REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2021, Vol. 11, No. 22
DOI 10.23972/det2021iss22pp83-92

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Proposta de Protocolo de Análise da Malha escaneada (MAP)

Isabella S. Sierra [1]; Maria Lucia L. R. Okimoto [2]

1 *Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design, e Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil*

2 *Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design, e Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil*

RESUMO

O escaneamento tridimensional é um método de digitalização de formas tridimensionais para a criação de modelos digitais, chamados malhas, que podem ser medidos, modificados e utilizados no processo de desenvolvimento de produtos, estudos antropométricos, de engenharia, área médica, etc. Uma etapa importante do processo de escaneamento tridimensional é a avaliação da malha obtida que determinará a necessidade de refazer o escaneamento e também a qualidade da malha final que é referente ao objetivo do trabalho. Esse processo é feito de maneira intuitiva e qualitativa o que dificulta a comparação entre malhas e a tomada de decisões objetivas. Sendo assim, neste artigo é apresentado o desenvolvimento de um protocolo quantitativo e adaptativo para a avaliação da qualidade da malha de objetos e pessoas digitalizadas por meio de escaneamento tridimensional. O protocolo é chamado de MAP – *Mesh Analysis Protocol* (Protocolo de Análise de Malha) e consiste na formulação de um cálculo com a valoração de possíveis erros contidos na malha causados por fatores decorrentes do processo de escaneamento e processamento da malha. De maneira a avaliar a aplicação do protocolo ele foi descrito em detalhes e aplicado em dois experimentos com objetivos antropométricos. Foi possível verificar a efetiva aplicabilidade do protocolo e que sua aplicação auxilia na tomada de decisões acerca do descarte ou não da malha além de permitir uma comparação quantitativa entre as malhas. Os resultados da aplicação do protocolo nos experimentos demonstraram que além de ser aplicável, os resultados gerados são intuitivamente compreensíveis bem como matematicamente respaldados contribuindo para o caráter cientifico das pesquisas. A criação deste protocolo é original, não tendo sido encontradas soluções similares.

PALAVRAS-CHAVE

Protocolo;
Escaneamento 3D;
Malha 3D;
Avaliação

Proposal of a Mesh Analysis Protocol (MAP)

ABSTRACT

Three-dimensional scanning is a method of digitizing three-dimensional shapes for the creation of digital models, called meshes, which can be measured, modified and used in the process of developing products, anthropometric studies, engineering, medical, etc. An important step in the three-dimensional scanning process is the evaluation of the mesh obtained, which will determine the need to redo the scan and also the quality of the final mesh that is related to the objective of the work. This process is done in an intuitive and qualitative way, which makes it difficult to compare meshes and make objective decisions. Therefore, this article presents the development of a quantitative and adaptive protocol for assessing the quality of the mesh of objects and people digitized by means of three-dimensional scanning. The protocol is called MAP - Mesh Analysis Protocol and consists of the formulation of a calculation with the valuation of possible errors contained in the mesh caused by factors resulting from the scanning and processing of the mesh. In order to evaluate the application of the protocol, it was described in detail and applied in two experiments with anthropometric objectives. It was possible to verify the effective applicability of the protocol and that its application assists in making decisions about the disposal or not of the mesh, besides allowing a quantitative comparison between the meshes. The results of the application of the protocol in the experiments demonstrated that in addition to being applicable, the results generated are intuitively understandable as well as mathematically supported, contributing to the scientific character of the research. The creation of this protocol is innovative and original, with no similar solutions found.

KEYWORDS

Protocol;
3D scan;
3D mesh;
Evaluation

CONTATO: Isabella S. Sierra – isabella.sierra@*ufpr.br*

© 2021 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

O escaneamento tridimensional consiste na captura de geometrias físicas e reprodução das mesmas em uma malha tridimensional que pode ser manipulada medida e analisada de acordo com os objetivos da pesquisa sendo realizada (HEYMSFIELD et al., 2018). Esse processo consiste geralmente em duas etapas: no processamento que envolve a realização do escaneamento e transformação da nuvem de pontos resultante em uma malha digital tridimensional e na etapa de pós-processamento que consiste na avaliação da malha, para verificação se pode ser utilizada, na limpeza da malha e finalmente na sua utilização (LOVATO, 2010).

A etapa de avaliação que é parte do pós-processamento da malha é geralmente feita de maneira qualitativa e as decisões tomadas pelos pesquisadores devem ser rápidas e influenciam no resultado final da pesquisa. Essas decisões são tomadas logo após a realização do escaneamento e determinam se o escaneamento deve ou não ser refeito. Por exemplo, em um estudo antropométrico pode-se criar um protocolo em que é feito o escaneamento da pessoa 3 vezes ou, fazer o escaneamento apenas uma vez avaliar a malha e decidir se é necessário fazer outros escaneamentos. Essa decisão implica no tempo da pesquisa e pode afetar o resultado final do trabalho.

Uma malha escaneada de má qualidade, ou seja, que possui erros dimensionais, geometrias incompletas e deformações pode afetar negativamente uma pesquisa gerando resultados incompletos, incorretos e inutilizáveis. Assim é imprescindível que a malha seja corretamente avaliada de modo a verificar sua qualidade objetiva.

Ainda, Para cada pesquisa essa avaliação é diferente pois o objetivo de cada escaneamento varia com o objetivo da pesquisa, por exemplo, para contextos de criação de modelos 3D para impressão 3D o objetivo principal é que a malha esteja fechada, sem buracos e sem deformações (MCDONALD et al., 2016). No entanto, se a pesquisa tem o objetivo antropométrico a malha deve estar dimensionalmente fidedigna e alguns buracos são aceitáveis pois podem ser fechados na pós-produção (BRAGANÇA et al., 2018). Em outras situações em que se precisa de uma qualidade superficial superior como para desenvolvimento de produtos adaptados (BRENDLER et al., 2018) esse é o principal fator a ser analisado.

Para tanto, foi percebida a necessidade da criação de um protocolo quantitativo e objetivo de avaliação da qualidade das malhas digitais escaneadas, que pudesse se adaptar às necessidades individuais de cada pesquisa, que servisse como um auxiliador no processo decisório do re-escaneamento ou não da pessoa/objeto e também que pudesse avaliar quantitativamente a qualidade da malha obtida.

Assim, foram identificados os principais erros que acontecem na malha escaneada, independentemente do tipo de pesquisa, e em posse desses erros foi criado um protocolo de avaliação que gera resultados quantitativos referentes à qualidade da malha. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o protocolo desenvolvido chamado de MAP – *Mesh Analysis Protocol* (Protocolo de Análise Malha) e demonstrar sua funcionalidade no contexto de dois experimentos.

