

RECYT

Año 22 / N° 34 / 2020 / 37-44

Escaneo tridimensional de objetos a través de materiales transparentes

Tridimensional digitalization of objects through transparent materials

Digitalização tridimensional de objetos através de materiais transparentes

Isabella de Souza Sierra^{1, *}, Gabriel Chemin Rosenmann¹, José Aguiomar Foggiatto², Marcio Fontana Catapan¹, Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto¹

1- Universidade Federal do Paraná, Brasil.

2- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

*E-mail: isa.dss@gmail.com

Recibido: 04/10/2019; Aprobado: 28/09/2020

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo comprender el comportamiento del escaneo 3D mediante luz infrarroja estructurada al escanear objetos que están detrás de materiales transparentes. Se hicieron las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los errores encontrados en la superficie generada por el escaneo 3D a través de varios materiales transparentes? ¿Es factible utilizar estos datos para recopilar mediciones? Para responder a estas preguntas, se realizó un experimento en el que se escaneó el mismo objeto a través de diferentes superficies transparentes en diferentes situaciones. Como resultado, se encontraron cuatro tipos de errores: oclusión, calidad de la superficie, cierre y reflejo. Además, también fue posible probar la usabilidad de estas superficies digitalizadas al realizar mediciones antropométricas de partes del cuerpo grandes y medianas según la definición de ISO 20685:2010.

Palabras clave: Escaneo 3D; Infrarrojo; Kinect; Antropometría; Reconstrucción.

Abstract

This study aimed at understanding the behavior of the 3D scanning by structured infrared light when scanning objects that are behind transparent materials. The following questions were addressed: What are the errors found on the surface generated by 3D scanning through several transparent materials? Is it feasible to use the data gathered to collect anthropometric measurements? To answer these questions an experiment was carried out in which the same object was scanned through different transparent surfaces in different situations. As a result, four types of errors were found in the scan: occlusion, superficial quality, closure and reflection. Furthermore, it was also possible to prove the usability of these surfaces for taking anthropometric measurements of large and medium body parts as defined by ISO 20685:2010.

Keywords: 3D Scanning; Infra-red; Kinect; Anthropometry; Reconstruction.

Resumo

Este estudo objetivou compreender o comportamento do escaneamento 3D por luz infravermelha estruturada, ao digitalizar objetos que estão atrás de materiais transparentes. Problematizam-se as seguintes questões: Quais os erros encontrados em superfície gerada por escaneamento 3D através de diversos materiais transparentes? É viável a utilização desses dados para coleta de medidas? Para responder a essas perguntas realizou-se um experimento no qual se digitalizou um mesmo objeto através de diferentes superfícies transparentes em diferentes situações. Como resultados foram encontrados quatro tipos de erros no escaneamento: oclusão, qualidade superficial, fechamento e reflexo. Além disso também foi possível comprovar a usabilidade dessas superfícies digitalizadas na realização de medidas antropométricas de grandes e médias partes do corpo, conforme definido pela ISO 20685:2010.

Palavras-chave: Escaneamento 3D; Infravermelho; Kinect; Antropometria; Reconstrução.

Introdução

Escâneres tridimensionais vem sendo cada vez mais utilizados para capturas de geometrias de objetos e pessoas de maneira a gerar um modelo digital tridimensional que pode ser manipulado, medido e utilizado para diversas aplicações tais como: criação de avatares, na engenharia reversa, bem como na criação de novos produtos [1] [2]. Assim, nesta última aplicação, a digitalização de partes do corpo permite a captura de medidas antropométricas e morfologias corporais que podem ser utilizadas para o desenvolvimento de produtos que seguem a geometria corporal. Entre os usos, estes podem ser utilizados para aumentar o conforto [1], para uso médico de reabilitação e auxílio em tarefas de vida diária como na modelagem de órteses e de próteses [3]. Embora os escâneres tridimensionais estejam mais acessíveis com a proliferação de equipamentos de baixo custo [4] e até mesmo sistemas que utilizam simples câmeras fotográficas e softwares computacionais [2], pouco ainda é explorado sobre os limites das funcionalidades desses equipamentos.

Uma dessas lacunas de exploração é a relação entre escâneres tridimensionais e as superfícies transparentes. Sobre o tema, abordam alguns estudos a respeito da dificuldade de escaneamento de objetos transparentes e brilhantes como garrafas de plástico [5] e taças de vidro [6] pois estes materiais capturam imagens que são observadas através dos mesmos. No entanto, acredita-se que essa característica dos escâneres gera algumas possibilidades de aplicação, como para a captura de geometrias que se encontram atrás ou dentro de objetos transparentes. Isso pode ser aplicado na captura de superfícies corporais, quando há dificuldade de se manter a posição estática durante o tempo necessário para a realização da captura tridimensional [7]. Assim, o uso de suportes e gabaritos fabricados em materiais transparentes poderia possibilitar a captura da geometria corporal, inclusive àquela que o corpo está apoiado.

