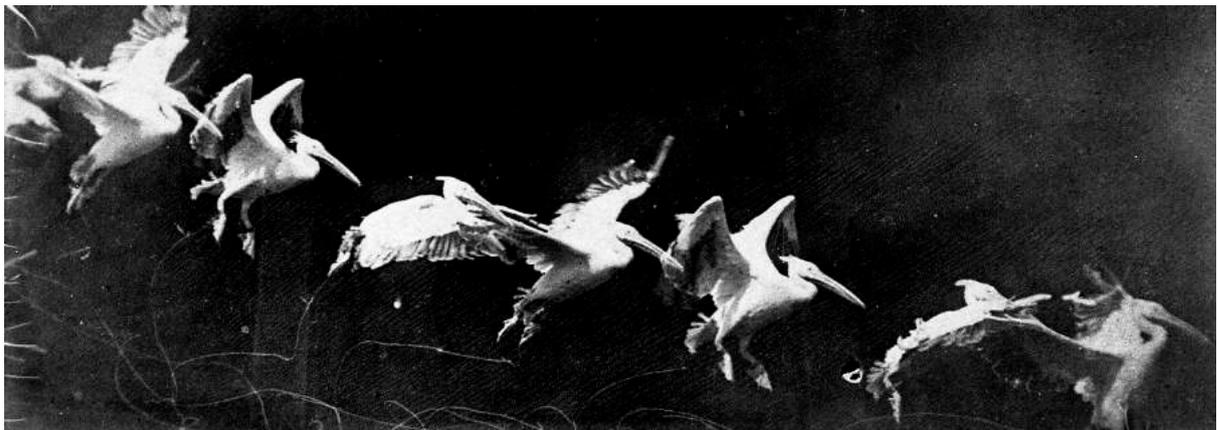
¹⁶ Disponível em <<http://goo.gl/YdSO9S>>. Acesso em 19/07/2015.

1.2 CRONOFOTOGRAFIA

1.2.1 UM PANORAMA HISTÓRICO

Representações do movimento constituem uma das bases deste trabalho: interessa-nos o fato de que ele pode ser desmembrado, desarticulado de sua fluidez e, uma vez desprovido de sua linearidade, pode se tornar uma sequência de imagens ilustradas pelas mãos de um artista em fotogramas sequenciados ou mesmo em um filme cinematográfico¹⁷. Estudos sobre a decomposição e a representação do movimento resultaram na cronofotografia, uma técnica desenvolvida em sua maior parte por cientistas que se apropriaram de técnicas fotográficas para alcançar uma forma de representação até então impossível (Figura 8).

Figura 8 – Voo do pelicano



Fonte: Autographer¹⁸

Étienne-Jules Marey¹⁹ (Figura 9), médico e fisiologista francês, é o principal responsável pela criação da cronofotografia. Utilizava aparelhos fotográficos principalmente para estudar fenômenos fisiológicos dinâmicos, como o movimento do coração, contrações musculares, o caminhar humano, o voo dos pássaros e o

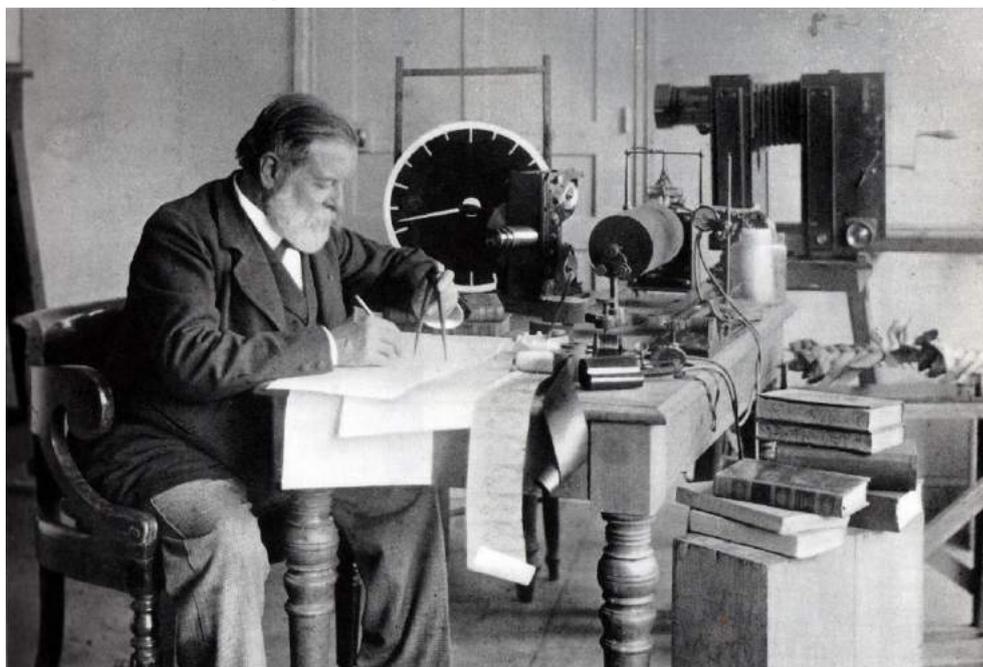
¹⁷ O cinema faz uso desse desmembramento: desfaz o movimento ao capturá-lo em filme e depois reconstrói sua propriedade dinâmica. O sequenciamento das imagens é feito em um mesmo lugar, em velocidade superior a 12 quadros por segundo, para que tenhamos a sensação de movimento.

¹⁸ Disponível em <<http://goo.gl/zo0WZg>>. Acesso em 21/06/2015

¹⁹ Nasceu em Beaune (1830) e morreu em Paris (1904).

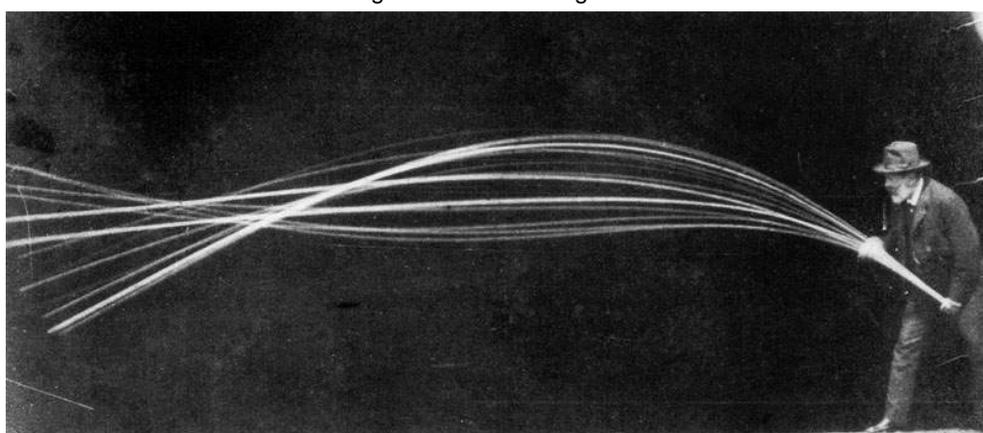
comportamento dinâmico dos objetos (Figura 10). Em seus principais trabalhos²⁰, os resultados visuais são representações de objetos em movimento, em que o intervalo entre as fotografias é suprimido e condensado em uma mesma imagem.

Figura 9 – Étienne-Jules Marey em seu estúdio



Fonte: Wikipédia²¹

Figura 10 – “Wobbling Pole”



Fonte: Rhuthmos²²

²¹ Disponível em <<http://goo.gl/U2hebQ>>. Acesso em 05/07/2015.

²² Disponível em <<http://goo.gl/Qu1x5s>>. Acesso em 05/07/2015.

Marey começou suas pesquisas estudando como o sangue flui dentro do corpo, passando à análise dos batimentos cardíacos, respiração, músculos e, por fim, ao fascinante movimento do corpo humano e dos animais. Seu fator constante era o tempo e as diversas formas de transportá-lo e controlá-lo para estabelecer uma relação visual com algo imaterial. Registrou as fases do voo de um pelicano (Figura 8) de uma forma diferente: inventou um aparato que possibilitava a realização de diversas fotografias no mesmo fotograma. O resultado é uma única imagem com as diversas etapas do movimento do pelicano. O rigor científico de Marey o impele a procurar uma maneira de registrar a evolução do movimento com um seccionamento preciso do tempo (AMAR, 2001, p. 74).

Figura 11 – Escultura em bronze



Fonte: Data Physicalization Wiki ²³

Seus estudos sobre o movimento das aves resultaram na obra *Le Vol des Oiseaux*, ricamente ilustrada com fotografias, desenhos e diagramas. Surpreendentemente, saindo do âmbito bidimensional característico da fotografia, Marey produziu uma escultura tridimensional²⁴ única (Figura 11), uma verdadeira materialização científica dos estudos sobre o movimento do voo do pelicano.

A possibilidade de lidar com o tempo de uma forma achatada, planificada, permite diferentes interpretações, pois é possível visualizar instantes distintos em um mesmo momento, transformando os fatos do passado em um “agora”, desprovido de

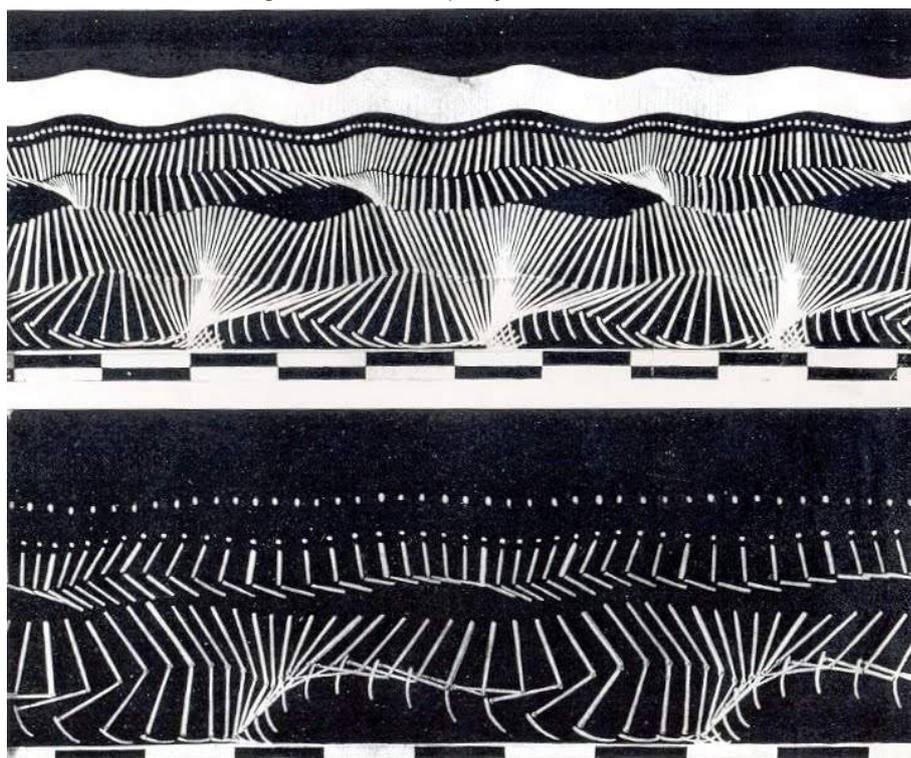
²² Disponível em <<http://goo.gl/Qu1x5s>>. Acesso em 05/07/2015.

²³ Disponível em <<http://goo.gl/tvS1k7>>. Acesso em 02/05/2015.

²⁴ A escultura, fundida em bronze, está em exposição no Museu Marey (Beaune, França).

temporalidade, mas eterno por sua fixação imagética. Um bom exemplo disso é sua pesquisa sobre a decomposição do movimento; mais especificamente no que chamou de “cronofotografia geométrica”: os seus fotografados se deslocam sobre um fundo sombrio, vestidos de negro e trazendo nos membros faixas brancas. Ilumina-os em intervalos regulares (estroboscopia) e registra em uma mesma placa seus deslocamentos e movimentos resultantes (Idem, p. 74). O resultado é uma incrível fotografia com várias etapas do movimento do homem caminhando, representadas pelas faixas brancas registradas sequencialmente (Figura 12). Dentre as diversas invenções do fisiologista francês, o *Rifle Fotográfico*²⁵ (Figura 13) foi sem dúvida a mais importante. Produziu fotos sequenciais com pequeno intervalo de tempo entre cada exposição e as sobrepôs.

Figura 12 – Decomposição do movimento



Fonte: Rhuthmos²⁶

²⁵ Aparelho fotográfico inventado por Marey que, com precisão de 1/120 de segundo, dispara uma rajada de doze imagens por segundo.

²⁶ Disponível em <<http://goo.gl/Qu1x5s>>. Acesso em 15/05/2015.

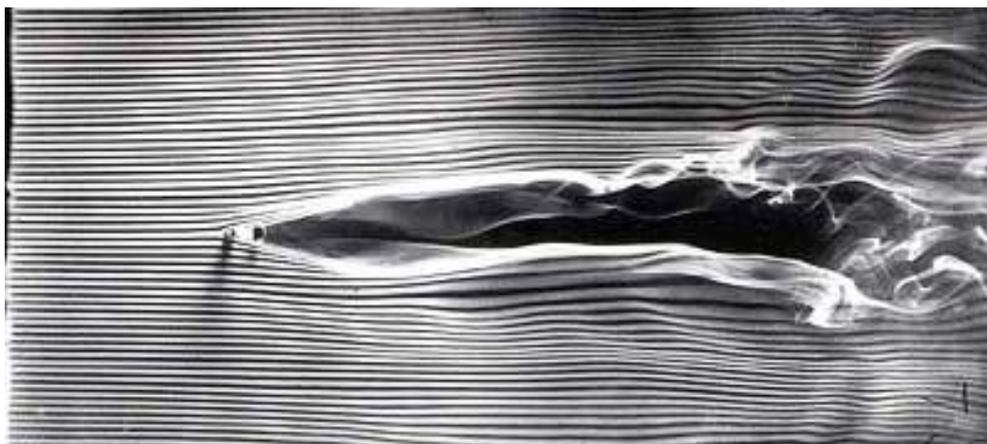
Figura 13 – Rifle fotográfico



Fonte: Wikimedia Commons²⁷

Seu trabalho estimulou estudos sobre o movimento, e suas invenções e criações foram utilizadas por pesquisadores de diferentes áreas. O próprio Marey as utilizou para estudar o comportamento aerodinâmico dos objetos (Figura 14). Ao longo de sua carreira, suas pesquisas transcenderam a investigação em fotografia e contribuíram em diversas áreas, “como a fisiologia, a medicina, a cinematografia, a aviação, a educação física e a própria fotografia” (BRAUN, 1992, p. 6).

Figura 14 – Estudos em aerodinâmica



Fonte: Rhuthmos²⁸

²⁷ Disponível em <<http://goo.gl/0iOPE1>>. Acesso em 17/05/2015.

²⁸ Disponível em <<http://goo.gl/Qu1x5s>>. Acesso em 17/05/2015.

Eadweard Muybridge²⁹ explorou a cronofotografia de uma forma diferente de seu contemporâneo Marey. Enquanto o *Rifle Fotográfico* incluía múltiplas fotografias em um só fotograma, Muybridge desenvolveu artefatos que permitiam sequências de fotografias em alta velocidade, com pequeno intervalo entre cada fotograma. Os experimentos fotográficos foram muitos, mas o mais conhecido são as simpáticas sequências de fotogramas que descrevem o andar de cavalos. Pode-se imaginar o espanto do público ao ver o congelamento de algo até então apenas registrado (muitas vezes incorretamente³⁰) por artistas que tentavam decifrar as posições das pernas dos cavalos durante uma cavalgada (Figura 15). Representadas na fotografia, mostram em sequência seu movimento natural.

Figura 15 – “Cavalo durante galope”, de Muybridge



Fonte: The Guardian³¹

Muybridge ficou conhecido por suas sequências de imagens de cavalos durante o galope. As primeiras foram feitas a pedido do ex-governador da Califórnia, Leland Stanford, que o contratou para registrar imagens de um cavalo trotador muito especial que tinha em sua coleção. A metodologia utilizada se baseou no uso de 12 câmeras estereoscópicas com 21 polegadas de distância entre cada uma; seus disparadores foram atrelados a acionadores dispostos ao longo da pista, permitindo que o cavalo, ao passar em frente à determinada câmera, causasse seu disparo. Tais fotografias foram chamadas de *The Horse in Motion* (Figura 16).

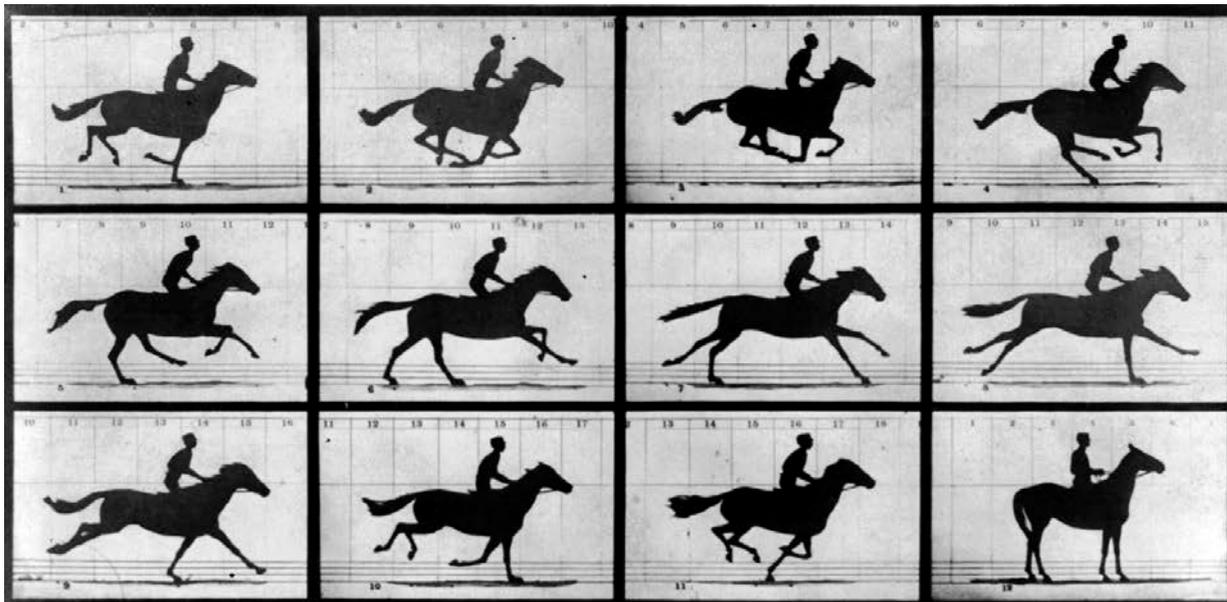
²⁹ Fotógrafo inglês nascido em Kingston (1830-1904), grande experimentador e precursor da cronofotografia.

