



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



DINÁ SOUZA DOS ANJOS

**TÉCNICAS BOOLEANAS PARA ANÁLISE DA
MARCA DE MORDIDA**

UBERLÂNDIA

2019

DINÁ SOUZA DOS ANJOS

TÉCNICAS BOOLEANAS PARA ANÁLISE DA MARCA DE MORDIDA

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Odontologia da UFU, como requisito parcial para obtenção do título de Graduado em Odontologia

Orientador: Profº Drº Thiago Leite Beaini

Co-orientador: Profº Drº João Henrique Ferreira Lima.

UBERLÂNDIA

2019



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ATA DA COMISSÃO JULGADORA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO(A) DISCENTE **Diná de Souza dos Anjos** DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA.

No dia 30 de maio de 2019, reuniu-se a Comissão Julgadora aprovada pelo Colegiado de Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, para o julgamento do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo(a) aluno(a) **Diná de Souza dos Anjos**, COM O TÍTULO: **"TÉCNICAS BOOLEANAS PARA ANÁLISE DA MARCA DE MORDIDA"**. O julgamento do trabalho foi realizado em sessão pública compreendendo a exposição, seguida de arguição pelos examinadores. Encerrada a arguição, cada examinador, em sessão secreta, exarou o seu parecer. A Comissão Julgadora, após análise do Trabalho, verificou que o mesmo se encontra em condições de ser incorporado ao banco de Trabalhos de Conclusão de Curso desta Faculdade. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas da Graduação, legislação e regulamentação da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e lavrada a presente ata, que após lida e achada conforme, foi assinada pela Banca Examinadora.

Uberlândia, 30 de maio de 2019.

Prof. Dr. Thiago Leite Besini
 Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Aprovada
 Aprovado/Reprovado

Prof. Dr. João Henrique Ferreira Lima
 Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Aprovada
 Aprovado/Reprovado

Prof. Me. Renata Prata Cunha Bernardes Rodrigues
 Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Aprovada
 Aprovado/Reprovado

Igar Oliveira Cardoso
 Aluno(a) de Odonologia – PPGC/UFU

Aprovada
 Aprovado/Reprovado

Agradecimentos

À Deus, pelo Seu amor que se perpetua em todos os momentos da minha vida, não existem palavras para agradecer pela Sua constante fidelidade.

Aos meus pais e ao meu irmão, pelo cuidado, dedicação e amor incondicional. Por sonharem os meus sonhos e serem minha base. Amo-vos e admiro-vos mais do que poderei escrever.

Ao meu orientador, Thiago Leite Beaini, pelo constante apoio, disponibilidade e dedicação que demonstrou durante todo o processo desse trabalho. Um exemplo de profissional que levarei comigo. Ao meu co-orientador, João Henrique Ferreira Lima, por ser um exemplo de profissional e bondade que me inspira.

Aos meus amigos, Cícero Junior, Sávio Borges, Gabriel Brito e Andressa Cristina por estarem presentes com muito carinho.

Aos meus amigos que essa caminhada me proporcionou, Bruna Fernanda, Matheus Clemente, Hellen Carolina e Kayque Alves.

“Dizem que a vida é para quem sabe viver, mas ninguém nasce pronto. A vida é para quem é corajoso o suficiente para se arriscar e humilde o bastante para aprender”

Clarice Lispector

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS, HIPÓTESES E JUSTIFICATIVA	11
3. MATERIAL E MÉTODO	12
3.1. PARTICIPANTES DA PESQUISA	12
3.2. COLETA DAS AMOSTRAS	12
3.3. DIGITALIZAÇÃO DOS MODELOS	12
3.4. OBTENÇÃO DE MODELOS BOOLEANOS	17
3.5. ALINHAMENTO DOS MODELOS COM OS OBJETOS COMPARADOS	18
3.6. COMPARAÇÃO 3D	19
4. RESULTADO	20
5. DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÃO	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

RESUMO

Uma das áreas de atuação da Odontologia Legal é o estudo das marcas de mordidas. Esta pode ser de origem humana ou de animais, e estar presente em indivíduos vivos, cadáveres ou objetos. Diversas técnicas têm sido publicadas na literatura científica, no entanto, a digitalização, usando sobreposição de imagens é considerada como a técnica mais assertiva na resolução de crimes envolvendo marcas de mordida. As técnicas digitalizadas são feitas através da digitalização por *scanners*, das imagens ou de fotografias digitais. Este trabalho tem como objetivo relatar os ensaios realizados para a viabilização de análise comparativa de marcas de mordidas de alimentos, em ambiente virtual, com auxílio do escaneamento de superfície e da fotogrametria, utilizando modelos obtidos por ferramentas booleanas no âmbito pericial. Todos os ensaios e avaliações foram realizadas pelos autores desse trabalho (aluna e orientador). Ambos concordam com a utilização das imagens de seus modelos de gesso e marcas de mordidas deixadas nos alimentos testados (uma maçã e dois pedaços de queijo). No escaneamento de superfície, os modelos foram escaneados por meio do *scanner* de luz estruturada SGOO ARTI® (*Zirkonzahn*, tipo S600, Sudtirool, Itália, 2015). Na fotogrametria, as fotografias foram obtidas com um *smartphone*. Para a obtenção de modelos booleanos foi utilizado a função da diferença, o programa de escolha foi o Blender. Levando em consideração as hipóteses, foram analisadas as 4 variáveis. Os modelos positivos das marcas em alimento, obtidos utilizando ferramentas booleanas, foram os que produziram resultados visuais mais confiáveis quando comparados à superfície dos dentes do suspeito. Ambas técnicas, o escaneamento de superfície e fotogrametria obtiveram, de certa forma, um índice de sucesso na comparação entre indivíduos e as marcas deixadas por sua mordida em alimentos (queijo e maçã). Porém, o grau de detalhes do escaneamento de superfície foi superior no nível de detalhes que requer a técnica. Novos estudos com fotogrametria necessitam ser realizados para verificar a sua validade como método de análise de marca de mordida, mas é um caminho promissor, devido a facilidade da técnica e o baixo custo. Porém avanços significativos na técnica serão necessários.

Palavras-chave: Marca de mordida; Escaneamento em 3D; Fotogrametria.

ABSTRACT

One of the fields of study in forensic dentistry is the analysis of bite-marks. Those can be left by humans or animals, and be present in living individuals, corpses or objects. A diversity of techniques has been published in scientific literature, but the digitalization and superimposition can be considered a more accurate in the investigation of crimes where bite-marks are found. The digital techniques are possible by the use of scanners or digital photography reconstructions. This work aims to report a series of tests of the analysis viability to compare bite-marks in food specimens, in virtual analysis, aided by a surface scanner and photogrammetry and the use of models obtained by Boolean modifiers in forensic analysis. All trials and evaluations were performed by the authors of this work (student and teacher). Both agree on the use of images of their plaster models and bite marks in the foods tested (one apple and two pieces of cheese). In surface scanning, the models were scanned by means of the structured light scanner SGOO ARTI® (Zirkonzahn, type S600, Sudtiro, Italy, 2015). In photogrammetry, the photos were taken with a smartphone. To obtain Boolean models the function of difference was used, the program of choice was the Blender. Taking into account the hypothesis, the 4 variables were analyzed. The positive models of bite marks on food, obtained using Boolean tools, were those that produced results visual acuity when compared to the surface of the suspect's teeth. Both techniques, surface scanning and photogrammetry obtained, to a certain extent, an index of success in comparison between individuals and the marks left for his bite on food (cheese and apple. However, the degree of details of the surface scanning has been higher level of detail than requires the technique. New studies with photogrammetry need to be carried out to verify their validity as bite mark analysis method, but it is a promising path, due the facility of technique. However significant advances will be required.

Keywords: Bite mark; 3D scanning; Photogrammetry.

1. INTRODUÇÃO

Uma das áreas de atuação da Odontologia Legal é o estudo das marcas de mordida. Esta pode ser de origem humana ou de animais, e estar presente em indivíduos vivos, cadáveres ou objetos. São frequentes em diferentes cenários: homicídios, casos de abuso, de violência doméstica e até mesmo em crimes contra propriedades (Marques, 2004; Almeida, 2012)

Sendo uma relevante ferramenta na identificação do agressor, devido a características potencialmente individualizadoras, essas são produzidas pelos arcos dentais e suas características como o alinhamento, forma e tamanho de cada dente. Reproduzem na pele ou no objeto mordido, um padrão que pode ser comparado aos dentes ou modelo do suspeito. Em muitos casos, o estudo possibilita a investigação médico-jurídica, resultando na inclusão ou exclusão de suspeitos, ou apontando elementos de culpabilidade, auxiliando no combate ao crime e à impunidade (Araújo, 2014; Silva e Marques, 2018)

Judicialmente, como evidência de um crime, as marcas de mordidas têm sido aceitas desde 1954 pela corte dos Estados Unidos, no qual um criminoso foi identificado através das marcas de seus dentes deixadas em um pedaço de queijo durante um roubo em uma residência (Nascimento *et al.*, 2012). Desde então, a literatura relata diversos casos, em que a identificação de marca de mordida foi essencial para solucionar casos periciais (Mânica, 2016).