Sendo assim, este estudo objetivou compreender o comportamento do escaneamento 3D por luz infravermelha estruturada ao digitalizar objetos que se encontram atrás de materiais transparentes. Para tal elaborou-se um experimento onde foi escaneado, utilizando um Kinect 360, um mesmo objeto através de diferentes materiais transparentes, vidro e acrílico em diferentes posições. Problematicaram-se as seguintes questões: É possível o escaneamento de objetos através de materiais transparentes? Quais são os erros encontrados em superfície gerada por escaneamento 3D através de materiais transparentes? É viável a utilização desses dados para coleta de medidas antropométricas? Com quais materiais obtém-se melhor qualidade de resolução da imagem interposta por este?

Referencial Teórico

Este artigo se trata de um estudo novo e, portanto, não há trabalhos diretamente comparáveis. Ou seja, não

se encontrou bibliografia que tratasse do escaneamento de objetos através de matérias transparentes utilizando a tecnologia de escaneamento tridimensional por infravermelho. Ainda assim, é possível fazer comparações com outros trabalhos que fizeram testes utilizando a tecnologia por escaneamento a laser. Assim, neste referencial teórico apresentam-se estudos com escaneamento através do vidro utilizando equipamentos com o princípio de triangulação a laser. E, em seguida, expõem-se o princípio de escaneamento 3D por triangulação de luz estruturada infravermelha do sistema utilizado neste estudo, o Kinect 360.

Estudos com escaneamento 3D à laser através do vidro

Na literatura ressalta-se as pesquisas de Chang *et al.* [7], Li *et al.* [8] e Li *et al.* [9], que realizaram estudos de calibração de escâneres de triangulação a laser e escaneamento de mãos através de suportes de vidro. Nesses trabalhos o vidro é utilizado para redução de sombras e estabilização da mão do participante durante o processo de digitalização. Chang *et al.* [7] apresentam um método de calibração e utilização de equipamentos a laser de maneira a controlar os erros gerados pela refração do laser quando atravessa o vidro. Em um outro trabalho Li *et al.* [8] apresentam um cálculo de calibração do equipamento levando em conta a possibilidade de refração do laser.

No escaneamento de objetos através de materiais transparentes, sejam eles vidros, plásticos ou líquidos, a refração da luz do escâner é inevitável [8], resta determinar se os desvios dimensionais e/ou geométricos causados podem ser reparados ou ignorados. O erro de refração depende da espessura do material transparente, do índice de refração do material, da densidade do ar e da angulação da incidência da luz do escâner [7]. Outra questão apontada é que podem ocorrer erros de compatibilidade das medidas de mesmo objeto ou parte do corpo, pois ao utilizar um suporte de vidro parte do objeto escaneado sobre o suporte será escaneado através do vidro e parte do objeto será escaneado sem o vidro [7]. Ou seja, a parte do objeto escaneada através do vidro contém o erro relativo à refração, enquanto a outra parte não.

Li *et al.* [9] consideraram alguns critérios como os mais importantes e influenciadores nas deformações da figura tridimensional causada pela refração, são elas: 1) a orientação e angulação do scanner em relação ao objeto; 2) a refração tangencial, causada por reflexos; 3) a distância do objeto para o suporte transparente; e 4) a distância do escâner para o conjunto objeto e material transparente. Para esses critérios, utilizando o laser, a angulação do escâner em relação à superfície foi a que mais influenciou os resultados sendo preferível uma angulação entre 60 e 120 graus.

Tendo esses elementos como base, Chang *et al.* [7] e Li *et al.* [9] encontraram que o erro médio causado pela refração da luz do escâner é de no máximo $\pm 0,3\text{mm}$ em toda a superfície do objeto escaneado. Talvez por este motivo,

outros trabalhos encontrados [10] [11], que se utilizaram de suportes transparentes, desconsideraram a influência da refração no objeto final.

Schwarz-Müller, Marshall e Summerskill [10] utilizaram um tubo translúcido de Plexiglas[®] para a estabilização do quadril e escaneamento de corpo inteiro. Como resultado obtiveram uma malha tridimensional do corpo humano onde não havia sinais da prévia existência do tubo. Jones *et al.* [11] realizaram o escaneamento do corpo de pessoas obesas deitadas sobre o vidro. Neste contexto os pesquisadores desconsideraram o erro gerado pela refração do vidro, mesmo este possuindo espessura considerável para suportar a massa do corpo de uma pessoa adulta obesa.

Escaneamento 3D por luz estruturada infravermelha - Kinect 360

No ano de 2010 a empresa Microsoft lançou no mercado o equipamento Kinect 360 para a interação do usuário com jogos virtuais por meio de gestos, sem a utilização de controles físicos. Porém, logo este equipamento foi readequado para a geração de malhas digitais 3D. Desde então surgiram diversos outros projetos de equipamentos e alguns programas computacionais para a reconstrução digital 3D de objetos com baixo custo [12].