³⁰ Como por exemplo Edgar Degas.

Nascido em 1834, Edgar Hilaire Germain Degas foi um pintor, gravurista, escultor e fotógrafo francês. É conhecido sobretudo pela sua visão particular no mundo do ballet, sabendo captar os mais belos e sutis cenários.

³¹ Disponível em <<http://goo.gl/QwekyM>>. Acesso em 07/06/2015.

Figura 16 – “The Horse in Motion”, de Muybridge



Fonte: Wikipédia³²

Figura 17 – Zoopraxinoscópio



Fonte: Wikimedia Commons³³

³² Disponível em <<http://goo.gl/CADys>>. Acesso em 15/04/2015.

³³ Disponível em <<http://goo.gl/KuDHOJ>>. Acesso em 15/04/2015.

Figura 18 – O aparelho "Zootropo"

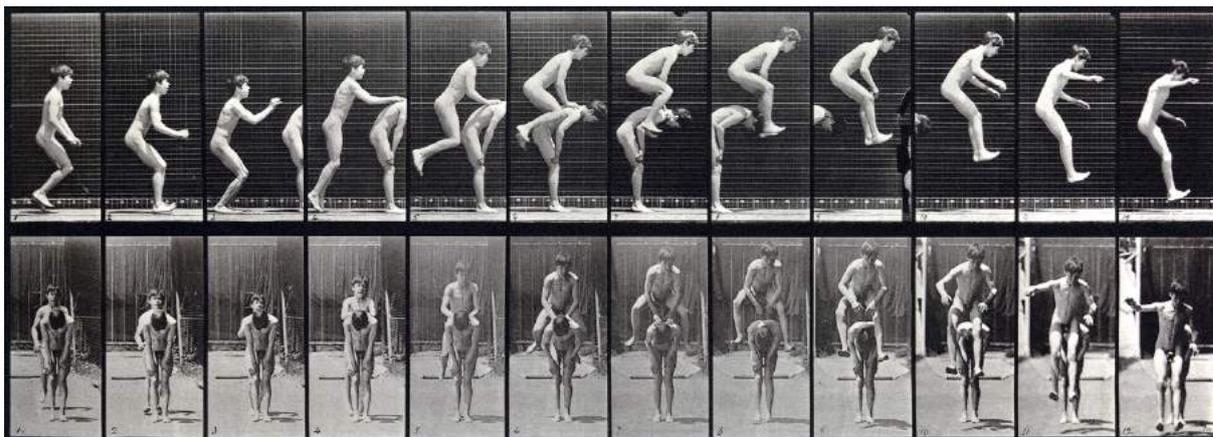


Fonte: Cultural China³⁴

Assim como Marey, Muybridge utilizou técnicas cronofotográficas para estudar o movimento de pessoas e animais, contribuindo fortemente em estudos na área de biomecânica (em especial, a mecânica dos atletas). Entre 1883 e 1886 realizou cerca de 100 mil imagens, das quais 20 mil foram publicadas em uma coleção intitulada *Animal Locomotion*. A decomposição do movimento alcançada visualmente por Muybridge e Marey também se relaciona com a pluralidade de pontos de vista sobre um objeto tridimensional. Especialmente na figura abaixo (Figura 19), os dois pontos de vista (frontal e lateral) e a correlação entre eles contribuem para a reestruturação e compreensão volumétrica do objeto fotografado.

³⁴ Disponível em <<http://goo.gl/P1u0x9>>. Acesso em 15/04/2015.

Figura 19 – “Boys playing Leapfrog”



Fonte: The Metropolitan Museum of Art³⁵

Marey e Muybridge criaram metodologias, técnicas e artefatos, desenvolveram tecnologias e influenciaram outros pesquisadores, como os irmãos Anton³⁶ e Arturo Bragaglia que, inspirados principalmente pelas ideias filosóficas de Henri Bergson³⁷ sobre o movimento dinâmico, criaram uma metodologia para revitalizar a pintura: o fotodinamismo. Na obra de Anton, os borrões controlados estavam presentes, descrevendo a ideia de movimento. Buscaram pelo subjetivo, pela essência do assunto, desmaterializando e dissolvendo a imagem em pura trajetória de movimento (Figura 20), como ele mesmo define: *“that which exerts a fascination over our senses, the vertiginous lyrical expression of life, the lively invoker of the magnificent dynamic feeling with which the universe incessantly vibrates”*³⁸ (The Metropolitan Museum of Art).

³⁵ Disponível em <<http://goo.gl/wOq3KI>>. Acesso em 16/04/2015.

³⁶ Anton Giulio Bragaglia (Itália 1890-1960) foi um diretor de teatro, fotógrafo e cineasta, considerado um dos principais representantes do futurismo italiano.

³⁷ Filósofo e diplomata francês (Paris 1859-1941), recebeu o Nobel de Literatura em 1927. Sua obra tem sido estudado em diferentes disciplinas como cinema, literatura e neuropsicologia.

³⁸ *Síntese do gesto, fascinadora de nossos sentidos, vertiginosa expressão lírica da vida, viva invocadora da magnífica emoção dinâmica na qual incessantemente vibra o universo* (tradução livre).

Figura 20 – “Uomo che suona il contrabbasso” (1911)



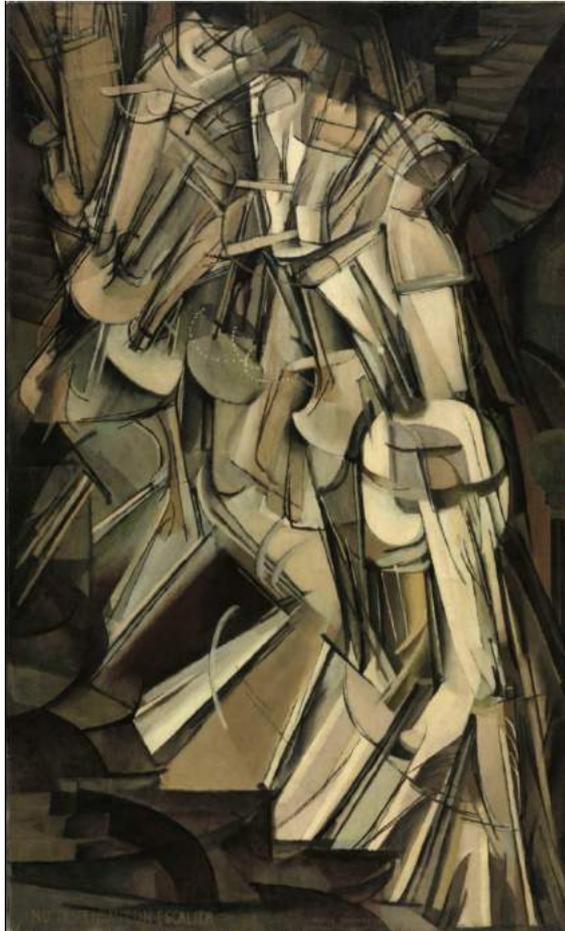
Fonte: Italian Ways³⁹

O estudo do tempo e suas derivações foi o principal ponto de contato entre os expoentes da cronofotografia e do fotodinamismo, Muybridge e Marey, que eram cientistas que exploraram possibilidades técnicas e resultados visuais usando a fotografia como metodologia de registro. Bragaglia, por sua vez, a utiliza como recurso metodológico para explorar questões relacionadas à arte, explorando a descrição do movimento como algo resultante do fazer e da subjetividade humana, e não simplesmente como consequência de um fenômeno congelado em um registro. São utilizações da tecnologia com diferentes propósitos, ampliando ainda mais o escopo de possibilidades da fotografia.

³⁹ Disponível em <<http://goo.gl/RT2q1l>>. Acesso em 18/04/2015.

A fotografia impactou o mundo da arte. Possibilitou um novo meio de expressão e influenciou diferentes meios artísticos, como a pintura e a escultura. O legado dos cronofotógrafos não se limitou às suas obras: fotografias de objetos em pleno movimento, tanto captadas em um mesmo fotograma quanto em múltiplas fotografias sequenciais, influenciaram as artes dos séculos XIX e XX, passando por artistas como Edgar Degas e Marcel Duchamp até Francis Bacon e Sam Taylor-Wood (SCHARF, 1986, p. 256).

Figura 21 – "Nu Descendant un Escalier", de Duchamp



A obra de Duchamp é influenciada por trabalhos de Marey e Muybridge. Suas múltiplas perspectivas cubistas animadas, aplicadas à análise do movimento expostas umas sobre as outras, criam uma evolução formal sistemática decorrente do movimento do corpo descendo a escada.

Fonte: Philadelphia Museum of Art⁴⁰

⁴⁰ Disponível em <<http://goo.gl/ZPv6u>>. Acesso em 15/04/2015.

Fotografias de Muybridge também colaboraram para a compreensão do universo físico: Muybridge ficou conhecido por suas sequências de imagens de cavalos durante o galope. As primeiras foram feitas a pedido do ex-governador da Califórnia, Leland Stanford, que o contratou para registrar imagens de um cavalo trotador muito especial que tinha em sua coleção. A metodologia utilizada se baseou no uso de 12 câmeras estereoscópicas com 21 polegadas de distância entre cada uma; seus disparadores foram atrelados a acionadores dispostos ao longo da pista, permitindo que o cavalo, ao passar em frente à determinada câmera, causasse seu disparo. Tais fotografias foram chamadas de *The Horse in Motion* (Figura 16). Com isto, mostrou ao mundo como um cavalo move suas pernas durante o galope. Artistas como Degas passaram a pintar seus cavalos com as patas em posições corretas, similares às posições mostradas nas fotografias instantâneas (Figura 22).

Figura 22 – Foto de Muybridge e a representação na pintura de Degas



Fonte: College of Architecture Art + Design⁴¹

⁴¹ Disponível em <<http://goo.gl/UxoRJW>>. Acesso em 15/04/2015.

O estilo cubista da pintura de Duchamp nos transporta diretamente ao universo particular do seu maior representante, Pablo Picasso, que, juntamente com Georges Braque, foi o precursor do movimento cubista⁴². Observando as sobreposições de elementos nos quadros de Picasso, é possível notar uma relação análoga às cronofotografias de Marey: em ambas os diversos instantes de um mesmo objeto se sobrepõem, formando uma composição.

Um dos aspectos de uma obra cubista é sua tridimensionalidade: diversos pontos de vista estão presentes, como facetas provenientes de ângulos diferentes, registrando simultaneamente vários ângulos do mesmo objeto em uma mesma composição bidimensional. Uma transposição do que ocorre no cubismo para o universo fotográfico (com toda a “licença poética” que couber) seria utilizar uma câmera fotográfica e, girando em torno de um mesmo objeto, realizar capturas de imagens em um mesmo fotograma (metodologia de sobreposição utilizada por Marey). Quanto mais fotos sobrepostas, mais fragmentado seria o resultado. Por outro lado, quanto menos fotografias, mais perceptível e menos abstrato. Utilizando um método diferente (girar em torno do objeto realizando as fotografias, porém sem fixar as imagens em um mesmo fotograma e sim em fotogramas individuais), teríamos diversas imagens correspondentes ao mesmo objeto. Sequenciando-as em um Zootropo, seria possível observar a ilusão do movimento do objeto girando juntamente com seu entorno. Esta metodologia, proveniente do cubismo de Picasso e dos métodos cronofotográficos de Muybridge e Marey, relaciona-se inclusive com o princípio do cinema (que tem grande importância para o presente trabalho). Assim como a fotografia e os processos de captura, serão a base dos recursos metodológicos mobilizados para o desenvolvimento da produção artística (ver Capítulo 3).

⁴² Caracterizado por mobilizar o abstracionismo geométrico e o minimalismo para representar formas da natureza. Na fase analítica do cubismo os objetos eram explorados em seus múltiplos pontos de vista e apresentados em representações fragmentadas. Os planos e elementos eram dispostos em uma nova organização espacial, “reinventada” a partir da imagem original. O quadro *Les demoiselles d'Avignon* é conhecido como marco inicial do cubismo.

1.2.2 NA ATUALIDADE

Figura 23 – Salto de motocross (técnica de cronofotografia contemporânea)



Fonte: Jason Halayko⁴³

Hoje o acesso às máquinas fotográficas é muito mais democrático do que no século XX, quando apenas alguns estudiosos ou afortunados tinham acesso aos aparelhos. E as câmeras fotográficas, os equipamentos e acessórios evoluíram, conforme já dissemos, abrindo novas possibilidades de obtenção de uma imagem. As fotos podem ser realizadas, alteradas, manipuladas, reconfiguradas e (principalmente) compartilhadas de forma muito mais abrangente. A cronofotografia também evoluiu, transformou-se, enriqueceu-se com ideias que permitiram novas configurações imagéticas, como pode ser observado na Figura 24.

Máquinas desenvolvidas por cientistas como Muybridge e Marey contribuíram para que tais imagens pudessem ser realizadas. O legado dos cronofotógrafos não é simplesmente história: continua sendo interpretado, utilizado, reconfigurado e desenvolvido. Artistas como Mike Leeds⁴⁴ usam recursos da fotografia e de sistemas computacionais para gerar algo novo, diferente do real, mas completamente permeado de signos fenomênicos. Apesar de serem estáticas, suas fotografias reinterpretem o fato dialogando com o temporal, as trajetórias e descrições de movimento.

⁴³ Disponível em <<http://www.jason-halayko.com>>. Acesso em 02/04/2015.

⁴⁴ Fotógrafo de Idaho-EUA, que explora especialmente o esporte de Kayak extremo.

Figura 24 – Cronofotografia contemporânea



Fonte: Hype Science⁴⁵

⁴⁵ Disponível em <<http://goo.gl/fXWMm5>>. Acesso em 02/04/2015.

1.3 CAPTURA TRIDIMENSIONAL

A fotografia possibilita o registro de imagens técnicas, verossímeis, diferentemente da pintura, por exemplo, cujas representações resultam de interpretações. Explica Flusser (1985, p. 24) que “o caráter aparentemente não-simbólico, objetivo, das imagens técnicas faz com que seu observador as olhe como se fossem janelas e não imagens”. No caso da pintura, o homem interpreta o que vê e o planifica, utilizando-se de tinta e suporte (tela). Já na fotografia interpreta o resultado que o aparelho produziu. E o aparelho é pré-configurado para interpretar de uma forma não obstrutiva, as alterações que realiza na imagem são feitas por seus recursos (lentes, espelhos, películas, sensores). Contudo, “o que vemos ao contemplar as imagens técnicas não é ‘o mundo’, mas determinados conceitos relativos ao mundo, a despeito da automaticidade da impressão do mundo sobre a superfície da imagem” (Idem, p. 25).

Portanto: as imagens fotográficas são oriundas do mundo, que vemos tridimensionalmente e sentimos espacialmente, sensorialmente. O processo de planificação é instantâneo, e a estereoscopia⁴⁶ permite que tenhamos noção de profundidade espacial, o que nos faz distinguir as distâncias entre os objetos. Contamos com “aparelhos fotográficos”: nossos olhos, que captam e planificam imagens ligeiramente diferentes (com paralaxe) de dois pontos de vista diferentes (distância pupilar). Tais imagens são processadas e fundidas por nosso córtex visual, e nesse processo se produz a sensação de profundidade e do tridimensional. Poderíamos perguntar: então é possível enxergarmos em 3D? Do ponto de vista fisiológico, não. São apenas impulsos elétricos interpretados pelo cérebro. Cartesianamente, o 3D (mundo) é convertido em 2D (imagem, impulso) para ser então sentido em 3D (interpretação) novamente. O caminho inverso permitiria então recriar o 3D (mundo) a partir de imagens 2D.

O cinema 3D faz uso exatamente da possibilidade de “entregar” uma imagem diferente para cada olho, e isso é feito utilizando óculos especiais (Figura 25) e imagens diferentes para cada olho. Existem diversas tecnologias de óculos 3D, mas o princípio é o mesmo: que um olho não veja o que o outro vê, e que cada um receba sua própria imagem. Com isso, a partir de uma tela completamente bidimensional, recuperamos a sensação do 3D que havia sido perdida no momento da geração das imagens⁴⁷.

⁴⁶ Fenômeno natural que ocorre em animais com dois pontos de visão e também no ser humano.

⁴⁷ Lembremos que ao filmar ou fotografar para um sistema 3D, não estamos gerando imagens 3D. Apenas imagens diferentes, com paralaxe, que posteriormente serão entregues à cada um de nossos olhos por meios dos óculos 3D.

Figura 25 – Óculos 3D da marca Sony



Fonte: Sony⁴⁸

Também existem atualmente diversos sistemas que permitem que o assunto fotografado estereoscopicamente possa ter sua volumetria e profundidade recuperadas digitalmente. Para isso, existe uma técnica chamada fotogrametria⁴⁹: a partir de fotografias métricas são obtidas a forma, as dimensões e a posição dos objetos registrados⁵⁰. Houve muitas discussões ao longo do último século, entretanto o consenso geral a define, a grosso modo, como “a ciência e tecnologia de se obter informação confiável através de imagens adquiridas por sensores” (BRITO, COELHO, 2009, p. 1).

No caso do escaneamento tridimensional, são combinadas a estereoscopia e a fotogrametria⁵¹. Explicamos. Uma máquina de Xerox⁵², por exemplo, é essencialmente um escâner 2D, constituída por um dispositivo de leitura da imagem e, outro, de impressão da imagem. Ou seja, é a junção de um escâner de imagem e uma impressora. Contudo, tanto a matriz quanto sua produção são planificados: são imagens desprovidas de volume, analiticamente compostas pelos vetores X e Y (horizontal e vertical). Adicionando um vetor (Z), teríamos a altura. Um objeto real pode ser compreendido em sua volumetria ao serem considerados os vetores X, Y e Z. A adição da capacidade de obter o terceiro vetor transformaria a máquina em um escâner tridimensional.