A análise das marcas de mordida é considerada como um dos mais intrigantes, complexas e, às vezes, controversos desafios da odontologia legal. Sendo questionada por alguns estudos em relação a sua validação, baseando-se na necessidade de mais estudos científicos confiáveis (Garrido e Giovanelli, 2009; Clement e Blackwell, 2010; Nascimento *et al.*, 2012). Diversas técnicas têm sido publicadas na literatura científica, no entanto, a digitalização, usando sobreposição de imagens é considerada como a técnica mais assertiva na resolução de crimes envolvendo marcas de mordida. As técnicas digitalizadas são feitas através da digitalização por *scanners*, das imagens ou de fotografias digitais (Giri *et al.*, 2019).

O *scanner* tridimensional (3D) é considerado como padrão ouro entre as tecnologias com o propósito de digitalização. Tem como fundamento a obtenção de dados dos objetos físicos para gerar modelos tridimensionais digitais, com auxílio de softwares, que permitem a captura de curvas, texturas e detalhes de superfícies com grande precisão. As informações adquiridas, a partir de estudos de modelos tridimensionais apresenta alta precisão, trazendo aos suportes de duplicação características relevantes, garantindo a exatidão nos detalhes da anatomia dentária (Tomkinson e Shaw, 2013; Giri *et al.*, 2019). Em técnicas 3D digitais é necessária a conversão de objeto físico real para um objeto digital virtual 3D, por meios como tomografia computadorizada ou escaneamento de superfície. Ainda que apresentem resultados interessantes, o custo e o acesso limitado representam pontos negativos para digitalização por este método (Batistela *et al.*, 2017).

A fotogrametria é uma tecnologia de informação que utiliza de imagens digitais 2D (planas) para gerar objetos no universo 3D a partir de suas imagens fotográficas. A técnica é denominada *Structure from Motion (SfM)* e possui a vantagem de ser notadamente acessível, pois pode ser realizada com câmeras digitais e também em dispositivos comuns, como o *smartphone* (Batistela *et al.*, 2017). A fotogrametria, em particular, é um processo confiável, livre de radiação e que reproduz bem estruturas humanas e objetos a um baixo custo quando comparados a outros métodos tridimensionais (Silva e Marques, 2018).

Para obter uma análise comparativa de marca de mordida utilizando a tecnologia em 3D, pode-se usar operações booleanas, desenvolvida em 1815, pelo matemático George Boole, na Inglaterra. São operações binárias que utilizam de operações de união, intersecção ou diferença. A união de objetos pelo método booleano gera um novo modelo que contém o volume de ambos os objetos originais. A opção de intersecção, ou sobreposição da geometria, a porção não coincidente de um objeto é removida. Já a opção da diferença, ou subtração, o volume do objeto booleano em contato com outro tem uma porção removida deste. Esses processos são utilizados em engenharia para criar novos modelos ou para alterá-los (Charton *et al.*, 2017).

Considerando que as marcas de mordidas como um modelo negativo, semelhante a um molde, enquanto os dentes, ou suas representações em gesso, são modelos positivos, as técnicas booleanas podem ser úteis por possibilitar os mesmos princípios em ambiente digital.

2. OBJETIVOS, HIPÓTESES E JUSTIFICATIVA

2.1. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo relatar os ensaios realizados para a viabilização de análise comparativa de marcas de mordidas de alimentos, em ambiente virtual, com auxílio do escaneamento de superfície e da fotogrametria, assim fundamentar a utilização das técnicas booleanas no âmbito pericial.

Para padronizar este estudo, os objetivos específicos foram os seguintes:

1. Comparação dos alimentos com modelos booleanos negativos, obtidos por subtração dos modelos de gesso digitalizados por escaneamento.
2. Comparação dos alimentos com segmentações dos modelos booleanos negativos contendo apenas as faces em contato com a superfície vestibular dos dentes anteriores.
3. Comparação dos moldes positivos dos alimentos com os dentes no modelo 3D.
4. A possibilidade de reproduzir o método com modelos obtidos por processo de fotogrametria.

2.2. JUSTIFICATIVA

Nas ciências forenses, a Odontologia Legal pode auxiliar a justiça a resolver casos criminais. Neste contexto, a ausência de métodos pré-estabelecidos e testados pode expor a equipe de peritos à questionamentos da análise adotada, além de demandar tempo dos profissionais para demonstrar a confiabilidade da técnica.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. PARTICIPANTES DA PESQUISA

Todos os ensaios e avaliações foram realizadas pelos autores desse trabalho (aluna e orientador). Ambos concordam com a utilização das imagens de seus modelos de gesso e marcas de mordidas deixadas nos alimentos testados.

3.2. COLETA DAS AMOSTRAS

Os autores dispuseram de modelos de gesso recentes, que os mesmos haviam obtido por motivos clínicos.

Também foi utilizado, nesse processo, uma maçã e dois pedaços de queijo de 3 cm de altura e largura suficiente para registrar todos os dentes ântero-superiores. Estes foram mordidos e registrados.

3.3. DIGITALIZAÇÃO DOS MODELOS

3.3.1 Escaneamento de superfície

Os modelos foram escaneados por meio do *scanner* de luz estruturada SGOO ARTI® (*Zirkonzahn*, tipo S600, Sudtiro, Itália, 2015) (Figura 1A), onde foram geradas as imagens em 3D a partir do seu próprio programa. Este tipo de equipamento se diferencia por aplicar faixas de luz em diferentes direções que permitem a captura detalhada da topografia da superfície do objeto (Figura 1B). O modelo, fixado sobre uma haste, cuja posição é controlada de maneira computadorizada (Figura 1A), é capturado pelo equipamento em diferentes posições (Figura 1C), até que toda sua superfície seja observada (Figura 1D).

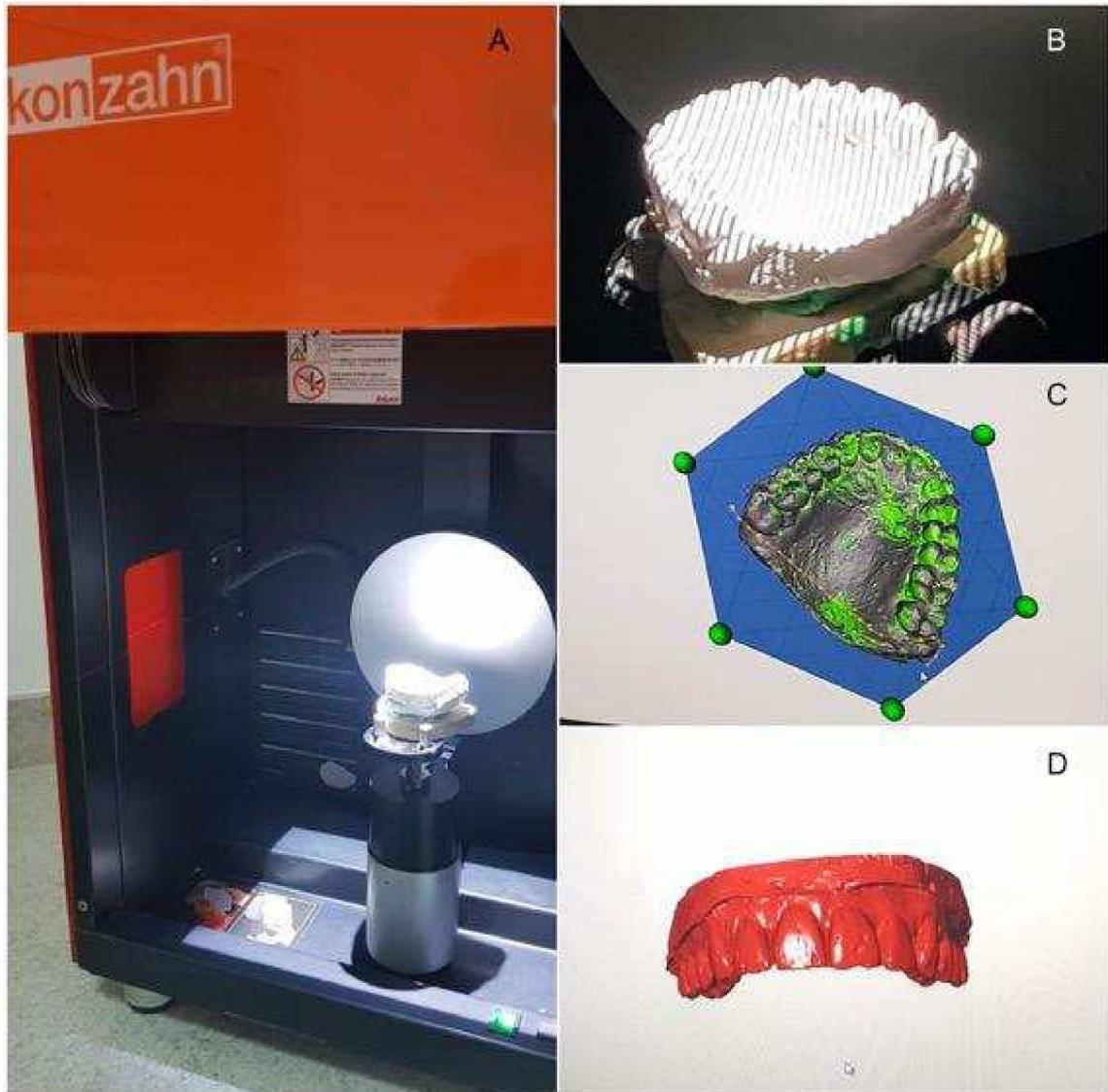


Figura 1. Aparelho de scanner utilizado (A); registro da incidência de luz sobre o modelo (B); sobreposição do registro em diferentes direções (C); modelo final (D). Fonte: Autoria própria.