O Kinect 360, quando utilizado como um escâner 3D apresenta o mesmo princípio de funcionamento da tecnologia de digitalização 3D por luz estruturada. O equipamento é constituído por um emissor infravermelho, um sensor infravermelho, desenvolvido pela empresa PrimeSense[®], uma câmera com captação de três canais de cor, sendo o vermelho (R), verde (G) e azul (B) que gera imagens com resolução de 640x480 pixels. O emissor infravermelho projeta um padrão de pontos sobre a superfície que está sendo escaneada que é então captado pelo sensor. Por meio da comparação deste padrão emitido e do captado pelo sensor o equipamento infere a distância dos pontos, atribuindo a eles um valor de profundidade (D), sendo assim considerado um emissor RGB-D [3].

Como o equipamento não foi desenvolvido para realização de escaneamento 3D, esse não possui um programa proprietário para a aquisição e registro dos dados tridimensionais, mas sendo possível o seu uso com softwares específicos. Os estudos apresentados [13] [14] descrevem a aplicação do Kinect 360 na antropometria e inclusive indicam a importância de programas computacionais adequados para o controle e registro da captura de dados tridimensionais utilizando este equipamento.

Na literatura são reportados alguns possíveis problemas nas malhas tridimensionais geradas pelo Kinect 360 que são dimensionais, com erros de precisão esperados entre 2 e 4 mm [12] dependendo da distância entre o objeto e o Kinect, geométricos, com a simplificação das formas [14], baixa precisão [1], além de problemas de fechamento de malha [4] e erros compostos, ou seja a soma de erros de

fechamento com erros de precisão [15] sendo mais recomendado para coletas de medidas de acima de 50mm [12]. Essa recomendação está de acordo com a ISO 20685:2010 que determina erros aceitáveis de medição antropométrica para partes médias e maiores (braços, pernas, tronco e cabeça) variando entre 9 e 4 milímetros de erro aceitável [16].

MÉTODO

Realizou-se um estudo experimental no qual foi escaneado um mesmo objeto através de diferentes superfícies transparentes em diferentes situações. Esses dados foram tratados de maneira que pudessem ser estudadas as suas características superficiais e dimensionais. Por fim, avaliaram-se comparativamente os resultados obtidos.

Materiais

Nesta pesquisa foi utilizado o equipamento Kinect 360 e drive SDK 1.2 da Microsoft, software de captura Skanect com as seguintes especificações: caixa delimitadora: volume cúbico de 500mm de lado; qualidade de feedback: alta; gravação off-line: todos os quadros; modo de escaneamento: profundidade e cor, e software de análise e de medidas Geomagic. O Kinect 360 foi conectado a um computador desktop utilizando com sistema operacional Windows 10.

O local do escaneamento era fechado contando com iluminação difusa com lâmpadas fluorescentes brancas. O objeto utilizado consistiu de uma representação de mão articulada em madeira clara na posição fechada e com os dedos indicador, polegar e mínimo levantados. As superfícies transparentes consistiram em uma placa de vidro de 300x300x3mm (V3), outra placa de vidro de 300x300x6mm (V6) e uma placa de acrílico de 300x300x2mm (AC). O escaneamento foi realizado com o escâner a uma distância de 600mm do objeto para todas as situações, e com o sensor sendo movimentado no entorno do objeto não ultrapassando às angulações de 60 e 120 graus indicados por Li *et al.* [9].

Para a configuração do objeto a ser escaneado através das superfícies transparentes, foi montado um pequeno ambiente (Figura 1) com a utilização de duas bases pretas e 4 marcadores brancos de 33x33mm (para que fossem facilmente identificados) posicionados a diferentes distâncias do vidro e do objeto. Os marcadores brancos foram adicionados em posições estratégicas em diferentes distâncias em relação ao objeto e à superfície transparente (na frente da superfície transparente, encostado na superfície transparente, entre o objeto e a superfície transparente e na diagonal traseira do objeto). Os marcadores e objeto foram colados à superfície preta e não foram movidos em nenhuma das situações experimentais, a única variável alterada foi a superfície transparente.

Na figura 1-a estão apresentadas as medidas reais e a localização dos pontos coletados. Foram realizadas 10 medições em cada malha gerada pela digitalização, utilizando o software Geomagic, com o comando de criação de superfície e verificação de ajuste, e estas foram comparadas com as medidas reais que seguem: médias das medidas x e y dos marcadores (medida padrão x = 33 mm, y = 33 mm); Distância entre as bases dos dedos mínimo e indicador (medida padrão 40 mm); e diâmetro do punho (medida padrão 39 mm).

Configuração do experimento

Foram realizados escaneamentos em 4 situações para cada um dos 3 materiais transparentes (Figura 2). Essas quatro situações foram escolhidas de maneira a assemelhar-se aos casos reais de aquisição de forma tridimensional para coleta de medidas antropométricas. Visto que parte do corpo estaria encostada à superfície transparente e parte estaria distante, além de que, em momentos seria obtida a forma tridimensional apenas através do material transparente e às vezes seria captada com a volta completa. Foram coletados os dados destas situações para os três diferentes materiais transparentes já descritos. Totalizando 12 ambientes escaneados.