⁴⁸ Disponível em <<http://goo.gl/r2jw7r>>. Acesso em 15/04/2015.

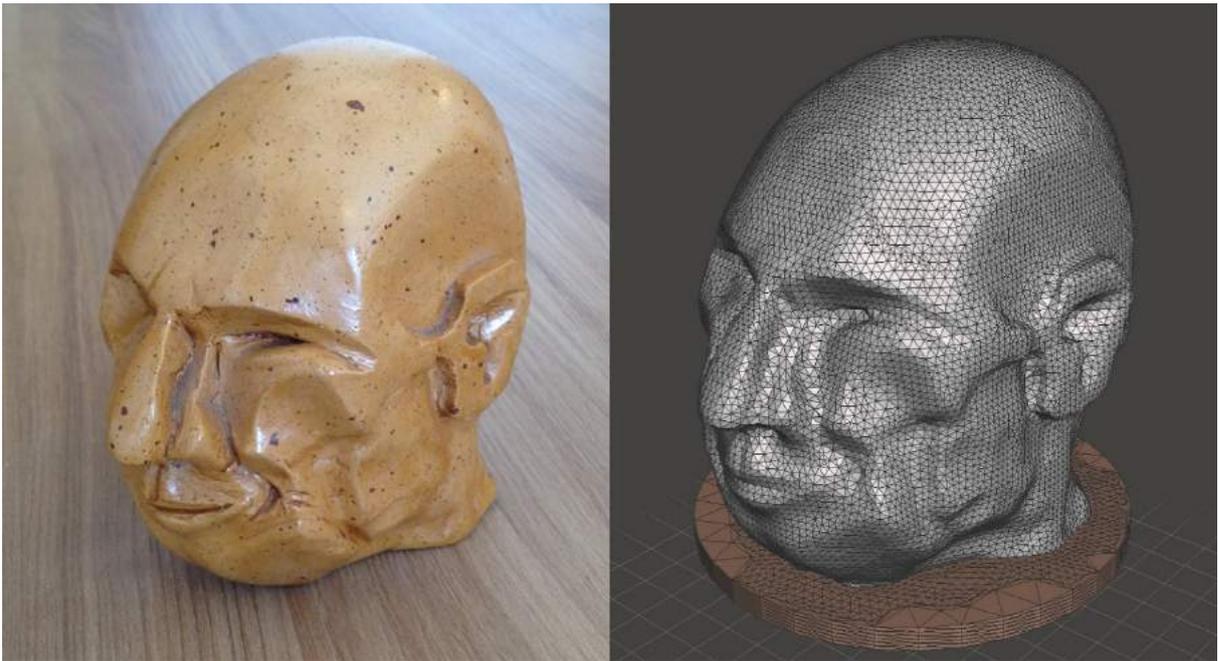
⁴⁹ Etimologicamente, a palavra *fotogrametria* vem do grego (*photon* = luz, *graphos* = escrita, *metron* = medições), e significa *medições executadas através de fotografias*.

⁵⁰ Tem sido amplamente usada em diversas aplicações, contribuindo para o desenvolvimento de técnicas de medição de precisão (como é o caso da cartografia e interpretação de fotografias aéreas).

⁵¹ Fotogrametria consiste em vetorizar para um ambiente virtual os pontos, linhas e polígonos tridimensionais representativos do que se vê no referido modelo estereoscópico Wikimedia (2015).

⁵² Empresa inventora da fotocopiadora, cujo principal produto leva seu nome.

Figura 26 – Objeto real (esquerda) e escaneado em 3D (direita)



Escaneamento 3D é a conversão de um objeto real para um modelo representativo digital, por meio de sua análise e aquisição dos dados sobre seu formato e volumetria (e possivelmente sua aparência visual), com cor e textura.

Fonte: Elaborado pelo autor

A função de um escâner 3D é criar uma nuvem de pontos no espaço tridimensional, referentes a superfícies do objeto escaneado. Posteriormente essa nuvem pode ser usada para reconstruir a superfície propriamente dita do objeto, gerando uma malha tridimensional. Caso a cor de cada ponto também seja capturada, a imagem da textura do objeto também poderá ser gerada. Existem diversas tecnologias que podem ser utilizadas para a construção desses escâneres, que são extensivamente utilizados pela indústria do entretenimento na produção de filmes e jogos digitais. Outras aplicações incluem design industrial, desenvolvimento de órteses e próteses, exames de imagem na medicina, engenharia reversa, prototipagem, controle e inspeção de qualidade e registro de artefatos culturais.

Os escâneres 3D se assemelham às câmeras fotográficas: também possuem um campo de visão em formato de cone, e só podem captar superfícies visíveis do objeto. Porém, enquanto a câmera fotográfica capta as informações de luz (cor), o escâner 3D capta as distâncias entre o sensor e a superfície do objeto. A “imagem” produzida pelo escâner 3D é a representação de um conjunto de pontos em distâncias diferentes, posicionados no espaço digital em três vetores (Figura 27).

Figura 27 – Nuvem de pontos 3D da escultura *Soror Dolorosa*, de Victor Brecheret



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28 – Exemplo de escaneamento



Na maioria dos escaneamentos 3D, apenas uma passagem do escâner 3D não produzirá um modelo completo do assunto⁵³.

Fonte: Artec 3D⁵⁴

⁵³ Assim como no cubismo: também é necessário que diversas “imagens” sejam capturadas, de pontos de vista distintos.

⁵⁴ Disponível em <<http://goo.gl/uNFd98>>. Acesso em 16/04/2015.

Os sistemas de escaneamento 3D permitem que um objeto tenha sua estrutura volumétrica convertida em informação digital tridimensional, gerando uma malha correspondente. Os sistemas de escaneamento podem ser com contato (tato)⁵⁵ e sem contato físico (visual)⁵⁶. Escâneres de contato requerem que o objeto seja tocado por uma sonda em toda sua superfície. As informações registradas das diferentes posições são gravadas em um sistema digital e posteriormente correlacionadas e convertidas em uma malha tridimensional (Figura 29). Já os escâneres sem contato são baseados em emissão de algum tipo de radiação – como luz, ultrassom, raio-x ou *laser* –, sem a necessidade de contato físico com o objeto, o que permite que o processo de captura seja muito mais rápido.

Figura 29 – Escâner de contato (CMM)



A CMM (*Coordinate Measuring Machine*) é um exemplo de escâner 3D de contato utilizado em projetos industriais de precisão. O fato de necessitar tocar no objeto lhe confere algumas desvantagens, como a possibilidade de modificar ou danificar o objeto escaneado. Para peças de metal, não é um grande empecilho, passa a ser no caso de artefatos históricos e esculturas.

Fonte: Make Parts Fast⁵⁷

⁵⁵ O escaneamento 3D por contato é similar à seguinte situação: com os olhos vendados, uma pessoa está diante de determinada escultura e pode apenas tateá-la para descobrir o que é. A informação do tato contribui para que crie um mapa mental que corresponde à tridimensionalidade da escultura.

⁵⁶ Funciona tal qual a seguinte situação: uma determinada escultura está diante da pessoa, mas não é possível tocá-la, apenas visualizá-la. Portanto, para compreender a volumetria da escultura, é necessário olhá-la de frente, por trás e pelos lados.

⁵⁷ Disponível em <<http://goo.gl/44wH4G>>. Acesso em 16/04/2015.

Figura 30 – Escâner de contato (a Laser)



Fonte: Hexagon Geosystems⁵⁸

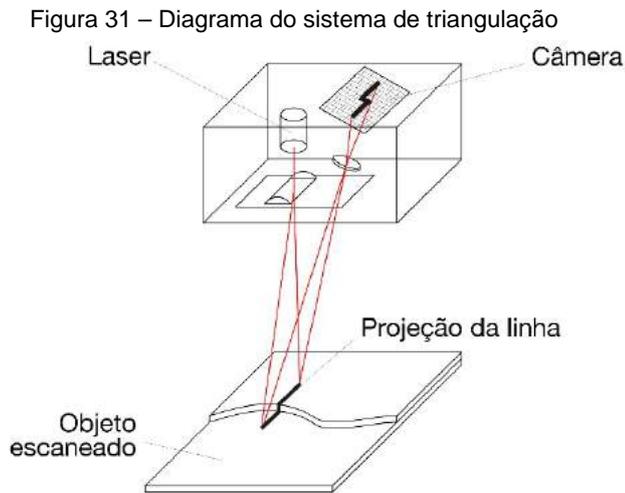
Um método muito conhecido de captura é o escâner 3D a *laser* por tempo-de-voou, um sistema ativo que utiliza luz *laser* para detectar a superfície do assunto escaneado (Figura 30)⁵⁹. Funciona muito bem para grandes distâncias, e geralmente é empregado no escaneamento de objetos de grande porte, como montanhas, formações rochosas e prédios. Sua desvantagem é a baixa precisão, na ordem de milímetros.

Um outro tipo de escâner funciona por triangulação: uma câmera fotográfica é utilizada juntamente com um emissor a laser posicionado ao seu lado, um feixe é emitido e a câmera busca sua localização⁶⁰. Sua acuidade é bem mais alta (chega a centésimos de milímetros), mas só pode ser usado para escanear objetos de pequeno porte.

⁵⁸ Disponível em <<http://goo.gl/nZd9Fv>>. Acesso em 16/04/2015.

⁵⁹ No corpo do escâner encontra-se um emissor e um receptor de *laser*. Como a velocidade da luz é sabida, basta calcular o tempo entre a emissão e a recepção para descobrir a distância do escâner até o assunto escaneado. A precisão deste sistema depende do nível de precisão da leitura do tempo de resposta. Para ter uma ideia, a luz leva apenas um milionésimo de milionésimo de segundo para percorrer um milímetro. Como o receptor detecta apenas um ponto por vez, ele deve alterar a direção do feixe para medir outros pontos do assunto. Isso pode ser feito girando efetivamente o escâner ou utilizando um sistema de espelhos motorizados. Com isso é possível medir cerca de 100 mil pontos por segundo.

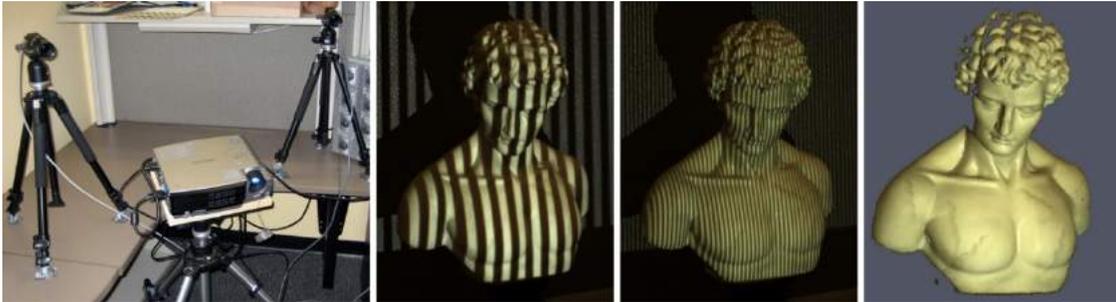
⁶⁰ Baseado na distância entre a câmera e o *laser* e no ângulo de entrada e saída do *laser*, é possível determinar a posição e ângulo do ponto na superfície: após a varredura, é obtida a malha estrutural do assunto. Para acelerar o processo de captura, ao invés de emitir pontos de *laser* no assunto, são emitidas linhas inteiras. Esse método já existe desde 1978, e foi desenvolvido originalmente no Canadá.



O sistema se chama triangulação pois o emissor, a câmera e o ponto da superfície do assunto formam um triângulo

Fonte: Wikipédia⁶¹

Figura 32 – Montagem do escâner (esquerda) e etapas do processo (direita)



Fonte: Brown University School of Engineering⁶²

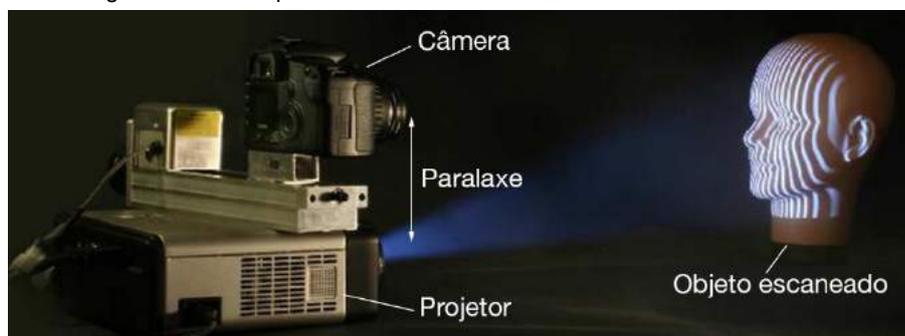
O escâner de luz estruturada projeta um padrão (geralmente uma trama) de luz. Uma câmera captura as imagens e um microprocessador analisa as distorções na superfície do assunto e deriva as distâncias dos pontos até o emissor, permitindo assim que a malha tridimensional seja criada (Figura 32). Suas vantagens são a velocidade de captura e precisão. Ao invés de escanear um ponto por vez, o sistema de luz estruturada escaneia simultaneamente múltiplos pontos no campo de visão. Este processo é bem mais preciso do que o sistema por triangulação e reduz problemas com distorções. Alguns

⁶¹ Disponível em <<http://goo.gl/uobG67>>. Acesso em 16/04/2015.

⁶² Disponível em <<http://goo.gl/zNLD9n>>. Acesso em 16/04/2015.

sistemas atuais conseguem até mesmo escanear objetos em movimento em tempo real, chegando a incríveis 120 escaneamentos por segundo (Figura 33)⁶³.

Figura 33 – Princípio de funcionamento do escâner de Luz Estruturada



Fonte: Berkeley, University of California⁶⁴

Por fim, um dos tipos mais conhecidos de escâneres 3D: a tomografia e a ressonância magnética, sistemas de imagem médicas que geram um modelo tridimensional a partir de uma série de secções de imagem do paciente (Figura 34). Sua principal vantagem é a possibilidade de obter a estrutura tridimensional de objetos oclusos ao olho humano. Além de médicas, suas aplicações incluem usos industriais, como verificações estruturais no interior de peças sólidas, engenharia reversa, estudos biológicos paleontológicos etc.

Figura 34 –Tomografia Computadorizada



Fonte: Gazeta Toledo⁶⁵

⁶⁴ Disponível em <<http://goo.gl/PqqEGK>>. Acesso em 16/04/2015.

Os métodos que mostramos possuem um ponto negativo em comum: exigem equipamentos cujo custo pode ser inviável. Porém, como discutido anteriormente, a evolução tecnológica transformou o modo como nos relacionamos com equipamentos fotográficos. No nosso caso, vamos utilizar o sistema estereofotogramétrico⁶⁶: além de serem viáveis financeiramente, uma grande vantagem é o fato de escanear sem contato físico. Isso expande as possibilidades, porque há várias situações em que o contato com o assunto não é permitido (como na arqueologia, ou mesmo em objetos de proporções acentuadas como prédios, igrejas, montanhas etc.). E, diferentemente de um equipamento de escaneamento a *laser* (que necessita de fonte de energia potente, possui tamanho e peso consideráveis e custo elevado), por exemplo, é bem mais viável: é necessário apenas um aparelho fotográfico – até mesmo um celular moderno – para fazer a captura. Contempla, pois, diversas aplicações (como cartografia, topografia, arquitetura, engenharia, manufatura, prototipagem, controle de qualidade, arqueologia, investigações policiais, geologia, design, acessibilidade e artes).

⁶⁴ Disponível em <<http://goo.gl/PqqEGK>>. Acesso em 16/04/2015.

⁶⁵ Disponível em <<http://goo.gl/OSU3yT>>. Acesso em 16/04/2015.

⁶⁶ Método sem contato com o objeto escaneado. Porém, diferentemente dos anteriores, não possui emissor, apenas um receptor de luz visível (a câmera fotográfica).

Ele une princípios da visão estereoscópica com a fotogrametria, permitindo calcular distâncias em um conjunto de imagens do objeto em pontos de vistas distintos; gera, assim, uma malha tridimensional correspondente à superfície do assunto escaneado.

Difere da fotografia panorâmica (em que a câmera é posicionada em um ponto pivotante e diversas fotos são tiradas em todas as direções no espaço tridimensional para recriar o ambiente do entorno): o sentido das fotografias é o inverso (a câmera é posicionada no entorno do objeto e as fotos são realizadas apontando para o assunto. O resultado são diversas fotografias de vários ângulos).

A maior limitação é o tipo de material a ser escaneado: existem dificuldades quando são brilhantes e refletivos (como metais, espelhos e objetos transparentes). Como o sistema se baseia justamente no que “vê”, no caso de um vidro, por exemplo, não detecta um objeto sólido porque ele é transparente. Quanto aos reflexos, são recebidos pelo sistema como incongruências pois, dependendo do ângulo de visão, reflexos de imagens diferentes podem aparecer.

Figura 35 – Escaneamento 3D do Coliseu



Fonte: Autodesk Community⁶⁷

O escaneamento por fotografias, ou estereofotogramétrico, consiste em duas etapas principais: a captura fotográfica e o processamento das imagens.

⁶⁷ Disponível em <<http://goo.gl/t3NTnl>>. Acesso em 18/05/2015.

2 METODOLOGIA PARA PRODUÇÃO DO EXPERIMENTO: PROPOSTA

2.1 ESCANEAMENTO 3D

O processo de escaneamento 3D descrito no item anterior se baseia na realização de diversas fotos ao redor de um objeto estático. Tal processo leva tempo, pois a câmera fotográfica deve ser reposicionada a cada captura repetidamente. Para contornar este problema de produtividade, ao invés de utilizar uma câmera e realizar as fotos ao redor do objeto, propomos a utilização de uma mesa giratória motorizada, com a câmera estática posicionada em um tripé; o objeto giraria 360°, enquanto seriam realizadas sequências de disparos em ângulos predeterminados. Após a sessão de disparos, teríamos diversas fotos para cada um dos ângulos do objeto.

