



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE
DOUTORADO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

NICOLE PRATA DAMASCENA

**MORFOMETRIA GEOMÉTRICA EM FOTOGRAFIAS FACIAIS
FRONTAIS PARA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E
DIAGNÓSTICO DE IDADE**

ARACAJU

2023

NICOLE PRATA DAMASCENA

**MORFOMETRIA GEOMÉTRICA EM FOTOGRAFIAS FACIAIS
FRONTAIS PARA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E
DIAGNÓSTICO DE IDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal de Sergipe como requisito à obtenção do grau de Doutora em Ciências da Saúde.

Orientador: Paulo Ricardo Saquete Martins Filho

Coorientador: Carlos Eduardo Palhares Machado

ARACAJU

2023

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA SAÚDE – BISAU
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

D155m	<p>Damascena, Nicole Prata</p> <p>Morfometria geométrica em fotografias faciais frontais para avaliação do crescimento e diagnóstico de idade / Nicole Prata Damascena ; orientador Paulo Ricardo Saquete Martins Filho ; coorientador Carlos Eduardo Palhares Machado. – Aracaju, 2023.</p> <p>96 f. : il.</p> <p>Tese (doutorado em Ciências da Saúde) – Universidade Federal de Sergipe, 2023.</p> <p>1. Ciências da saúde. 2. Odontologia. 3. Diagnóstico por imagem. 4. Antropologia Forense. 5. Avaliação de crescimento. I. Martins Filho, Paulo Ricardo Saquete, orient. II. Machado, Carlos Eduardo Palhares, coorient. III. Título.</p> <p>CDU 616.314.18</p>
-------	---

NICOLE PRATA DAMASCENA

**MORFOMETRIA GEOMÉTRICA EM FOTOGRAFIAS FACIAIS
FRONTAIS PARA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E
DIAGNÓSTICO DE IDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal de Sergipe como requisito à obtenção do grau de Doutora em Ciências da Saúde.

Aprovada em: 10/08/2023

Orientador: Paulo Ricardo Saquete Martins Filho
Universidade Federal de Sergipe

Coorientador: Carlos Eduardo Palhares Machado
Instituto Nacional de Criminalística – Polícia Federal

1º examinador: Jamilly de Oliveira Musse
Departamento de Polícia Técnica da Bahia

2º examinador: Rosane Pérez Baldasso
Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul

3º examinador: Bianca Marques Santiago
Universidade Federal da Paraíba

4º examinador: Shirley Verônica Melo Almeida Lima
Universidade Federal de Sergipe

ARACAJU

2023

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra à minha querida família: meus ídolos Noemia, Maurício e Nayra. Amo vocês!

AGRADABECIMENTOS

A Deus por tantas bençãos/gracas em minha vida. E ao Universo por ser tão generoso comigo. À minha amada família, mamis Noemia, dad Maurício e irmã Nayra (e cunhas Brucce), minha base, meus maiores exemplos e incentivadores, meu tudo, por toparem tantas aventuras e seguirmos sempre juntos em prol dos nossos sonhos. Vocês são o melhor que a vida me deu e sou muito abençoada por viver com essa família maravilhosa. Amo vocês infinitamente! Estendo os agradecimentos aos demais familiares e amigos que sempre me apoiam e torcem por mim, em especial a minha querida afilhada Gabriela. Essa conquista é nossa!

Ao meu orientador professor doutor Paulo Ricardo Martins Filho, por aceitar esse desafio de entrar no mundo mágico das Ciências Forenses e conduzir tudo de forma tão brilhante. Você é genial e um profissional que nos orgulha muito. Uma honra tê-lo como parceiro em nosso grupo de pesquisa. Ao Laboratório de Patologia Investigativa, aos colegas e professores da pós-graduação. À UFS, onde tanto aprendo desde a graduação, o mestrado e o doutorado.

Ao meu querido coorientador perito criminal federal Carlos Eduardo Palhares, um gigante que me faz ver mais longe e seguir voos cada vez mais altos, por tantas oportunidades, por todo aprendizado, pela longa parceria e por dedicar sua vida às Ciências Forenses e à perícia brasileira de forma tão genial. Você é meu grande exemplo profissional, meu mestre-mor e sou sua maior fã. À Polícia Federal, especialmente ao Instituto Nacional de Criminalística, por possibilitar estreitar os laços entre a academia/pesquisa e a prática pericial e por me acolher como colaboradora em tantos projetos. Agradeço também ao perito criminal federal Alexandre Deitos, pela parceria e por tantos ensinamentos na perícia criminal e na Antropologia Forense. Ao nosso grupo de pesquisa, em especial à perita criminal Rosane Baldasso, à perita odontolegista Bianca Santiago, à professora Shirley Lima, à perita criminal federal Analany Dias, à antropóloga forense Melina Calmon e à professora Laíse Lima, pela parceria, amizade, apoio e aprendizado. Vocês são incríveis e tenho grande admiração e carinho por todas.

Ao Departamento de Polícia Técnica da Bahia, onde vivo o sonho de trabalhar com o que amo, e aos colegas peritos que me inspiram e me apoiaram nessa jornada, em especial aos meus queridos amigos peritos Jamilly Musse e Osvaldo Silva e às suas respectivas famílias.

À Universidade de Granada, por me receber no período do doutorado sanduíche, em especial à querida professora doutora Inmaculada Alemán e aos demais colegas do Laboratório de Antropologia Física. À Universidade de Coimbra, onde tanto aprendi no estágio realizado no Laboratório de Antropologia Forense, em especial à professora doutora Eugénia Cunha, minha grande referência internacional. Foram experiências enriquecedoras e inesquecíveis.

À CAPES e ao CNPq, pelo financiamento no desenvolvimento das nossas pesquisas.

Enfim, a todos que contribuíram/torceram para essa conquista. Estou muito feliz! Gratidão!

EPÍGRAFE

"Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes."
(Isaac Newton)

RESUMO

O estudo do crescimento facial com foco na estimativa e diagnóstico de idade tem grande importância para as ciências médicas, odontológicas e forenses. Todavia, inexiste método cientificamente capaz de suportar resultados periciais exclusivamente baseados em imagens bidimensionais, que muitas vezes é o único material disponível para análise. O objetivo desse estudo foi avaliar a aplicabilidade da Morfometria Geométrica na detecção de padrões de crescimento facial de crianças, adolescentes e adultos jovens brasileiros, de ambos os sexos, para fins de diagnóstico de idade em contextos forenses. A análise facial automatizada foi realizada em 4.000 (quatro mil) fotografias frontais de indivíduos brasileiros do banco civil de imagens da Polícia Federal, igualmente divididos em grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos e nos sexos feminino e masculino. As análises foram realizadas no software R (versão 3.6), adotando-se nível de significância de 5%. O padrão facial da amostra foi modelado com o uso do pacote estatístico *geomorph* e a aplicação da Morfometria Geométrica como método de diagnóstico de idade foi baseada no paradigma Procrustes. O desempenho do método em termos de acurácia, sensibilidade e especificidade foi testado a priori através de um modelo de Regressão Logística Multinomial. O padrão de crescimento observado mostrou um aumento vertical da face em ambos os sexos ao longo dos anos, de forma mais lenta e pronunciada nos homens, com um alongamento da face mais evidente em especial no seu terço inferior. A metodologia da Morfometria Geométrica apresentou valores interessantes de discriminação etária, atingindo aproximadamente 70% (69,3%, IC 95% 72,7 – 76,6) de acerto na previsão das idades. O melhor desempenho do método foi observado para a idade de 6 anos (Sensibilidade: 87,3%, IC 95% 85,1 – 89,3; Especificidade: 95,6%, IC 95% 94,1 – 96,8), especialmente na presença de fotografias de crianças do sexo feminino. Para os demais grupos etários, a Morfometria Geométrica apresentou melhor performance no diagnóstico da idade entre indivíduos do sexo masculino. Assim, o estudo contribuiu para o estabelecimento de padrões de crescimento populacional a partir da Morfometria Geométrica facial, indicando-a como um método promissor para diagnóstico da idade em contextos forenses.

Descritores: Análise facial. Análise morfológica. Antropologia Forense. Estimativa de idade. Diagnóstico de idade. Estimativa de sexo. Morfometria Geométrica.

ABSTRACT

The study of facial growth with a focus on age estimation and diagnosis is of great importance to medical, dental, and forensic sciences. However, there is currently no scientifically validated method to support forensic results based solely on images, which are often the only available material for analysis. The aim of this study was to evaluate the applicability of Geometric Morphometrics in detecting facial growth patterns in Brazilian children, adolescents, and young adults of both sexes, for the purpose of age estimation in forensic contexts. Automated facial analysis was performed on 4,000 frontal photographs of Brazilian individuals from the civil image database of the Federal Police, equally divided into age groups of 6, 10, 14, and 18 years, and both female and male sexes. The analyses were conducted using R software (version 3.6), with a significance level of 5%. The facial pattern of the sample was modeled using the statistical package geomorph, and the application of Geometric Morphometrics as an age estimation method was based on the Procrustes paradigm. The performance of the method in terms of accuracy, sensitivity, and specificity was tested a priori using a Multinomial Logistic Regression model. The observed growth pattern showed a vertical increase in the face in both sexes over the years, with a slower and more pronounced growth in males, particularly in the lower third of the face. The Geometric Morphometrics methodology showed interesting age discrimination values, achieving an accuracy rate of approximately 70% (69.3%, 95% CI 72.7 - 76.6) in age prediction. The best performance of the method was observed for the age of 6 years (Sensitivity: 87.3%, 95% CI 85.1 - 89.3; Specificity: 95.6%, 95% CI 94.1 - 96.8), especially in the presence of photographs of female children. For the other age groups, Geometric Morphometrics exhibited better performance in age estimation among male individuals. Thus, the study contributed to establishing population growth patterns using facial Geometric Morphometrics, indicating it as a promising method for age estimation in forensic contexts.

Descriptors: Facial analysis. Morphological analysis. Forensic Anthropology. Age estimation. Age diagnosis. Sex estimation. Geometric Morphometry.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Quadro 1. Descrição adotada no estudo para as referências fotoantropométricas27

Tabela 1. Acurácia da Morfometria Geométrica no diagnóstico da idade em fotografias de indivíduos dos grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos42

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Análise céfalométrica adotada no estudo, de acordo com numeração descrita no Quadro 01: 1. Glabella (g); 2. Nasion (n); 3. Subnasale (sn); 4. Labialesuperius (ls); 5. Stomion (sto); 6. Labialeinferius (li); 7. Gnathion (gn); 8. MidnasalEc (mec); 9. Entocanthion (en); 10. Exocanthion (ex); 11. Iridionlaterale (il); 12. Iridionmediale (im); 13. Pupil (pu); 14. Zygion (zy); 15. Alare (al); 16. Gonion (go); 17. Cheilion (ch); 18. Crista philtri (cph). Fonte: Machado et al. (2017)	26
Figura 2. Distribuição dos pontos analisados nas fotografias de acordo com os grupos etários com intervalos de 4 anos (6, 10, 14 e 18 anos)	31
Figura 3. Distribuição dos pontos analisados nas fotografias de acordo com o sexo para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos	32
Figura 4. Pontos médios analisados nas fotografias de acordo com o sexo para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos	33
Figura 5. Resultado da Análise Generalizada de Procrustes em fotografias para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos	34
Figura 6. Direção do crescimento facial em relação à idade de 6, 10, 14 e 18 anos, para os sexos masculino e feminino	35
Figura 7. Direção do crescimento facial em relação à idade de 6, 10, 14 e 18 anos, para o sexo masculino	36
Figura 8. Direção do crescimento facial em relação à idade de 6, 10, 14 e 18 anos, para o sexo feminino	37
Figura 9. Resultados da análise de componentes principais mostrando o mapa percentual (A) e os pontos médios (B) para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos	39
Figura 10. Sensibilidade e especificidade da Morfometria Geométrica para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos	43
Figura 11. Acurácia da Morfometria Geométrica na distinção entre grupos etários, de acordo com os sexos	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 Antropologia, crescimento e análise facial.....	15
2.2 Estimativa de idade por meio de imagens e sua importância forense.....	17
2.3 Morfometria geométrica (MG).....	21
3 OBJETIVOS	25
3.1 Objetivo geral	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 Desenho e amostra do estudo.....	26
4.2 Análise facial	27
4.3 Metodologias para detecção do padrão facial e diagnóstico de idade	30
4.4 Modelagem e análise estatística	30
4.5 Aspectos éticos e legais	31
5 RESULTADOS	33
5.1 Padrão morfométrico da população estudada.....	33
5.1.1 Análise descritiva – Diagrama de pontos	33
5.1.2 Análise descritiva – Pontos médios	35
5.1.3 Morfometria Geométrica – Análise Generalizada Procrustes e diagrama de pontos	36
5.1.4 Morfometria Geométrica – Análise Generalizada de Procrustes e gráficos de deslocamento.....	36
5.1.5 Análise de componentes principais – Mapa percentual	40
5.2 Acurácia, sensibilidade e especificidade da Morfometria Geométrica como método de diagnóstico da idade.....	42
6 DISCUSSÃO	47
7 CONCLUSÃO.....	52
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXO A - PARECER CONSUBSTANIADO COM APROVAÇÃO DO CEP	59
ANEXO B – NORMAS DA REVISTA FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL.....	63
ARTIGO 1: Is facial geometric morphometrics a useful method for age estimation in children and adolescents? Limited evidence and lack of studies leave us with an uncertain answer.	78
ARTIGO 2: Accuracy of geometric morphometric for age estimation using frontal face photographs.....	80

1 INTRODUÇÃO

O estudo do crescimento facial é fundamental para as ciências médicas e odontológicas, tanto do ponto de vista clínico com fins diagnósticos e terapêuticos quanto do ponto de vista forense para estimativa da idade de indivíduos. Além disso, enfatiza-se a importância da análise do crescimento facial para as áreas que demandam conhecimentos populacionais sobre as características morfológicas de crianças e adolescentes (BERGMAN et al., 2014; ENLOW, 1990).