Para fins de comparação em ambiente controlado, os autores morderam uma maçã e a fatia de queijo. Como preparação dos alimentos para o escaneamento, de forma que o brilho natural dos alimentos não atrapalhe no momento de registro, foi necessário a aplicação de um produto (*Spotcheck Skd-S2*) que produz uma camada fina e homogênea, em um tom branco e fosco, para assim proporcionar um fundo de excelente contraste para a visualização.

Os modelos 3D obtidos foram armazenados em um arquivo STL (*StereoLithographic Language*) e exportadas para poderem ser configuradas em um sistema aberto.

Dessa forma, foram armazenados modelos digitalizados dos arcos superiores dos autores, de uma maçã e de dois pedaços de queijo mordidos.

3.3.2 Fotogrametria

Considerando que os *softwares* de fotogrametria utilizam padrões nas imagens para detectar o movimento de câmera ao redor do objeto, primeiramente, foram realizadas marcações no modelo de gesso em toda a região dos dentes, com caneta esferográfica.

Em seguida, iniciou-se a parte das fotografias. O modelo de gesso foi posicionado sobre um suporte plano, giratório, sobre uma mesa com fundo infinito de cor preta. Ao redor do modelo, foram adicionados marcadores apropriados, além de uma régua com escala do tipo ABFO nº2 ®. Essas referências são necessárias para auxiliar no posicionamento das fotos e também oferecer medidas no redimensionamento posterior.

O fundo infinito e a mesa giratória com os marcadores, são capazes de criar uma dinâmica que o *software* interpreta como se tivessem sido feitas fotografias em 360 graus em volta do objeto, que é o idealizado por esses programas.

Para essa pesquisa, foi utilizado o *software Photoscan* ® (*Agisoft*®, versão 1.4.5-64bit, Rússia, 2018). As fotografias foram obtidas com um *smartphone* (*Samsung Galaxi S8 - SM-G950F*, Seul, Coreia do Sul, 2017), com exposição de 1/60, ISO 125, foco de 4,2 mm constantes, abertura de diafragma ($F=1.7$), obtendo-se 30 imagens em três angulações: Horizontal, 45 graus e 90 graus no sentido vertical.

Após a inserção das fotos no programa, uma sequência de tarefas é realizada. O fundo infinito preto permite que este seja selecionado facilmente, dessa forma, máscaras são produzidas em cada imagem a fim de que só o objeto e marcadores de interesse permaneçam. O passo a seguir é o de alinhamento das fotografias, que

identifica pontos coincidentes nas imagens e calcula sua movimentação a cada imagem. Nessa etapa o programa calcula onde e em qual direção, as fotografias foram produzidas. O resultado foi uma nuvem de pontos esparsa que permitira a interpolação de novas referências, produzindo uma nuvem densa de pontos na etapa a seguir. Esta nuvem densa permite a formação de um *Mesh*, cujo significado é a de um objeto aramado. Isso se aplica, uma vez que o modelo 3D é o conjunto de faces formadas por centenas de triângulos constituídos por arestas que ligam a nuvem densa de pontos. Por fim, o programa escolhido é capaz de aplicar uma textura formada pelas imagens das fotografias de forma que esta reveste o modelo, conferindo um aspecto visual semelhante ao objeto retratado (Figura 2).

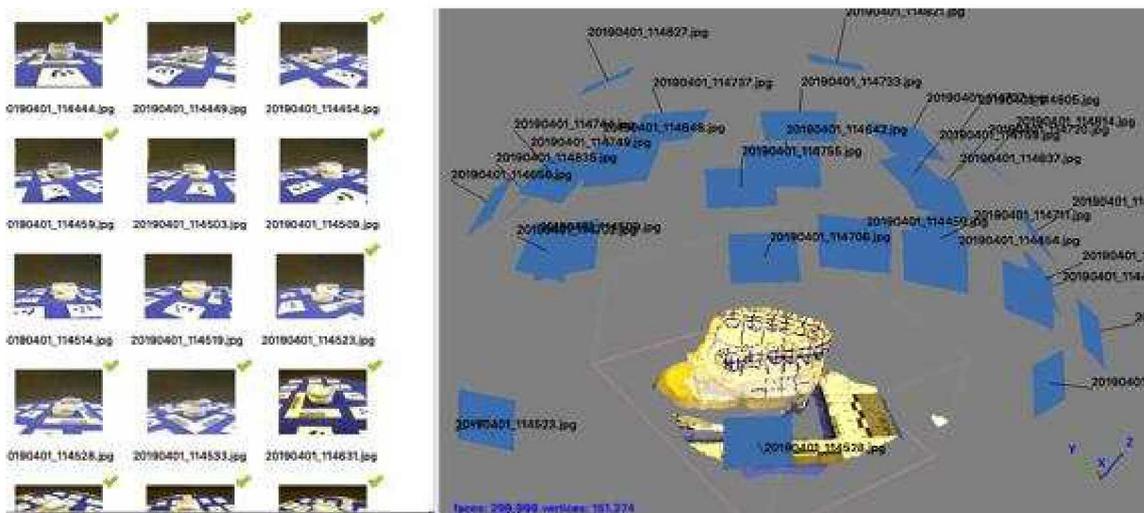


Figura 2. Modelo de gesso digitalizado onde é possível observar suas características e marcações realizadas, a seqüência de fotografias à esquerda e suas posições no volume representada por retângulos azuis. Fonte: Autoria própria.

As imagens foram obtidas, transferidas e salvas a um computador (*Macbook-pro*, *Apple*, USA, 2012).

Assim como o modelo de gesso, a maçã também foi registrada por fotografias seguindo o mesmo protocolo e também foi digitalizada por meio da fotogrametria.

Ao final, os objetos digitais são exportados em formato OBJ, que possui a característica de carregar consigo as imagens e aplicação das texturas.

Os modelos obtidos por fotogrametria não possuem escala real, diferente dos escaneados ou obtidos por tomografia. Por isso, necessitam de uma etapa adicional

para que sejam comparados. A etapa de escala é realizada no programa de categoria livre chamado *MeshLab* (*Visual Computing Lab- ISTI-CNR, Itália, 2014. Versão 1.1.3-64Bit. Disponível em <http://meshlab.sourceforge.net>*).

Neste programa é possível definir uma nova escala por meio da divisão da escala real em milímetros pela medida obtida pela ferramenta de mensuração. Com isso, é obtida uma razão que é aplicada a todos os eixos do volume, transformando sua escala em medidas reais. Para isso, basta capturar uma referência métrica como a escala ABFO nº2 ® (Figura 3).