Figura 36 – Estúdio com fundo verde e câmeras posicionadas



Fonte: Stenblog⁶⁸

No cinema, uma técnica similar foi utilizada para a produção do efeito *bullet-time*⁶⁹. Aplicada inicialmente no filme *Matrix* (1999), passou a ser usada em vários filmes de ação. É necessária uma estrutura com uma sequência de câmeras fotográficas, dispostas circularmente ao redor de um objeto, disparadas simultaneamente no instante desejado. As imagens geradas são posteriormente

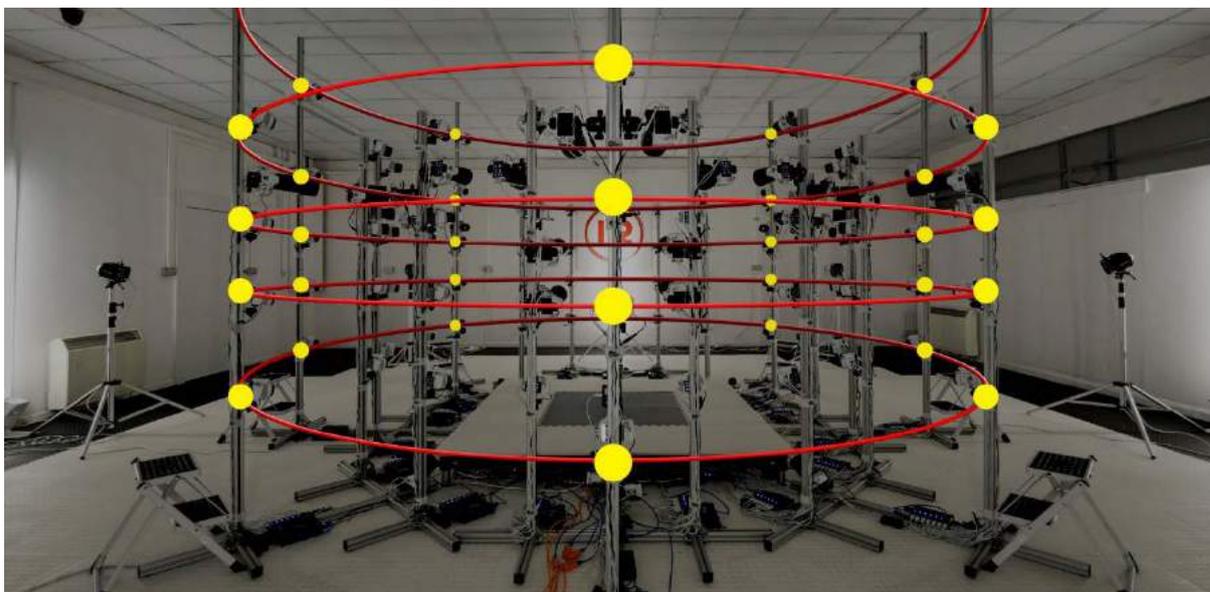
⁶⁸ Disponível em <<http://goo.gl/6rYT7>>. Acesso em 18/05/2015.

⁶⁹ Também conhecido como adrenaline time, focus time, frozen time, big freeze, dead time, flow motion, slowing-your-roll ou time slice.

compiladas em uma sequência contínua⁷⁰. A diferença é que neste caso diversas câmeras estão posicionadas ao redor do objeto; no caso da mesa giratória, é o objeto que gira, mostrando suas diversas faces para a câmera.

Hoje existem soluções comerciais para o escaneamento 3D simultâneo: estruturas completas em estúdios, iluminação adequada e sistemas automatizados de captura. Empresas como a inglesa *Infinite Realities* e a holandesa *pi3Dscan* oferecem venda e aluguel de equipamentos para objetos em escala humana, bem como serviços de escaneamento e venda de modelos virtuais para utilização na produção de efeitos especiais e computação gráfica em filmes e videogames, arquitetura, engenharia etc.

Figura 37 – Estrutura de escaneamento 3D simultâneo com sobreposição digital dos círculos (vermelho) e pontos de câmeras (amarelos)



Fonte: InfiniteRealities⁷¹, com intervenção elaborada pelo autor.

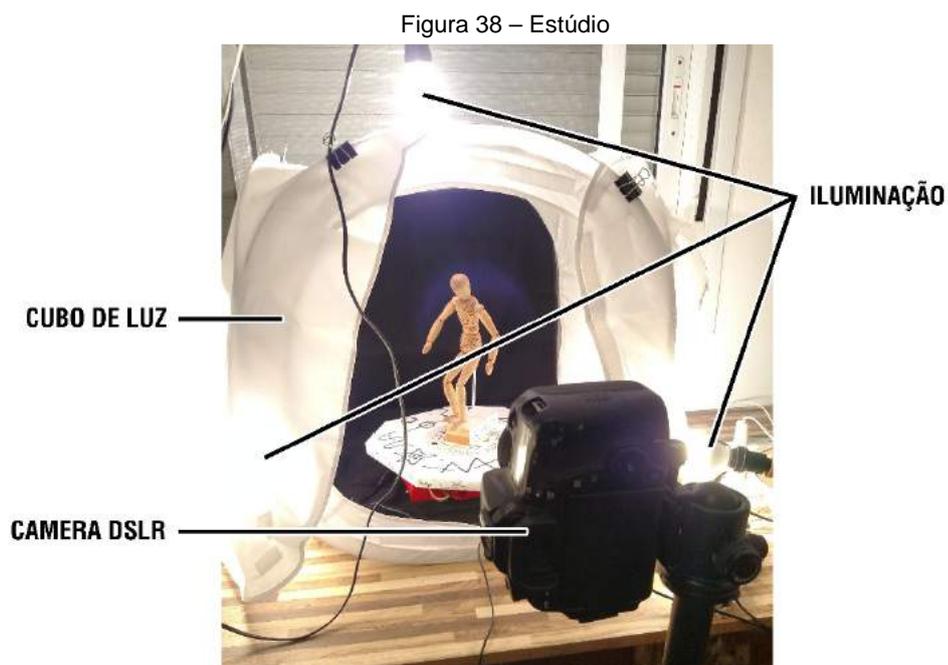
Enquanto o efeito *bullet-time* utiliza uma sequência de câmeras em um círculo ao redor do objeto, o escaneamento 3D precisa de câmeras posicionadas em ângulos variados, para que todos os pontos de vista do objeto sejam registrados. Tais estruturas são compostas por cerca de 120 câmeras, posicionadas em círculos em diferentes alturas, como se estivessem cobrindo a superfície de uma esfera imaginária,

⁷⁰ Apesar dessa técnica ser oriunda dos experimentos de Eadweard Muybridge nos anos 1880 e fazer uso de simples conceitos, ainda não é economicamente viável ao público em geral. Isto não afeta algumas produções americanas de cinema, por exemplo, que muitas vezes contam com centenas de câmeras nesse tipo de estrutura (cada câmera custa cerca de 1500 dólares).

⁷¹ Disponível em <<http://goo.gl/TGX4W2>>. Acesso em 18/05/2015.

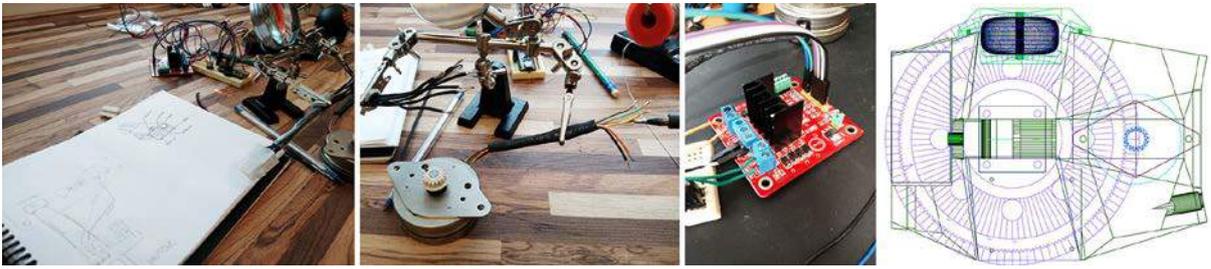
similar aos diversos satélites artificiais geoestacionários que orbitam nosso planeta. Todas as câmeras são direcionadas para o centro, cada uma representando um ângulo de visão do mesmo objeto. São conectadas por cabos a um sistema de controle que permite seus acionamentos. As fotos são então transportadas digitalmente até um computador central, no qual ocorrerá o processamento estereofotogramétrico para obtenção do modelo 3D digital. Tomando como exemplo uma pessoa chutando uma bola, seria possível escaneá-la realizando o movimento com a perna e, dependendo do momento em que o operador acionasse o sistema de disparo, teríamos como resultado um conjunto de fotografias do mesmo corpo em movimento, mas em diversos ângulos diferentes (e conseqüentemente um modelo 3D virtual). A escolha do momento do disparo define, portanto, o instante da ação e o modelo gerado.

A estrutura de escaneamento (Figura 38) é composta por uma câmera fotográfica fixada em um tripé, um cubo de luz, um sistema de iluminação composto por lâmpadas dispostas no topo e nas laterais e a mesa giratória. Diferentemente da técnica de multicâmeras, o uso da mesa giratória demanda um tempo maior para que as fotos sejam realizadas. Isto impossibilita a captura de objetos em movimento: necessita de cerca de cinco minutos para a realização de todas as fotos. Para a obtenção da representação do movimento do objeto será necessário decompor previamente o movimento em poses, e então realizar uma sessão de fotos (360°) para cada uma das poses.



Fonte: Elaborado pelo autor.

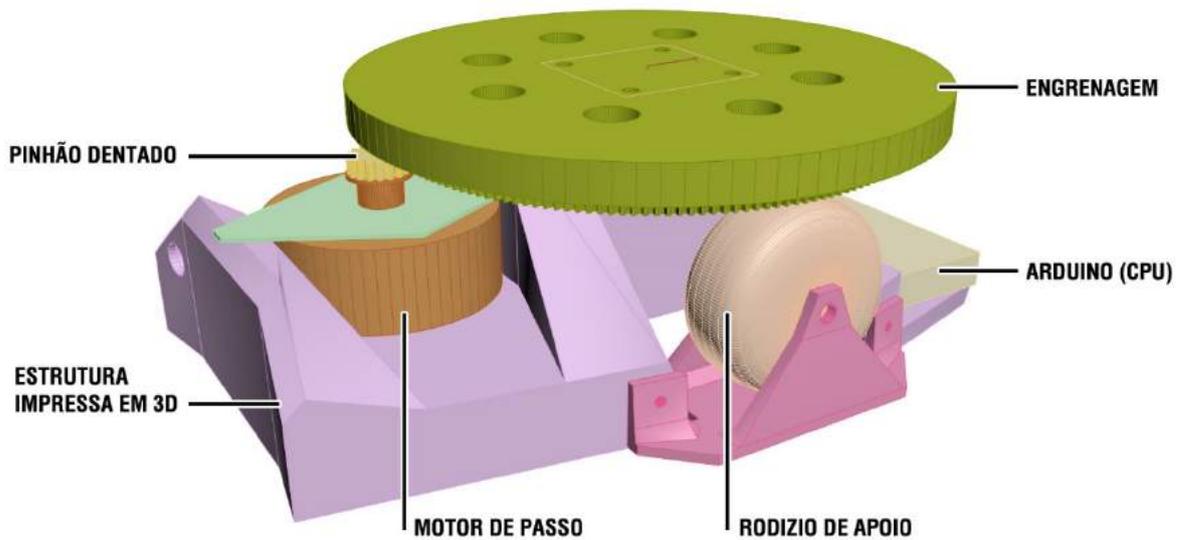
Figura 39 – Algumas das etapas de desenvolvimento do produto



Fonte: Elaborado pelo autor.

A mesa giratória foi projetada e construída, passando pelas etapas de projeto (Figura 40), modelagem digital, *mockup*, prototipagem rápida (impressão 3D), sistema digital de controle do motor e disparo automatizado da câmera, testes e finalização.

Figura 40 – Modelo digital da mesa giratória



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 – Mesa giratória



Fonte: Elaborado pelo autor.

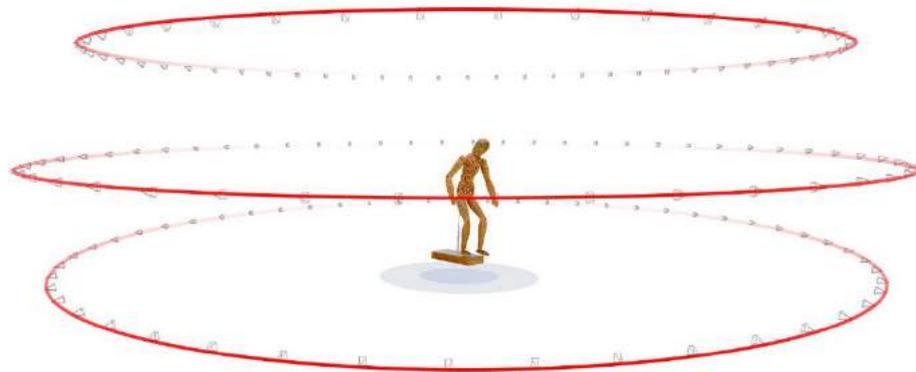
A mesa giratória (Figura 41) é composta por uma base estrutural impressa em 3D (material ABS⁷²) que acomoda todos os componentes mecânicos e eletrônicos. Presa a um eixo central, uma engrenagem dentada (180 dentes) se apoia sobre rodízios e está ligada ao pinhão dentado do motor de passo, controlado por um minicomputador (Arduino⁷³) que segue um programa predefinido. O programa foi elaborado para que a mesa faça as seguintes operações:

1. Girar a engrenagem principal (5°);
2. Aguardar quatro segundos (para que cesse qualquer tipo de oscilação causada pela movimentação);
3. Enviar um comando de disparo para a câmera;
4. Aguardar quatro segundos (para a realização da foto);
5. Repetir o comando até que uma volta seja completada.

72 Material termoplástico rígido e leve, com alguma flexibilidade e resistência na absorção de impacto, muito comum na fabricação de produtos moldados para usos diversos.

73 Plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador com suporte de entrada/saída embutido e linguagem de programação padrão.

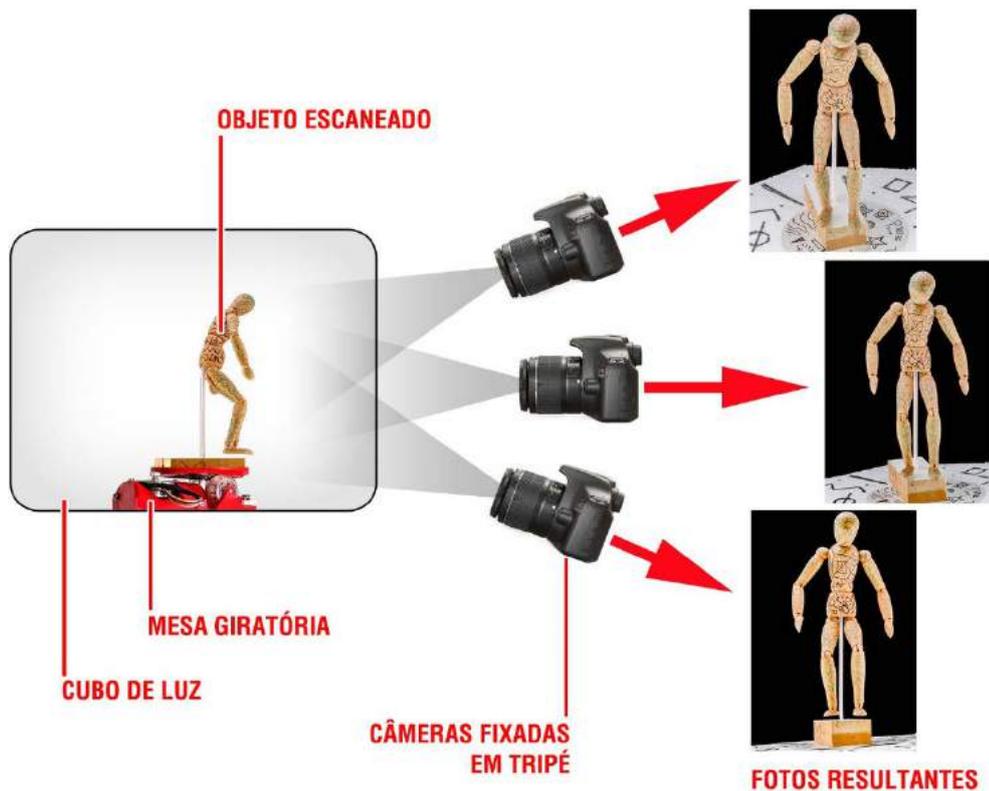
Figura 42 – Modelo escaneado e as posições das câmeras no espaço



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como visto anteriormente, o método de escaneamento fotogramétrico pressupõe que o objeto seja fotografado em toda sua volta, com imagens suficientes para que o software detecte os pontos comuns em cada uma das imagens para gerar o modelo 3D digital. Utilizando ângulo de cinco graus de uma foto para outra, teremos 72 fotos por volta (Figura 42). Depois de terminar uma volta, é necessário mudar verticalmente a câmera de posição (Figura 43).

Figura 43 – Vista lateral com posições da câmera em relação ao modelo escaneado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma das características do processo fotogramétrico é a dificuldade de lidar com imagens de cores lisas, sem detalhes ou muito reflexivas. No caso do boneco de madeira, a superfície sem muitos veios dificultou o processo de escaneamento. Para contornar este problema, foram feitos desenhos aleatórios sobre toda superfície para que houvesse riqueza de detalhes, facilitando a geração do modelo 3D digital. Também foi aplicado um verniz spray fosco⁷⁴, que diminui consideravelmente a quantidade de reflexos e brilho dos objetos. Sobre a engrenagem, uma placa de isopor também desenhada serve como plataforma para receber o objeto (Figura 44).

Figura 44 – Placa de Isopor com desenhos para facilitar o processamento das imagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

No caso da mesa giratória, para que o software interprete corretamente as imagens é necessário que o fundo atrás do objeto fotografado tenha apenas uma cor; também é importante que não existam padrões na imagem, como desenhos ou traços. O resultado visual deve ser o assunto fotografado sobre a mesa, e com um fundo completamente liso (Figuras 63).