A compreensão do crescimento facial para fins de estimativa da idade é relevante no contexto ético, legal e criminal, pois pode servir de base para a investigação de delitos, desastres em massa ou crimes de guerra. No campo forense, o diagnóstico da idade é necessário para indicar, por exemplo, a probabilidade do indivíduo examinado ter atingido uma faixa etária com valor legal específico, como os 18 anos para a maioridade penal e os 14 anos para critérios de vulnerabilidade utilizados no Brasil (DEITOS et al., 2020; SCHMELING et al., 2006).

Entende-se que a compreensão das características de um grupo específico é etapa fundamental para que se busque diferenciá-lo de grupos diversos (KOLAR; SALTER, 1997). A compreensão das mudanças de proporções faciais decorrentes do processo de maturação e desenvolvimento ainda representa tarefa complexa e desafiadora, uma vez que as estruturas possuem crescimento alométrico, com diferentes padrões de mudança dimensional, variando em função da idade e do sexo (ENLOW, 1990; GAYON, 2000).

Em Antropologia Física, grande parte do estudo para compreensão do crescimento está baseada na análise das proporções. Mais recentemente, essa área de conhecimento tem buscado adaptar suas metodologias para o estudo em imagens, na chamada Fotoantropometria, que expandiu o potencial exploratório do método (BALDASSO et al., 2019; FLORES; MACHADO; SILVA, 2017; FLORES et al., 2019; GONZALES; MACHADO; MICHEL-CROSATO, 2018; MACHADO et al., 2017, 2019; MORETON; MORLEY, 2011; PORTO et al., 2019).

Além dos métodos mais tradicionais supracitados, uma das metodologias mais promissoras para diferenciação morfológica de espécies, ratificada nacional e internacionalmente, é a Morfometria Geométrica (MG) (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004; MARCUS et al., 1996; MITTEROECKER; GUNZ, 2009; MYDLOVA et al., 2015; SAN-MILLÁN; RISSECH; TURBÓN, 2017; SIĞIRLI; ERCAN, 2013; STYNER et al., 2005; ZELDITCH et al., 2004), conceituada como o estudo estatístico das mudanças e variações na forma e tamanho (MONTEIRO; REIS, 1999).

No campo forense, o crescimento facial se apresenta como um fenômeno relevante no desenvolvimento de metodologias de estimativa de idade em diversos casos, especialmente nas suspeitas de pornografia infantil (MACHADO et al., 2017, 2019). Este é um dos crimes que mais cresce no mundo, caracterizado pela propagação e armazenamento de imagens de cunho pornográfico envolvendo crianças e adolescentes, em situações reais ou simuladas (Art. 241 da Lei nº 8.069 de 1990 – Estatuto da Criança e do Adolescente (BRASIL, 1990).

Portanto, diante de casos suspeitos de Pornografia Infantil, como estimar a idade dos indivíduos representados nas imagens sem que se tenha acesso físico a eles? Sem a estimativa ou diagnóstico de idade, não há o que se falar em constatação da materialidade de tais crimes. Por sua vez, sem a comprovação da materialidade não há como se esperar condenações dos suspeitos (MIRABETE, 2005).

A partir do conhecimento científico, não existe um método devidamente comprovado para estimar idade baseado exclusivamente em imagens bidimensionais (CATTANEO et al., 2009; CUNHA et al., 2009). Não obstante existirem técnicas consolidadas para estimativa de idade, como o exame das características de maturação sexual, exame radiográfico dos ossos da mão e do punho e o exame odontológico. Todavia, todas elas dependem principalmente do acesso físico aos indivíduos examinados, uma vez que foram desenvolvidas para emprego clínico (SCHMELING et al., 2007).

Há uma compreensão de que a correlação existente entre as proporções faciais e a progressão da idade poderia trazer promissora contribuição nos casos em que é possível visualizar a face das vítimas (BALDASSO et al., 2019; BORGES et al., 2018; CATTANEO et al., 2012; MACHADO et al., 2017, 2019; MYDLOVA et al., 2015). Uma

vez entendida esta correlação, além de estimar a idade, também seria possível o emprego dos métodos em outros campos forenses, como o de progressão de crescimento em casos de crianças desaparecidas e projeção de envelhecimento de foragidos (DEITOS et al., 2020).

Buscamos essa correlação em uma revisão sistemática que identificou dois estudos que demonstraram o uso da MG para estimativa de idade em crianças e adolescentes, mostrando resultados promissores em termos de precisão e erro. A MG é um método não invasivo que tem demonstrado aplicações potenciais, dentre outras áreas, na estimativa de idade, que pode ser particularmente relevante em investigações forenses. No entanto, devido à escassez de estudos na área e uma agenda de pesquisa deve ser estabelecida para priorizar a avaliação da acurácia diagnóstica da MG facial na estimativa e diagnóstico da idade de crianças e adolescentes (DAMASCENA et al., 2023).

Nesse contexto, o presente estudo objetiva compreender e aprofundar o entendimento sobre padrões de crescimento facial de crianças, adolescentes e adultos jovens brasileiros por meio da MG em fotografias em norma frontal, com vistas ao estabelecimento de determinantes morfológicos em saúde, contribuindo para o estabelecimento de padrões populacionais de crescimento. A hipótese desta tese considera que é possível utilizar a morfologia facial por meio da MG como metodologia de diagnóstico de idade em situações forenses que envolvam imagens bidimensionais de crianças e adolescentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Antropologia, crescimento e análise facial

A Antropologia pode ser definida, de forma simplificada, como o estudo da humanidade. É o campo de investigação que estuda a cultura humana e os aspectos evolutivos da sua biologia, nas perspectivas culturais, antropológicas, arqueológicas, linguísticas e físicas ou biológicas. Na chamada Antropologia Física ou Biológica, a variação física humana é refletida e descrita na tentativa de explicar as diferenças biológicas presentes entre as populações (JURMAIN; KILGORE; TREVANTHAN, 2009). Ao longo do tempo, isso tem desempenhado um papel fundamental principalmente no desenvolvimento e aplicação de métodos quantitativos, estudados pela Antropometria (BYERS, 2005).

A Antropometria é entendida como o ramo da Antropologia Física que estuda o ser humano a partir de suas medidas e tem como objetivos o estudo dos caracteres mensuráveis da morfologia humana e a análise quantitativa das variações dimensionais do corpo humano por meio de instrumentos de medição (BYERS, 2005). Para se estudar a morfologia facial de forma objetiva, no entanto, as proporções e relações do normal e do anormal devem ser examinadas quantitativamente. A Antropometria Facial empresta suas técnicas para que tais exames possam ser realizados (FLORES; MACHADO; SILVA, 2017; FLORES et al., 2019).

O estudo do crescimento facial tem grande importância para as ciências médicas e odontológicas, tanto em seu aspecto clínico com finalidade diagnóstica, como também no campo forense com foco nos estudos de estimativa de idade. Apesar da evolução científica verificada em campos envolvidos com o crescimento de indivíduos jovens, as mudanças de proporções faciais decorrentes do processo de maturação e desenvolvimento ainda precisam ser melhores entendidas e estudadas (ENLOW, 1990; GAYON, 2000).

Uma vez que as estruturas possuem diferentes padrões de mudança dimensional em função da idade e sexo, compreender o crescimento alométrico da face é fundamental para desenvolver exames faciais com finalidade de discriminação de grupos. Apesar do crescimento da face ser estudado intensivamente, ainda há

dúvidas sobre o período e as taxas de envelhecimento ao longo da vida adulta e em que extensão difere entre homens e mulheres (SMITH et al., 2021a,b).

Normalmente, o crescimento cessa entre 15 e 17 anos de idade com o fechamento das cartilagens dos ossos, e cerca de 10% dos meninos podem crescer até 21 anos. Esse crescimento não é proporcional, uma vez que há diferenciação do desenvolvimento das estruturas corporais e da face. Ao comparar o tamanho dos braços e das pernas, por exemplo, vê-se que crescem até na mesma proporção, em um crescimento conhecido como isométrico. Já ao comparar a cabeça em relação ao corpo inteiro, essa tem $\frac{1}{4}$ do tamanho quando criança e $\frac{1}{8}$ quando adulto, caracterizando-se como um crescimento em diferentes proporções, chamado alométrico. Essa diferença de crescimento permite estabelecer correlações entre medidas, o que auxilia em alguns diagnósticos (GAYON, 2000; PROFFIT, 2007).

A finalidade determinante das análises faciais científicas é a busca por padrões, seja de variação, associação, causalidade ou herança, para que sejam estudadas as probabilidades de ocorrência de certa característica na amostra estudada (DEMAYO et al., 2009). Examinando a variação biológica entre as populações é possível obter informações valiosas sobre os mecanismos de mudança e o processo evolutivo de diversos grupos ao longo do tempo (JURMAIN; KILGORE; TREVANTHAN, 2009). Essas informações são de extrema importância para as ciências forenses, mais especificamente em metodologias de classificação para fins de identificação humana.

Dentro dos assuntos que envolvem a aplicação forense, as estruturas faciais são rotineiramente utilizadas para o levantamento de padrões antropométricos populacionais em estudos e traçados biotipológicos para estimativas de idade, sexo, ancestralidade, assim como para o estabelecimento e padronização de técnicas de identificação e reconhecimento facial. Nesse sentido, a Antropologia Física busca constantemente adaptar suas metodologias para novas análises, a exemplo da Fotoantropometria, que expandiu o potencial exploratório do método na análise de imagens (BALDASSO et al., 2019; FLORES et al., 2019; GONZALES; MACHADO; MICHEL-CROSATO, 2018; MACHADO et al., 2017, 2019; MORETON; MORLEY, 2011; PORTO et al., 2019).

A Fotoantropometria é uma técnica para extração de informação antropológica baseada em dados quantitativos. A análise antropométrica é uma metodologia quantitativa, que mede distâncias lineares e ângulos. Quando essas distâncias lineares são associadas, tem-se um índice, que é a razão centesimal entre duas medidas. Esse é o método clássico utilizado para análise facial, que leva em consideração as medidas relacionadas duas a duas, chamadas índices faciais (CATTANEO et al., 2009, 2012; FLORES et al., 2019; MACHADO et al., 2019). Adaptações realizadas por Machado et al. (2017) trouxeram resultados interessantes por meio da análise das relações iridianas, baseada nas relações entre o diâmetro da íris e um conjunto de medidas faciais. De uma forma geral, evoluir no aprimoramento e padronização das técnicas de exame facial sobre imagens fotográficas é de grande relevância para os estudos de crescimento facial.

2.2 Estimativa de idade por meio de imagens e sua importância forense

Exames de estimativa de idade são realizados por métodos baseados principalmente em mudanças que ocorrem ao longo da vida do indivíduo. São didaticamente divididos em: (1) métodos baseados em fenômenos evolutivos do corpo humano, aplicados primordialmente à estimativa de idade de crianças, adolescentes e indivíduos jovens, e (2) métodos baseados em fenômenos involutivos do organismo humano, indicados para adultos com idade mais avançada (PALHARES MACHADO et. al., 2022).

Importante destacar que idade cronológica é a idade retrospectiva e mede quantos anos a pessoa já viveu. Já a idade biológica de uma pessoa é determinada pelo grau de maturação dos diferentes sistemas teciduais do organismo, a qual pode ser usada para definir o progresso de uma criança em direção à completude do desenvolvimento ou maturidade. A variância de eventos – seja por influência de fatores genéticos, ambientais, hormonais, sexuais, nutricionais ou biotípico – no crescimento e desenvolvimento na população em geral pode explicar o porquê da diferença nos padrões de uma população para outra (PALHARES MACHADO et. al., 2022).