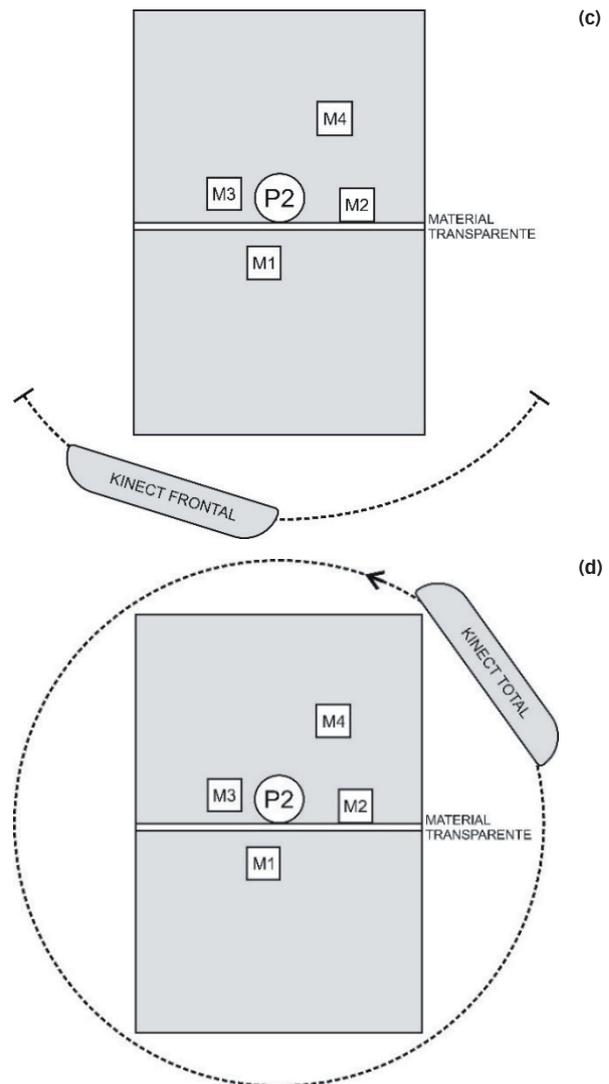
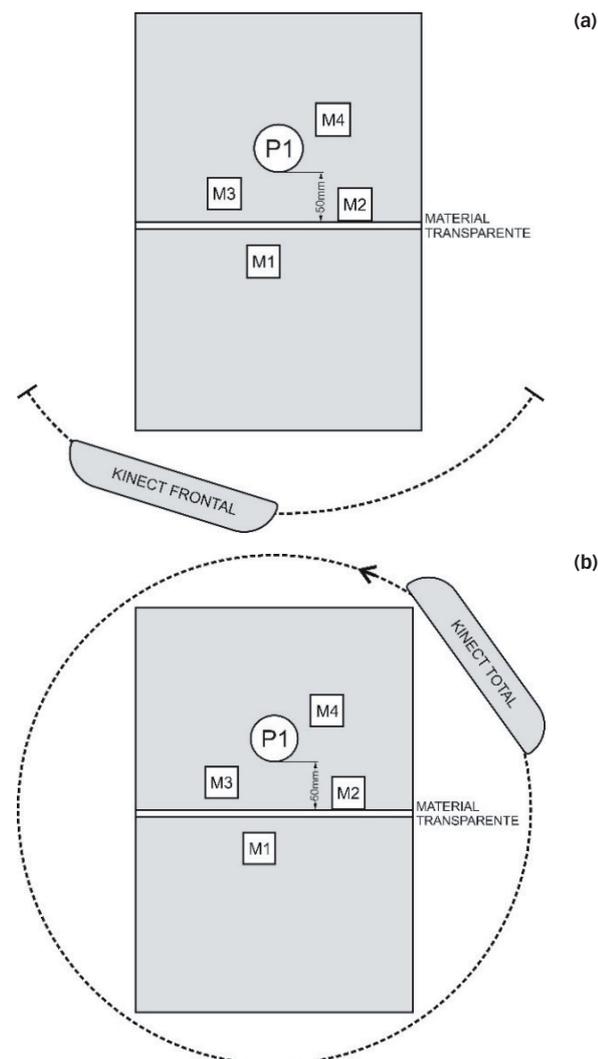


Figura 2: Configuração do experimento. (a) Objeto (P1) a 50 mm do material transparente e escaneamento somente através do material; (b) Objeto (P1) a 50 mm do material transparente e escaneamento em volta de todo o objeto; (c) Objeto (P2) encostado no material transparente e escaneamento somente através do material; (d) Objeto (P2) encostado no material transparente e escaneamento em volta de todo o objeto.

Na figura 2, M1, M2, M3 e M4 representam os marcadores, P1 representa o objeto colocado a 50mm da superfície transparente e P2 representa o objeto colocado encostado na superfície transparente. A palavra “Frontal” é utilizada para representar o processo de digitalização que ocorre apenas através da superfície transparente e a expressão “Total” é utilizada para representar os casos em que há a digitalização de todo o objeto.