Quando são utilizadas lentes e equipamentos diferentes, o software de estereofotogrametria pode ter dificuldades para corrigir as diferenças e, pois, falhar ao detectar determinadas características nas fotografias. Isso pode inviabilizar o processo todo. Por esta razão, recomendamos a utilização de lentes fixas, sem zoom e com possibilidade de pequenas aberturas que permitam profundidade de campo.

⁷⁴ Verniz *Plastilac*, da marca *Colorgin*, destinado a proteger fotos e objetos decorativos.

Para esta metodologia foi escolhida uma câmera DSLR 70D com uma lente 50mm fixa, que permite recursos como disparo remoto, controle manual de exposição e abertura e a possibilidade de transferir remotamente as imagens para um computador (o que aumenta a velocidade de todo o processo)⁷⁵. Uma vez escolhida a câmera, é necessário montar a estrutura de escaneamento 3D. Recomendamos a configuração e disposição dos elementos em um espaço não maior que 3x3m. A câmera será fixada em um tripé que permita diferentes alturas e angulações.

Como visto anteriormente, o sistema fotográfico se baseia na luz para gerar imagens. A sensibilidade do filme ou do sensor digital de captura pode ser alterada conforme condições específicas de iluminação. A amplificação pode gerar granulações na imagem final e ruídos visuais. Para que as imagens sejam captadas com qualidade, é necessário iluminar muito bem o objeto escaneado. No ambiente interno, utilizamos um cubo de luz apoiado em uma mesa, com espaço suficiente para posicionar três lâmpadas de 100W nas laterais e em cima do objeto. O cubo de luz é uma estrutura que funciona como um difusor (conhecido como *softbox*⁷⁶); com isto, criamos uma fonte luminosa não-pontual, suavizando as sombras a ponto de praticamente eliminá-las. No ambiente externo, é possível realizar a captura à luz do sol. Nestes casos, é importante ajustar as configurações de exposição da câmera fotográfica a cada fotografia, uma vez que uma nuvem que entra em frente ao sol pode mudar completamente a luminosidade. No caso das fotografias externas, recomenda-se realizá-las em um dia nublado⁷⁷ preferencialmente ao meio-dia, pois a fonte luminosa será intensa e bem difusa.

Com câmeras e iluminação ajustadas, chega o momento da ação: o objeto é posicionado no centro da mesa, sobre o isopor, e uma pose é montada. A iluminação é ligada, a câmera configurada e ajustada para a primeira sequência de fotos e o sistema automatizado eletrônico da mesa giratória é acionado. A mesa faz a volta completa, comandando a câmera para realizar as fotografias nos ângulos determinados (Figura 43). O tripé deve então ser ajustado para o posicionamento da câmera frontalmente. Uma nova volta é realizada. O último ângulo, com a câmera posicionada mais do alto, finaliza a sequência de fotos.

⁷⁵ A escolha do equipamento é fundamental para o desenvolvimento do projeto, pois define qual iluminação deverá ser utilizada e como será a estrutura física de suporte da câmera. No caso dos estúdios profissionais, a estrutura pode ser dimensionada para que um modelo 3D virtual completo possa ser gerado, contemplando a volumetria total do objeto. Por outro lado, uma estrutura menor mas bem desenvolvida é uma possibilidade com custo reduzido que permite alcançar resultados profissionais.

⁷⁶ Softbox (em português: "caixa suave") é um dispositivo de iluminação utilizado para obter sombras suaves; para isso, é utilizado um material difusor entre o assunto fotografado e a fonte de luz. Seu tamanho pode variar de 30cm até 120cm, permitindo maior controle sobre a suavização das sombras.

⁷⁷ As nuvens funcionam como um grande difusor: espalham a luz solar em uma grande área, tornando as sombras muito difusas e a iluminação homogênea.

2.1.1 CAPTURA FOTOGRÁFICA

Figura 45 – Celular sendo usado para escanear em 3D



A grande vantagem deste método é que pode ser realizado com vários tipos de aparelhos fotográficos: smartphones, câmeras compactas, câmeras de vídeo etc.

Fonte: Jornal i⁷⁸

Como dito anteriormente, o objeto deve ser fotografado em sua totalidade volumétrica. Para objetos simples, sem muitas entranhas, cerca de 50 fotografias são suficientes. As fotografias devem ser realizadas de modo que haja redundância de elementos na foto, como uma sobreposição de conteúdo. O fotógrafo, posicionado em frente ao objeto e o centralizando, deve circundá-lo, deslocando-se cerca de 5° a 10° de uma fotografia para outra. Após a volta completa, uma nova volta fotográfica deverá ser realizada, desta vez mais acima do objeto. Por último, o mesmo procedimento é feito em um nível mais baixo. A captura é de suma importância para que se tenha o resultado esperado. Fatores importantes devem ser observados para que uma boa sequência de imagens seja gerada:

Utilizar iluminação consistente e uniforme

O objeto deve ser muito bem iluminado, sem sombras muito intensas e de preferência com fonte de luz difusa. Um bom exemplo de condição luminosa ideal é realizar as fotografias com o assunto embaixo de uma tenda de tecido branco, em um dia

⁷⁸ Disponível em <<http://goo.gl/Z22HMP>>. Acesso em 16/04/2015.

ensolarado e ao meio dia. A tenda faz o papel de um grande difusor de luz, tornando as sombras bem difusas e, ainda assim, iluminando bem o objeto. Outra possibilidade é utilizar luz artificial, como três lâmpadas (de mais de 100W) posicionadas ao redor e acima, com um tecido ou papel manteiga entre eles e o objeto. Também é necessário evitar focos de luz muito pontuais que causem reflexões na superfície do objeto, como *flashes* e lanternas, pois poderá causar incongruências de detalhes nas imagens.

Quanto mais foco, melhor

Como o software utiliza todos os detalhes encontrados na imagem, é necessário que possua a maior profundidade de campo⁷⁹ possível para que o objeto fique nítido. Em câmeras muito simples ou smartphones, geralmente esta opção não é controlada pelo usuário. Em câmeras mais avançadas, a profundidade de campo está relacionada com o uso de aberturas do diafragma (f-stop) pequenas como f/18.

Escolha uma base para o objeto que contribua com detalhes

Não utilize superfícies com alta refletância, como metais, madeiras polidas ou envernizadas. É interessante que a base seja clara, para funcionar como um rebatedor de luz, iluminando o objeto por baixo. É importante que haja algum tipo de referência com detalhes sob o objeto (Figura 44), para que o software de processamento das imagens possa usar a base para triangular a posição das câmeras no espaço tridimensional. Para isso pode-se utilizar uma folha de jornal ou revista.

Não economize nas fotografias

É necessário que se tenha suficientes imagens do objeto. Caso falte algum ângulo, todo o processo poderá falhar. Ao realizar as fotografias, gire em torno do objeto em uma direção (sentido horário por exemplo); entre uma foto e outra, certifique-se de que pelo menos 50% da imagem anterior esteja presente na próxima fotografia. Quanto maior a sobreposição, melhor o resultado do escaneamento.

⁷⁹ A profundidade de campo é um termo fotográfico que se refere a uma zona de focagem nítida aceitável à frente e atrás do ponto de focagem real.

Abuse nas texturas, mas evite padrões

O sistema de georeferenciamento utiliza detalhes das imagens para gerar o modelo tridimensional. Texturas com repetição de padrões podem ser problemáticas para o cálculo posterior, podem confundir o sistema. Para que isso não ocorra, utilize a sugestão do jornal sob o objeto ou pinte o assunto com temas aleatórios (Figuras 63).

O objeto deve estar estático

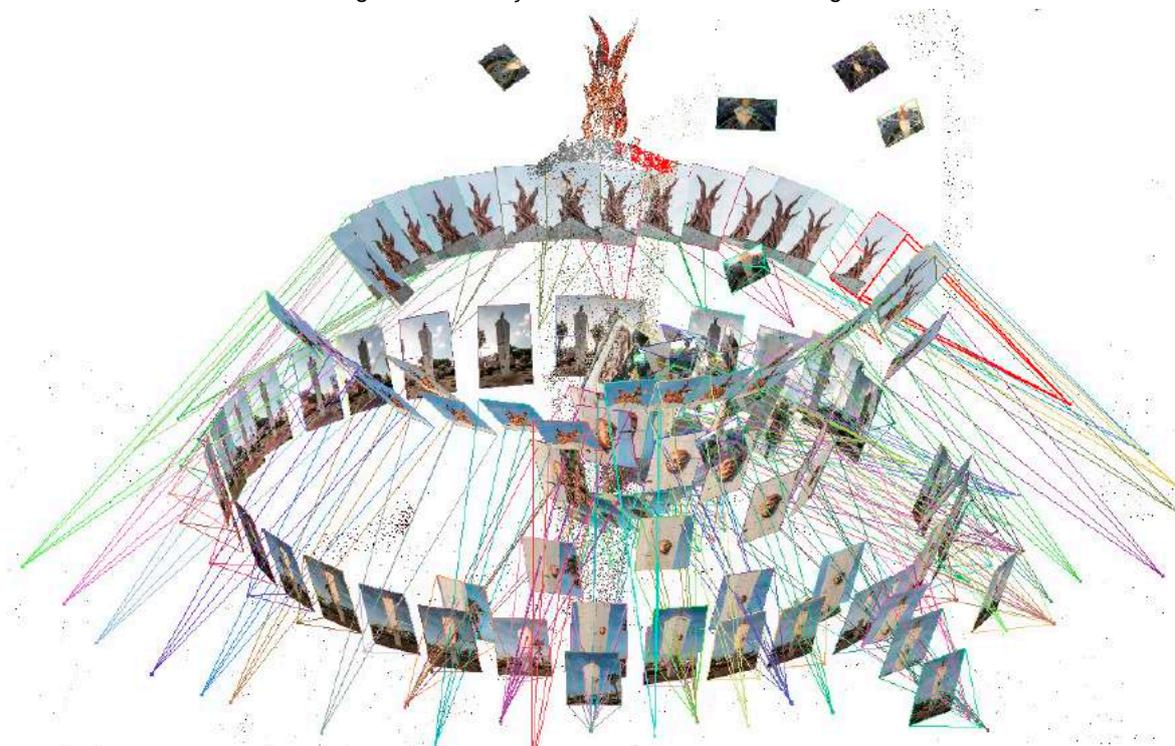
Não mude a posição do objeto durante a sessão de fotos. Caso seja movido, haverá incongruência entre os detalhes das fotos. Geralmente não há dificuldades quando os objetos são inanimados, mas no caso do escaneamento de pessoas pode ser um grande problema. Para ter sucesso na captura, é vital que elas fiquem o mais imóvel possível durante toda a sessão de fotos.

Vidros e metais não funcionam

O objeto não poderá ter superfícies refletivas ou brilhantes, muito menos partes transparentes. Como este método de escaneamento é visual, as partes transparentes devem ser cobertas com alguma tinta. No caso de metais, existem no mercado alguns *sprays* (como o *Colorgin Plastilac*) e ceras que podem ser utilizados para reduzir ou eliminar o brilho.

2.1.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Figura 46 – Posições da câmera em cada fotografia



Fonte: Elaborado pelo autor

Concluído o processo de captura, teremos um apanhado de fotografias do entorno de um objeto. A próxima etapa consiste basicamente em georeferenciar⁸⁰ as fotos (Figura 46) para calcular a posição de cada ponto identificado (são mais de 15000 pontos para um objeto simples) e obter um modelo 3D virtual. Hoje existem diversos programas capazes de realizar tal tarefa; alguns deles são pagos, mas existem boas opções gratuitas. Neste trabalho será utilizado o programa *Memento* (Autodesk)⁸¹.

A metodologia é composta pelas etapas⁸²:

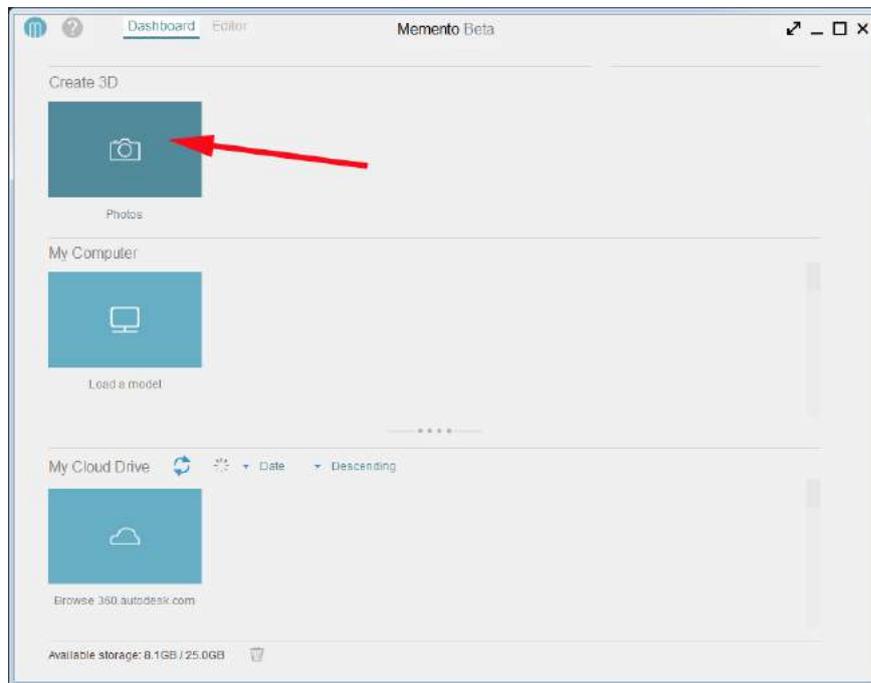
⁸⁰ Calcular a posição em três eixos da câmera em cada uma das fotos em relação ao objeto e às outras imagens

⁸¹ O programa pode ser baixado pelo *link* <https://memento.autodesk.com>

⁸² O modelo utilizado nesta metodologia está disponível em <https://goo.gl/CpAexL> (acesso em 12/11/2015)

Etapa 1

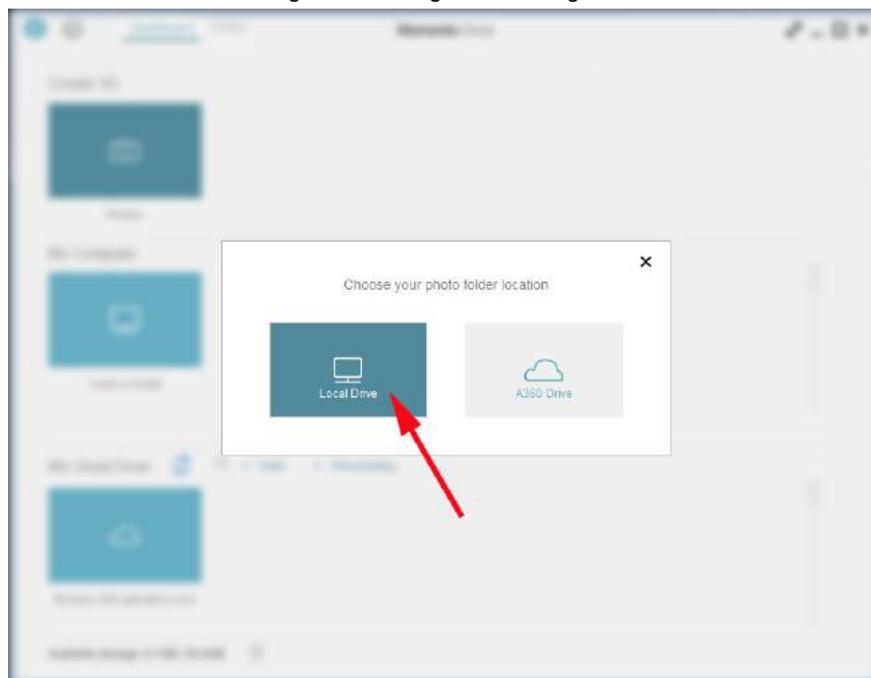
Figura 47 – Criação do projeto de captura



Ao executar o programa, uma janela se abrirá. Escolha a opção “Create 3D photos”.

Etapa 2

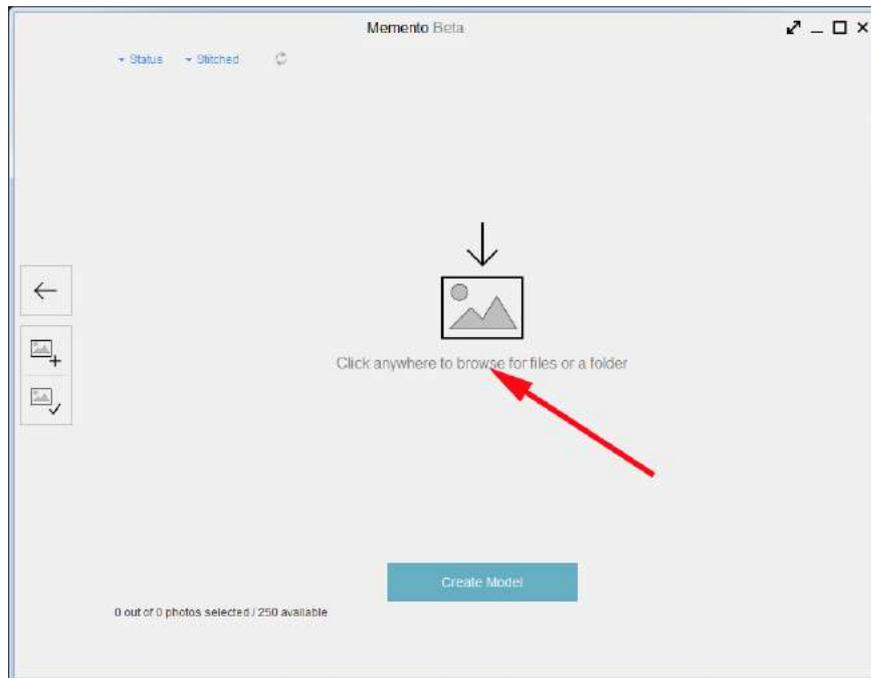
Figura 48 – Origem das imagens



Selecione a origem dos arquivos: no computador (local) ou na nuvem (A360 Drive).