No contexto forense, os métodos de estimativa de idade descritos na literatura são baseados em vários critérios que, embora equivalentes, apresentam seus limites, erro médio, situação e faixa etária em que obtêm os melhores resultados. Há distinção quando se trata de exames de corpos não identificados e restos humanos esqueletizados, para fins de identificação, ou de indivíduos vivos, de forma direta ou indireta (a exemplo de imagens), utilizada na resolução de problemas civis e judiciais em menores de idade como questões de imputabilidade, adoção e pornografia/pedofilia. A falta de padronização e consenso sobre qual método pode ser utilizado, bem como a falta de uma abordagem prática em diferentes casos, é a limitação principal em um processo correto de estimativa de idade, tanto para adultos e subadultos, mortos e vivos, e material pedopornográfico (CUNHA et al., 2009; SCHMELING et al., 2006).

Estimativa da idade de pessoas em fotografias ou vídeos é necessária principalmente no contexto de análise de conteúdo de material pornográfico suspeito de pornografia infantil ou juvenil. A estimativa de idade em pessoas vivas para propósitos criminais deve consistir em três fases, segundo o Grupo de Estudos em Diagnóstico Forense de Idade (*Study Group on Forensic Age Diagnostics – AGFAD*): (1) Exame físico composto por anotações sobre dados antropométricos, sinais de maturação sexual e quaisquer desordens de desenvolvimento que estejam relacionadas com a idade; (2) Exame de raios-x da mão e do punho (radiografia carpal); (3) Exame odontológico com anotações sobre o tipo de dentição observada, com avaliação em radiografia panorâmica (MAYER et al., 2014; SCHMELING et al., 2007).

Tais métodos são muito limitados para estimativa de idade em imagens que, por vezes, são o único meio de prova disponível para constatação dos delitos. Nos casos de pornografia infantil, por exemplo, as imagens serão os únicos vestígios capazes de vincular o agressor e estabelecer a materialidade do crime (CATTANEO et al., 2009, 2012; CUNHA et al., 2009). Atualmente, a pornografia infantil é considerada o motor de uma indústria que movimenta bilhões de dólares por ano, cujo combate está na dependência, entre outros, da capacidade de se estimar cientificamente a idade dos indivíduos representados nas imagens de conteúdo suspeito (MAALA, 2009; MAYER et al., 2014; SCHELL et al., 2007).

Para que se constate este crime, é necessário confirmar que na imagem exista uma pessoa menor de idade. As idades críticas de 14 e 18 anos são consideradas importantes para fins forenses, tendo em vista que a primeira se relaciona com o limite da capacidade de consentir com o ato sexual para o crime de estupro e a segunda tem relação com o limite associado ao crime de Pornografia Infantil (Lei nº 8.069 de 2009 – Estatuto da Criança e do Adolescente). Já na Europa, a estimativa de idade no contexto da infância ou pornografia juvenil refere-se principalmente aos limites de idade de 14, 16 e 18 anos (MAYER et al., 2014). Nesse contexto, os estudos buscam discriminar principalmente essas idades críticas, uma vez que são enquadradas em tipos penais diferentes.

A exemplo, o estudo de Deitos et al. (2020) testou o poder discriminante da análise fotoantropométrica da face humana para distinguir mulheres e homens com idade inferior ou superior a 14 e 18 anos, numa amostra constituída por 1354 fotografias em vista frontal de brasileiros de ambos os sexos com idade entre 10 e 22 anos, e obteve resultados promissores para diagnóstico de idades críticas. Assim, a análise fotoantropométrica da face humana figura como uma ferramenta disponível para o estudo de alterações morfológicas que ocorrem em homens e mulheres e sua relação com as idades críticas de 14 e 18 anos.

Faz-se fundamental o desenvolvimento de metodologias específicas, adaptadas para o uso em imagens. Entre as possibilidades está a observação dos traços e parâmetros faciais, ainda pouco explorada na literatura, mas de grande valor prático (CATTANEO et al., 2009, 2012; MACHADO et al., 2017, 2019; MYDLOVA et al., 2015). A busca por melhores métodos de estimativa da idade, em particular, métodos objetivos baseados em análises morfométricas e estatísticas sobre imagens são essenciais para o fortalecimento da prova técnica no combate de um dos crimes que mais crescem no mundo (BALDASSO; FERNANDES, 2018; BORGES et al., 2018).

O estudo de Cattaneo et al. (2009) verificou a capacidade de diferentes especialistas na avaliação da idade de indivíduos pós-púberes representados em material pornográfico e destacou dificuldades e grandes incertezas da avaliação da idade pela observação visual de material fotográfico, particularmente após atingir o estágio de maturação sexual, destacando a necessidade de uma abordagem

alternativa e de extrema cautela na avaliação judicial. Ratnayake et al. (2014) alertam que o uso de apenas uma avaliação visual da face de crianças e adolescentes para estimar a idade resulta em uma baixa acurácia, além de estimar de forma frágil a idade considerando apenas o período puberal do indivíduo.

Diante da ausência de protocolos científicamente estabelecidos disponíveis para prática forense nos casos de estimativa de idade relacionados à pornografia em fotografias ou vídeos, outro estudo de Cattaneo et al. (2012) explorou a aplicabilidade de proporções faciais como um indicador de idade em imagens. A análise métrica por índices faciais utilizou imagens faciais padronizadas de 353 mulheres e 20 homens de quatro faixas etárias (6, 10, 14 e 18 anos), alemães, italianos e lituanos, extraídos da região frontal e lateral de fotografias e intimamente correlacionados com seus respectivos índices retirados dos indivíduos vivos. As mudanças relacionadas à idade foram identificadas para índices retirados das fotografias e a análise discriminante mostrou que na amostra agrupada, 60,3% dos casos foram corretamente classificados na respectiva faixa etária, sugerindo que a avaliação métrica da face pode ser usada para a estimativa de idade em imagens.

Machado et al. (2019), no âmbito de validação, também usaram esse mesmo conjunto pré-estabelecido de proporções morfológicas para analisar fotografias da face em norma frontal para estimar a idade em uma população brasileira, em 800 fotografias frontais padronizadas (400 mulheres e 400 homens) e distribuídas em 4 faixas etárias (6, 10, 14 e 18 anos). O desempenho discriminante por idade observado na população brasileira foi menos preciso do que o estudo original de Cattaneo et al. (2012), mostrando que apenas 49,6% da amostra total foi corretamente classificada na respectiva faixa etária e destacando a necessidade de adaptações no método.

Machado et al. (2017) verificaram que o diâmetro da íris foi a referência antropométrica fixa mais eficiente para a detecção de crescimento facial alométrico e propuseram uma metodologia modificada. Foram utilizadas relações iridianas na análise da face de 1.000 brasileiros, com idades entre os 6 e os 22 anos, distribuídos igualmente por sexo e divididos em cinco faixas etárias (6, 10, 14, 18 e 22 anos), na qual as medidas faciais quantificadas a partir de referências antropométricas fixas mostraram-se potencial ferramenta para o estudo do crescimento facial por imagens, representando uma alternativa promissora aos índices faciais convencionais

atualmente utilizados em pesquisas forenses, especialmente contra crimes envolvendo pornografia infantil.

Borges et al. (2018) também fizeram uso das relações iridianas em um estudo com imagens de 1.000 indivíduos de 5 diferentes grupos etários (6, 10, 14, 18 e 22) e encontraram bom desempenho de previsão para estimativa de idade. Apesar dos resultados alcançados serem promissores na busca de proporções faciais em imagens frontais 2D para avaliar materiais em limites de idade infantil relacionados à pornografia, futuros estudos em bancos com maior quantidade de imagens e maior inclusão de diferentes idades ainda são necessários para obter uma maior precisão.

Um outro estudo realizado por Baldasso et al. (2019) com base em análises fotográficas avaliou as alterações morfométricas faciais com o envelhecimento, especificamente sobre o desenvolvimento de orelha, nariz e lábio. A pesquisa avaliou 700 fotografias faciais frontais de indivíduos caucasianos de ambos os sexos com idades entre 20 e 80 anos e indicou a possibilidade de quantificar as alterações morfométricas observadas na face humana com o envelhecimento. As alterações faciais mais evidentes consistiram no aumento do nariz e das orelhas com o envelhecimento, bem como na redução do tamanho da espessura dos lábios, as quais variaram consideravelmente nas faixas etárias específicas estudadas, sendo diferentes entre homens e mulheres.

2.3 Morfometria geométrica (MG)

Morfometria é o estudo estatístico da variação da forma em relação a fatores causais e almeja não somente quantificar as formas biológicas, mas também fazer inferências sobre causas que levam às diferenças de forma (BOOKSTEIN, 1991; MONTEIRO; REIS, 1999). A Morfometria tradicional é um conjunto de métodos do campo da estatística multivariada que utiliza medidas lineares como comprimentos, larguras, ângulos ou razões (proporções) calculadas ou tomadas a partir de estruturas ou partes de organismos (ROHLF; MARCUS, 1993).

Já a MG, ou análise estatística da forma, é definida como um conjunto de métodos de aquisição, processamento e análise de variáveis de forma que preserva

toda a informação geométrica contida nos dados originais (SLICE, 2005, 2007). Os dados utilizados em MG não se baseiam mais em medidas ou ângulos, mas sim em coordenadas cartesianas – distâncias espaciais (em relação à origem de um referencial) que preservam toda a informação geométrica entre um conjunto de pontos, chamadas “marcos anatômicos” ou *landmarks* em inglês. Estas coordenadas podem ser definidas num plano e ter duas dimensões (x, y = 2D) ou em um espaço de três dimensões (x, y, z = 3D) (MONTEIRO; REIS, 1999; ROHLF; SLICE, 1990; ROHLF; MARCUS, 1993).

De acordo com Rohlf e Marcus (1993), a MG é mais eficiente em capturar a informação relacionada à forma dos organismos e apresenta uma maior robustez estatística em relação à Morfometria tradicional, substituindo análises clássicas de distâncias lineares por abordagens geométricas das coordenadas dos pontos de referência anatômicos. Ademais, permite a reconstrução das variações de forma inferidas estatisticamente, importante na visualização das diferenças de forma, identificando onde, como e em que magnitude estão ocorrendo as mudanças.

A Morfometria até o final do século XIX tornou-se uma ferramenta comum nas práticas clínicas e taxonômicas, ganhando importância como medida de saúde pública. Os estudos utilizam o paradigma Procrustes, uma abordagem metodológica para a análise de formas que surge a partir da interseção da teoria estatística da forma e procedimentos analíticos para obter variáveis da forma dos dados de referência, com uma proporção geométrica de pontos invariáveis a escala, rotação e translação. As estruturas de origem biológica passíveis de análise com técnicas de MG são inúmeras e diferentes técnicas vêm sendo extensivamente usadas (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004, 2013).

Nas últimas décadas, principalmente após a revolução morfométrica (ROHLF; MARCUS, 1993; ADAMS; ROHLF; SLICE, 2013), muitos trabalhos vêm sendo publicados em diferentes áreas de interesse da Biologia e em diversos outros trabalhos e técnicas, em especial na Antropologia Forense. Estes estudos de quantificação da forma dos organismos são promissores e podem ser relacionados às áreas de ontogenia (trajetória ontogenética), variação geográfica intraespecífica, taxonomia, sistemática, evolução de caracteres morfológicos, alometria, dimorfismo sexual, estimativa de idade, ecomorfologia, questões funcionais e biomecânicas das

formas biológicas, diagnósticos de doenças (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004, 2013; MARCUS et al., 1996; MITTEROECKER; GUNZ, 2009; MYDLOVA et al., 2015; SAN-MILLÁN; RISSECH; TURBÓN, 2017; SIĞIRLI; ERCAN, 2013; SILVEIRA, 2011; STYNER et al., 2005; ZELDITCH et al., 2004). Atualmente, a metodologia da MG tem sido utilizada no campo da Antropologia Forense para estimativa de idade e sexo, a exemplo do estudo de San-Millán; Riszech; Turbón (2017).

No estudo de Silveira (2011), todas as análises realizadas por meio da MG demonstraram grande êxito no que se refere à diferenciação de táxons e ao dimorfismo sexual de insetos, apresentando um ótimo desempenho na diferenciação dos gêneros, espécies e sexos. O funcionamento da técnica levou a acreditar que o procedimento poderia servir como técnica auxiliar para analisar o dimorfismo sexual e a estimativa de idade em humanos e sua metodologia serviu de base para a pesquisa em questão.

No estudo de Saadé et al. (2018), a forma craniofacial obtida a partir de marcos faciais e basilares do crânio definidos na tomografia computadorizada foi caracterizada e sua variabilidade foi analisada em uma amostra aleatória de pacientes em crescimento por meio do método morfométrico. Foi obtida uma correlação significativa entre tamanho do centróide e idade cronológica, bem como entre o tamanho do centróide e a idade esquelética. A forte previsibilidade do modelo, envolvendo tamanho do centróide, idade cronológica e sexo, indica que o tamanho do centróide da estrutura craniofacial é um bom preditor da idade esquelética.

Alguns estudos que empregam MG analisam mudanças ontogenéticas documentadas no tamanho e forma do crânio durante o crescimento, exploradas com base na análise do tamanho do centróide e configurações de forma tridimensional. Um desses estudos (BRAGA; TREIL, 2007) isolou regiões do crânio para identificar padrões de crescimento em tamanho e forma de maneira independente. Esse estudo demonstrou que o esqueleto facial parece continuar a aumentar acentuadamente por muitos anos até a adolescência em relação à considerável desaceleração do crescimento da caixa craniana após três a quatro anos de idade.