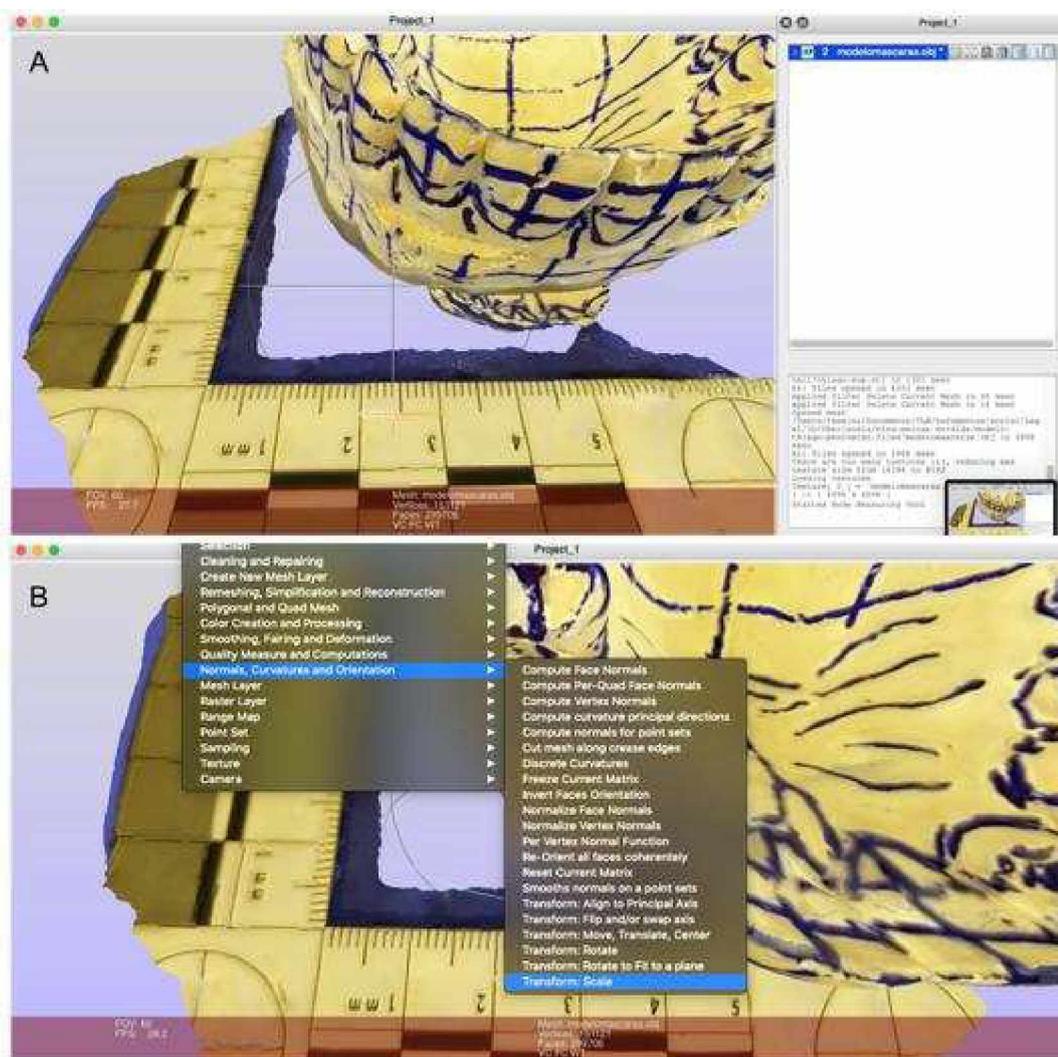


Figura 3. Obtenção da medida virtual (A) e caminho para obtenção de uma nova escala utilizando a razão obtida entre a medida real e a virtual (B). Fonte: Autoria própria.

3.4. OBTENÇÃO DE MODELOS BOOLEANOS

O cálculo Booleano, conforme explicado anteriormente, é capaz de gerar alterações em um objeto por meio da intersecção, união ou diferença entre dois objetos 3D. No caso desta pesquisa, objetivando assemelhar à dinâmica observada nas marcas de mordida, foi utilizada a função da diferença que é capaz de gerar um modelo negativo em um outro objeto. O programa utilizado para essa função foi o *Blender*® (*Version 2.76, 2015, Blender Foundation*) um *software* livre para edição e modelagem em 3D.

Dessa forma, para permitir o teste de todas as hipóteses propostas, foram realizados os seguintes modelos Booleanos:

- Modelo negativo com base no resultado dos dentes obtidos no escaneamento;
- Modelos negativos com base no modelo de gesso digitalizado por fotogrametria.
- Modelo positivo com base em um dos alimentos mordidos.

Para que sejam realizados, é necessário posicionar um cubo padrão sobre cada modelo. Estes cubos, de dimensões (30X30X5mm), sofreram o processo de modificação Booleana em relação à diferença dos objetos: Modelos-*scan* observadores 1 e 2; modelo fotogrametria observador 2; mordida em maçã escaneada do observador 2; mordida em queijo escaneada dos observadores 1 e 2; modelos de fotogrametria da maçã mordida pelo observador 2.

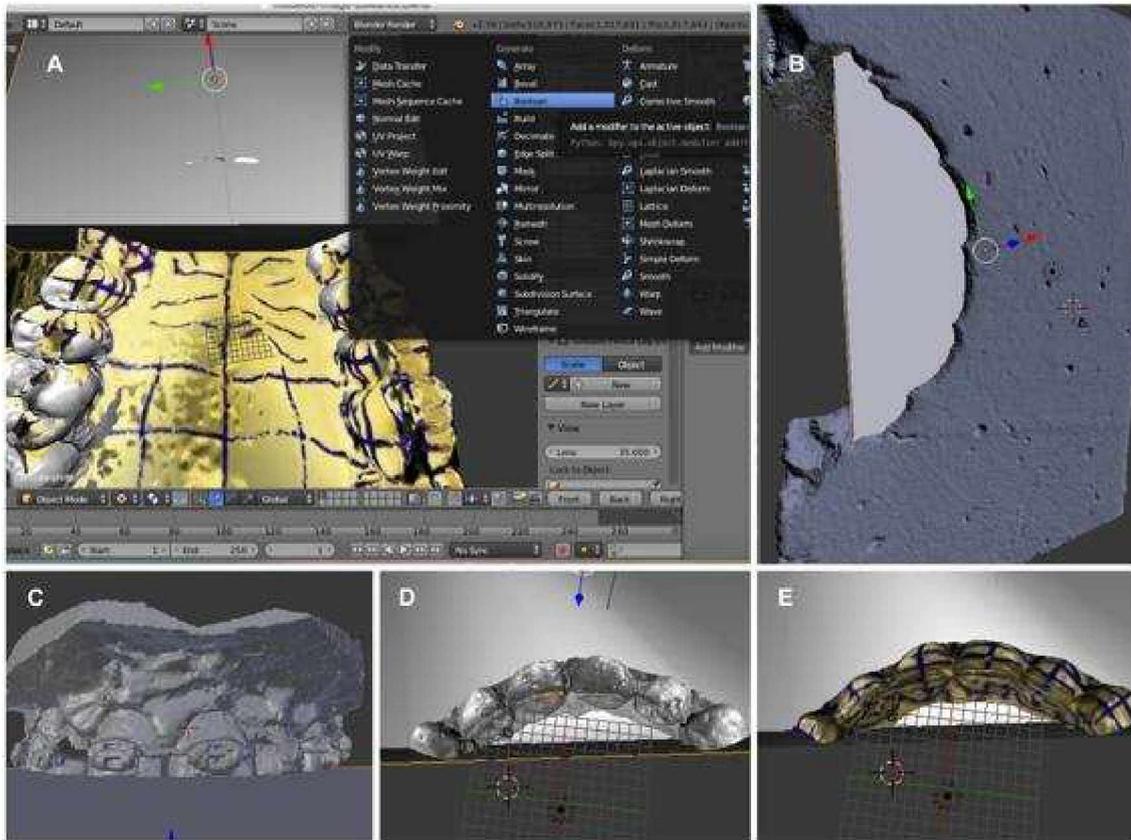


Figura 4. Bloco de prova posicionado sobre dentes anteriores do modelo e caminho para as ferramentas booleanas no Blender (A); obtenção do modelo booleano em referência à mordida no queijo (B); obtenção do modelo booleano do modelo escaneado do observador 1 (C); moldes negativos deixados no bloco de prova após a operação realizada com o modelo escaneado (D) e o modelo obtido por fotogrametria (E). Fonte: Autoria própria.

3.5. ALINHAMENTO DOS MODELOS COM OS OBJETOS COMPARADOS

Em algumas situações, como a comparação entre os modelos escaneados e os modelos de fotogrametria, assim como a comparação dos objetos booleanos positivos e a superfície dos dentes, é necessário um alinhamento prévio. Para isso, o alinhamento entre objetos foi realizado no programa *MeshLab*® seguindo o protocolo descrito por Beaini, et al. (2012). Onde são selecionados 4 pontos de referência que permitem a correta sobreposição dos modelos ou objetos.

3.6. COMPARAÇÃO 3D

O programa *CloudCompare*® (GNU *General Public License*, França, 2015, versão 2.7.0) foi utilizado para as comparações tridimensionais de objetos previamente alinhados. Este outro programa livre permite a comparação de nuvens de pontos traduzindo a distância entre as centenas de pontos entre uma nuvem e outra por meio de um mapa de cores (Beaini *et al.*, 2015). Dessa forma possibilita uma visualização qualitativa de uma informação quantitativa.

Como é necessário eleger um modelo como referência e outro como comparado, utilizamos o alimento como comparado e o modelo booleano como comparado. A técnica de comparação foi pela máxima distância entre os objetos cujo limiar foi definido em 1,5 mm. Esta distância foi considerada adequada, já que os alimentos sofrem deformação e perda de substâncias.

3.6.1. COMPARAÇÃO DOS MODELOS ESCANEADOS E MODELOS DE FOTOGRAMETRIA

Os modelos de gesso do observador 2 foram digitalizados por meio do escaneamento da superfície e a fotogrametria. Sendo o modelo o mesmo e a variável o método de digitalização, a viabilidade do uso do modelo obtido por fotogrametria será aferida por meio da comparação digital de nuvens de pontos, sendo o resultado esperado um mapa de cores de cor predominantemente verde, indicando a semelhança entre os dois. O mesmo processo foi realizado com a maçã mordida pelo observador 2.