Etapa 3

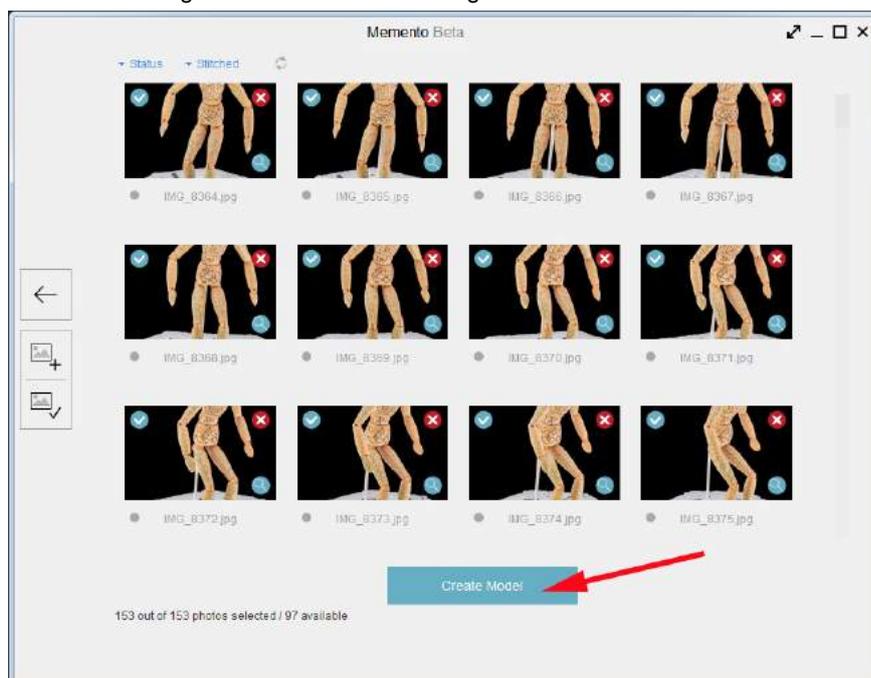
Figura 49 – Seleção das imagens



Clique e encontre a pasta onde as fotografias estão salvas e selecione todas as imagens. Clique em “Abrir”.

Etapa 4

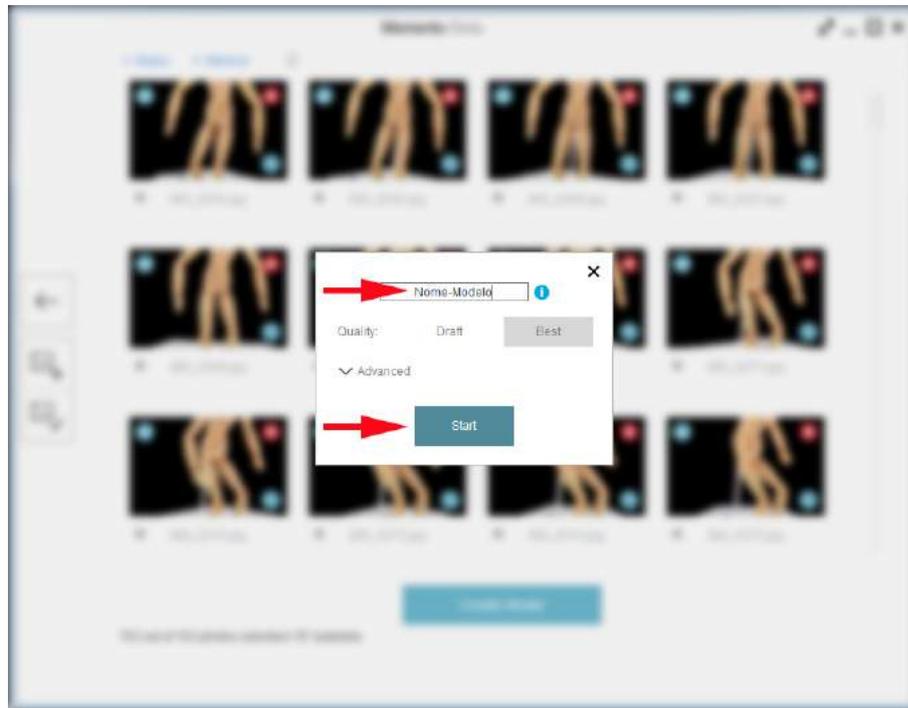
Figura 50 – Revisão das imagens



Nesta etapa é possível revisar as imagens inseridas ou incluir mais imagens. Quando estiver satisfeito, selecione a opção “Create Model”.

Etapa 5

Figura 51 – Escolha do nome



Dar um nome ao projeto e iniciar o processamento. Clique no botão “Start”. Primeiramente as imagens selecionadas serão enviadas para os servidores da *Autodesk*, para que possam ser processadas pelo sistema de *Cloud Computing*⁸³ (portanto, não será o computador local que gerará o modelo tridimensional). Este processo acontece em computadores de alto desempenho, de forma descentralizada. Quando tiver concluído, o programa mostrará que existe um modelo pronto para download.

⁸³ Em português "Computação em nuvem, por definição, diz respeito à entrega sob demanda de recursos de TI e aplicativos pela Internet." Fonte: <http://goo.gl/oiAeMj>

Etapa 6

Figura 52 – Resultado do processamento



Após fazer o download, clique para ver o modelo gerado, com as cores e texturas fieis ao original.

Etapa 8

Figura 53 – Modelo digital finalizado, em ambiente de visualização online



Esta metodologia pode ser aplicada de forma similar em outros programas de estereofotogrametria que utilizam *Cloud Computing* para processar as imagens. Para finalizar o processo, basta salvar ou exportar o resultado para um dos formatos digitais disponíveis; com isto, é possível editá-lo em outro programa de manipulação ou mesmo disponibilizá-lo online.

2.2 MANIPULAÇÃO DIGITAL

Somos expostos diariamente a dezenas de fotografias em diversos suportes gráficos, como revistas e jornais. Mesmo antes do advento dos computadores, as cores, formas e exposição das fotografias eram manipuladas. Correções geométricas, remoção de imperfeições e outras alterações eram feitas analogicamente, diretamente no fotograma ou em cópias impressas: "os ilustradores tiveram que criar uma maneira para editar as ilustrações, essa técnica é conhecida como retoque americano, faziam as manipulações, retiravam as imperfeições, fundos, brilhos isso tudo sobre um original revelado em papel" (CESAR, 2000).

Hoje em dia existem programas que possibilitam a edição, manipulação e intervenções digitais, permitindo praticamente qualquer alteração na imagem. O mais conhecido é o *Photoshop*⁸⁴, em que imagens são manipuladas em ambiente bidimensional (assim como a própria fotografia. Porém, as manipulações e intervenções digitais não são exclusivas de imagens bidimensionais). No universo da modelagem 3D digital, tudo se baseia em vértices, linhas e polígonos⁸⁵. Uma vez escaneado um objeto, sua imagem é convertida em um modelo digital composto por tais elementos, podendo ser alterado conforme parâmetros definidos no software de edição.

Os programas de modelagem 3D digitais, muito utilizados pela indústria do entretenimento em filmes e jogos eletrônicos, não só permitem editar objetos gerados em outros programas ou provenientes de escaneamentos 3D, como também possibilitam a criação de objetos novos e a modelagem de estruturas. Na metodologia que propomos, o programa *3ds Max* não será usado para criar, mas sim para manipular os modelos gerados, mesclando-os, de tal modo que ganhem uma nova configuração formal que represente a somatória de cada uma das etapas da decomposição do movimento. Como vimos, os objetos são obtidos através de um método tecnológico que recria a volumetria original em forma digital. Este método difere da escultura de bronze realizada a partir das fotografias do voo do pelicano (ver Figura 11): aqui os objetos não são modelados por um artista, são resultado de um processo computacional.

⁸⁴ O verbo "photoshopar", utilizado popularmente, significa que uma imagem foi alterada do original.

⁸⁵ O vértice, ou ponto, é a unidade mínima, cuja existência só ganha dimensão quando unido por uma linha a outro vértice. A junção de ao menos três linhas forma um polígono, sendo possível polígonos de centenas de linhas, como é o caso de um círculo. Um cubo, por exemplo, é composto minimamente por oito vértices, 12 linhas e seis polígonos.

Tomemos como exemplo um chute na bola: são criados seis modelos 3D de cada um dos instantes que formam o movimento completo. Assim como nas cronofotografias de Marey (ver 1.2 *Cronofotografia*), os objetos serão posicionados da mesma maneira que estavam na cena original. Se o pé de apoio do jogador estiver no chão, sem se mover, no ambiente 3D digital este será o ponto de alinhamento dos objetos. A união da sobreposição dos objetos 3D digitais forma um novo objeto, que compreende as etapas do movimento capturado apresentadas simultaneamente.

Figura 54 – Modelagem 3D digital (esquerda) e objeto impresso em 3D (direita)



Fonte: Bathsheba⁸⁶

A modelagem e manipulação digital de estruturas tridimensionais é um universo à parte. As possibilidades criativas vão muito além das exploradas analogicamente. A escolha metodológica explorada aqui para a criação artística foi baseada nos conceitos da cronofotografia e em determinados aspectos da fotografia em alta velocidade e em longa exposição. Alguns artistas utilizam o computador como parte fundamental do processo criativo e do método produtivo. Bathsheba Grossman, por exemplo, utiliza-o como uma poderosa ferramenta de processamento matemático

⁸⁶ Disponível em <<https://goo.gl/8anMZn>>. Acesso em 16/04/2015.

para conceber e alterar estruturas tridimensionais (Figura 54). Seu trabalho como escultor digital é uma mescla entre arte e matemática: converte fórmulas em objetos reais, materializando visualmente o pensamento abstrato⁸⁷. Um trabalho similar foi desenvolvido pelo matemático George W. Hart, cujas estruturas geométricas (Figura 55) inspiraram outros artistas. Também se baseia em ideais de equilíbrio e simetria, criando formas geométricas com grande apelo estético. As repetições de padrões das obras de ambos dialogam com este trabalho pois, apesar da origem ser diferente⁸⁸, a forma resultante compartilha a organicidade característica das formas da natureza, e a etapa de manipulação 3D é fundamental para a produção artística.

Figura 55 – *SuperFrabjous*, obra de George W. Hart



Fonte: GeorgeHart⁸⁹

A metodologia apresentada nesta dissertação envolve escaneamento 3D de objetos/pessoas em movimento, manipulação digital e impressão 3D. Dois artistas em especial possuem uma metodologia de criação com alguns aspectos similares à que propomos: Geoffrey Mann e Peter Jansen. Em uma de suas criações, Geoffrey Mann

⁸⁷ Seu estilo é representado por formas orgânicas com padrões estruturados, simétricos e equilibrados geometricamente; suas produções muitas vezes são análogas a formas da natureza.

⁸⁸ Uma é proveniente de escaneamentos 3D e, a outra, de modelagem direta no ambiente digital.

⁸⁹ Disponível em <<http://goo.gl/cRrBMs>>. Acesso em 16/04/2015.

explorou os movimentos de uma mariposa: capturou o traçado percorrido pelo animal e modelou digitalmente um objeto equivalente ao eco de sua trajetória durante um intervalo de tempo. Apesar de não trabalhar com escaneamento 3D, Mann utilizou fotografias em alta velocidade para capturar as posições da mariposa durante o voo (Figura 56) e, analisando as imagens, derivou as posições no ambiente tridimensional e fez a modelagem 3D em um programa de computador.

Figura 56 – “Attracted to Light”, de Geoffrey Mann



Fonte: Moma⁹⁰

A captura das posições é fotográfica mas, para escolher as posições no ambiente tridimensional, o processo é interpretativo pois necessita de avaliações do artista.

⁹⁰ Disponível em <<http://goo.gl/1JYMma>>. Acesso em 16/04/2015.

Figura 57 – “Arabesque”, de Peter Jansen



Fonte: Humanmotions⁹¹

Um processo similar de edição realizado por Peter Jansen explora objetivamente a compactação do espaço e tempo em um único objeto composto por figuras humanas (Figura 57). Seu trabalho utiliza a mesma metodologia desta dissertação em se tratando das manipulações digitais: sobrepõe as figuras humanas em diferentes posições, criando um único objeto tridimensional digital, que representa a decomposição do movimento; é possível, pois, visualizar concretamente o tempo passado por um corpo em movimento. O processo de criação das figuras humanas, porém, é totalmente digital, desenvolvido em ambiente computacional. Não utiliza fotografias, nem técnicas cronofotográficas ou de *stop motion* para obter o movimento: usa programas de modelagem digital 3D para criar as figuras humanas e posicioná-las. Portanto, apesar de utilizar figuras humanas, todo o trabalho é feito virtualmente. Um de seus trabalhos, *Nude Descending a Staircase* (homenagem a Étienne-Jules Marey), faz referência direta à obra de mesmo título de Duchamp. A solidez e dureza de sua versão é aparente, o que ironicamente parece contraditório: a fluidez do processo descreve muito mais corretamente o movimento da mulher descendo a escada. Duchamp, por outro lado, explora as facetas e nuances do movimento, com forte abstracionismo e riqueza interpretativa. O resultado artístico possibilita uma exploração visual mais aprofundada, permitindo que os ideais de mulher, os referenciais de escada

⁹¹ Disponível em <<http://goo.gl/LwSnFf>>. Acesso em 16/04/2015.

e a percepção do movimento sejam interpretados livremente pelo espectador. Ainda assim, o belo trabalho de Jansen aponta possibilidades que Duchamp nem poderia imaginar, principalmente no âmbito tecnológico.

O fotógrafo Eliot Elisofon realizou em 1952 uma fotografia do próprio Duchamp descendo uma escada⁹², uma clara referência à sua obra original, por onde passaram Peter Jansen e outros tantos artistas que foram influenciados por sua expressão e pelo universo da cronofotografia.

Figura 58 – As versões de “Nude Descending a Staircase” de Eliot Elisofon (esquerda), do próprio Marcel Duchamp (centro) e de Peter Jansen (direita)



Fonte: Philamuseum⁹³

Na manipulação digital utilizada neste trabalho, o posicionamento e união dos modelos segue uma sequência da lógica do movimento. Foram utilizados 30 modelos no ensaio artístico. Este número poderia ser elevado a 100 ou até mesmo 1000, produzindo objetos cujos movimentos seriam mais duradouros, longos. O fotógrafo japonês Shinichi Maruyama desenvolveu um trabalho cronofotográfico no qual utiliza a mesma metodologia de Marey, mas com um FPS⁹⁴ muito mais elevado, chegando a incríveis 2000 FPS. As séries de fotografias, intituladas como *Nude* (Figura 59), mostram uma forma abstrata monocromática, com luzes e brilhos. Apesar de parecerem longas

⁹² Título original: *Marcel Duchamp descends staircase*. Publicada na revista Life em 28 de abril de 1952.

⁹³ Disponível em <<http://goo.gl/ZPv6u>>. Acesso em 16/04/2015.

⁹⁴ Fotos (ou *frames*) por segundo.

exposições de mais de vários segundos de bailarinos nus realizando movimentos, são na verdade o resultado de 2000 fotos compiladas. Foram feitas do mesmo ponto de vista, mostrando os corpos “perdidos” no meio dos borrões dos próprios movimentos. A referência a Marey e Muybridge é evidenciada em sua fala:

I know the advancement of technology has allowed me to create these new images that would have been impossible for others in the past. The scientist/photographer Étienne-Jules Marey, who contributed a lot to many artists more than 100 years ago, used a camera that shot 12 images per second. But because of the technology we have today, I was able to use a camera that let me take about 2000 images per second⁹⁵ (MARUYAMA, 2012)

Figura 59 – “Nude”, longa exposição com corpo de bailarino



Fonte: Shinichimaruyama⁹⁶

⁹⁵ *Eu sei que o avanço tecnológico permitiu-me criar estas novas imagens que teriam sido impossíveis no passado. O cientista / fotógrafo Étienne-Jules Marey, que contribui muito para diversos artistas há mais de 100 anos, usou uma câmera que disparava a 12 imagens por segundo. Porém, com a tecnologia que temos hoje, eu fui capaz de usar uma câmera que permite realizar cerca de 2000 imagens por segundo. (Tradução livre)*

⁹⁶ Disponível em <<http://goo.gl/4xk70>>. Acesso em 11/01/2016.

2.3 IMPRESSÃO 3D

Os trabalhos de Bathsheba Grossman, George Hart, Geoffrey Mann e Peter Jansen têm um ponto em comum: utilizam a impressão 3D para tornar tangíveis suas obras. Os métodos construtivos tradicionais utilizados pela indústria não possibilitam a produção de qualquer tipo de objeto. Uma das grandes vantagens da impressão 3D (ou: prototipagem rápida⁹⁷) é trazer para a bancada o modo de produção, diminuindo a distância entre projetista, designer, artista e a produção. Mas antes de ter seu lugar ao lado dos computadores pessoais, a impressão 3D precisou de cerca de uma década para se tornar uma tecnologia viável. Atualmente é uma tecnologia amplamente utilizada tanto por grandes indústrias e empresas (como Boeing, General Electric e Ford) quanto por pequenas empresas, escritórios e indivíduos que a incorporaram em diversas etapas de desenvolvimento de produtos (dentre os quais protótipos, *mockups* etc).