No estudo de Mydlova et al. (2015), verificou-se que o sexo e a idade têm uma influência significativa na forma da face humana, baseado na análise de

correspondência de varreduras faciais de modelos tridimensionais da superfície facial de 194 indivíduos entre 20 e 80 anos de idade. O rosto masculino médio de qualquer idade foi maior do que o rosto feminino médio de idade correspondente. As alterações do envelhecimento foram semelhantes em ambos os sexos, embora a trajetória feminina tenha sido mais curta e menos pronunciada. O rosto feminino durante o envelhecimento tornou-se mais arredondado, enquanto o rosto masculino transformado de oval para retangular e o dimorfismo sexual diminuiu com a idade. Uma alometria significativa para a forma e o tamanho facial foi confirmada e suas trajetórias foram de direções semelhantes para todos os sexos e faixas etárias.

O estudo de Smith et al. (2021a) desenvolveu modelos estatísticos de envelhecimento craniofacial para descrever e comparar o envelhecimento ao longo da vida, utilizando a superfície crâniana de 254 mulheres e 252 homens, com idade entre 20 e 90 anos, no Reino Unido, por meio de métodos morfométricos geométricos. Os resultados indicaram que homens e mulheres envelhecem de maneira diferente e que o envelhecimento difere em caráter, tempo e taxas em ambos os sexos, principalmente entre as fases iniciais e posteriores da idade adulta. Em estudo semelhante, Smith et al. (2021b) indicaram que crianças de 3 a 10 anos sofrem maiores alterações do que as de 11 a 20 anos e que o crescimento e desenvolvimento craniofacial difere entre essas faixas etárias. As análises demonstraram que os homens estendem o crescimento alometricamente em faixas de tamanho maiores, contribuindo substancialmente para o dimorfismo adulto. Apesar de ambos os estudos contribuírem para o conhecimento do envelhecimento da forma craniofacial e do dimorfismo sexual, mais estudos são necessários para avaliar a capacidade de generalização e fornecer melhores dados sobre as diferenças populacionais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- Avaliar a aplicabilidade da Morfometria Geométrica na detecção de padrões de crescimento facial de crianças, adolescentes e adultos jovens brasileiros, de ambos os sexos, para fins de diagnóstico de idade em contextos forenses.

3.2 Objetivos específicos

- Compreender o padrão morfométrico de crianças, adolescentes e adultos jovens brasileiros, em função da idade e sexo, ilustrando as mudanças ocorridas entre os segmentos etários;
- Avaliar a acurácia, a sensibilidade e a especificidade da Morfometria Geométrica como método alternativo para diagnóstico de idade em crianças, adolescentes e adultos jovens brasileiros.

4 METODOLOGIA

4.1 Desenho e amostra do estudo

Trata-se de estudo de acurácia diagnóstica com uma amostra composta por 4.000 imagens selecionadas randomicamente em sistema automatizado, igualmente divididas em 4 segmentos etários (6, 10, 14 e 18 anos), dos sexos feminino e masculino.

As faces incluídas no estudo foram selecionadas de um segmento de aproximadamente 15.000.000 (quinze milhões) de imagens do banco civil da Polícia Federal. Trata-se de banco com imagens padronizadas de indivíduos de todas as regiões do Brasil, produzidas de acordo com as recomendações da ICAO (*International Civil Aviation Organization*) (VOLGER, 2010).

A seleção das imagens levou em consideração os critérios de inclusão descritos a seguir, analisados de forma automatizada:

- Fotografias produzidas com câmera digital com distância focal da lente equivalente a 35mm, posicionada na altura dos olhos do indivíduo fotografado, a uma distância de aproximadamente 1,5 metro;
- Fotografia com fundo claro, produzida com flash frontal com duas fontes luminosas, ambas com película de difusão de luz, para melhoria do contraste;
- Fotografias armazenadas no banco de imagens em formato PNG, com resolução de 480 x 640 pixels, coloridas com 24 bits RGB;
- Expressão neutra, com lábios cerrados, olhando diretamente para a câmera;
- Ausência de barba, bigode, maquiagem pesada ou adornos que dificultassem a visualização das estruturas faciais de interesse;
- Face centralizada em relação ao plano sagital, tendo por referência a visualização de simetria entre as orelhas;

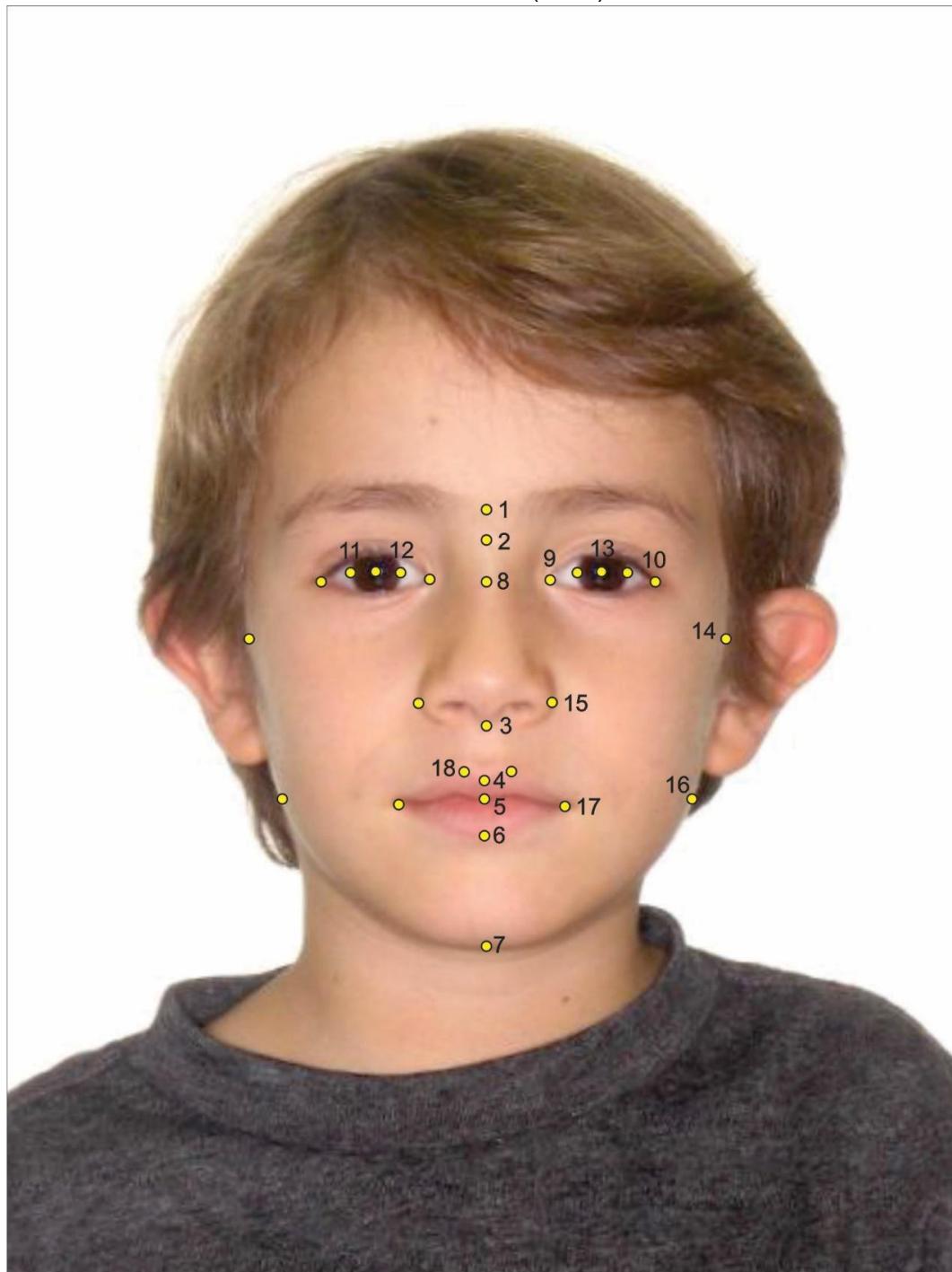
- Face centralizada em relação ao plano horizontal, utilizando como referência o alinhamento entre os cantos dos olhos e o bordo superior da orelha;
- Face centralizada em relação ao eixo sagital, tendo por referência o alinhamento entre os olhos e o plano horizontal (olhos na mesma altura);
- Ausência de assimetrias severas ou deformações, que pudessem comprometer os achados do estudo.

O não atendimento a pelo menos um dos critérios descritos acima foi considerado como suficiente para a não inclusão das imagens no grupo amostral.

4.2 Análise facial

Foi procedida análise automatizada das faces reproduzidas nas imagens (PORTO et al., 2019), por meio da marcação de 28 pontos cefalométricos (FARKAS,1994), baseada na metodologia proposta por Flores et al. (2017) e detalhada em Flores; Machado; Silva (2017), ilustrados na Figura 1.

Figura 1. Análise cefalométrica adotada no estudo, de acordo com numeração descrita no Quadro 01: 1. Glabella (g); 2. Nasion (n); 3. Subnasale (sn); 4. Labialesuperius (ls); 5. Stomion (sto); 6. Labialeinferius (li); 7. Gnathion (gn); 8. MidnasalEc (mec); 9. Entocanthion (en); 10. Exocanthion (ex); 11. Iridionlaterale (il); 12. Iridionmediale (im); 13. Pupil (pu); 14. Zygion (zy); 15. Alare (al); 16. Gonion (go); 17. Cheilion (ch); 18. Crista philtri (cph). Fonte: Machado et al. (2017).



O processo de análise facial automatizada reproduziu a marcação de pontos fotoantropométricos de acordo com a descrição trazida no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1. Descrição adotada no estudo para as referências fotoantropométricas.

Ponto Fotoantropométrico	Tipo	Descrição da localização
1. Glabella (g)	Mediano	Intersecção entre a linha média facial e a linha horizontal que tangencia o bordo superior da circunferência orbitária.
2. Nasion (n)	Mediano	Intersecção da linha média facial com a linha horizontal que passa pelo sulco palpebral superior.
3. Subnasale (sn)	Mediano	Ponto mais inferior da columela (projeção que se encontra entre as narinas).
4. Labialesuperius (ls)	Mediano	Ponto médio da linha branca do lábio superior. Quando presente o arco de cupido, o ponto será marcado em seu ponto mais inferior.
5. Stomion (sto)	Mediano	Ponto na região de encontro dos lábios superior e inferior, posicionado na metade da distância entre os <i>cheilions</i> .
6. Labialeinferius (li)	Mediano	Ponto médio da linha branca do lábio inferior.
7. Gnathion (gn)	Mediano	Ponto mais inferior do mento.
8. MidnasalEc (mec)	Mediano	Ponto sobre a linha média da face, tendo por referência a altura dos <i>exocanthions</i> .
9. Entocanthion (en)	Lateral	Ponto localizado no ângulo medial dos olhos, marcado no encontro das pálpebras superior e inferior.
10. Exocanthion (ex)	Lateral	Ponto localizado no ângulo lateral dos olhos, marcado no encontro das pálpebras superior e inferior.
11. Iridionlaterale (il)	Lateral	Ponto mais lateral da circunferência iridiana.
12. Iridionmediale (im)	Lateral	Ponto mais medial da circunferência iridiana.
13. Pupil (pu)	Lateral	Ponto central da circunferência iridiana.
14. Zygion (zy)	Lateral	Ponto mais lateral do contorno da face à altura dos ossos zigomáticos.
15. Alare (al)	Lateral	Ponto mais lateral da asa do nariz.
16. Gonion (go)	Lateral	Ponto sobre a linha de contorno facial, à altura do <i>stomion</i> .
17. Cheilion (ch)	Lateral	Ponto localizado na comissura labial, em sua região mais lateral.
18. Crista philtri (cph)	Lateral	Ponto alto da crista do arco de cupido, no local de chegada das colunas do filtro labial.

4.3 Metodologias para detecção do padrão facial e diagnóstico de idade

Os dados extraídos da análise automatizada foram empregados na construção de padrões faciais através do método de MG (MYDLOVA et al., 2015; SILVEIRA, 2011). Os indivíduos foram discriminados em função do sexo e idade utilizando-se um agrupamento com imagens de 4 grupos etários, com intervalos de 4 anos (6, 10, 14 e 18 anos). A seleção das idades levou em consideração metodologia proposta por Cattaneo et al. (2012).

4.4 Modelagem e análise estatística

As análises foram realizadas no software R (versão 3.6), adotando-se nível de significância de 5%. A aplicação da MG como método de diagnóstico de idade foi baseada no paradigma Procrustes (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2013), que tem como primeiro passo coletar um conjunto de coordenadas de cada indivíduo, registrando as posições relativas de cada ponto de interesse.