Apesar de haver larga compreensão da existência de erros e variação da qualidade das malhas escaneadas, e que em todos os estudos há pelo menos uma frase comentando que a malha foi limpa, e/ou que malhas foram descartadas por estarem inadequadas, não foi encontrado estudo que avaliasse essa qualidade de maneira quantitativa ou que relacionasse os motivos específicos pelo descarte ou não da malha. A única aproximação é a comparação dimensional das malhas escaneadas com medições manuais. No entanto, isso é feito após o processo de limpeza da malha, não se inserido durante o processo decisório. Por esse motivo este trabalho apresentado é original e visa contribuir para as pesquisas na área de escaneamento e digitalização tridimensional, fornecendo subsídios para o processo decisório e avaliativo e contribuindo para o caráter cientifico das pesquisas.

2. DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

A digitalização tridimensional (3D) descreve a prática de transformar um objeto tridimensional, contido no mundo real em uma representação digital volumétrica do mesmo utilizando para isso um escâner tridimensional (CAPELASSI, 2017; ROSENMANN, 2017; ISO, 2005). A representação volumetria tridimensional obtida, aqui chamada de malha, pode então ser avaliada e manipulada digitalmente para a obtenção de medidas (SCHWARZ-MÜLLER; MARSHALL; SUMMERSKILL, 2018; SIMENKO et al., 2017), impressão 3D (GOYANES et al., 2016), simulações digitais e testes ergonômicos (SENOL, 2016; KAKLANIS; STAVROPOULOS; TZOVARAS, 2015), desenvolvimento de produtos (HALEEM; JAVAID; SAXENA, 2018; JAVAID; HALEEM, 2018), engenharia reversa (BARBOSA et al., 2019; FORSLUND et al., 2016; ADOLPHY et al., 2015), analises morfológicas (LU et al., 2017; PETRAK; MAHNIČ; NAGLIC, 2017; CRYTZER et al., 2016) e até mesmo análises medicas (HEYMSFIELD et al., 2018). Sendo assim, a qualidade do processo de coleta dessa geometria, e da malha final obtida afeta diretamente no resultado de todas essas aplicações citadas, sendo parte essencial do processo.

Os escâneres citados consistem em ferramentas com uma tecnologia embarcada que permite a captação de referências de distância entre o escâner e o objeto (seja via pontos de luz, processões ou outros métodos) e conversão desses pontos em projeções matemáticas chamada de nuvem de pontos que contém informações fidedignas de volume, morfologia e as vezes até mesmo cor do objeto e/ou pessoa digitalizados (KERSTEN et al., 2016, COSTA et al., 2015, ISO, 2005).

Essa nuvem de pontos pode então ser convertida em uma malha tridimensional com a transformação desses pontos em vértices e ligações dos mesmos entre si criando superfícies triangulares. Esse processo é feito automaticamente pela maioria dos softwares de escaneamento (TONG et al., 2012; LOVATO et al., 2010).

O processo de digitalização consiste então no posicionamento de um objeto/pessoa em posição estática em frente ao escâner, escaneamento desse objeto/pessoa, obtenção da nuvem de pontos, transformação da nuvem em malha tridimensional, limpeza da malha e utilização do objeto para o objetivo do trabalho (Figura 1)(LOVATO, 2010).

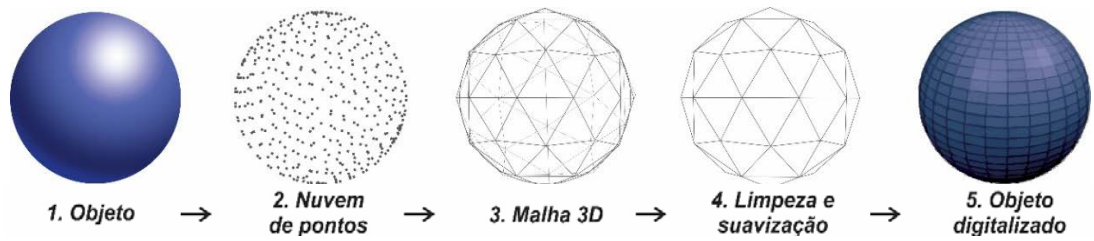


Figura 1 Processo de digitalização 3D

Cada escâner possui intrinsicamente uma qualidade de captura diferente, com maior ou menor precisão, que depende do tipo de tecnologia, por exemplo tipo de luz emitida, tempo de captura e propriedades dos materiais sendo digitalizados e/ou movimentações dos participantes quando tratando de escaneamento de seres humanos (SCHWARZ-MÜLLER; MARSHALL; SUMMERSKILL, 2018).

No geral escâneres a laser são mais acurados, e precisos, no entanto também são mais caros e demorados ((REDAELLI et al., 2018)), já os chamados "baixo-custo", que normalmente utilizam luz infravermelha são mais acessíveis, mas, menos precisos (GUIDI; GONIZZI; MICOLI, 2016). Cabe aos pesquisadores selecionarem o equipamento mais adequado para seu contexto.

No entanto, além da precisão intrínseca do equipamento, e somado à ela, outros fatores afetam a qualidade da coleta que são comentados no item que segue.

2.1 Qualidade da malha tridimensional obtida via digitalização tridimensional

A qualidade ótima da malha é indicada pela ausência de erros consequentes de problemas gerados no escaneamento. No geral, os problemas na qualidade da malha estão relacionados com problemas na escolha do escâner, ou seja, quando as capacidades do escâner não permitem a correta captura, ou precisão necessária da geometria. Por exemplo escâner de baixa precisão para escanear dentes (o que é impossível), ou uso laser para escaneamento de objeto transparentes, etc. Os problemas também podem existir pela incorreta preparação do objeto ou instrução dos participantes, e também no momento do escaneamento com problemas relacionados com mau planejamento do ambiente experimental.

Segundo Schwarz-Müller, Marshall e Summerskill (2018) esses fatores que influenciam na qualidade dependem das variabilidades técnica, contextual e humana e que geram consequências para a malha como descrito no (Quadro 1).

Quadro 1 Fatores que influenciam na qualidade da malha (FONTE: Schwarz-Müller, Marshall e Summerskill, 2018, p. 91)

Variabilidade	*Fatores que influenciam na qualidade*	*Consequências para malha*
Variabilidade técnica	Precisão do *hardware* de escaneamento.	Baixa precisão malha.
	Performance do escaneamento.	Deformação da malha.
	Qualidade do *software* de aquisição de informações e de visualização.	Perda e simplificação da malha.
	Performance do software de medidas.	Medidas incorretas.
Variabilidade contextual	Tamanho e forma do que será digitalizado.	Incapacidade de captar geometria.
	Cenário experimental.	Deformação da malha.
	Protocolo de coleta (vestimenta / postura).	Deformação da malha.
	Iluminação do ambiente.	Impossibilidade de escanear.
	Distância do escâner para o objeto.	Impossibilidade de escanear.
Variabilidade humana	Variabilidade da instalação dos participantes	Deformação da malha
	Habilidade em imitar uma postura	Deformação da malha. Incapacidade de captar geometria.
	Tempo em posição estática	Deformação da malha
	Movimentação do participante	Deformação da malha

É importante deixar claro que as malhas escaneadas sempre resultam com algum tipo de erro mesmo que mínimo (GUIDI; GONIZZI; MICOLI, 2016; LEE et al. 2015; DUTTA, 2012). É por esse motivo que o passo seguinte à obtenção da malha 3D está o processo de sua limpeza, que significa a correção dos erros obtidos. No entanto esses erros tem diferentes níveis de dificuldade de concerto sendo que alguns são incorrigíveis. Por este motivo o ideal é evitar erros incorrigíveis e mitigar ao máximo a existência de erros corrigíveis.