Figura 60 – Impressora MakerBot e alguns materiais



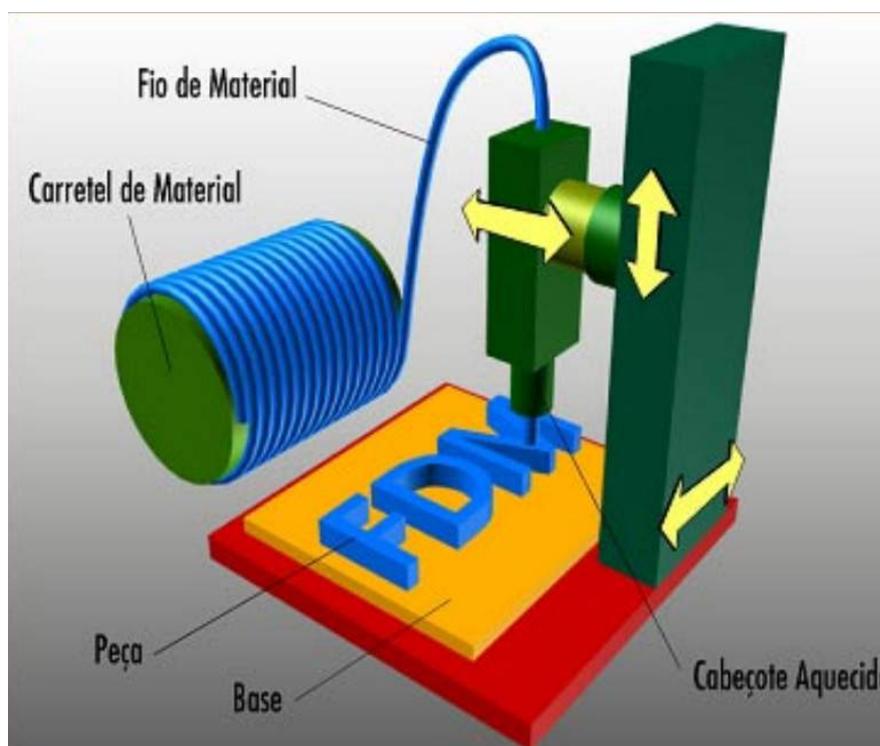
Fonte: Engadget⁹⁸

⁹⁷ O termo prototipagem rápida (*rapid prototyping*) refere-se normalmente aos métodos de produção de protótipos por sistemas aditivos (Buswell, Soar, Gibb, Thorpe (2007)

⁹⁸ Disponível em <<http://goo.gl/kv8Wwz>>. Acesso em 11/01/2016.

Há muitos fabricantes de impressoras 3D. *Fab@home*, *MakerBot* (Figura 60) e *RepRap* foram os principais responsáveis pela viabilização para uso pessoal, tanto no aspecto do design quanto econômico. Os grandes avanços desde as primeiras impressões são o material e a resolução. Os materiais são diversos em cores e propriedades físicas (plásticos, condutivos, elastômeros, metálicos, gesso, argila, cimento, areia, materiais orgânicos e sintéticos, até mesmo alimentos, como chocolate e geleia). A resolução teve avanços impressionantes, chegando à precisão de 0,01mm. Isso transformou o status da impressão 3D: de algo amador, passou a ser uma grande vantagem estratégica no desenvolvimento de produtos em diversos setores. Hoje em dia as impressoras são utilizadas para produzir toda sorte de objetos, como peças de automóveis, aviões, alimentos, esculturas, brinquedos, vestuário, sapatos, instrumentos musicais, ossos, próteses e órteses etc., e pesquisas já obtiveram sucesso na impressão de órgãos humanos.

Figura 61 – Impressão 3D em FDM



Fonte: INT/MCT

As tecnologias de impressão são muitas, com sistemas de sinterização a laser, resinas fotocurantes, fundição de metal e outras. Para este trabalho, foi utilizada

a impressora com tecnologia FDM⁹⁹, um método de fabricação aditiva que utiliza filamentos de polímeros termoplásticos como insumo. Um injetor esquenta e puxa o filamento plástico de uma bobina. Na medida em que o material derrete, ele é injetado em uma base, que se movimenta em dois eixos (X e Y). Quando uma camada do objeto é concluída, o injetor sobe (eixo Z) o equivalente a uma camada e então inicia a produção da segunda. São impressas quantas camadas forem necessárias para que o objeto seja constituído e sua volumetria (re)composta. Os modelos manipulados são impressos em cor única, definida pela escolha do filamento. O resultado são peças sólidas, resistentes e muito similares ao modelo digital. Uma vez finalizados, os modelos digitais podem ser impressos em qualquer tipo de impressora 3D. Para determinado tipo de impressora, existem determinados materiais disponíveis. No caso deste trabalho, são utilizados plásticos ABS em cores.

Figura 62 – Obra de Dan Collins



Fonte: Arizona State Univeristy¹⁰⁰

O uso da impressão 3D como metodologia de criação e produção é explorado por diversos artistas, como Dan Collins, que a usa para produzir suas obras, escanear modelos e realizar intervenções digitais. Collins foi um dos primeiros artistas a utilizar as tecnologias tridimensionais de escaneamento e impressão para produções artísticas. Seu interesse em corpos humanos o levou a explorar as possibilidades da

⁹⁹ FDM em inglês: Fused Deposition Modeling (modelagem por deposição fundida)

¹⁰⁰ Disponível em <<http://goo.gl/6Js8PR>>. Acesso em 11/01/2016.

máquina, e subverteu o modo de utilizá-la. Ao escanear uma pessoa, ao invés de deixá-la estática, movia seu corpo lentamente durante o processo de escaneamento, causando um rastro de distorção que poderia ser impresso.

Resumindo: a impressão 3D permite transformar um modelo virtual em algo palpável. O processo de impressão é computacional, controlado digitalmente. Outras impressoras podem ser utilizadas, e o processo é o mesmo: o objeto é fatiado (utilizando um software específico) em camadas extremamente finas, e cada uma é impressa e adere sobre a outra, formando um sólido cujo grau de semelhança varia conforme a resolução da impressora (definida pela altura da camada e pela precisão e resolução do deslocamento no eixo X e Y). Uma vez impresso, o objeto pode ser tocado e apreciado como uma escultura.

3 EXPERIMENTO IMAGÉTICO

3.1 O PROCESSO

A primeira etapa foi o processo de captura das imagens, parte fundamental para o escaneamento 3D por estereofotogrametria. Para este trabalho, foi escolhido um boneco em madeira, articulado: é um dispositivo amplamente utilizado para desenho e representação do corpo humano (Figuras 63). Suas articulações permitem que sejam reproduzidas poses humanas, movimentando pernas e braços independentemente. O boneco não precisa estar apoiado no chão, uma vez que o quadril está conectado a um eixo metálico preso em uma base. Isso permite maior liberdade no posicionamento dos membros. Pela especificidade do método de escaneamento fotográfico, desenhos aleatórios foram feitos na superfície do boneco (Figuras 63).

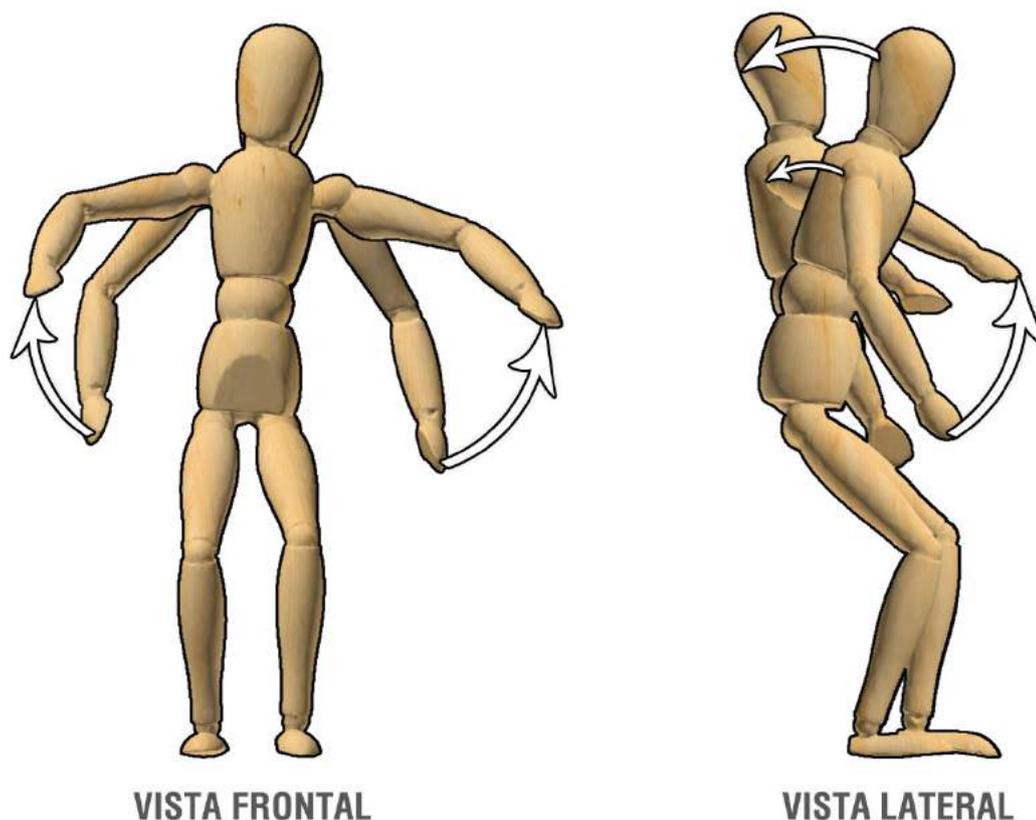
Figuras 63 e 64 – Boneco articulado com superfície pintada (direita) e superfície original lisa (esquerda)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste experimento, o movimento do boneco foi limitado seus braços, torso e cabeça (Figura 65). Do quadril para baixo não há movimentação, para que haja um ponto em comum entre as etapas do movimento.

Figura 65 – Ilustração da movimentação do boneco articulado



Fonte: Elaborado pelo autor.

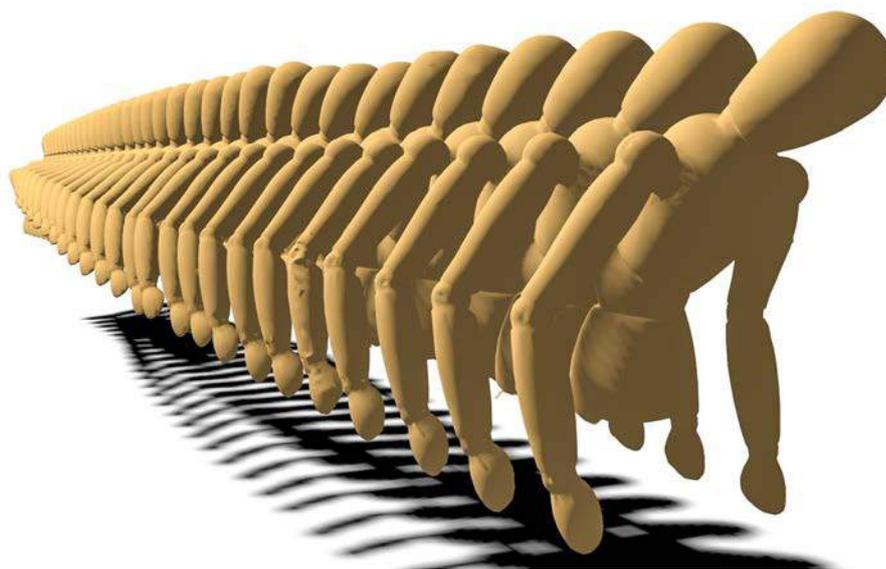
Com pequenas diferenças entre uma pose e outra, buscamos representar a descrição completa de um movimento. Cada posição do boneco foi escaneada pelo sistema; para isso, foi utilizada uma técnica similar ao *stop motion*¹⁰¹. O objeto foi colocado na mesa giratória, e sua pose foi configurada em determinada posição. Iniciamos o processo de captura: a mesa gira e as fotografias são realizadas. O resultado final são diversas fotos da mesma pose, mas em diferentes ângulos. Após a conclusão desta captura, o boneco sofre nova alteração: movimenta os braços alguns milímetros. Uma nova sequência de fotos é realizada e assim sucessivamente,

¹⁰¹ Técnica de produção de filmes onde cada quadro é proveniente de fotografias de objetos em posições variadas, produzindo a sensação de movimento quando sequenciados.

até obter grupos de imagens 360° correspondentes a cada uma das poses desejadas (neste caso, foram escaneadas 30 poses). Depois, as fotografias são transferidas para um computador e as sequências são organizadas e separadas em conjuntos. Cada um deles é isolado e enviado ao software de estereofotogrametria para processamento, e obtemos então o modelo 3D digital (seguimos os procedimentos explanados em *2.1.2 Processamento das Imagens*).

O resultado são modelos 3D que representam cada uma das etapas do movimento. São provenientes das fotografias, e as etapas descrevem o movimento do assunto fotografado da mesma forma que Muybridge e Marey fizeram extensivamente em suas pesquisas. Porém, as fotos serviram como base estrutural para que o modelo pudesse ser gerado. Há uma relação entre esta metodologia e a cronofotografia: ambas utilizam a captura sequencial de instantes congelados de um movimento e permitem a (de)composição em um suporte visual. Na cronofotografia o suporte era a própria imagem, mas nesta metodologia o suporte vai além: é (re)construído um novo objeto.

Figura 66 – Modelos sequenciados

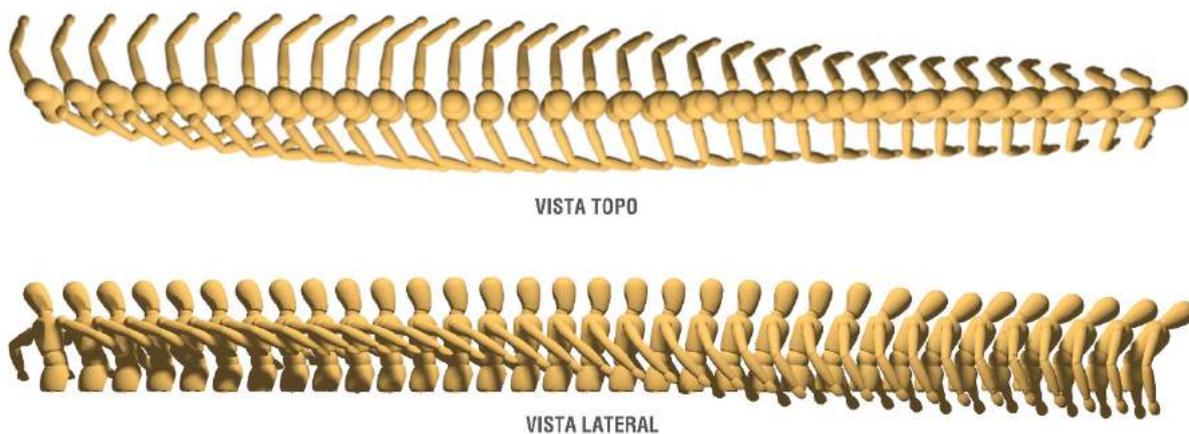


Fonte: Elaborado pelo autor.

Se analisarmos cada um dos grupos de imagens, temos a decomposição de um movimento – intencionalmente realizada no boneco como suporte artístico/dinâmico (Figura 66). Uma sobreposição (ou sequenciamento) das imagens traria a ideia da decomposição o movimento, assim como visto por Muybridge e Marey. Aqui, porém,

um processo intencional foi utilizado. O movimento não estava acontecendo, como no caso dos cavalos de Muybridge. A câmera também não captou as etapas do movimento: ele foi primeiramente decomposto pelo artista – com base em seu julgamento sobre amplitude, distâncias e intenção – e então transferido ao boneco e fotografado em partes/grupos. Existe uma sequência cronológica entre cada uma das fotos, imposta pela mesa giratória, mas não existe correlação entre estas sequências e as que se seguem (a não ser a ordem cronológica do momento da captura). Em se tratando do boneco e seu movimento, o resultado são posições diferentes. Explicamos: como o movimento é determinado pelo artista, nada impede que seja realizado fora de “ordem”. Por exemplo, poderia o braço iniciar o movimento embaixo e, no quadro seguinte, estar já no alto; logo em seguida, novamente embaixo. O artista continua tendo controle sobre o sequenciamento das imagens na pós-produção, assim como um editor de cinema pode alterar a sequência das imagens captadas a fim de comunicar algo diferente do que foi imaginado durante as filmagens. Tal possibilidade diferencia este processo do de Muybridge e Marey, nos quais a câmera era “refém” do evento dinâmico, apenas seguindo seu programa de captura.

Figura 67 – Modelos gerados à partir do escaneamento 3D de 30 poses diferentes

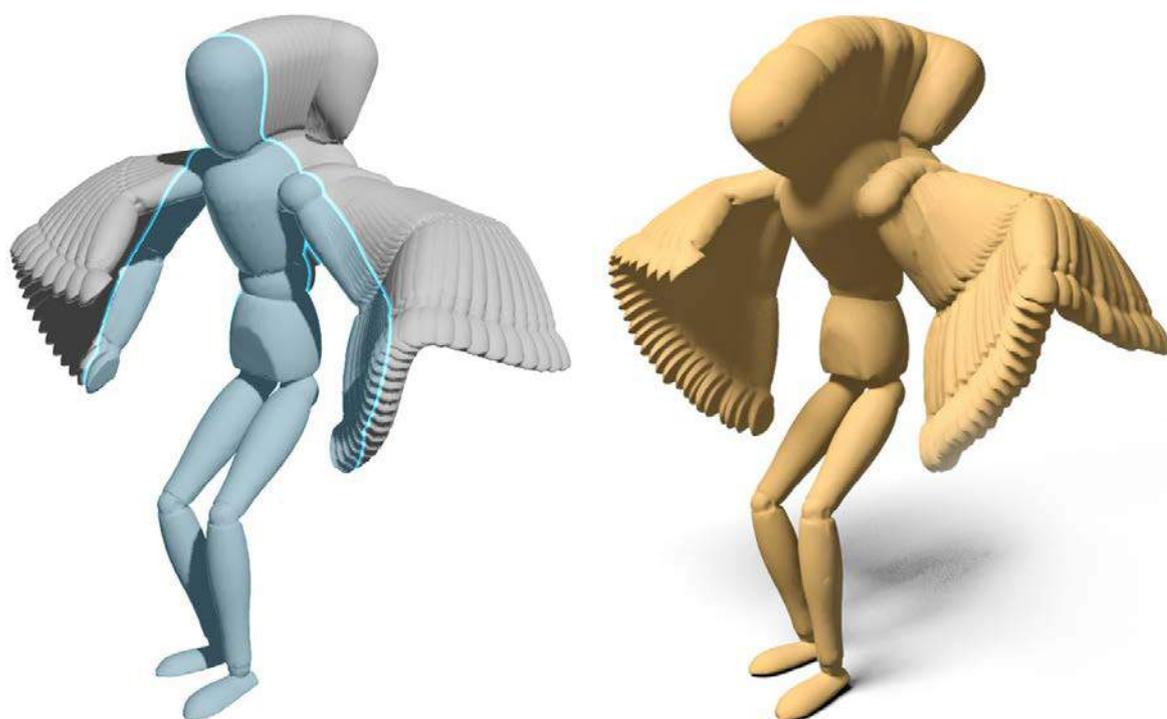


Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez gerados pelo software os diferentes arquivos digitais dos modelos 3D (Figura 67), passamos à segunda etapa: a justaposição dos modelos em ambiente tridimensional digital. Cada modelo, chamado de sólido, pode ser posicionado

livremente em softwares de manipulação digital 3D, com mudanças de escala, translação e rotação. Os modelos foram importados pelo software *3ds Max* e foram alinhados e posicionados (como neste experimento existe um ponto em comum sem movimento – os pés –, foram utilizados como referência para o alinhamento). Podemos ver então a união dos objetos e a estrutura que se forma, resultante da união de 30 etapas da decomposição de um movimento (Figura 68).