Primeiramente, foi realizada a Análise Generalizada de Procrustes com o objetivo de comparar as formas faciais dos indivíduos presentes nas fotografias através da sobreposição dos mesmos em um sistema de coordenadas comum, corrigindo-se diferenças nas escalas, rotações e orientações. Desta forma, foi possível eliminar as variações indesejadas entre as formas comparadas para análise apenas das diferenças estruturais intrínsecas (GOWER, 1975; ROHLF; SLICE, 1990).

Após a Análise Generalizada de Procrustes, as coordenadas obtidas foram utilizadas na Análise de Componentes Principais, que teve como principal objetivo quantificar e visualizar as diferenças entre as formas comparadas (HOTELLING, 1933; MINGOTI, 2005). Em seguida, os escores obtidos na Análise de Componentes Principais, juntamente com o tamanho do centróide (raiz quadrada da soma dos quadrados das distâncias entre cada marco anatômico e o centróide), foram utilizados para modelar a face do brasileiro com o intuito de diagnosticar a idade referente a cada indivíduo. O pacote estatístico utilizado para essas análises foi o *geomorph*.

O desempenho do método em termos de acurácia, sensibilidade e especificidade foi testado *a priori* através de um modelo de Regressão Logística Multinomial utilizando-se os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos de forma

categórica. A acurácia do modelo multinomial foi determinada comparando a categoria prevista corretamente com a categoria real em cada caso, e calculando a proporção de previsões corretas. A sensibilidade e a especificidade foram calculadas com base na proporção de casos corretamente classificados como verdadeiros positivos e verdadeiros negativos, respectivamente.

A acurácia calculada pela Regressão Logística Multinomial foi também comparada aos resultados obtidos a partir de outros modelos estatísticos, incluindo *Support Vector Machines*, Análise Discriminante, e *Random Forest*, e as diferenças analisadas através do teste de McNemar. Para comparar a acurácia da MG no diagnóstico da idade entre os sexos masculino e feminino, foi utilizado o teste de qui-quadrado de Pearson com correção de continuidade de Yates para garantir uma distribuição qui-quadrado exata e tornar os resultados mais robustos.

Para validar os resultados encontrados, foi utilizado o método *Holdout*, caracterizado como uma técnica de validação cruzada utilizada para avaliar a capacidade de generalização de um modelo a partir de uma determinada base de dados, verificando sua precisão. Para tanto, é necessário dividir a base de dados em dois subconjuntos mutuamente exclusivos e em seguida utilizar um deles para o diagnóstico do modelo (base de treinamento) e o outro para a validação do modelo (base de teste) (KOHAVI, 1995). Foi utilizada uma proporção de 70% para a base de treinamento e o restante para a base teste.

4.5 Aspectos éticos e legais

O presente estudo fez parte de proposta aprovada e financiada pela CAPES (edital nº 25/2014 - Pró-Forenses¹), intitulada “*Antropologia Forense aplicada à realidade do Brasil: Desenvolvimento, aprimoramento e validação de metodologias e protocolos de exames em antropologia, medicina e odontologia forenses*”, e contou com a parceria da Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Universidade de Brasília (UNB) e Instituto Nacional de Criminalística da Polícia Federal (INC/PF).

¹O edital nº 25/2014 - CAPES e seu respectivo resultado final estão disponíveis no endereço eletrônico <<http://www.capes.gov.br/bolsas/programas-especiais/programa-ciencia-forenses-pró-forenses>>.

O estudo respeitou as diretrizes éticas relacionadas à pesquisa em seres humanos, tendo sido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de São Paulo, sob o registro CAAE nº 17017213.0.0000.5440 (ANEXO A). Essa pesquisa não possui conflitos de interesses para sua realização e os pesquisadores assinaram termo de sigilo e confidencialidade no intuito de preservar as informações acessadas e minimizar riscos de quebra de sigilo, sob supervisão do Perito Criminal Federal Carlos Eduardo Palhares Machado.

Devido ao elevado tamanho da amostra e tipo de informação necessária para realização da pesquisa, foi solicitada e aprovada a dispensa do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) dos indivíduos representados nas imagens. Como forma de mitigar os riscos de exposição dos dados dos participantes, não foram acessados nem extraídos quaisquer tipos de dados biográficos do banco de dados. Com a adoção de análise facial automatizada, não houve acesso direto ou exposição de fotografias em nenhuma das fases da presente pesquisa, sendo assegurado sigilo da identidade dos participantes, cujas informações pessoais são resguardadas no ambiente da Polícia Federal, e garantido que as imagens examinadas seriam utilizadas exclusivamente para fins de extração de coordenadas bidimensionais. Entende-se, portanto, como mínimos os riscos de exposição dos indivíduos constantes da amostra e de vazamento de dados pessoais, respeitando a legislação (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais).

5 RESULTADOS

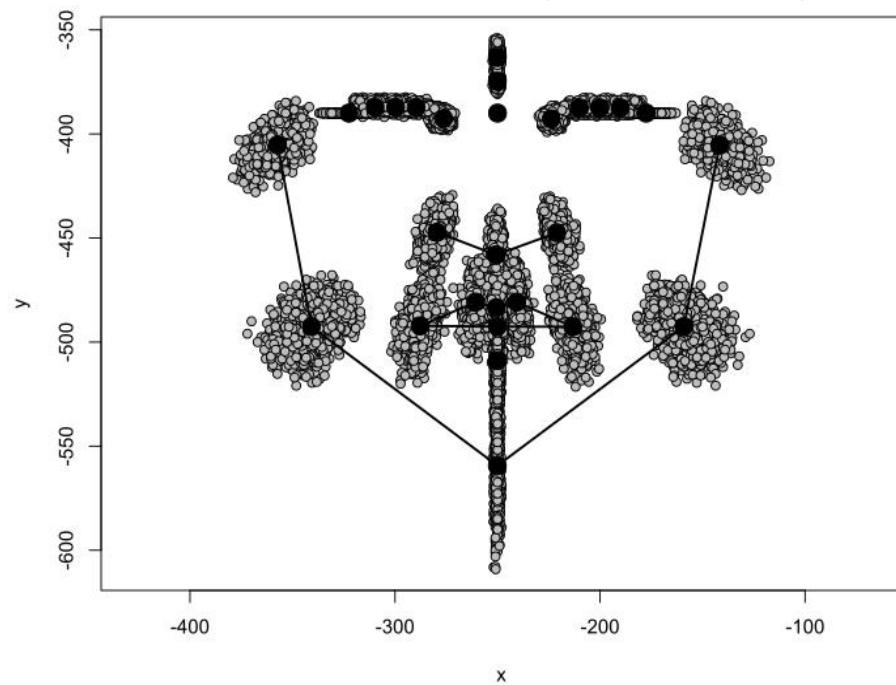
5.1 Padrão morfométrico da população estudada

O padrão morfométrico da população estudada pode ser observado nos diagramas de pontos e a compreensão de sua dinâmica de crescimento facial a partir dos gráficos de deslocamento a seguir.

5.1.1 Análise descritiva – Diagrama de pontos

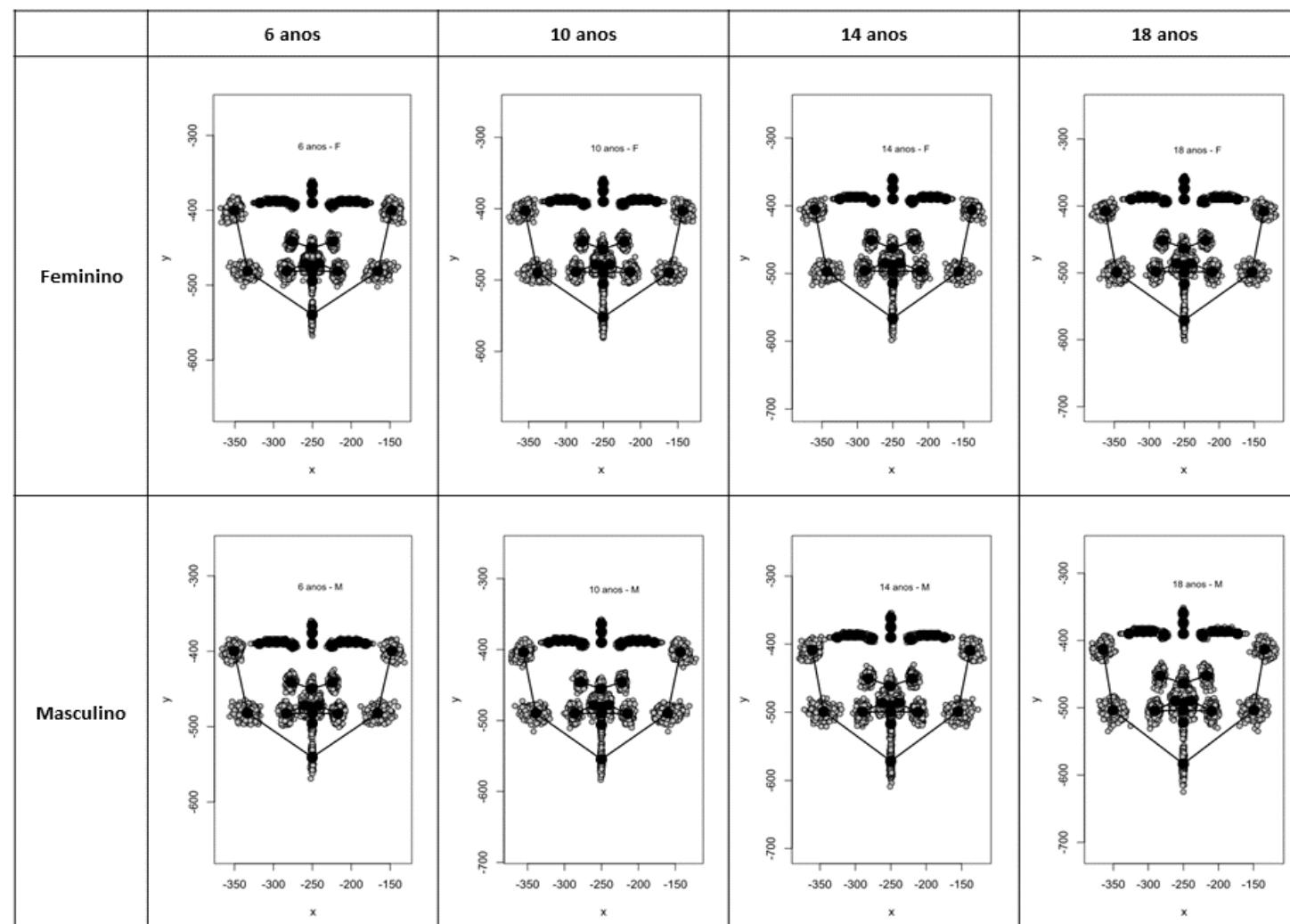
A figura 2 apresenta a distribuição dos pontos analisados utilizando os valores presentes no banco de dados, sem qualquer tipo de alteração. Pode-se constatar uma certa dispersão dos pontos em torno das referências cefalométricas, visto que temos indivíduos de todos os sexos e idades.

Figura 2. Distribuição dos pontos analisados nas fotografias de acordo com os grupos etários com intervalos de 4 anos (6, 10, 14 e 18 anos).



Na figura 3 apresentada a seguir, tem-se a análise gráfica dos pontos com relação ao sexo conforme às idades de 6, 10, 14 e 18 anos. Assim, pode-se observar um alongamento da face de forma geral em ambos os sexos ao longo dos anos, de forma mais pronunciada nos homens.

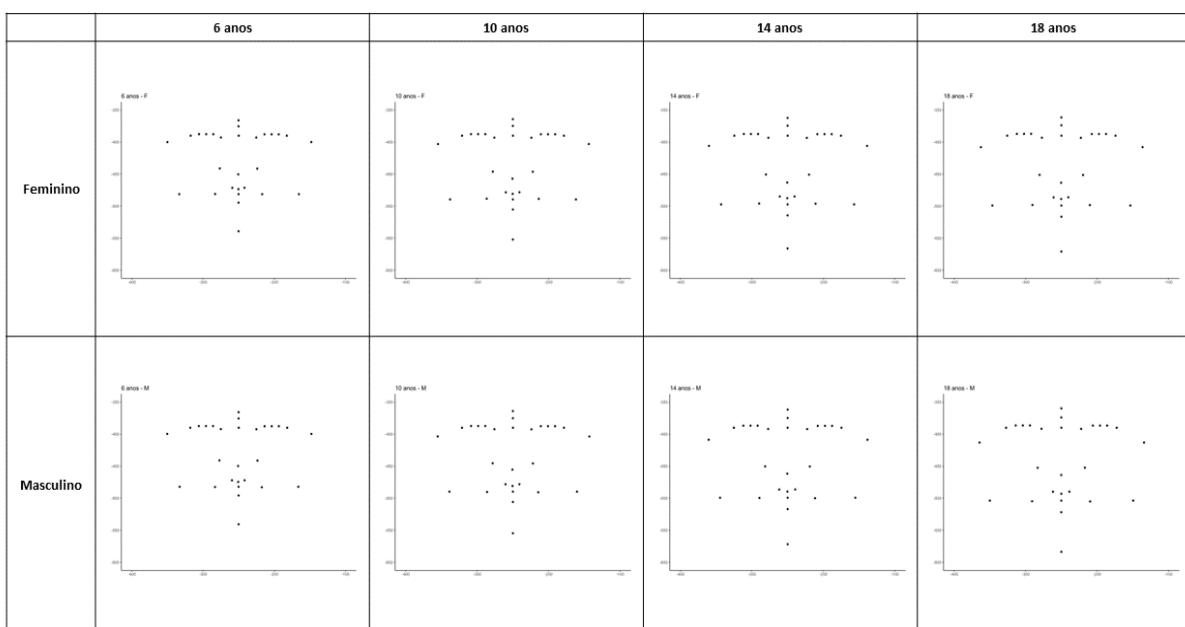
Figura 3. Distribuição dos pontos analisados nas fotografias de acordo com o sexo para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos.