Para esta etapa, a distância máxima inserida no gráfico foi de 1mm, já que o resultado ideal seria a coincidência perfeita entre os modelos.

4. RESULTADO

Considerando os objetivos e metodologia proposta, os resultados foram agrupados em 4 variáveis compreendendo os objetivos desse estudo.

4.1. *COMPARAÇÃO DOS ALIMENTOS COM MODELOS BOOLEANOS NEGATIVOS, OBTIDOS POR SUBTRAÇÃO DOS MODELOS DE GESSO DIGITALIZADOS POR ESCANEAMENTO*

A comparação da porção mordida dos alimentos, com os modelos negativos obtidos pelas ferramentas booleanas, apresentou resultado satisfatório, porém com alguns vieses.

As faces não utilizadas na comparação foram calculadas nas distâncias entre o alimento e o objeto causando perda de detalhes importantes na análise final (Figura 5). Também apresentaram maiores dificuldades no alinhamento dos modelos com os alimentos.

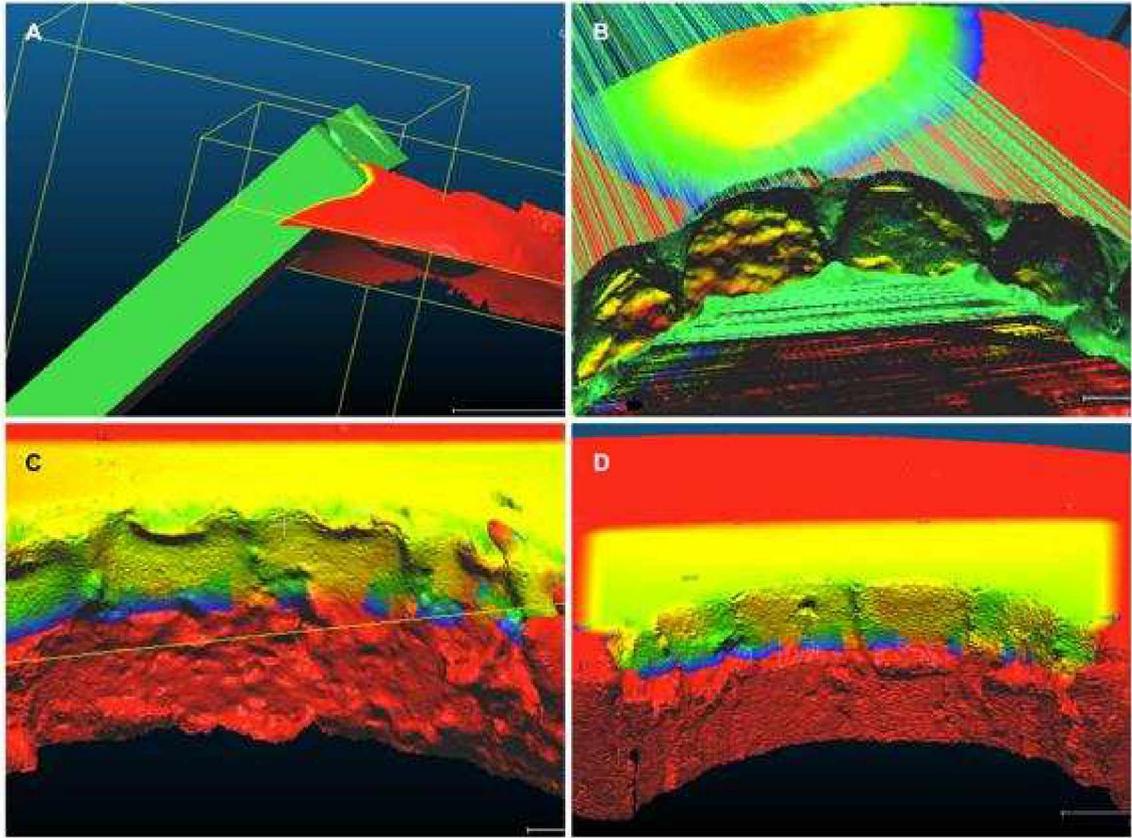


Figura 5. Comparação dos modelos dos alimentos com os obtidos por meio do método booleano e a interferências de áreas que não são de interesse. Vista lateral (A); vista frontal aplicando transparência ao modelo (B); queijos mordidos pelo observador 1 (C) e observador 2 (D). Fonte: Autoria própria.

4.2. COMPARAÇÃO DOS ALIMENTOS COM SEGMENTAÇÕES DOS MODELOS BOOLEANOS NEGATIVOS CONTENDO APENAS AS FACES EM CONTATO COM A SUPERFÍCIE VESTIBULAR DOS DENTES ANTERIORES

Para este teste, os modelos utilizados no teste anterior tiveram as faces do cubo original apagadas. O mesmo foi feito com as porções em contato com as regiões palatinas dos dentes. Dessa forma, restou apenas as faces que permaneceram em contato com os dentes. Estas foram sobrepostas nos alimentos no programa *Meshlab* e comparados no programa *CloudCompare* (Figura 6).

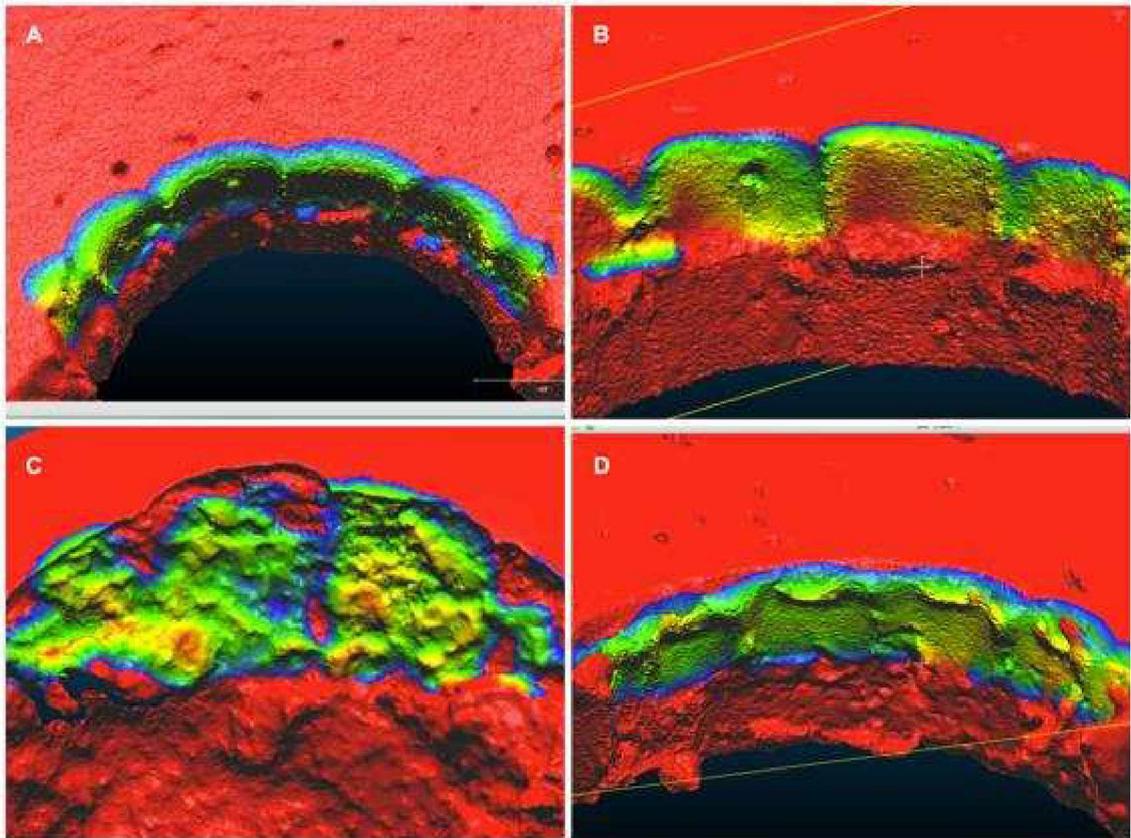


Figura 6. Comparação entre as faces em contato com os dentes e os modelos dos alimentos. Queijo mordido pelo observador 2 (A e B); Maçã mordida pelo observador 2 (C) e queijo mordido pelo observador 1 (D). Fonte: Autoria própria.

4.3. COMPARAÇÃO DOS MOLDES POSITIVOS DOS ALIMENTOS COM OS DENTES NO MODELO 3D

Os modelos obtidos pelo método comparativo entre um molde booleano positivo do alimento e a superfície do suspeito foram os que produziram resultados visuais mais confiáveis (Figura 7).

Com resultados mais consistentes, evita-se falso positivos, além de possibilitar a observação direta, antes mesmo da comparação de nuvens (Figura 8).