Figura 68 – Produto da justaposição dos modelos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A união dos objetos, mesmo em ambiente digital, cria um produto que estabelece uma relação com a cronofotografia justamente por se tratar de um objeto feito por partes oriundas de fotografias de instantes distintos. Este produto não é palpável (ainda), existe somente no mundo virtual. Como visto em *anteriormente* (Capítulo 2.3), a impressão 3D possibilita a materialização de um modelo digital em diversos materiais. Neste trabalho, o modelo resultante passou pelo processo de impressão 3D para então se tornar palpável, tangível. Para esta terceira etapa, foi necessário exportar o modelo gerado no software para um formato compatível com os

programas das impressoras 3D: o arquivo STL. O processo de impressão 3D que escolhemos consiste em (1) fatiar o modelo e (2) gerar o arquivo de comandos para a impressora. O software *Repetier* é utilizado neste processo, transformando o modelo digital em comandos para serem enviados à impressora. Ao executá-los, são traduzidos em fornecimento de filamento, movimento do cabeçote com o filamento fundido (eixos X e Z) e da mesa de impressão (eixo Y) (Figura 69)

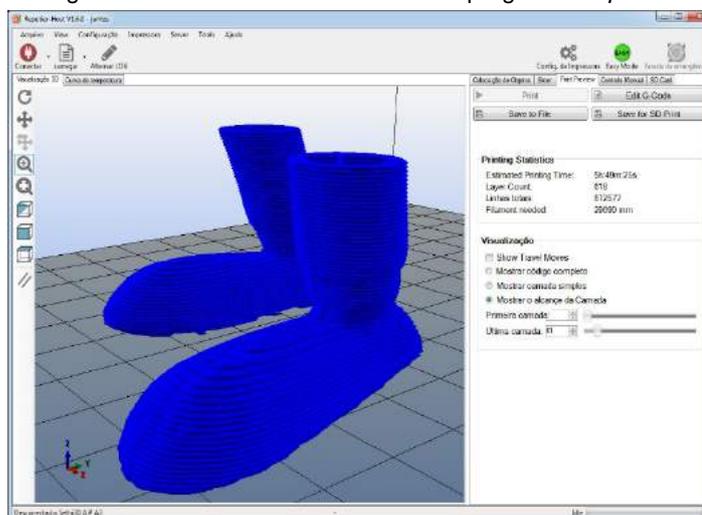
Figura 69 – Objeto sendo impresso, sobre a mesa de impressão e sob o cabeçote com o filamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

A impressão 3D é basicamente a composição de centenas de fatias sobrepostas (Figura 70). Na imagem podemos ver as camadas, umas sobre as outras, como partes constituintes do objeto. Como o material utilizado é um termoplástico, quando uma fatia entra em contato com a seguinte os materiais se soldam, unindo-as. O resultado final é um objeto sólido, real.

Figura 70 – Pés do boneco fatiados no programa *Repetier*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após 57 horas de impressão, o objeto foi materializado. Porém, ainda não é o objeto final: por uma especificidade deste método de impressão, para partes “suspensas” do objeto é necessário que exista um apoio, chamado de suporte. Este material é impresso com o mesmo filamento do objeto, porém existe uma pequena distância entre a estrutura de suporte e o objeto, para que possa ser removida após a impressão.

Figura 71 – Material de suporte sustenta as partes para que não fiquem flutuantes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a remoção do material de suporte, o objeto finalmente está pronto.

3.2 RESULTADOS

Figura 72 – Objeto artístico



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 73 – Objeto artístico



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 74 – Objeto artístico



Fonte: Elaborado pelo autor.

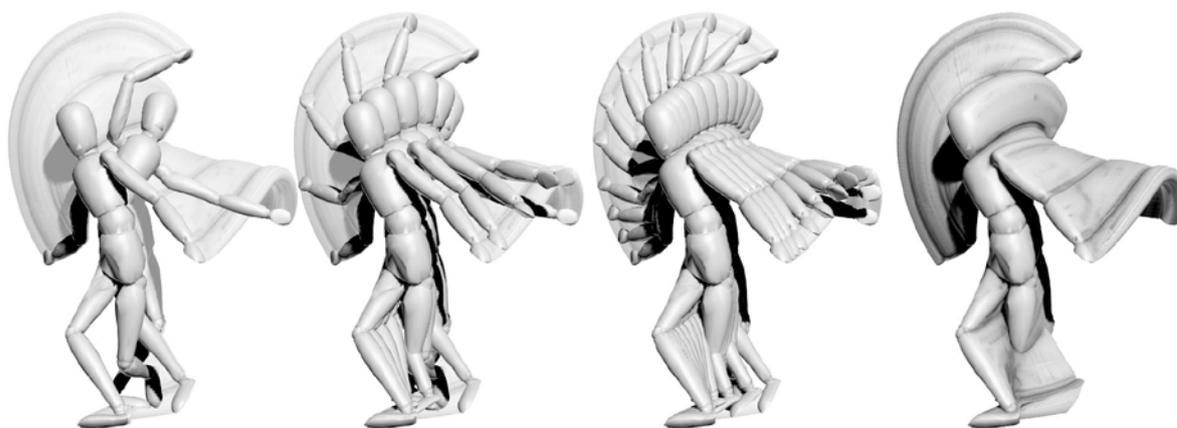
Este objeto foi gerado genuinamente pelo processo de escaneamento 3D e justaposição dos modelos 3D gerados. Todas as 30 poses do boneco passaram pelo mesmo processo, tornando-o integralmente uma captura dos movimentos reais realizados no objeto.

Além deste objeto, um outro foi gerado, mas desta vez a metodologia utilizada foi alterada. O processo iniciou-se da mesma maneira, com a captura 360° das imagens do boneco em uma das posições, sendo depois processado pelo software para geração do modelo 3D. Porém, na etapa seguinte foi feita uma intervenção digital: ao invés de utilizar todos os modelos 3D provenientes das capturas, apenas um foi utilizado. Este boneco passou então por um processo

conhecido como *rigging*¹⁰²: um esqueleto digital foi inserido dentro do boneco, permitindo que seus movimentos fossem controlados no ambiente digital. Braços e pernas puderam ser movidos separadamente, pois o modelo 3D digital serve como uma pele para um esqueleto que dita seus movimentos. Ao invés de realizar os pequenos movimentos com a técnica de *stop-motion* diretamente no boneco real durante o processo de captura, o movimento foi realizado no ambiente digital. As trajetórias das mãos e dos pés são independentes, e um movimento de dança contemporânea foi reproduzido no esqueleto digital, com os braços movimentando-se em direções distintas, as pernas desempenhando um passo largo.

Para criar a justaposição é necessário mais do que um objeto. Neste caso, as poses dos diferentes bonecos foram geradas a partir da extração de cada um dos quadros da animação que foi realizada. Desta forma, existe um novo objeto para cada uma das posições durante toda a animação. Para este experimento, foram geradas 250 cópias, representando o movimento do boneco de forma fluida (Figura 75).

Figura 75 – Variação do número de cópias até 250 cópias



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essencialmente, o resultado é similar ao experimento anterior, mas como existem muito mais modelos diferentes constituindo um mesmo objeto, a diferença entre um objeto e o seguinte é muito pequena, criando superfícies mais lisas. A justaposição foi

¹⁰² Técnica de animação em 3D que adiciona movimento a um personagem simulando articulações própria de sua natureza estrutural (esqueleto) e linguagem corporal. Disponível em <<http://goo.gl/BhIRYA>>. Acesso em 20/02/2016.

realizada, e o objeto enviado para a impressora 3D para a geração do modelo real (Figura 76 e Figura 77).

Figura 76 – Objeto com 250 posições diferentes embutidas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 77 – Vista frontal do objeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÃO

Cada meio artístico tem sua especificidade e seu arcabouço teórico. No caso da fotografia, além dos aspectos históricos, filosóficos e artísticos, sua evolução permitiu que a criatividade humana pudesse ser explorada de uma forma plural, com resultados muitas vezes inacreditáveis, como a primeira cronofotografia ou uma imagem microscópica de uma bactéria. O caminho artístico percorrido por Bragaglia em suas fotografias no futurismo trazia as longas exposições, com os borrões tratados não como defeitos, mas como essência da obra. Em termos de matéria física, tais borrões não existem. Estão presentes apenas na imagem gerada como consequência de um objeto em movimento durante um processo de exposição da luz.

No caso da escultura, a capacidade de visualização de uma estrutura tridimensional dentro de um bloco de mármore, e o subsequente processo escultórico até sua revelação é algo que alguns grandes mestres, como o renascentista Michelangelo, tinham de sobra. Assim como um pintor, o escultor visualizava o objeto e “extraía” o resto. Também no âmbito da escultura houve evolução tecnológica. As ferramentas evoluíram, os métodos também, e até mesmo a percepção visual evoluiu, com perspectivas mais corretas, proporções e conhecimento de novos materiais, resultados de uma constante educação visual e de difusão do conhecimento também por meios impressos e digitais.

No caso da pintura, para que se pudesse fazer uma cópia de uma obra era necessária grande capacidade por parte do pintor, um vasto domínio de técnicas e materiais. Com a evolução tecnológica, a imagem passou a ser captada e armazenada, mantendo grande acuidade visual com o original. Como visto, uma copiadora era praticamente uma máquina fotográfica unida à uma impressora. Estava resolvida a questão da obtenção e reprodução da imagem, algo que continua em constante evolução. Porém, e quanto à escultura? Como visto, já possuímos meios de capturar, armazenar e reproduzir sua volumetria. E não só: a intervenção artística é possível em todas as etapas. Neste trabalho, o processo artístico ocorreu durante a captura e na manipulação digital, gerando algo novo, autêntico em sua raiz metodológica e essência formal. Contudo, o processo escultórico nada tem a ver com esta metodologia. Empresta sua matriz e sua resultante física, mas não entra no

processo metodológico, que é digital: desde a captura com equipamentos fotográficos, o processamento das imagens e manipulações, até a impressão 3D.

A produção desde experimento imagético é composta por diversas etapas, muitas intangíveis, até culminar em um objeto palpável, sólido, real. A fotografia e a cronofotografia serviram como base para o desenvolvimento dos experimentos imagéticos aqui realizados, e as técnicas fotográficas e os recursos eletrônicos e digitais foram vitais para sua viabilização. Sublinhamos o fato de que a herança dos grandes fotógrafos e cronofotógrafos, futuristas e cubistas, permeia os desdobramentos artísticos e estéticos deste trabalho: a volumetria unida ao congelamento do tempo nos remete às questões trazidas pelo cubismo, porém com novos elementos. Na pintura, o 3D era possível de certo modo, o cubismo buscava múltiplos pontos de vista em um mesmo ângulo. Aqui, pudemos ver múltiplos instantes presentes em um mesmo objeto, ao mesmo tempo, podendo ser explorado um ponto de vista por vez, mas com a liberdade de passear pelos instantes impressos na solidez do plástico.

As questões artísticas e culturais aqui discutidas serviram de suporte para um processo de criação e produção, ambientando e contextualizando as escolhas, tanto de materiais quanto de procedimentos, traçando por fim uma linha entre a evolução da humanidade e a evolução da arte. A tecnologia, presente desde o lápis utilizado para os esboços até o complexo software de processamento das imagens 3D, não está dissociada do processo. Possibilita e é possibilitada pelos outros recursos e processos artísticos. A técnica, seja a maneira de segurar o lápis até os ajustes de abertura do diafragma para determinar a profundidade de campo, serve como condução da intenção do artista, como fomento do vislumbre, permeando a metodologia no início ao fim.

Da fotografia ao objeto, do “borrão” ao movimento estático. Este trabalho teve como o intuito a criação de uma ponte entre a imaterialidade da fotografia e a volumetria palpável presente na escultura, resultando em um experimento imagético. Seu produto representa o movimento do modelo em formas fluidas, como rastros, mas solidificados em plástico. Cada etapa é o futuro da anterior e o passado da próxima, unindo em um único objeto a passagem do tempo; torna-se, pois, uma materialização atemporal.

Quanto à impressão 3D, muitas são as possibilidades produtivas, com evoluções constantes em tipos de materiais e avanços tecnológicos com relação ao hardware. O tempo necessário para a impressão de cada objeto foi cerca de 60 horas, tempo que já está mudando com o avanço tecnológico dos sistemas de impressão

3D. Com relação ao material, apesar de já existirem impressoras coloridas, os objetos aqui desenvolvidos foram impressos em apenas uma cor: tivemos como objetivo destacar a volumetria.

Este trabalho teve como frutos objetos artísticos a partir da solidificação do movimento da fotografia em um objeto real. Mas as possibilidades vão além: impressões 3D com transparências, objetos em grande escala, produção de formas não-humanas, captura de movimentos para aplicação nos objetos escaneados. Portanto, o conhecimento produzido traz contribuições que podem ser utilizadas em outras pesquisas: a metodologia aplicada pode ser reutilizada (inclusive com outras finalidades) em diversas áreas de conhecimento, tanto para criações artísticas quanto para aplicações científicas. Os recursos que foram utilizados aqui, e que são resultados de evoluções tecnológicas, possibilitam também o desenvolvimento de novos métodos. A pesquisa, afinal, é viva e serve a todos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAR, Pierre-Jean. **História da fotografia**. Lisboa: Edições 70, 2001.

ASSOULINE, Pierre. **Cartier-Bresson: o olhar do século**. Porto Alegre: L&PM editores, 2008.

BAGNO, Marcos. **Pesquisa na escola: o que é, como se faz**. 25. ed.: Editora Loyola, 1998.

BARTHES, Roland. **Excerpts from “preparation of a manuscript”**, 1979. (63). Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1540-4781.1979.tb02446.x>>. Acesso em 01/05/2015.

BENJAMIN, Walter. **A obra de arte na era da sua reprodução técnica**. São Paulo: Brasiliense, 1985.

BRAUN, Marta. **Picturing time: the work of Etienne-Jules Marey (1830-1904)**. Chicago: University Of Chicago, 1992.

BRITO, Jorge; COELHO, Luiz. **Fotogrametria digital**. 1. ed. Rio de Janeiro: IME - Instituto Militar de Engenharia, 2009.

BUSWELL, R. A.; SOAR, R. C.; GIBB, A.G.F.; THORPE, A. Freeform Construction: Mega-scale rapid manufacturing for construction. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 224–231, 2007.

CARDOSO, João Batista Freitas. O limite entre a ética e a criatividade: A manipulação da fotografia digital na publicidade. **Comunicação & Inovação**, v. 13, n. 24, 2012.

CARTIER-BRESSON, Henri; SAND, Michael L. **The mind's eye: Writings on photography and photographers**. 1. ed. New York, N.Y.: Aperture, 1999.

VALLE, Isabella Chianca Bessa Riberio do. **Fotografando digitalmente, pensando analógicamente: A caixa preta da fotografia numérica**. Dissertação de Mestrado em Comunicação e Semiótica. São Paulo: PUC, 2012.

CESAR, Newton. **Direção de arte em propaganda**: SENAC NACIONAL, 2000. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=bPggwD8kz9gC>>. Acesso em 15/09/2015.

CHALHUB, Samira. **Funções da linguagem**. 11. ed.: Editora Ática, 2001.

CHOPINE, Ami. **3D art essentials the fundamentals of 3D modeling, texturing, and animation**. New York: Focal Press, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780240814711>>. Acesso em 24/09/2014.

COELHO, Luis Moraes. **Fotografia e(m) movimento: poéticas da locomoção na fixidez da imagem**, 2013.

DONDIS, Donis A. **Sintaxe da linguagem visual**. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

FABRIS, Annateresa. A captação do movimento: do instantâneo ao fotodinamismo. **ARS (São Paulo)**, v. 2, n. 4, p. 51–77, 2004.

FLUSSER, Vilém. **Filosofia da caixa preta: ensaios para uma futura filosofia da fotografia**. 1. ed. São Paulo: Annablume, 1985.

HEMPSTEAD, Colin; WORTHINGTON, William. **Encyclopedia of 20th-century technology**. New York: Routledge Publishing, 2005.

JOLY, Martine; RODIL, José Eduardo. **Introdução à análise da imagem**. Lisboa: Edições 70, 1999. (Arte e Comunicação, 68).

KARMEL, Pepe; PICASSO, Pablo. **Picasso and the invention of cubism**. New Haven [Conn.]: Yale University Press, 2003.

KOSSOY, Boris. **Realidades e ficções na trama fotográfica**. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 1999.

KOSSOY, Boris. **Fotografia & história**. 2. ed. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2001.

LEGGAT, Robert. **A history of photography: from its beginnings till the 1920s**. Bath: Ed Ph.D, Royal Photography Society, 1995.

MARUYAMA, Shinichi. **How to shoot 2,000 nudes a second**. Disponível em: <http://www.slate.com/blogs/behold/2012/12/06/shinichi_maruyama_using_new_tec>. Acesso em 12/01/2016.

RIZOLLI, Marcos. **Artista, cultura, linguagem**. Campinas: Akademika Editora, 2005.

ROSSI, Paolo. **Os filósofos e as máquinas: 1400-1700**. São Paulo: Companhia das Letras, 1989.

SCHARF, Aaron. **Art and photography**. New York: Penguin, 1986.

SCHUBERT, Carl; VAN LANGEVELD, Mark C.; DONOSO, Larry A. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. **The British journal of ophthalmology**, v. 98, n. 2, p. 159–161, 2014.

THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. The Collection Online. Disponível em: <<http://goo.gl/4jbpL6>>. Acesso em 12/08/2015.

FOTOGRAFOMETRIA. **WIKIPÉDIA**, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/qcVDIY>>. Acesso em 09/04/2015.