5.1.2 Análise descritiva – Pontos médios

A figura 4 representa o gráfico de pontos médios para cada marco anatômico analisado, os quais reproduzem o formato médio da face dos indivíduos de acordo com o sexo e a idade. A escala para comparação foi mantida constante em todos os gráficos, com o eixo horizontal (X) entre -400 e -100 e o eixo vertical (Y) entre -600 e -350. Nesta figura, pode-se também observar um alongamento da face de forma geral em ambos os sexos ao longo dos anos, de forma mais pronunciada nos homens.

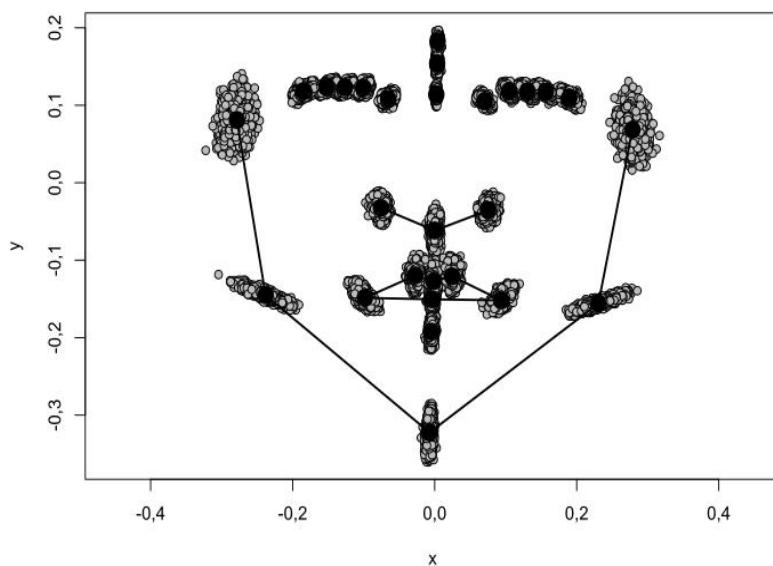
Figura 4. Pontos médios analisados nas fotografias de acordo com o sexo para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos.



5.1.3 Morfometria Geométrica – Análise Generalizada Procrustes e diagrama de pontos

A figura 5 mostra o resultado da Análise Generalizada de Procrustes para os grupos etários com intervalos de 4 anos (6, 10, 14 e 18 anos).

Figura 5. Resultado da Análise Generalizada de Procrustes em fotografias para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos.



5.1.4 Morfometria Geométrica – Análise Generalizada de Procrustes e gráficos de deslocamento

Por meio do gráfico de deslocamento com relação às idades, construídos a partir dos resultados da Análise Generalizada de Procrustes, obteve-se a identificação das diferenças de forma entre um grupo de referência e um alvo. Inicialmente apresenta-se os deslocamentos com os dados gerais (Figura 6) e depois segmentados para o sexo masculino (Figura 7) e sexo feminino (Figura 8). Nas referidas figuras, observa-se que os gráficos apresentam movimentos vinculados ao sentido e comprimento das setas, que representam a direção do crescimento facial. Nas ilustrações, uma idade é a referência e as demais são os alvos. Assim, os indivíduos com idade de 10 anos apresentaram o rosto mais estreito e alongado do que os indivíduos de 6 anos. Além disso, constatou-se que as idades de 14 e 18 anos apresentaram diferenças maiores com relação à idade de 10 anos e 6 anos. Dessa forma, pôde-se observar um crescimento vertical da face de forma geral em ambos os sexos ao longo dos anos, de forma mais pronunciada nos homens, em especial no seu terço inferior.

Figura 6. Direção do crescimento facial em relação à idade de 6, 10, 14 e 18 anos, para a amostra geral.

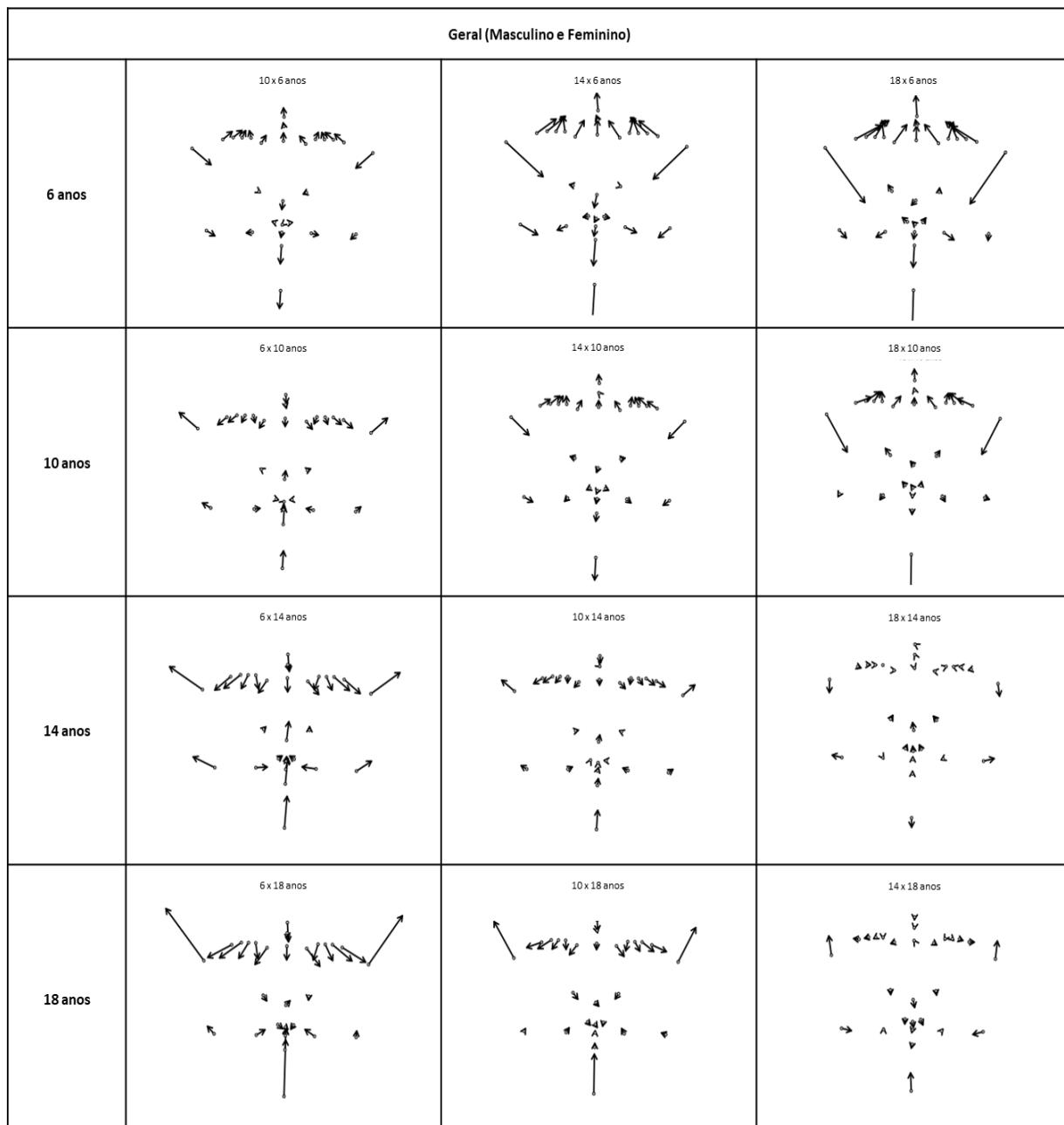


Figura 7. Direção do crescimento facial em relação à idade de 6, 10, 14 e 18 anos, para o sexo masculino.

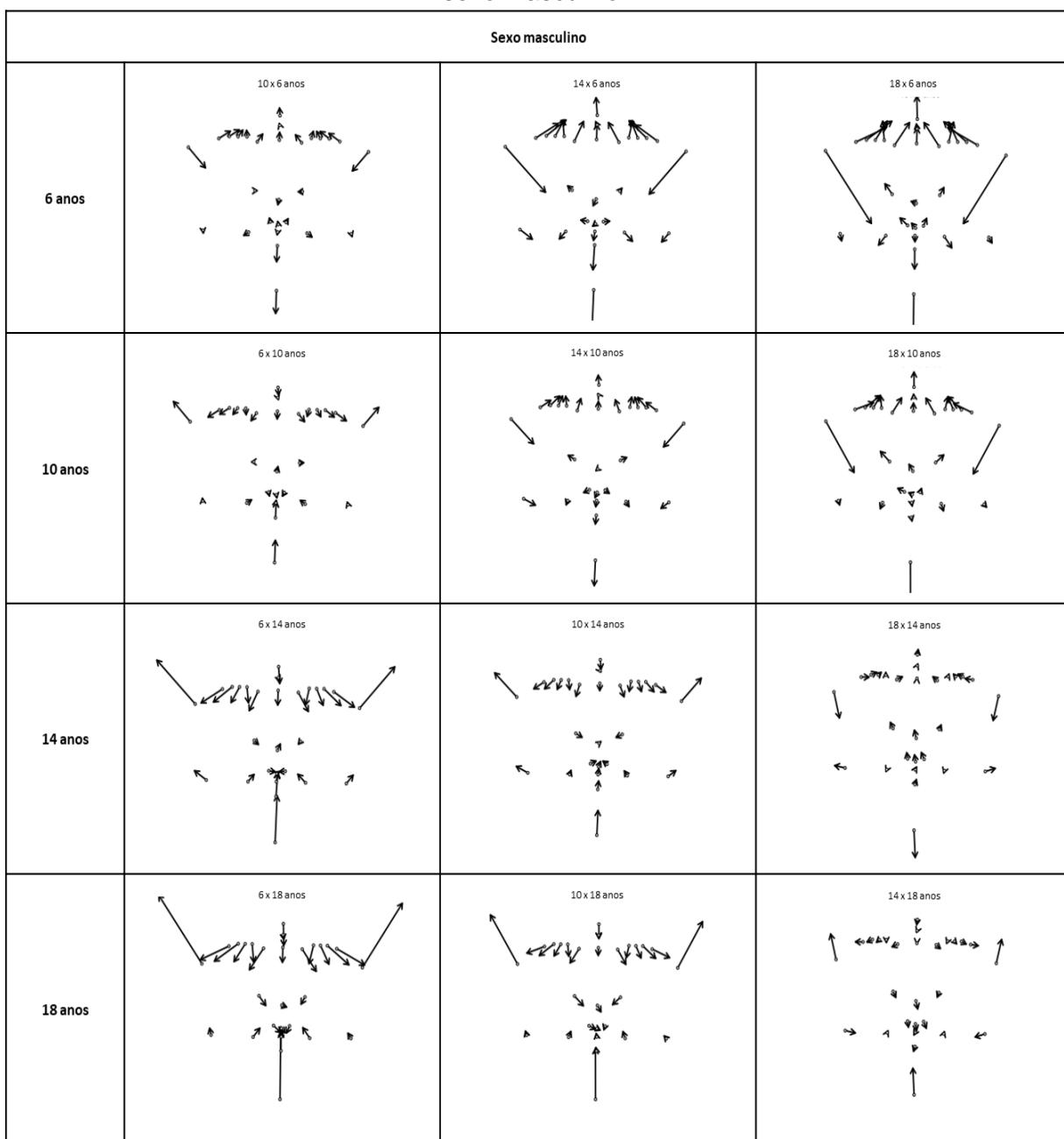
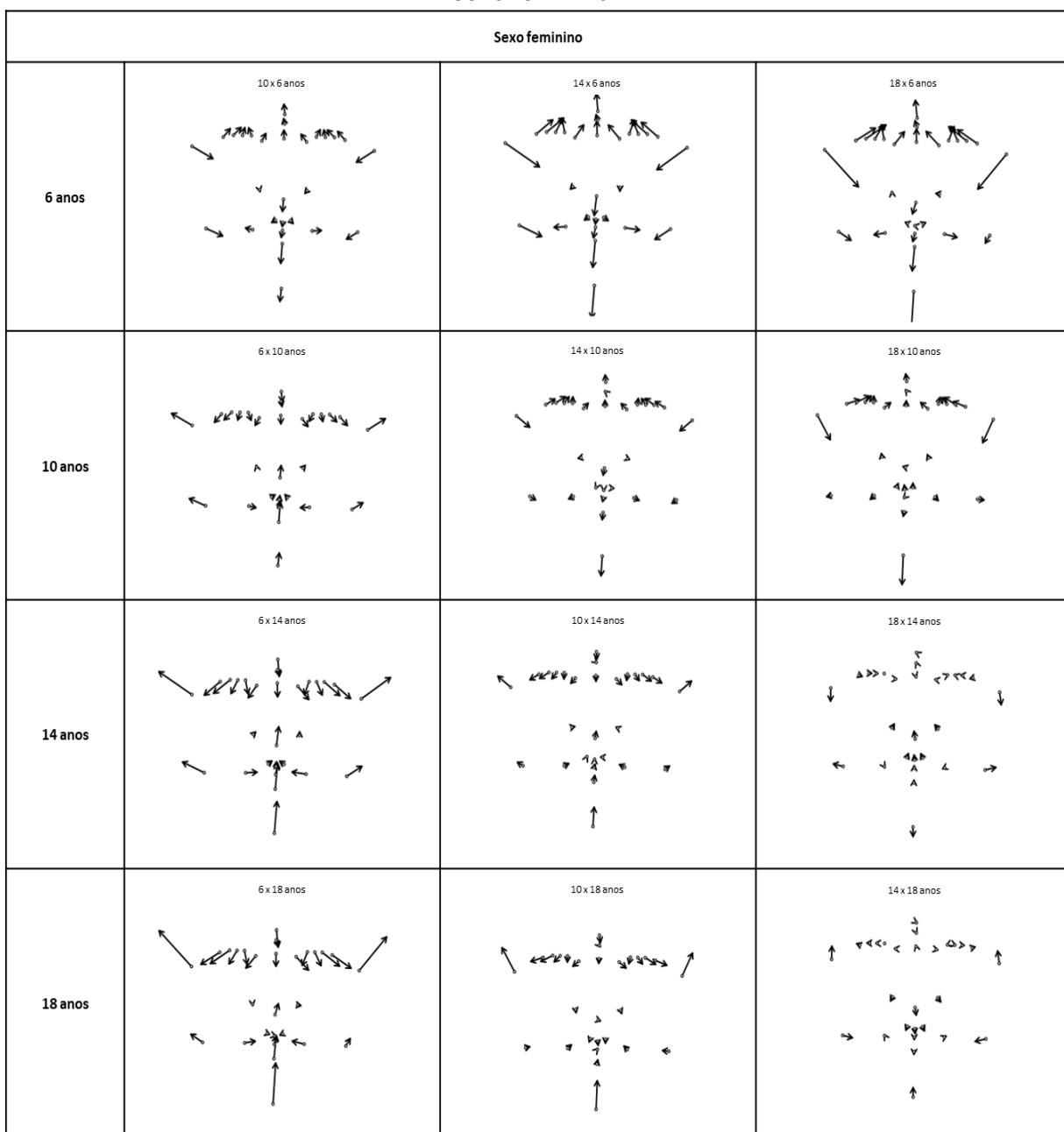