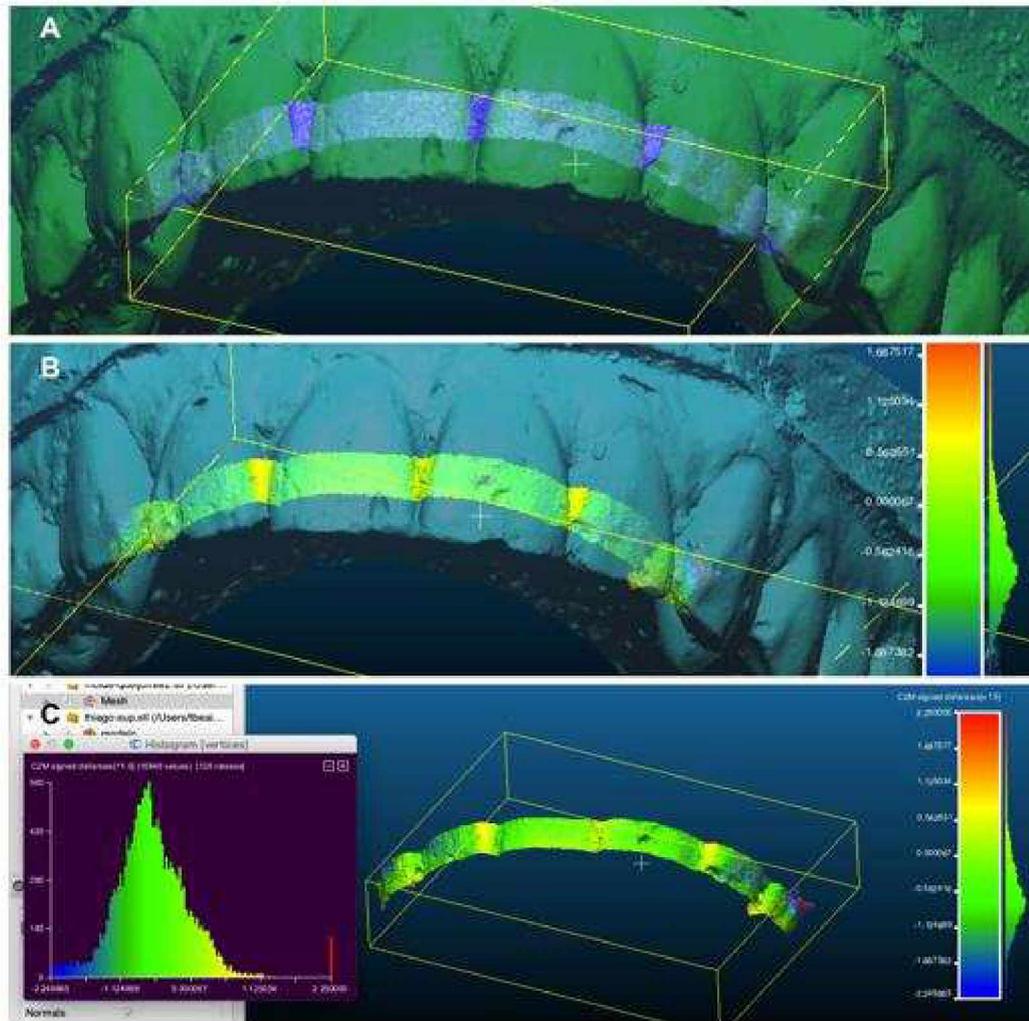


Figura 7. Sobreposição de molde positivo do alimento comparado sobre os dentes anteriores do modelo. Posicionamento (A); comparação com o modelo ao fundo (B) e comparação com o gráfico demonstrando grande número de pontos coincidentes. Fonte: Autoria própria.

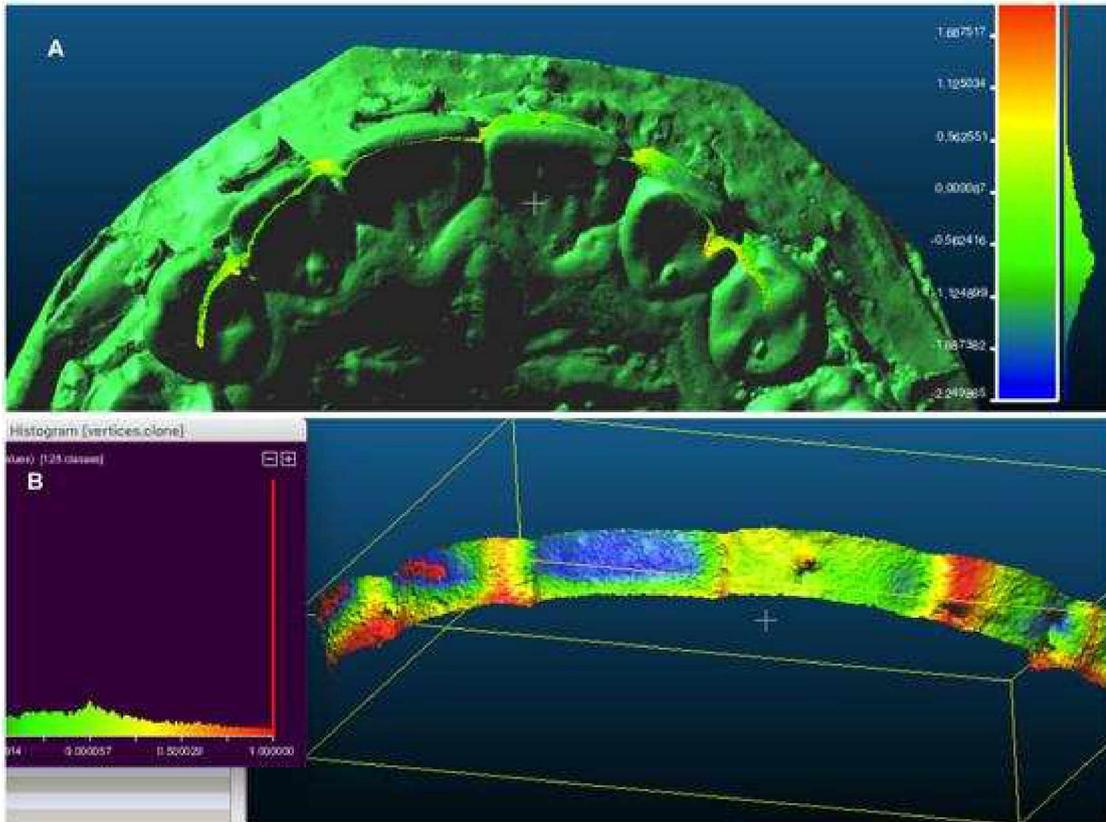


Figura 8. Comparação do modelo positivo obtido do queijo mordido pelo observador 2 e os dentes do observador 1 (A); baixa coincidência em muitas das regiões observada no gráfico. Fonte: Autoria própria.

4.4. TESTE DA POSSIBILIDADE DE REPRODUZIR O MÉTODO COM MODELOS OBTIDOS POR PROCESSO DE FOTOGRAMETRIA

Tanto para o modelo de gesso digitalizado por meio da fotogrametria, quanto para a maçã, é visível a perda de detalhes na estrutura digital dos modelos quando comparamos a fotogrametria e o escaneamento, considerado nessa investigação como “padrão ouro”.

Por essa razão, a possibilidade de utilização deve ser vista com cautela pelo fato de a análise demandar um nível de detalhamento bastante refinado (Figura 9).