Para os erros mais comuns e menores como buracos e objetos estranhos, esse processo de limpeza pode ser feito automaticamente, já para erros mais graves como deformações e problemas de calibração, esses dependem da capacidade técnica de quem está fazendo a limpeza e deve ser feito parcimoniosamente de maneira a não afetar a acurácia dimensional e volumétrica da malha (HEYMSFIELD et al., 2018).

3. MÉTODO

O desenvolvimento desse protocolo foi experimental e consistiu em três etapas. A primeira de compilação dos possíveis erros gerados pelo escaneamento tridimensional, a segunda de criação do protocolo e a terceira etapa de avaliação da aplicação do protocolo em dois experimentos realizados com objetivos diferentes.

A primeira etapa, foi realizada para compilar todos os principais erros encontrados na malha escaneada para que pudessem ser utilizados como base para a criação do protocolo. Essas informações foram tabuladas, nomeadas e exemplificadas para que possam ser usadas por pessoas com pouca experiência com o escaneamento tridimensional. E também para que possam ser usadas como base no processo de identificação e diferenciação dos erros nas malhas escaneadas para os estudos, facilitando e padronizando a aplicação do protocolo.

A segunda etapa, consistiu na efetiva criação do protocolo. Foi desenvolvida considerando que:

1. O protocolo deve ser flexível e poder ser adaptado para situações particulares com objetivos finais diferentes e problemas diferentes nas malhas;
2. O protocolo deve gerar resultados quantitativos e poder ser utilizado comparativamente entre malhas usando o mesmo protocolo;
3. O protocolo deve determinar a necessidade ou não de refazer o escaneamento e além disso determinar o que é um resultado ótimo, médio e ruim, dentro do estudo gerando recomendações para os pesquisadores; e finalmente
4. O protocolo deve gerar um resultado numérico que possa ser facilmente compreendido por pessoas que não necessariamente entendem o funcionamento do protocolo internamente, ou seja o cálculo.

A terceira etapa consistiu na aplicação do protocolo em duas situações em que a qualidade das malhas estava sendo questionada e precisava ser avaliada. O objetivo deste trabalho não é apresentar esses experimentos e sim apresentar a aplicação do protocolo nos experimentos.

O primeiro experimento (SIERRA et al., 2019) consistiu na avaliação de malhas com diferentes posturas de braço de maneira a escolher a melhor configuração de braços para escaneamento e o segundo experimento (SIERRA; OKIMOTO, 2021) consistiu no escaneamento de pessoas sentadas de maneira a verificar a possibilidade de escaneamento da parte inferior das coxas dessas pessoas usando a configuração experimental proposta. A seguir o detalhamento dos dois experimentos.

3.1 Experimentos com o Protocolo

Os dois experimentos realizados consistiram no escaneamento de pessoas em dois contextos com dois objetivos diferentes. Essa decisão foi tomada visto que ao digitalizarem-se seres humanos os fatores de variabilidade humana entram em questão, gerando mais problemas relativos à qualidade importantes para a discussão neste trabalho.

O primeiro (SIERRA et al., 2019) consistiu no escaneamento de 16 participantes realizando diversas posições de braço. Para esse experimento foram usados dois escâneres Kinect 360 (MICROSOFT, 2019) em uma plataforma de escaneamento que girava no entorno das pessoas, o software utilizado para o escaneamento foi o Recfusion (RECFUSION, 2019). O objetivo da pesquisa foi identificar e selecionar a melhor configuração de braços para a realização de estudos antropométricos em larga escala com o menor número de repetições possível. A avaliação da qualidade da malha foi utilizada para a seleção da postura dos braços que foi selecionada a partir das posturas que receberam melhores notas de qualidade.

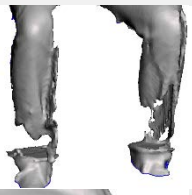
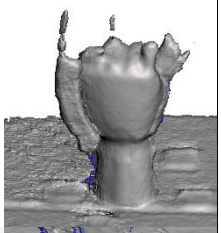
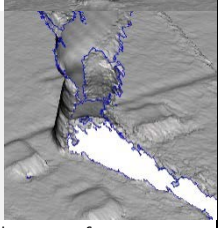
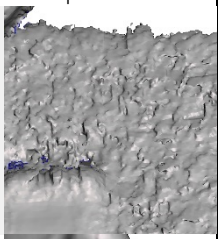
Para o segundo experimento (SIERRA; OKIMOTO, 2021) o objetivo da pesquisa era a coleta de geometrias para desenvolvimento de produtos, almofadas adaptadas e a verificação da possibilidade de escaneamento das pessoas sentadas. Para o experimento foi utilizado um Kinect 360 (MICROSOFT, 2019) e uma cadeira, Ghost do designer Phillipe Stark confeccionada em acrílico transparente e foram utilizados dois softwares para o escaneamento o Skanect (OCCIPITAL, 2019) e Recfusion (RECFUSION, 2019). Para esse experimento o protocolo foi usado para identificação do melhor software de escaneamento para a obtenção de geometrias viáveis para desenvolvimento de almofadas adaptadas e para a determinação de necessidade ou não de refazer o escaneamento no momento da coleta.

4. POSSÍVEIS ERROS ENCONTRADOS NA MALHA ESCANEADA

A fim de identificar os problemas decorrentes do escaneamento tridimensional que afetam a qualidade da malha, foram compilados os principais problemas encontrados e relatados em estudos que utilizaram o escaneamento tridimensional como ferramenta de pesquisa. Apresenta-se em seguida (Quadro 2) o resultado da compilação dos principais problemas encontrados nas malhas escaneadas.

No total foram encontrados descritos e exemplificados onze tipos de problemas: baixa precisão, calibração, fusão de geometria, limitações de software e hardware, movimentação, objetos estranhos, oclusão (comumente chamados de buracos), perda total de malha, qualidade superficial, reconstrução (comumente chamados de erros de costura) e simplificação excessiva.