Resultados

Os resultados foram divididos em duas partes, a primeira onde são analisadas qualitativamente as malhas digitalizadas para verificar possíveis problemas ocorridos na digitalização e o segundo a análise quantitativa das medidas obtidas pela digitalização.

Análises qualitativas

Encontraram-se quatro tipos de problemas diferentes na digitalização que podem ser verificados na Figura 3.

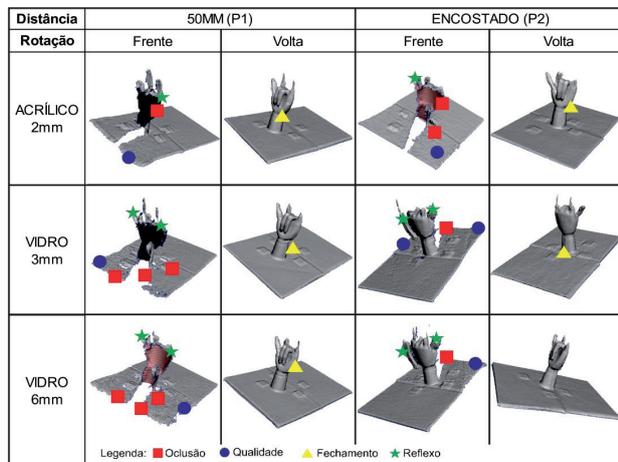


Figura 3: Problemas ocorridos nas digitalizações.

Foram encontrados 33 problemas no total. Em ordem foram encontrados onze problemas de Oclusão (33,3%), dez de Reflexo (30,3%), sete de Qualidade (21,2%) e cinco de Fechamento (15,15%). Os problemas de Oclusão, foram encontrados apenas nos casos onde o objeto foi escaneado somente através do material transparente. Fator esperado visto que ao utilizar-se uma meia volta em torno do objeto, partes ficaram invisíveis ao escâner. As partes que ficaram oclusas foram as partes posterior tanto do objeto quanto dos marcadores. Assim como na Oclusão, problemas de Qualidade ficaram evidentes e apareceram em casos onde foi escaneado o objeto apenas através do material transparente. Isso pode ter ocorrido pela dificuldade do acesso do infravermelho à superfície, tanto pela interferência do objeto transparente quanto pela distância para com o escâner, que não pode aproximar-se dada a restrição do protocolo utilizado de não digitalizar o objeto sem a mediação do material transparente.

Os problemas de Fechamento, ocorreram apenas em casos onde foi digitalizado todo o objeto, completando a circunferência em torno do ambiente. Por fim os problemas de Reflexo, ocorreram apenas em casos em que o objeto foi escaneado apenas através do material transparente.

Foram encontrados problemas para todos os suportes de material transparente, sendo que o de acrílico foi o que apresentou menos erros. Acredita-se que a espessura da superfície transparente não teve influência sobre os erros, visto que o suporte de vidro de 6mm gerou menos erros do que o suporte de vidro de 3mm.

Também foram identificados outros problemas na geração das malhas 3D, indicados pelo comando Mesh-Doctor do programa Geomagic, sendo: margens altamente vincadas, que acontecem quando há formação de arestas de ângulo pequeno, picos que constituem texturas irregulares,

pequenas lacunas na malha que são a falta de triângulos na formação da superfície, e ruídos visuais que são triângulos desconectados da malha gerando baixa ou nenhuma uniformidade em uma superfície lisa.

Dada a possível gravidade dos problemas encontrados construíram-se duas tabelas onde foram ranqueados os problemas de Oclusão, Qualidade, Fechamento e Reflexo com as seguintes pontuações: 3 – Ótimo, para casos onde nenhum erro do tipo foi encontrado, 2 – Médio onde foi encontrado erro mas o erro não afetou na coleta das medidas e 1 – Ruim, onde foi encontrado erro e este afetou na coleta das medidas. A nota dada foi relativa à gravidade do erro e não à quantidade de erros encontrados. As análises foram feitas dividindo-se as coletas em capturas obtidas apenas através do material transparente (Tabela 1) e obtidas com coleta por toda a circunferência do objeto (Tabela 2).

Tabela 1: Análise qualitativas das digitalizações - Frontal.

Frontal	Oclusão		Qualidade		Fechamento		Reflexo		Total	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
AC	1	1	2	1	N/A	N/A	2	2	5	4
V3	1	1	1	1	N/A	N/A	1	1	3	3
V6	1	1	1	1	N/A	N/A	1	1	3	3

Legenda: N/A: não se aplica; AC: Acrílico; V3: Vidro 3mm; V6: Vidro 6mm; P1: Posição 1; P2: Posição 2.

No caso das digitalizações que foram realizados apenas pela frente, ou seja, apenas mediados pela superfície transparente, a acrílica recebeu melhores pontuações tanto para o caso de proximidade quando de distância do objeto para o material transparente, as outras duas superfícies de vidro, analisadas receberam pontuações iguais. O principal ponto de diferenciação entre essas duas situações foi a presença de reflexos nas superfícies do vidro.

Tabela 2: Análise qualitativas das digitalizações - Total.