Figura 8. Direção do crescimento facial em relação à idade de 6, 10, 14 e 18 anos, para o sexo feminino.



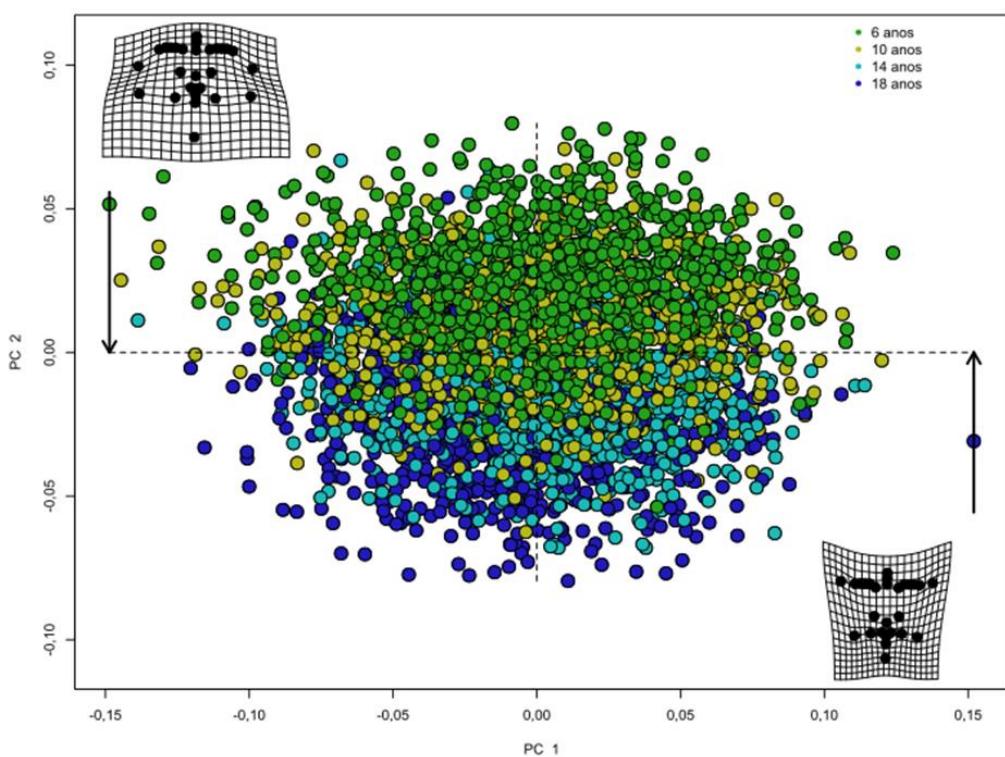
5.1.5 Análise de componentes principais – Mapa percentual

Foi realizada uma Análise de Componentes Principais a partir das coordenadas geradas pela Análise Generalizada de Procrustes, que tem como principal objetivo explicar a estrutura de variância e covariância de um conjunto de variáveis através da construção de combinações lineares das variáveis originais. Essas combinações lineares recebem o nome de componentes principais e têm como característica o fato de serem não correlacionadas entre si. A primeira e segunda componentes explicam com maior eficiência os dados analisados, representadas pelo valor percentual que se encontra no gráfico da figura 9A, diferenciando as idades pela cor.

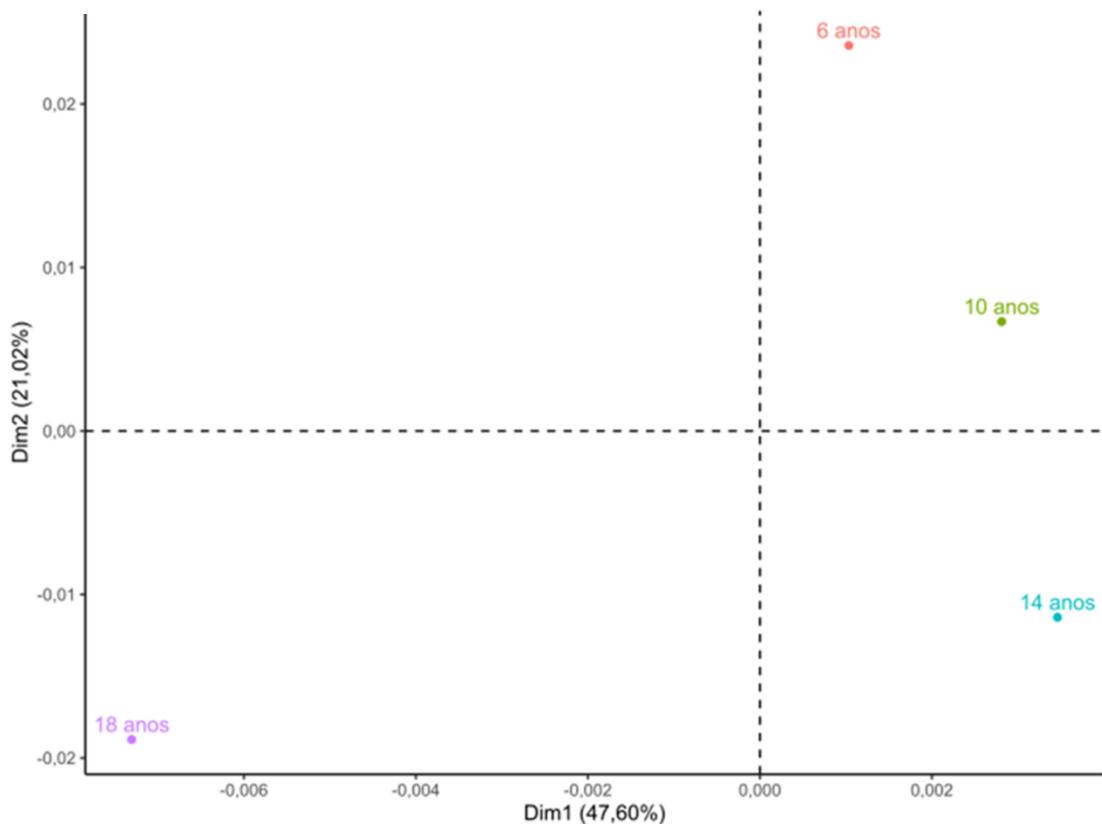
Também foi plotado o gráfico com pontos médios, que mostrou como se comportam as duas primeiras componentes em cada uma das idades na figura 9B. Pôde-se observar que a primeira componente principal foi capaz de explicar 47,60% da variabilidade total das coordenadas procrustes, enquanto a segunda componente explicou 21,02%. Assim, a quantidade total da variabilidade explicada pelas duas primeiras componentes foi igual a 68,62%, sendo este valor considerado satisfatório ($>50\%$). Devido a quantidade de pontos plotados, a visualização pode parecer comprometida, e assim, a figura 9B ilustra somente os pontos médios de cada idade, na qual observa-se que a idade de 18 anos se encontra mais distante das demais.

Figura 9. Resultados da análise de componentes principais mostrando o mapa percentual (A) e os pontos médios (B) para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos.

A



B



5.2 Acurácia, sensibilidade e especificidade da Morfometria Geométrica como método de diagnóstico da idade

A acurácia geral do método de MG para diagnóstico da idade foi de 69,3% (IC 95% 67,9 – 70,2), sendo superior no sexo masculino (74,7%, IC 95% 72,7 – 76,6) em relação ao sexo feminino (65,8%, IC 95% 63,7 – 67,9) ($p < 0.001$). A tabela 1 compara a performance da MG calculada a partir da Regressão Logística Multinomial com os demais modelos estatísticos, não sendo encontradas diferenças significativas em relação à acurácia.

Os maiores valores de sensibilidade (87,3%, IC 95% 85,1 – 89,3) e especificidade (95,6%, IC 95% 94,1 – 96,8) foram observados para predição da idade de 6 anos, enquanto os piores desempenhos foram verificados para a idade de 14 anos (sensibilidade: 52,3%, IC 95% 49,2 – 55,4; especificidade: 84,6%, IC 95% 82,2 – 86,8). Ainda, verificou-se diferenças significativas na sensibilidade de acordo com sexo, sendo esta maior para o sexo feminino na idade de 6 anos ($p < 0.001$) e maior para o sexo masculino nas idades de 10 anos ($p = 0.038$), 14 anos ($p < 0.001$) e 18 anos ($p < 0.001$). Diferenças significativas também foram observadas em relação à especificidade, sendo esta maior para o sexo masculino nas idades de 14 anos ($p = 0.024$) e 18 anos ($p < 0.001$). Não foram observadas diferenças na especificidade entre os sexos para as idades de 6 anos ($p = 0.880$) e 10 anos ($p = 1.000$) (Figura 10).

Finalmente, em uma análise par a par, foram observadas diferenças ($p < 0.001$) no desempenho da MG em distinguir os diversos grupos etários entre si, havendo maior acurácia quanto mais distantes forem as idades dos grupos analisados. Uma acurácia de 84,7% (IC 95% 84,2 – 90,0) foi detectada na distinção de fotografias de indivíduos com 6 anos de idade daqueles com 10 anos (87,4%, IC 95% 84,2 – 90,0), 14 anos (97,0%, IC 95% 95,1 – 98,2) e 18 anos (99,5%, IC 95% 98,4 – 99,9). A MG mostrou também uma acurácia próxima de 70% (72,8%, IC 95% 68,7 – 76,5) na diferenciação de fotografias de indivíduos de 14 e 18 anos.