Quadro 2 Principais problemas encontrados na malha

Problema	*Descrição*	*Exemplo*
Baixa precisão	Comparação entre as medidas obtidas com o escâner e outro meio.	
Calibração	Problemas com a calibração quando se utiliza mais de um escâner.	
Fusão de geometria	Agrupamento e ligação de partes separadas devido à proximidade.	
Limitações de software e hardware	Falhas devido a configuração experimental (tamanho e distância).	
Movimen-tação	Problemas de movimentação durante o escaneamento.	
Objetos estranhos	Geração de objetos no entorno da malha escaneada, geometrias falsas.	
Oclusão (buracos)	Aberturas na malha gerados a partir de sombras ou falta de alcance do escâner.	
Perda de malha	Problemas relacionados ao software, salvamento e dados corrompidos.	
Qualidade superficial	Saliências e triângulos em partes que são consideradas lisas.	
Reconstrução (erros de costura)	Problema no encontro e fechamento da malha conhecidos como erros de costura.	
Simplificação	Alisamento excessivo da malha sem consideração pela deformação dimensional.	

5. PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MALHA (MAP)

O protocolo desenvolvido consiste em um cálculo que é construído e realizado a partir da aplicação de notas e pesos à gravidade dos erros encontrados na malha obtida. Gravidade neste caso é relacionada com a quantidade de erros, a dificuldade na sua limpeza e o quanto afeta o resultado final do trabalho considerando seu objetivo.

Dessa maneira o protocolo é uma fórmula com variáveis que se alteram em cada estudo para que melhor se adequem àquele contexto.

O cálculo consiste na avaliação dos erros gerados numa malha específica sendo avaliada, ou seja, o cálculo é aplicado individualmente para cada malha, usando a mesma fórmula previamente decidida para que possam ser comparadas as malhas de um mesmo estudo. A avaliação é feita pelo próprio pesquisador ou grupo de pesquisadores/avaliadores e gera um resultado numérico que auxilia na classificação e na decisão de descarte ou não da malha.

A fórmula do cálculo é variável e é definida antes da realização do experimento a partir dos possíveis erros que podem ser encontrados na malha e para cada um desses erros é adicionado um peso relativo a importância e a dificuldade de tratamento desses erros no pós-processamento. Sendo assim, esses pesos e os erros determinados podem variar de acordo com a pesquisa será realizada.

O protocolo, então, consiste em:

1. Listagem de erros possíveis encontrados no escaneamento (considerando ou não a participação de seres humanos, existência ou não de calibração, etc.). Esses erros podem ser todos ou apenas alguns dos erros indicados no Quadro 2;
2. Atribuição de pesos para cada um desses erros. Esses pesos são relativos ao experimento sendo realizado e à dificuldade e influência negativa que possuem para o resultado final objetivado;
3. Determinação de escala para avaliação dos erros gerados e nota numérica referente à escala, por exemplo escala nominal: muito bom, bom, médio, ruim e muito ruim; numérica: 0 à 5; ou por quantidade de erros como por exemplo 0-2, 2-4, 4-6 e 6+, para todos os casos os valores numéricos maiores significam notas piores ou seja mais erros/problemas;
4. Aplicação dos elementos na fórmula (Eq. 1.):

$$\frac{\left(\left[\begin{matrix}(ME \times P1) + (ME \times P2) + (ME \times Pn) \\ -(E1 \times P1) + (E2 \times P2) + (En \times Pn)\end{matrix}\right] \times 100\right)}{\times P1) + (ME \times P2) + (ME \times Pn))} \quad (1)$$

Onde:
E = erro escolhido
P = peso atribuído ao erro
ME – nota máxima possível de atribuir aos erros

5. Determinação de linha de corte ou descarte, ou seja, nota mínima para determinação de mantimento da malha no estudo;
6. Efetiva avaliação da malha, com a realização do cálculo;
7. Decisão acerca da malha.

Um exemplo de aplicação do protocolo é o seguinte:

1. Erros possíveis encontrados no escaneamento:
   a. Calibração;
   b. Costura;
   c. Buracos / oclusão;
   d. Objetos estranhos;
   e. Movimento;
   f. Limitações do equipamento;
   g. Saliências.
2. Atribuição de pesos:
   Em uma escala de 1 à 5:
   a. Calibração: peso 5;
   b. Costura: peso 1;
   c. Buracos: peso 3;
   d. Objetos: peso 1;
   e. Movimento: peso 4;
   f. Limitações: peso 5;
   g. Saliências: peso 2.
3. Determinação de escala: notas entre 0 (nenhum erro), 1 (poucos erros) e 5 (muitos erros).
4. Aplicação dos elementos na fórmula (Eq. 2.):

$$\frac{\left(\left[\begin{matrix}105 - (Calibração \times 5) + (Costura \times 1) \\ + (Buracos \times 3) + (Objetos \times 1) + \\ (Movimento \times 4) + (Limitações \times 5) \\ + (Saliências \times 2)\end{matrix}\right] \times 100\right)}{105} \quad (2)$$

5. Determinação de linha de corte:
   a. Abaixo de 40 – descarte.
   b. Acima de 80 – ótima.
6. Avaliação da malha exemplo 1 - Tabela 1 e exemplo 2- Tabela 2):

Tabela 1 Exemplo 1de aplicação do protocolo

Atribuição de Notas	*Malha 1*
Malha	
a. Calibração	0
b. Costura	2
c. Buracos	0
d. Objetos estranhos	1
e. Movimento	1
f. Limitações do equipamento	0
g. Saliências	0
AVALIAÇÃO MAP	
Nota (arredondada)	86
Decisão	Malha ótima

Percebe-se que, com a aplicação do protocolo, essa malha foi considerada ótima recebendo uma nota de 86 e estando acima da linha de melhor qualidade (80).

Tabela 2 Exemplo 2 de aplicação do protocolo

Atribuição de Notas	*Malha 1*
Malha	
a. Calibração	5
b. Costura	2
c. Buracos	5
d. Objetos estranhos	1
e. Movimento	3
f. Limitações do equipamento	5
g. Saliências	5
AVALIAÇÃO MAP	
Nota (arredondada)	14
Decisão	Descarte

Para o segundo exemplo, Tabela 2, a situação foi diferente sendo feita a recomendação de descarte da malha visto que recebeu nota 14 abaixo da linha de corte (14). Essa nota baixa está principalmente relacionada com um problema de calibração (nas pernas), de movimentação (nos braços) e de limitação do hardware, que não conseguiu coletar o topo da cabeça do participante.

Na aplicação deste protocolo as notas sempre irão variar entre 0 e 100 e sendo assim podem ser comparadas entre si e mais facilmente compreendidas. Malhas com notas maiores podem ser tratadas com mais fidelidade do que as com notas menores, e as notas abaixo de um certo limite deve ser descartadas / desconsideradas. Além disso, para garantir confiabilidade das avaliações os avaliadores devem ser treinados e estar de comum acordo com os significados das escalas de avaliação e dos erros sendo avaliados.