TOTAL	Oclusão		Qualidade		Fechamento		Reflexo		Total	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
AC	3	3	3	3	1	2	3	3	10	11
V3	3	3	3	3	1	1	3	3	10	10
V6	3	3	3	3	2	3	3	3	11	12

Legenda: AC: Acrílico; V3: Vidro 3mm; V6: Vidro 6mm; P1: Posição 1; P2: Posição 2.

Para a análise das digitalizações em que se circundou o objeto sendo escaneado por completo, a superfície transparente de vidro de 6mm foi a melhor avaliada seguida do acrílico e do vidro de 3mm. Todas as pontuações para esse caso (Tabela 2) foram maiores do que a primeira (Tabela 1) indicando a importância da digitalização do entorno total do objeto..

Análises Quantitativas

As medições que foram realizadas utilizando o programa Geomagic podem ser conferidas comparativamente na tabela 3. Nesta tabela estão dispostos os desvios entre as

medidas obtidas com o escaneamento e as medidas reais, além das médias e desvios padrão entre os desvios para cada uma das variáveis e para cada uma das situações experimentais.

Tabela 3: Comparativos dos desvios das medidas obtidas (em milímetros).

Material	Variável	Situação				Comparativo por variável	
		50mm (P1)		Encostado (P2)		Média	Desvio Padrão
		Frontal	Total	Frontal	Total		
ACRÍLICO 2mm	AC y	8.9	13.9	11.1	9.7	10.9	2.2
	AC x	7	11	8.7	8.2	8.7	1.6
	AC punho	20.9	3.4	17.2	0.4	10.5	10.1
	AC dedos	-4	-4.2	-3.5	-3.5	-3.8	0.3
VIDRO 3mm	V3 y	12.8	12.1	9.3	13.2	11.8	1.7
	V3 x	9.3	10.3	6.7	7.4	8.4	1.6
	V3 punho	6.9	8.2	17.8	2	8.7	6.6
	V3 dedos	-4.5	-4.3	-2.8	-3.7	-3.8	0.7
VIDRO 6mm	V6 y	10.2	16.1	9.6	12.5	12.1	2.9
	V6 x	8	11.2	9.1	6.8	8.7	1.8
	V6 punho	16.2	8.1	19.1	1.5	11.2	7.9
	V6 dedos	-4.6	-4	-4.6	-3.5	-4.2	0.5
Comparativo por situação	Média	7.3	6.8	8.1	4.2		
	Desvio padrão	8.1	7.3	8.1	6.2		

Em relação as medidas dos verticais dos marcadores (y), a que mais se aproximou, 9,7 mm que foi tirada na situação em que foi feita a digitalização apenas através do acrílico, e com o objeto distante do material (Coluna 50mm-Frente). A medida mais discrepante com 16,1 mm de diferença foi utilizando o material vidro de 6 mm e com a digitalização de todo o objeto e com o objeto distante da superfície transparente (Coluna 50mm-Volta). As medidas retiradas com a digitalização feita apenas através do objeto transparente, no geral, se aproximaram mais do que das do caso oposto.

Para o caso das medidas horizontais (x) dos marcadores, houve uma maior aproximação entre a medida padrão 33 mm e as medidas coletadas, que apresentaram uma variação entre 6,7 mm e 11,2 mm. Sendo o caso da Coluna 50mm-Volta o mais divergente assim como o das medidas verticais (y). Para as medidas horizontais (x) os casos em que houve digitalização apenas através do material transparente (Figura 2 - a e c) gerou resultados melhores.

Para o caso das medidas do punho, houve uma maior divergência para os resultados, apresentando diferenças que variaram 0,4 mm e 20,9 mm. O caso em que se obtiveram as dimensões mais aproximadas foi o que foi digitalizado todo o objeto quando estava encostado na superfície transparente (Coluna Encostado-Volta), já os casos que mais divergiram foram aqueles em que foi digitalizado o objeto apenas através das superfícies (Figura 2 - a e c).

Neste contexto, não é possível identificar uma relação das diferenças dimensionais com a utilização dos materiais transparentes.

As medidas entre dedos foram o único caso em que as medidas coletadas foram menores do que as medidas originais. As medidas também se aproximaram mais do objeto padrão sendo que as diferenças dimensionais apresentaram um mínimo de 2,8 mm e máximo de 4,6 mm.

A análise quantitativa demonstra que apesar das divergências dimensionais entre as medidas reais e as digitalizadas, essas divergências já eram esperadas, pois como indicado por Guidi, Gonizzi e Micoli [12] essa imprecisão dimensional é intrínseca ao escâner. O fator de interesse para este trabalho foi que essas alterações dimensionais parecem não ser diretamente relacionadas com as superfícies transparentes e sim com as limitações de precisão já esperadas do equipamento. Nesse contexto, o uso do escâner é recomendado apenas para a coleta de dimensões de partes do corpo consideradas médias e maiores pela ISO 20685:2010 [16].