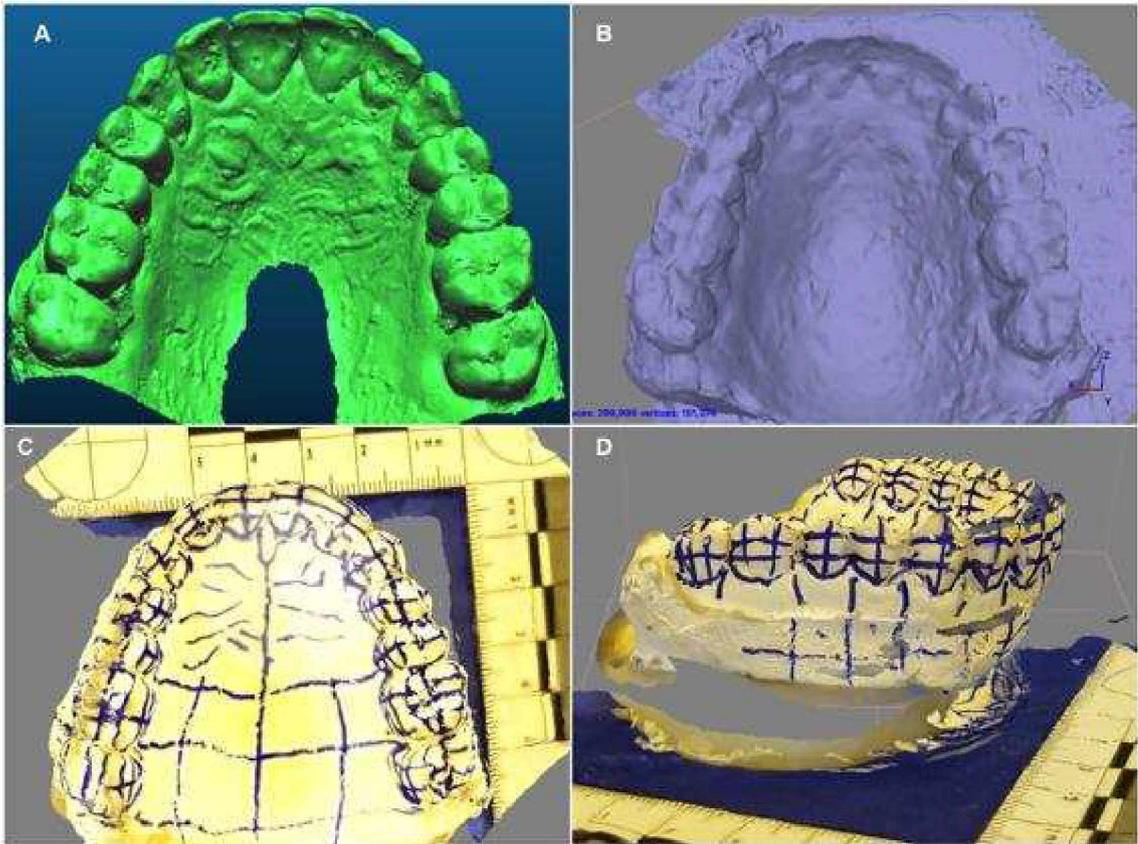


Figura 9. Comparação entre o modelo escaneado (A) e o modelo da fotogrametria (B); detalhes qualitativos dos objetos texturizados (C e D). Fonte: Autoria própria.

A comparação entre os modelos de gesso obteve boa coincidência na região anterior, que é a que mais participa das mordidas, obtendo resultado pior na região posterior. Já a maçã apresentou uma diferença na largura (Figura. 10).

Por outro lado, a análise qualitativa dos objetos digitalizados por essa técnica proporciona avaliação diferenciada dos detalhes, sendo em diversos momentos, cruciais para a identificação dos detalhes anatômicos deixados pelos dentes no alimento (figura 11).

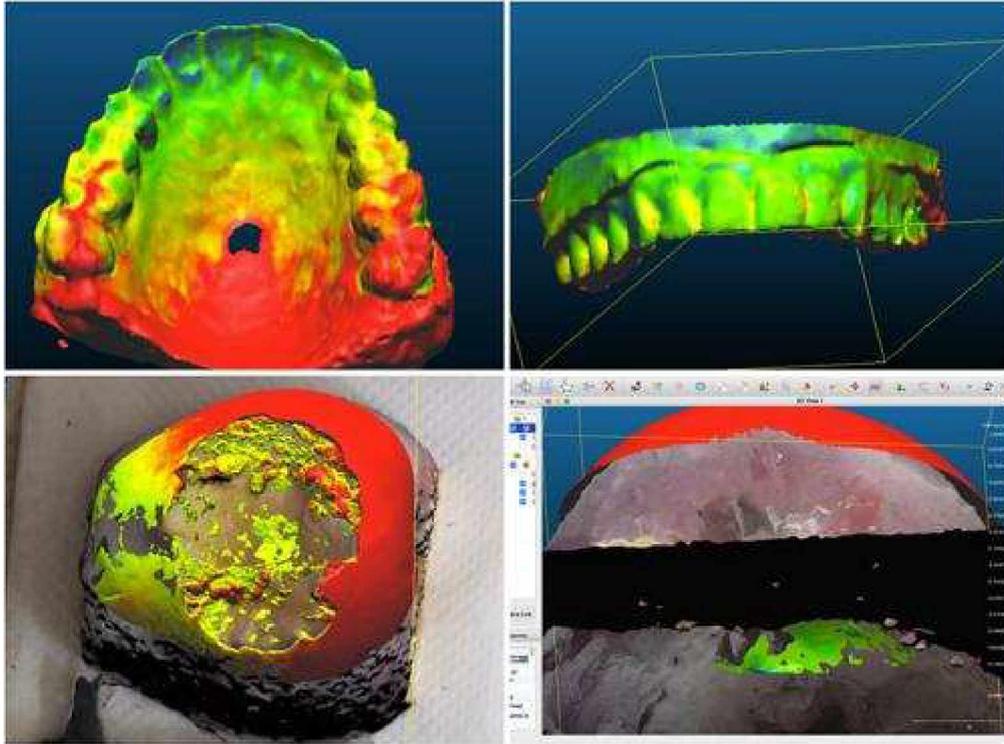


Figura 10. Verificação das regiões de maior (verde) e menor coincidência (vermelho).
Fonte: Autoria própria.

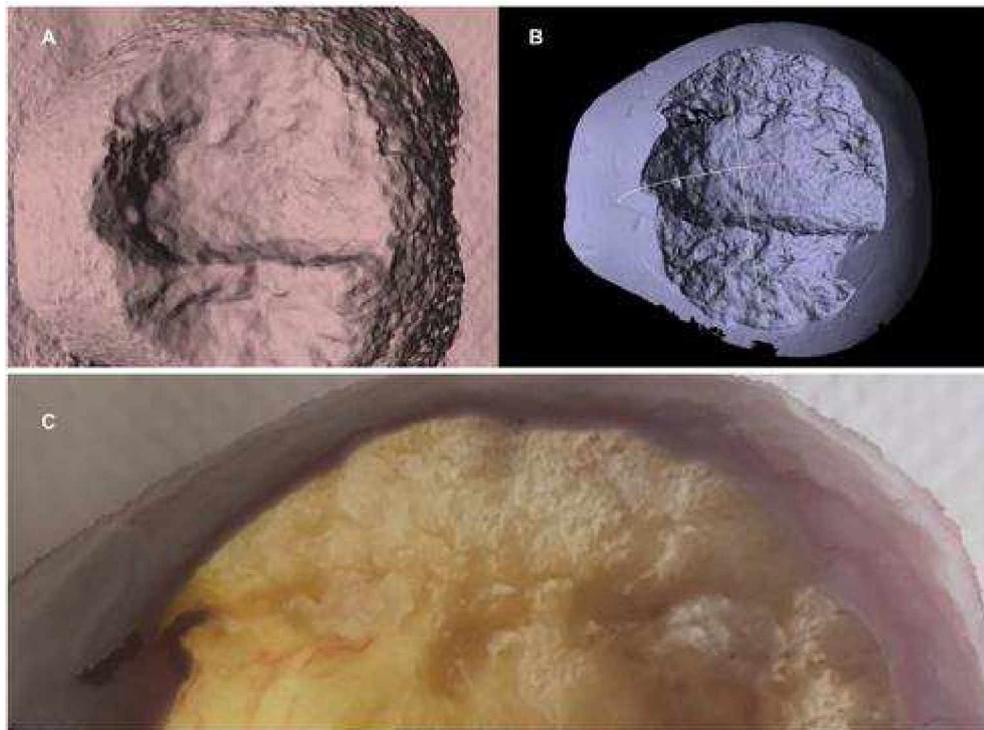


Figura 11. Comparação entre a fotogrametria (A) e o modelo escaneado com maior resolução (B); contrastando com a riqueza de detalhes da textura (C). Fonte: Autoria própria.

5. DISCUSSÃO

A análise de marcas de mordida é um tema complexo e constantemente questionada na Odontologia Legal, desde que se tornou uma evidência, e utilizada como prova pericial. Muitas condenações foram contrariadas nos Tribunais de Justiça, por considerarem os testes empíricos, subjetivos e passíveis de erros, principalmente pela dinâmica do ato de morder (Clement e Blackwell, 2010; Mânica, 2016; Pallam *et al.*, 2016). A marca de mordida em pele pode sofrer alterações dimensionais devido às propriedades biomecânica da região e em alimentos, também sofrem, igualmente, alterações dimensionais, devido o encolhimento e putrefação causados por lapso de tempo entre o fato e a análise (Araújo, 2014).

Há fatores que influenciam na avaliação das impressões e devem ser considerados na análise. Nos casos atuais, para garantir a identificação de marca de mordida como válida, confiável, e aceitas pela Justiça, as perícias devem ser fundamentadas em dados quantitativos em conjunto com metodologias qualitativas, em vez de simples descrições (Marques, 2004; Clement e Blackwell, 2010; Mânica, 2016; Pallam *et al.*, 2016).

Dessa forma, a implementação de novas tecnologias, *softwares* na análise de marca de mordida têm o potencial de revolucionar a análise, registro e interpretação das provas forenses. Deve-se levar em consideração que o adequado reconhecimento, manipulação e interpretação dessas evidências é imprescindível para um perito experiente, além de conhecimentos sobre as características tanto odontológicas quanto em relação a técnica de escolha e ainda estabelecer uma conexão entre essas marcas e um indivíduo suspeito (Silva *et al.*, 2015; Mânica, 2016).