Reitera-se que os resultados obtidos no uso do protocolo podem ser comparados entre si para um mesmo cálculo, no entanto não é possível comparar resultados para estudos usando cálculos diferentes pois o peso dos erros varia de acordo com a especificidade do estudo.

6. APLICAÇÃO DO PROTOCOLO

A seguir a aplicação do protocolo nas duas situações descritas no método.

6.1 Experimento 1

Para esse experimento foram escaneados 16 participantes cada um realizando três posições de braço (Figura 2) totalizando em 48 malhas escaneadas. O objetivo principal do experimento foi avaliar e selecionar a posição de braços mais apropriada para a realização de digitalização para antropometria de grandes parcelas populacionais, otimizando o processo.

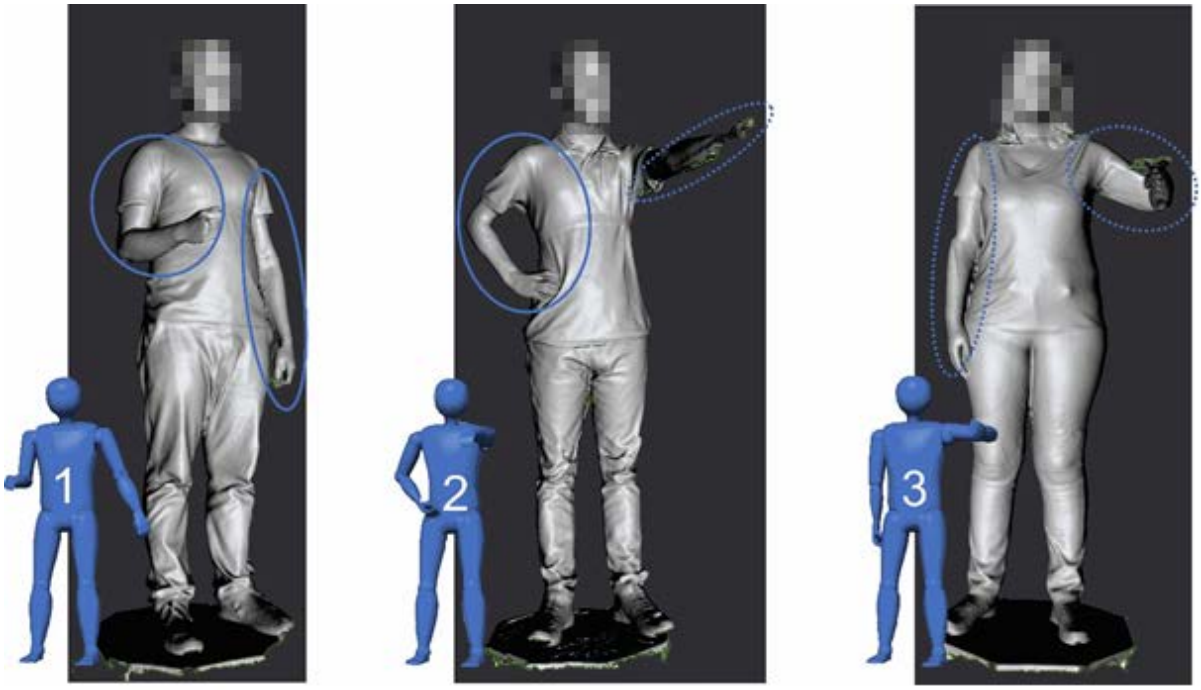
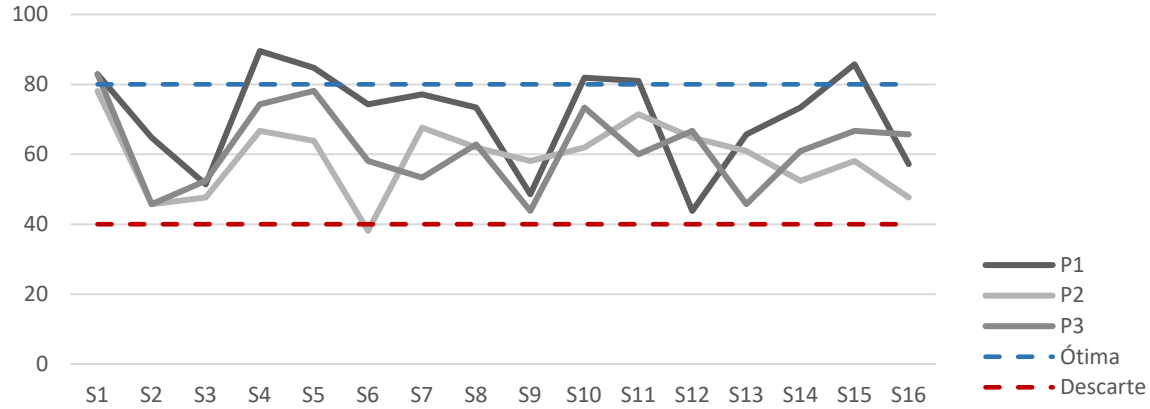


Figura 2 Posições utilizadas no experimento 1 (FONTE: Sierra et al. (2019)

Um dos elementos para a avalição das posições foi avaliação da malha, usando o protocolo descrito, junto com o conforto (SHACKEL; CHIDSEY; SHIPLEY, 1969) e análise ergonômica (HIGNETT; MCATAMNEY, 1997). Cada uma das quarenta e oito malhas foi classificada utilizando a fórmula do exemplo de aplicação do protocolo descrito acima. Para as malhas avaliadas foi construído um gráfico onde foram plotadas as notas obtidas para cada malha e indicadas a linha de corte, descarte e de malha ótima (Gráfico 1).

Gráfico 1 Principais problemas encontrados na malha. (FONTE: Sierra et al. (2019).



LEGENDA: P = Posições; S = Participantes.

Deste gráfico pode-se inferir que a posição que gerou malhas piores foi a posição 2, sendo que, das 16 malhas escaneadas uma teve de ser descartada. Em relação a posição que gerou as melhores malhas, posição 1, 6 das 16 malhas geradas foram consideradas ótimas. Essa análise quantitativa também esteve de acordo com os outros resultados qualitativos presentes no experimento, como por exemplo o conforto avaliado qualitativamente que foi maior para a primeira posição (SIERRA et al., 2019).

Nota-se com o gráfico que malhas de participantes específicos obtiveram um total de notas melhores ou piores o que depende dos fatores humanos que influenciam na qualidade da malha comentados no referencial teórico. A aplicação do protocolo para esse experimento foi benéfica para a decisão acerca das posições avaliadas e forneceu informações quantitativas que subsidiaram as decisões.