Discussão

Encontrou-se a possibilidade de digitalizar objetos através de superfícies transparentes com a tecnologia de escaneamento 3D por luz infravermelha estruturada, fato previamente desconhecido. O resultado final da malha digitalizada aparece como se inexistisse o material transparente colocado como intermediário.

Os erros de refração esperados [8] não foram identificados, indicando que o próprio erro sistemático do equipamento [12] pode mascarar os possíveis problemas de refração. Do mesmo modo, nos casos em que há a digitalização completa em volta do objeto, estes erros causados pela refração podem ter sido compensados [7]. Essas informações são corroboradas por Schwarz-Müller, Marshall e Summerskill [10] e Jones et al. [11] que optaram por desconsiderar os efeitos de refração impostos pela mediação com o material transparente.

Apenas dois dos problemas encontrados nas coletas podem ser associados diretamente ao fato de existir uma superfície transparente que mediava a digitalização, são eles: erros de reflexo e de qualidade superficial. Os erros de reflexo podem ser eliminados no processo de limpeza da malha tridimensional, que é feito após a digitalização, visto que se apresentam como geometrias descoladas da geometria principal.

Outras duas questões que podem ser apontadas como de interesse são a divergência entre resultados de objetos escaneados apenas através do objeto transparente e no entorno total do objeto e entre objetos encostados na superfície transparente e objetos afastados da mesma. Para o escaneamento no entorno versus apenas através do objeto transparentes percebe-se que melhores resultado são alcançados quando é feita a digitalização no entorno de todo o

objeto. Isso acontece por que o software de escaneamento é desenvolvido para interpretar a geometria completa e fazer um fechamento automático da malha, no entanto quando há parte oclusas, o software na tentativa de realizar esse fechamento gera distorções e buracos. Sendo assim recomenda-se que a digitalização seja sempre realizada no entorno total do objeto.

Em complemento a divergência entre o resultado de objetos encostados e afastados de superfícies transparentes resulta da criação de reflexos pelos objetos encostados na superfície transparente, no entanto, como já foi comentado esses reflexos podem ser eliminados posteriormente à digitalização sem que afetem a qualidade dimensional do objeto e, portanto, a digitalização de objetos encostados nas superfícies transparentes não parece ser uma questão que afeta a qualidade dos resultados da digitalização.

Os erros de qualidade superficial foram encontrados apenas na base onde o objeto escaneado, representação de mão em madeira, estava apoiado. Os erros se comportaram da seguinte maneira: a superfície da base existente antes do objeto transparente era captada como lisa e a superfície depois do objeto transparente se apresentava com mais imperfeições.

Além disso, para o equipamento utilizado, Kinect 360, não é possível a realização de calibração assim como proposta por Chang *et al.* [7] para equipamentos que se utilizam de tecnologia a laser. No entanto, os resultados obtidos ainda permitem a reconstrução digital tridimensional de morfologias com baixo custo [12].

Outras possíveis questões que foram encontradas fazem parte dos próprios erros esperados do equipamento como simplificação das formas [14], baixo grau de precisão [1] e problemas de fechamento de malha [4], que ocorreram principalmente em casos em que não foi escaneado todo o objeto e que dessa maneira eram erros já esperados.

O pequeno ambiente criado se mostrou suficiente para responder à questão da pesquisa. Contudo, alguns dos problemas dimensionais encontrados, podem ser atribuídos a pequena dimensão dos objetos digitalizados que acabam sendo afetados pelo erro sistemático do Kinect 360 [12], caso que ocorreu principalmente com a pequena espessura dos marcadores que se fundiram com a base do ambiente construído dificultando e prejudicando as medidas coletadas.

Visto o que foi apresentado, pode-se utilizar o escaneamento através de objetos transparentes para enfrentar alguns fatores relacionados ao comportamento do corpo humano. O principal fator a ser considerado é a variação postural, que é tratada com um dos principais fatores limitantes [10] do processo de escaneamento de pessoas. A maior parte das soluções encontradas para essa questão, como apoios e suportes, criam sombras e áreas de oclusão de partes do corpo afetando a coleta de medidas [10]. Tais fatores podem ser contornados com a utilização de estruturas fabricadas em materiais transparentes [9].

Conclusão

A partir da execução deste estudo foi possível verificar a possibilidade do uso de superfícies transparentes como suporte ou gabarito para objetos e partes do corpo durante o processo de digitalização utilizando um escâner por luz-estruturada infravermelha de baixo custo, o Kinect 360. No experimento realizado, a superfície transparente foi desconsiderada pelo escâner gerando uma superfície tridimensional do objeto escaneado sem acusar a presença de uma superfície transparente, o que possibilita a utilização desses suportes.

Ainda, não se encontraram diferenças marcantes entre os materiais transparentes utilizados, podendo-se assim considerar a possibilidade de uso de qualquer um dos três para a coleta de medidas, considerando a qualidade e limitações do equipamento. No entanto, as características qualitativas da imagem coletada indicam para uma preferência para o uso do acrílico para objetos escaneados apenas através do material e para o vidro de 6mm para escaneamento no entorno de todo o objeto. Em relação à aproximação das medidas ao valor padrão encontraram-se melhores resultados com o vidro de 3mm.