Entre as metodologias, a digitalização em 3D tem um papel promissor na Odontologia Legal. Levando em consideração que o ato de morder envolve três movimentos com características tridimensionais: a maxila e a mandíbula do agressor, a pele ou objeto a que se destina a mordida e o movimento, ou não, da pessoa mordida (Nascimento *et al.*, 2012).

Uma vez gerado o modelo virtual, é possível fazer simulações e análises como o contorno das superfícies dentárias, para a realização do confronto com as imagens obtidas pelos alimentos, permitindo também a manipulação para que os modelos de gesso se posicionem no mesmo plano e se confrontem com a imagem da injúria. Uma grande vantagem a ser ressaltada ainda é que através da análise virtual se tem a possibilidade de comparar mais de um modelo de suspeitos simultaneamente, permitindo uma comparação mais minuciosa (Nascimento *et al.*, 2012).

A digitalização em 3D por meio do escaneamento de superfície é o método de referência e, nesse ensaio, obteve os melhores resultados comparados com a fotogrametria. Foi possível a reprodução do objeto e do alimento estudado, da maneira mais fidedigna. O que já era esperado devido ao grande avanço tecnológico que esta possui em relação a fotogrametria. Também apresenta a vantagem de possuir escala real, diferente da fotogrametria, que demanda uma etapa adicional, por meio de softwares demanda modificação para que seus dados sejam comparados, analisados.

Contudo ambos recursos de digitalização, scanners e fotogrametria, permitem a obtenção de dados possíveis de serem analisados, com mínima manipulação dos objetos e/ou pele humana, garantindo uma melhor preservação das marcas realizadas e por consequência, as informações contidas nessas impressões (Tommaselli, 2009; Tomkinson e Shaw, 2013; Batistela *et al.*, 2017).

A fotogrametria leva vantagem no que diz respeito à sua condição de técnica livre de radiação, que reproduz bem estruturas humanas e objetos tridimensional a um baixo custo e com grande quantidade de informações qualitativas. Essas não podem ser descartadas em ambiente pericial e por si só justificam a execução da técnica mesmo que em colaboração aos *scanners*.

Por sua vez, os *scanners* necessitam de equipamentos dispendiosos que limitam o uso, sendo considerado de difícil aplicação na rotina pericial. No entanto, ele reproduz com perfeição de detalhes estruturas de objetos, mas seria difícil aplicar diretamente sobre lesões na pele. Um ponto em que a fotogrametria se sobressai em relação ao scanner na análise das marcas de mordida (Tommaselli, 2009; Tomkinson e Shaw, 2013; Batistela *et al.*, 2017).

A fotogrametria ainda está em pleno desenvolvimento de avanços científicos significativos em outras áreas como, arquitetura, indústria e engenharia, utilizando de uma curta distância entre a câmera e o objeto a ser analisado (Tommaselli, 2009). Apesar de não haver um resultado comparável ao escaneamento, deve-se considerar deficiência de estudos que se tem utilizado essa tecnologia na área da Odontologia Forense. Isso torna o ensaio apresentado nesse trabalho como uma valiosa colaboração, uma vez que pode trazer direcionamento às pesquisas a serem desenvolvidas. Considerando a evolução recente dos programas computacionais, na qualidade das imagens obtidas e até mesmo na técnica, pode-se esperar resultados melhores com refinamento e investimento em equipamentos de captura. Mesmo com investimento nesse campo, a técnica persistirá como vantajosa, se comparado aos equipamentos de escaneamento de superfície.

Trata-se de uma técnica tão promissora, que se bem executada pode ser inserida em diversas áreas, como na Reconstrução Facial, no auxílio de autópsia, com estabelecido no projeto *VIRTOPSY*, que é uma alternativa virtual que utiliza tecnologias de digitalização e imagem para realizar necropsias (Panda *et al.*, 2015).

As ferramentas Booleanas, aqui demonstradas apresentam grande utilização nessas análises por assemelhar aos processos que geram as marcas de mordida. Os modelos positivos e negativos possibilitados pela técnica permitem a sobreposição direta e comparação quantitativa como nenhum outro método. Os resultados mais promissores foram obtidos com a moldagem direta do alimento, gerando um modelo positivo que permite a sobreposição com os dentes do suspeito. As próximas investigações devem procurar essa dinâmica de trabalho para testar fatores como a individualidade da mordida, além da possibilidade de falsos positivos e negativos.

6. CONCLUSÃO

Ambas técnicas, o escaneamento de superfície e fotogrametria obtiveram, de certa forma, um índice de sucesso na comparação entre indivíduos e as marcas deixadas por sua mordida em alimentos (queijo e maçã). Porém, o grau de detalhes do escaneamento de superfície foi superior no nível de detalhes que requer a técnica.

Os modelos positivos das marcas em alimento, obtidos utilizando ferramentas booleanas, foram os que produziram resultados visuais mais confiáveis quando comparados à superfície dos dentes do suspeito.

Novos estudos com fotogrametria necessitam ser realizados para verificar a sua validade como método de análise de marca de mordida, mas é um caminho promissor, devido a facilidade da técnica e o baixo custo. Porém avanços significativos na técnica serão necessários.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. **Marcas de mordida e a identificação humana**. 2012. 65 (Mestrado). Faculdade Odontologia, Universidade Fernando Pessoa, Portugal.

ARAÚJO, L. **Análise física e biológica das marcas de mordidas em alimentos e atos de sucção de bebidas para fins de identificação humana**. 2014. 155 (Mestrado). Faculdade de Odontologia, USP, Ribeirão Preto.

BATISTELA, C.; MORAES, C.; DIAS, P. Comparação entre cinco sistemas de digitalização 3D por fotogrametria aplicados à antropologia forense e odontologia legal. **Rev. Bras. Odontol. Leg. RBOL**, v. 4, n. 3, p. 33, 2017.

BEAINI, T. L. et al. Human identification through frontal sinus 3D superimposition: Pilot study with Cone Beam Computer Tomography. **J Forensic Leg Med**, v. 36, p. 63-9, Nov 2015. ISSN 1752-928x.

CHARTON, J.; LAURENTJOYE, M.; KIM, Y. 3D Boolean operations in virtual surgical planning. **Int J Comput Assist Radiol Surg**, v. 12, n. 10, p. 1697-1709, Oct 2017. ISSN 1861-6429. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28702927>>.

CLEMENT, J. G.; BLACKWELL, S. A. Is current bite mark analysis a misnomer? **Forensic Sci Int**, v. 201, n. 1-3, p. 33-7, Sep 2010. ISSN 1872-6283. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20399049> >.

GARRIDO, G.; GIOVANELLI, A. Criminalística: origens, evolução e descaminhos. **Cadernos de ciências sociais aplicadas**, v. 5, n. 6, p. 60, 2009.

GIRI, S. et al. Analysis of bite marks in food stuffs by CBCT 3D-reconstruction. **Journal of Oral Biology and Craniofacial Research**, v. 9, n. 1, p. 27, 2019.

MARQUES, J. **Metodologias de identificação de marcas de mordidas**. 2004. 141 (Mestrado). Faculdade de Odontologia, USP, São Paulo.

MÂNICA, S. Dificuldades e limitações do uso de análise de marcas de mordida em odontologia forense- uma carência de ciência. **Rev Bras Odontol Leg- RBOL**, v. 3, n. 2, p. 91, 2016.

NASCIMENTO, M. et al. Identificação de indivíduos por meio das marcas de mordida em alimentos utilizando a engenharia reversa e a prototipagem rápida: caso simulado. **Arq. Odontol**, v. 48, n. 3, p. 141, 2012.

PALLAM, N. K. et al. Computer-based method of bite mark analysis: a benchmark in forensic dentistry? **Journal of forensic dental sciences**, v. 8, n. 1, p. 39, 2016.

PANDA, A. et al. Virtopsy Computed Tomography in Trauma: Normal Postmortem Changes and Pathologic Spectrum of Findings. **Curr Probl Diagn Radiol**, v. 44, n. 5, p. 391-406, 2015 Sep-Oct 2015. ISSN 1535-6302. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25956952> >.

SILVA, R.; MARQUES, J. Análise de impressão de mordidas com impressão 3D. **Revista Uniñtalo em Pesquisa**, v. 10, n. 2, p. 49, 2018.

SILVA, V. R. E.; TERADA, A. S. S. D.; SILVA, R. H. A. D. A importância do conhecimento especializado do cirurgião- dentista nas equipes de perícia oficial do Brasil. **RBOL**, v. 2, n. 1, p. 68-90, 2015.

TOMKINSON, G.; SHAW, L. Qualification of the postural and technical errors in asymptomatic adults using direct 3d whole body scan measurements of standing posture. **Gait and Posture**, v. 37, n. 2, p. 177, 2013.

TOMMASELLI, A. **Fotogrametria básica–Introdução**. 2009. UNESP