6.2 Experimento 2

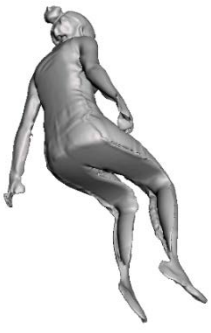
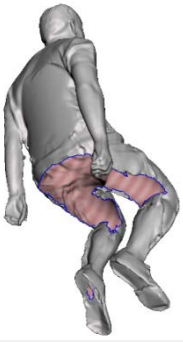
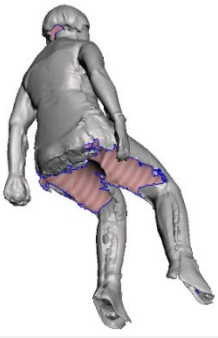
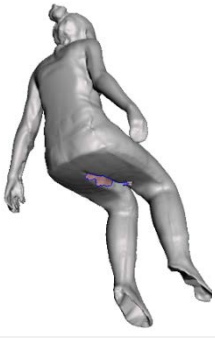
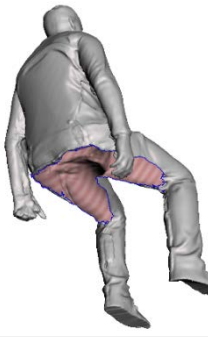
Neste experimento (SIERRA; OKIMOTO, 2021) foi feita a digitalização de cinco participantes na posição sentada usando dois softwares diferentes totalizando em dez malhas escaneadas. Os participantes estavam sentados em uma cadeira de acrílico transparente e o objetivo do escaneamento foi a obtenção da geometria do corpo inteiro do participante inclusive a geometria posterior das coxas, nádegas e costas.

O MAP utilizado neste experimento foi diferente do anterior visto que as condições experimentais eram diversas do primeiro experimento, a fórmula (Eq. 3.) aplicada nestas avaliações foi a seguinte:

$$\frac{\left(\begin{bmatrix} 75 - (Costura \times 1) + (Buracos \times 5) \\ + (Objetos \times 1) + (Movimento \times 5) \\ + (Qualidade\ superficial \times 3 \end{bmatrix} \times 100\right)}{75} \quad (3)$$

Para as notas foram atribuídos valores de 0 à 5 onde, 0 significou erro não encontrado e 5, erro afetou completamente o resultado. As notas obtidas e malhas escaneadas podem ser verificadas no Quadro 3. Aplicou-se nota de nota de corte de 40 para descarte das malhas.

Quadro 3 Principais problemas encontrados na malha. (Fonte)

	Participantes				
	P1	*P2*	*P3*	*P4*	*P5*
Recfusion					
*	80	57,3	68	57,3	58,6
Skanect					
*	45,3	33,3	26,6	68	54,6

Percebe-se uma correlação entre os resultados estéticos das malhas resultantes e das notas obtidas sendo que, com o protocolo foi possível justificar o descarte de duas malhas onde o objetivo do trabalho não foi cumprido. Além disso, com a análise dos resultados e considerando a melhor malha foi possível identificar alguns fatores da configuração experimental do estudo que precisaram ser ajustadas, nominalmente: melhor apoio para os membros diminuindo movimentações involuntárias, mais espaço para a realização do escaneamento e uso do software Recfusion. Para os resultados completos do estudo referir-se à Sierra e Okimoto (2021).

7. DISCUSSÃO

A utilização de escaneamento tridimensional no auxílio do desenvolvimento de produtos e no geral com uma ferramenta de design tem se tornado cada vez mais prevalente e comum. Isso acontece principalmente pelo barateamento e pelo surgimento dos escâneres de baixo custo, bem como uma formação profissional mais voltada para a tecnologia e para sua inserção dentro do contexto de projeto. No entanto, o uso desse tipo de ferramenta ainda é novo, insuficientemente explorado, e pouco se discute sobre a efetiva aplicação da ferramenta. Em especial as discussões que ocorrem estão diretamente relacionadas com a aplicação final do escaneamento no desenvolvimento de produtos, pulando as discussões sobre as etapas que estão entre o escaneamento e o produto desenvolvido. Como foi identificado, essas etapas consistem na transformação da nuvem de pontos em malha, na avaliação da malha e na sua limpeza (LOVATO, 2010), que são etapas imprescindíveis, porém tão intrínsecas ao processo que são muitas vezes ignoradas.

Uma dessas discussões que é aquela para a qual está voltado este trabalho é a avaliação da malha tridimensional que será utilizada no desenvolvimento do produto e especialmente a qualidade dessa malha. Percebeu-se na revisão da literatura que diversos fatores influenciam a qualidade dessa malha, principalmente quando está relacionada com o uso de equipamentos de baixo custo e por pessoas com pouca ou nenhuma experiência na área, quando se está escaneando pessoas ao invés de objetos, e também o quanto esta qualidade afeta para o resultado final do produto.

Sobre os fatores que influenciam a qualidade da malha pôde-se perceber que são diversos e que advém de três principais motivos, da capacidade técnica do escâner, do contexto onde será onde é realizado o escaneamento e da variabilidade humana. Independente dos motivos que vieram a causar erros na malha, foi possível identificar e classificar onze consequências geradas para a malha que possuem características diversas e métodos de correção diversos (SEGUNDO SCHWARZ-MÜLLER; MARSHALL; SUMMERSKILL, 2018; GUIDI; GONIZZI; MICOLI, 2016; LEE et al. 2015; DUTTA, 2012). Além de auxiliar na determinação dos elementos do protocolo, essa classificação também permite que não haja ambiguidade na hora da avaliação dos erros encontrados na malha durante a aplicação do protocolo.

Esses problemas podem ter de maior ou menor consequência para o resultado do estudo dependendo do seu objetivo específico, sendo assim, foi necessário criar um protocolo que considerasse essa variabilidade entre estudos e permitisse flexibilidade aos pesquisadores para decidirem o que é realmente importante para o seu estudo. Somado a isso foram determinados alguns pré-requisitos que deveriam ser levados em conta no momento do desenvolvimento do protocolo sobre eles fazem-se algumas observações.

O primeiro requisito consistia na flexibilidade do protocolo o qual foi atingido com a criação de uma fórmula que pode ser alterada de acordo com o objetivo específico do trabalho sendo avaliado. A fórmula criada é de simples compreensão permitindo com que qualquer pessoa com conhecimento básico de matemática seja capaz de aplicá-la sendo apenas necessário preencher as variáveis com as variáveis e pesos específicos do estudo que está sendo desenvolvido. Por se tratar de uma fórmula, é possível automatizar ou semi-automatizar esse processo criando, por exemplo, um questionário digital em que o avaliador só precisa para cada erro dar a nota e o cálculo pode ser aplicado automaticamente tendo sido previamente programado.