Respondendo às perguntas propostas, foram encontrados quatro tipos de erros no escaneamento: oclusão, qualidade superficial, fechamento e reflexo. Dos erros identificados apenas dois apresentam influência da superfície transparente, a qualidade superficial e o reflexo. Além disso também foi possível comprovar a usabilidade dessas superfícies digitalizadas na realização de medidas desde que consideradas as características funcionais intrínsecas do equipamento.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

1. **Brendler, C. F., Müller, M. S., da Silva, F. P., & Teixeira, F. G. (2016).** *Uso da digitalização 3D do corpo humano para desenvolvimento de produtos personalizados: Análise comparativa entre os scanners Artec EVA e o Kinect.* Estudos em Design, 24(2):24-43. <https://bit.ly/2xUQjK5>
2. **Costa, T. N., Brendler, C. F., Teixeira, F. G., Silva, R. P. D., & Silva, T. L. K. D. (2015).** *Uso da digitalização 3D e da parametrização de medidas antropométricas para produção de moldes personalizados para o vestuário.* Educação gráfica, 19(2):122-142. <https://bit.ly/2InlbrG>
3. **Rosenmann, G.C. (2017).** *Avaliação de sistemas de digitalização 3D de baixo custo aplicados ao desenvolvimento*

- de órteses por manufatura aditiva*. 113f. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, UTFPR. Curitiba. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2630>
4. Clarkson, S., Wheat, J., Heller, B., & Choppin, S. (2016). *Assessment of a Microsoft Kinect-based 3D scanning system for taking body segment girth measurements: a comparison to ISAK and ISO standards*. *Journal of sports sciences*, 34(11):1006-1014. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1085075>
 5. Eren, G., Aubreton, O., Meriaudeau, F., Secades, L. S., Fofi, D., Naskali, A. T. & Ercil, A. (2009). *Scanning from heating: 3D shape estimation of transparent objects from local surface heating*. *Optics express*, 17(14):11457-11468. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19582061>
 6. Meriaudeau, F., Secades, L. A. S., Eren, G., Erçil, A., Truchetet, F., Aubreton, O., & Fofi, D. (2010). *3-D scanning of nonopaque objects by means of imaging emitted structured infrared patterns*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 59(11):2898-2906. <https://doi.org/10.1109/TIM.2010.2046694>
 7. Chang, C. C., Li, Z., Cai, X., & Dempsey, P. (2007). *Error control and calibration in three-dimensional anthropometric measurement of the hand by laser scanning with glass support*. *Measurement*. 40(1):21127. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2006.05.006>
 8. Li, Z., Chang, C. C., Dempsey, P. G., & Cai, X. (2008). *Refraction effect analysis of using a hand-held laser scanner with glass support for 3D anthropometric measurement of the hand: A theoretical study*. *Measurement*. 41(8):842–850. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2008.01.007>
 9. Li, Z., Chang, C. C., Dempsey, P. G., & Cai, X. (2008). *Refraction effect analysis of using a hand-held laser scanner with glass support for 3D anthropometric measurement of the hand: Strategy comparison and application*. *Measurement*. 41(8):851–861. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2007.11.008>
 10. Schwarz-Müller, F., Marshall, R. e Summerskill, S. (2018). *Development of a positioning aid to reduce postural variability and errors in 3D whole body scan measurements*. *Applied Ergonomics*. 68:90–100. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.11.001>
 11. Jones, M. L. H., Ebert, S. M., Hu, J., Park, B. K., & Reed, M. P. (2016). *Quantifying body shape differences between supine and standing postures for adults with high body mass index*. *Proc. 4th International Digital Human Modeling Conference*. Montreal, Canada. http://mreed.umtri.umich.edu/mreed/pubs/Jones_2016_DHM_obese.pdf
 12. Guidi, G., Gonizzi, S. & Micoli, L. (2016). *3D Capturing Performances of Low-Cost Range Sensors for Mass-Market Applications*. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B5:33-40. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B5/33/2016/isprs-archives-XLI-B5-33-2016.pdf>
 13. Bragança, S., Arezes, P., Carvalho, M., Ashdown, S. P., Castellucci, I., & Leão, C. (2018). *A comparison of manual anthropometric measurements with Kinect-based scanned measurements in terms of precision and reliability*, *Work*, 59(3):325-339. <https://doi.org/10.3233/WOR-182684>
 14. Bragança, S., Carvalho, M., Xu, B., Arezes, P., & Ashdown, S. (2014). *A Validation Study of a Kinect Based Body Imaging (KBI) Device System Based on ISO 20685:2010*. *5th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. 21-22. <https://doi.org/10.15221/14.372>
 15. Tong, J., Zhou, J., Liu, L., Pan, Z., & Yan, H. (2012). *Scanning 3D full human bodies using kinects*. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 18(4):643–650. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.56>
 16. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 20685-1 3D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases — Part 1: Evaluation protocol for body dimensions extracted from 3-D body scans*. <https://www.iso.org/standard/63260.html>