O segundo requisito era relativo à necessidade de geração de resultados quantitativos o que foi feito a partir da adição de notas numéricas para cada tipo de erro sendo avaliado. Isso possibilita que a avaliação seja feita de maneira quantitativa e comparativa dentro de um mesmo estudo. A existência de informações quantitativas no estudo permite uma compreensão mais objetiva dos resultados obtidos. Apesar de que visualmente alguns dos resultados poderiam ser analisados sem o auxílio de uma nota, a comparação entre malhas similares com erros diferentes já é um pouco mais difícil. isso se torna especialmente importante para estudos de grande porte como estudos antropométricos em que são escaneadas diversas pessoas o mais rápido possível em posições padronizadas e com objetivos bem específicos, fazendo com que aplicação de um protocolo desse tipo dê mais agilidade e confiabilidade no processo de avaliação da malha.

O terceiro item era relativo à possibilidade de utilização desses resultados como método de decisão de mantimento ou de eliminação da malha obtida sendo assim foi adicionado ao protocolo a determinação de uma nota de corte que pudesse ser utilizada para esse exato fim. A nota de corte é outro exemplo da possibilidade de variabilidade do protocolo. De acordo com as necessidades do estudo pois pode-se dar uma nota de corte mais ou menos restrita dependendo da necessidade do trabalho.

O quarto e o último requisito foi a geração de um resultado numérico que pudesse ser facilmente compreendido, sendo assim optou-se pela alteração da fórmula de maneira que gerasse resultados entre 0 e 100 que são valores facilmente compreendidos e valorados entre si.

Após o desenvolvimento o protocolo foi aplicado em duas situações. Dessas situações verificou-se que a aplicabilidade do protocolo é ágil e gera resultados que podem ser comparados entre si e que se equiparam a resultados qualitativos obtidos por meio de outros métodos o que indica que as notas geradas podem ser utilizadas como um método de avaliação e seleção da malha escaneada.

Finalmente, uma consequência não planejada do protocolo foi que com a aplicação das notas em um estudo preliminar (SIERRA et al., 2019) foi possível perceber que tipo de erros se repetiram com mais frequência e como a configuração experimental determinada tinha influenciado para a existência desses erros. Sendo assim foi possível propor alternativas à configuração experimental contribuindo para a melhoria do projeto e para a diminuição do número de potenciais erros nas malhas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo buscou-se uma alternativa quantitativa à etapa de avaliação da qualidade da malha digital obtida por meio de escaneamento 3D. Visto que esta avaliação é geralmente feita de maneira qualitativa dependendo do conhecimento técnico do avaliador o que gera dúvidas acerca dos resultados obtidos e dificuldade na justificativa pela opção de descarte ou não das malhas escaneadas. Fato que é particularmente importante em estudos de objetivo estatístico.

De maneira à explicitar o conhecimento gerado, o trabalho foi dividido em três partes. Na primeira foi feito o reconhecimento dos principais problemas causados a malha durante o escaneamento tridimensional. A compilação, a descrição e a ilustração desses erros por si só já é um resultado que auxilia no processo de avaliação das malhas pois classifica e permite a facilitação da diferenciação dos erros encontrados. Esses elementos compilados foram utilizados como base para a criação do protocolo.

No segundo momento foi determinado um protocolo que pudesse fazer a avaliação dessas malhas de acordo com os possíveis problemas encontrados e referente aos objetivos específicos dos trabalhos. Para isso foram definidos requisitos e detalhadas em etapas tanto o processo lógico da criação do protocolo quanto o processo de sua aplicação podendo assim ser efetivamente aplicado por outros pesquisadores.

Por fim, foi aplicado este protocolo em duas situações diferentes para que pudesse haver uma avaliação prática do protocolo desenvolvido. As situações de aplicação do protocolo foram escolhidas por conveniência. No entanto, são ideais para apresentar a sua aplicação visto que tratam de escaneamento de pessoas, o que como foi comentado gera mais erros. Além disso, são situações reais e não artificialmente desenvolvidas para apresentar o protocolo demonstrando a sua efetiva aplicação em um contexto real.

Com os resultados obtidos foi possível verificar a aplicabilidade do protocolo e que sua aplicação auxilia na tomada de decisões acerca do descarte ou não da malha além de permitir uma comparação direta entre as malhas de maneira intuitiva. Na aplicação do protocolo também pôde-se verificar que pode ser usado como parte de uma avaliação da qualidade de uma configuração experimental a partir da geração ou não de resultados consistentes.

Uma questão de interesse é que por se tratar de um cálculo simples, o protocolo pode ser automatizado ou semiautomatizado com a aplicação dessa fórmula em uma tabela ou outro sistema similar, ou programado de maneira que as notas individuais possam ser adicionadas em lugares predeterminados e o cálculo feito automaticamente conferindo ainda mais agilidade ao processo.

Finalmente, apesar do auxílio fornecido pelo protocolo, é importante ressaltar que a sua aplicação não isenta o treinamento de avaliadores, pois algumas das decisões relativas aos problemas são subjetivas e exigem conhecimento da dificuldade ou não da realização do processamento da malha. Ademais, para a aplicação ideal do protocolo é necessário que os objetivos dos estudos estejam claros, e que a fórmula seja devidamente montada e aplicada.

Sugere-se que, em um trabalho futuro, seja possível gerar resultados automáticos de avaliação da malha com aplicação de programação e inteligência artificial.

REFERÊNCIAS

1. ADOLPHY S, GROSSER H, KIRSCH L., STARK R. Method for automated structuring of product data and its applications. Procedia CIRP, 38:1, pp. 153-158, 2015. DOI: 10.1016/j.procir.2015.07.063

2. BRAGANÇA S, AREZES P, CARVALHO M, ASHDOWN SP, CASTELLUCCI I, LEÃO C. A comparison of manual anthropometric measurements with Kinect-based scanned measurements in terms of precision and reliability. Work, 59:3, pp. 325–339, 2018. DOI: 10.3233/WOR-182684

3. BRENDLER C, TEIXEIRA F, PIZZATO G, MELLO G. Métodos de obtenção da antropometria estática e dinâmica para desenvolver produtos de Tecnologia Assistiva. In: PASCHOARELLI LC, MEDOLA FO. Tecnologia Assistiva: Pesquisa e Conhecimento – II. Canal 6 Editora, Bauru, 2018.

4. CAPELASSI CH. Dimensionamento do corpo aplicado ao vestuário: estudo antropométrico com recurso a um Body Scanner 3D. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil) - Universidade do Minho – UM, Porto, 2017. http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/48654

5. COSTA TN, BRENDLER CF, TEIXEIRA FG, SILVA RPD, SILVA TLKD. Uso da digitalização 3D e da parametrização de medidas antropométricas para produção de moldes personalizados para o vestuário. Educação Gráfica, 19:2, pp. 122–142, 2015. http://hdl.handle.net/10183/156812

6. CRYTZER TM, HONG EK, DICIANNO BE, PEARLMAN J, SCHMELER M, COOPER RA. Identifying characteristic back shapes from anatomical scans of wheelchair users to improve seating design. Medical Engineering and Physics, 38:9, pp. 999–1007, 2016. DOI: 10.1016/j.medengphy.2016.06.017

7. DUTTA T. Evaluation of the KinectTM sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace. Applied Ergonomics, 43:4, pp. 645–649, 2012. DOI: 10.1016/j.apergo.2011.09.011

8. FORSLUND A, MADRID J, LÖÖF J, SÖDERBERG R. Robust Design of Aero Engine Structures: Transferring form Error Data When Mapping Out Design Spaces for New Turbine Components. Procedia CIRP, 43:1, pp. 47-51, 2016. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.130

9. GOYANES A, DET-AMORNRAT U, WANG J, BASIT AW, GAISFORD S. 3D scanning and 3D printing as innovative technologies for fabricating personalized topical drug delivery systems. Journal of controlled release, 234:1, pp. 41-48, 2016. DOI: 10.1016/j.jconrel.2016.05.034

10. GUIDI G, GONIZZI S, MICOLI L. 3D capturing performances of low-cost range sensors for mass-market applications. In: International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 23, 2016, Prague. Anais... Prague: XXIII ISPRS Congress, 2016, p. 33-40. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B5-33-2016

11. HALEEM A, JAVAID M, SAXENA A. Additive manufacturing applications in cardiology: a review. The Egyptian Heart Journal, 70:1, pp. 433-441, 2018. DOI: 10.1016/j.ehj.2018.09.008

12. HIGNETT S, MCATAMNEY L. Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31:1, pp. 201-205, 2000. DOI: 10.1016/s0003-6870(99)00039-3

13. HEYMSFIELD SB, BOURGEOIS B, NG BK, SOMMER MJ, LI X, SHEPHERD JA. Digital anthropometry: a critical review. European journal of clinical nutrition, 72:5, pp. 680-687, 2018. DOI: 10.1038/s41430-018-0145-7

14. ISO 20685-1: 3-D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases - Part 1: Evaluation protocol for body dimensions extracted from 3-D body scans. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2018.

15. JAVAID M, HALEEM A. Additive manufacturing applications in medical cases: A literature-based review. Alexandria Journal of Medicine, 54:4, pp. 411-422, 2018. DOI: 10.1016/j.ajme.2017.09.003

16. KAKLANIS N, STAVROPOULOS G, TZOVARAS D. Modeling people with motor disabilities to empower the automatic

accessibility and ergonomic assessment of new products. Applied ergonomics, 51:1, pp. 120-136, 2015. DOI: 10.1016/j.apergo.2015.04.016

17. KERSTEN TP, PRZYBILLA HJ, LINDSTAEDT M, TSCHIRSCHWITZ F, MISGAISKI-HASS M. Comparative geometrical investigations of hand-held scanning systems. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI:B5, 2016. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B5-507-2016
18. LEE W, LEE B, KIM S, JUNG H, JEON E, CHOI T, YOU H. 3D scan to product design: Methods, techniques, and cases. In: International conference on 3D body scanning technologies, 6, 2015, Lugano. Anais… Lugano: 3D body.tech, 2015. DOI: 10.15221/yy.nnn
19. LOVATO C. 3D Digital Anthropometry Using the BodySCAN. In: International conference on 3D body scanning technologies, 1, 2010, Lugano. Anais… Lugano: 3D body.tech, 2010, p. 259-263. DOI: 10.15221/10.259
20. LU L, YICK KL, NG SP, YIP J, TSE CY. Evaluation of body geometry and symmetry for adolescent idiopathic scoliosis with 3D body scanning system a 6-month follow-up. Research Journal of Textile and Apparel, 21:4, pp. 276–292, 2017. DOI: 10.1108/RJTA-11-2016-0027
21. MCDONALD S, COMRIE N, BUEHLER E, CARTER N, DUBIN, B, GORDES, MCCOMBE-WALLER S, HURST A. Uncovering challenges and opportunities for 3D printing assistive technology with physical therapists. In: International acm sigaccess conference on computers and accessibility, 18, 2016. Anais... Reno: ACM, 2016. p. 131-139. DOI: 10.1145/2982142.2982162
22. MICROSOFT. Kinect 360. Disponível em: www.support.xbox.com/pt-BR/browse/xbox-360. Acesso em: 05 set. 2019.
23. OCCIPITAL. Skanect. Disponível em: www.skanect.occipital.com. Acesso em: 10 nov. 2019.
24. PETRAK S, NAGLIC MM. Dynamic Anthropometry - Defining Protocols for Automatic Body Measurement. Tekstilec, 60:4, pp. 254–262, 2017. DOI: 10.14502/Tekstilec 2017.60.254-262
25. RECFUSION. RecFusion 1.4.6. Disponível em: www.recfusion.net/index.php/en/. Acesso em: 05 set. 2019.
26. REDAELLI DF, BARSANTI SG, FRASCHINI P, BIFFI E, COLOMBO G. Low-cost 3D devices and laser scanners comparison for the application in orthopedic centres. Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42:2, pp. 953–960, 2018. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-953-2018
27. ROSENMANN GC. Avaliação de sistemas de digitalização 3D de baixo custo aplicados ao desenvolvimento de órteses por manufatura aditiva. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2017. http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2630
28. SCHWARZ-MÜLLER F, MARSHALL R, SUMMERSKILL S. Development of a positioning aid to reduce postural variability and errors in 3D whole body scan measurements. Applied Ergonomics, 68:Nov. 2017, pp. 90–100, 2018. DOI: 10.1016/j.apergo.2017.11.001
29. ŞENOL MB. Anthropometric evaluation of cockpit designs. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 22:2, pp. 246–256, 2016. DOI: 10.1080/10803548.2015.1126456
30. SHACKEL B, CHIDSEY KD, SHIPLEY P. The assessment of chair comfort. Ergonomics, 12:2, pp. 269-306, 1969. DOI: 10.1080/00140136908931053
31. SIERRA IS; OKIMOTO MLLR. Explorando novas tecnologias para a Antropometria Sentada. Human Factors in Design, 10:19, pp. 70-83, 2021. DOI: 10.5965/23167963101 92021070
32. SIERRA IS, BARBOSA MC, ROCHA B, OKIMOTO MLLR. Influência de fatores humanos na qualidade da malha para antropometria digital: tempo, postura e conforto. ERGODESIGN & HCI, 7:1, pp. 192-206, 2019. DOI: 10.22570/ergodesignhci.v7iEspecial.1314
33. SIMENKO J, IPAVEC M, VODICAR J, RAUTER S. Body symmetry/asymmetry in youth judokas in the under 73 kg category. Ido Movement for Culture-Journal of Martial Arts Anthropology, 17:2, pp. 51–55, 2017. DOI: 10.14589/ido.17.2.6
34. TONG J, ZHOU J, LIU L, PAN Z, YAN H. Scanning 3D full human bodies using kinects. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18:4, pp. 643–650, 2012. DOI: 10.1109/TVCG.2012.56