Em relação à influência do sexo na distinção de grupos etários, observou-se que a MG se mostrou mais acurada em diferenciar as idades de 6 anos e 10 anos em meninas do que em meninos (89,4%, IC 95% 86,4 – 92,0 vs. 84,6%, IC 95% 81,1 – 87,7; $p = 0.031$). No entanto, o método foi mais acurado no sexo masculino na

distinção entre as idades de 10 e 14 anos (85,9%, IC 95% 82,7 – 88,9 vs. 78,6, IC 95% 74,7 – 82,1; $p = 0,003$), 10 e 18 anos (94,2%, IC 95% 91,8 – 96,1 vs. 86,3 IC 95% 83,1 – 89,3; $p < 0,001$) e 14 e 18 anos (78,5%, IC 95% 74,7 – 82,1 vs. 61,4%, IC 95% 57,0 – 65,7; $p < 0,001$). Não foram encontradas diferenças na acurácia entre os sexos na discriminação das fotografias entre indivíduos de 6 e 14 anos ($p = 0,068$) e 6 e 18 anos ($p = 0,112$), a qual mostrou sempre superior a 95% (Figura 11).

Tabela 1. Acurácia da Morfometria Geométrica no diagnóstico da idade em fotografias de indivíduos dos grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos.

Acurácia	Modelos Estatísticos						
	Regressão Logística Multinomial	Análise Discriminante	p-value	Support Vector Machines	p-value	Random Forest	p-value
Geral	69,3 (67,9 – 70,2)	69,5 (68,1 – 70,9)	0,397	68,4 (66,9 – 69,8)	0,398	65,9 (64,4 – 67,4)	0,406
Masculino	74,7 (72,7 – 76,6)	73,7 (71,7 – 75,6)	0,416	70,8 (68,8 – 72,8)	0,427	71,3 (69,3 – 73,3)	0,424
Feminino	65,8 (63,7 – 67,9)	67,2 (65,1 – 69,3)	0,393	64,3 (62,2 – 66,4)	0,389	59,7 (57,5 – 61,9)	0,402

Dados de acurácia expressos em porcentagem com intervalos de confiança de 95%. Os “valores de p” referem-se aos resultados do teste de McNemar de comparação da acurácia obtida pela Regressão Logística Multinomial em relação aos demais modelos estatísticos.

Figura 10. Sensibilidade e especificidade da Morfometria Geométrica para os grupos etários de 6, 10, 14 e 18 anos.

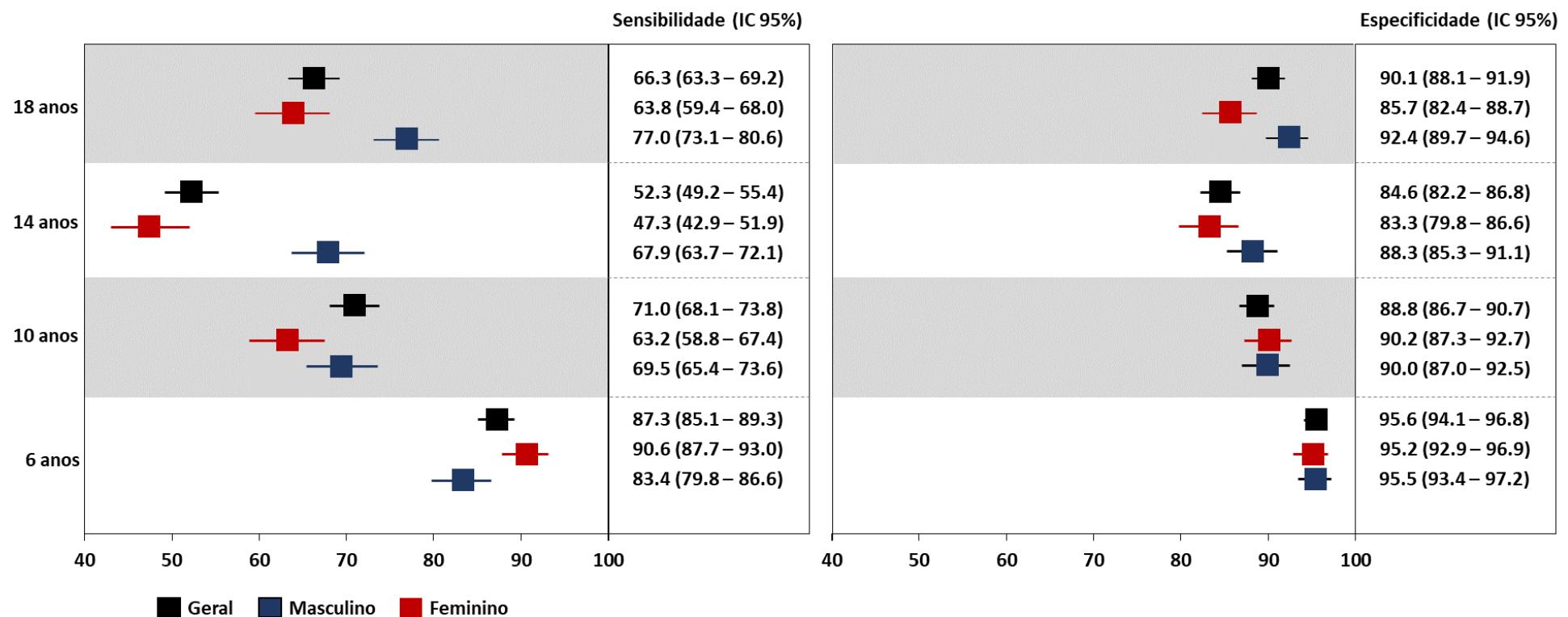
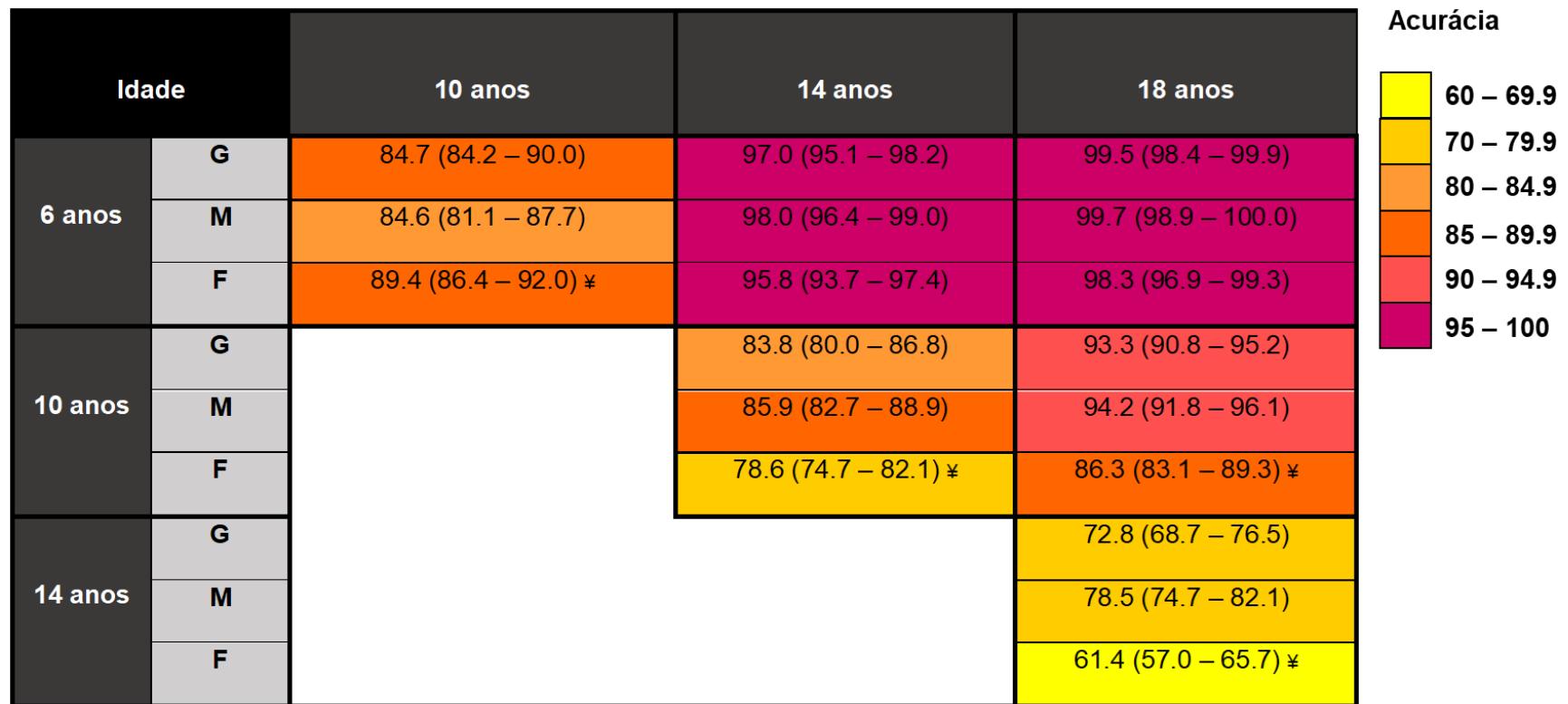


Figura 11. Acurácia da Morfometria Geométrica na distinção entre grupos etários, de acordo com os sexos.



G, geral; M, masculino; F, feminino.

‡ *p*-valores < 0.05.

6 DISCUSSÃO

Investigações que permeiam a existência de diferenças nas proporções faciais de homens e mulheres são essenciais não só para estimar o sexo por imagens como também a idade, o que possibilita a redução dos erros metodológicos e a produção de dados mais confiáveis. A busca por novas abordagens que trazem a relação entre a idade e alterações no crescimento facial, a serem observadas em indivíduos vivos, também se refletem nas fotografias. Os resultados de Cattaneo et al. (2012) apontam que muitos índices extraídos das fotografias frontais e laterais estão correlacionados com seus respectivos índices extraídos dos indivíduos vivos e parecem estar fortemente relacionados com a idade.

Outros estudos também demonstraram essa correlação e vêm aprimorando seus métodos em busca de melhores resultados. Como exemplo, o estudo de Machado et al. (2017) mostra que os valores de variabilidade dos pontos da íris experimentaram valores muito inferiores em estudos de acurácia no posicionamento de pontos de referência facial, comparados aos apontados entre os pontos de menor dispersão pelo estudo de Cattaneo et al. (2012). Entretanto, a abordagem por índices se torna especialmente complicada quando objetiva verificar um conjunto de medidas, como na análise facial.

Por sua vez, a MG não se baseia em dados como medidas ou ângulos, mas sim em coordenadas cartesianas que preservam toda a informação geométrica entre os marcos anatômicos, sendo a informação relacionada à forma dos organismos mais eficiente para a detecção das mudanças (ROHLF; MARCUS, 1993). Assim, a proposta aplicada da MG em humanos neste trabalho, de forma inovadora, utilizou como parâmetro a mensuração das alterações faciais em fotografias frontais, com base no estudo de Silveira (2011), o qual apresentou um ótimo desempenho na diferenciação dos gêneros, espécies e sexos de insetos.

As investigações que a MG poderia figurar como um bom parâmetro para avaliação da idade em crianças e adolescentes foram verificadas na literatura, como foi apontado por Mydlova et al. (2015) e Saadé et al. (2018). Apesar de inédita, esta

pesquisa foi realizada com base em dados relacionados a partir de estudos faciais anteriores (CATTANEO et al., 2012; FLORES et al., 2019; MACHADO et al., 2017), especialmente em relação às estruturas faciais e às faixas etárias. Diante disso, nossos achados fortalecem melhores elucidações para o estabelecimento de padrões de crescimento populacional e propõe um método alternativo promissor para estimar a idade em contextos forenses a partir do exame de imagens faciais em norma frontal.

O método de MG também considerou a diferenciação entre sexos em indivíduos subadultos, outro desafio importante nos exames antropológicos forenses, pois a maior parte das diferenças de forma e tamanho existentes são hormônio-dependentes e só emergem na puberdade (MACHADO et al., 2017). Como existem diferenças entre homens e mulheres mesmo nas idades que precedem a puberdade, tal fato deve ser levado em consideração para produção de conhecimento. Assim, as análises desse trabalho apresentam três subagrupamentos: sexo feminino; sexo masculino; e com os sexos agrupados, devido a possibilidade de utilizar tabelas e dados específicos.

Nesse sentido, foi identificado o padrão de crescimento a partir dos gráficos de deslocamento e as comparações dos métodos a partir das acurácia dos modelos gerados e a capacidade de discriminação de cada modelo através da sensibilidade e da especificidade, além das performances medidas pelo erro em anos.

O rosto masculino médio de qualquer idade foi maior do que o feminino médio de idade correspondente. As alterações do crescimento foram semelhantes em ambos os sexos, embora a trajetória feminina tenha sido consideravelmente mais precoce e menos pronunciada. O rosto feminino durante o desenvolvimento tornou-se mais arredondado, enquanto o rosto masculino transforma-se de oval para retangular, e o dimorfismo sexual aumenta com a idade. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Mydlova et al. (2015) e verificou-se que o sexo e a idade têm uma influência significativa na forma da face humana, com uma alometria para a forma e o tamanho facial e trajetórias de direções semelhantes para todos os sexos e faixas etárias.

O método de MG mostrou que o crescimento facial nos homens dos 14 aos 18 anos ocorre de forma mais acentuada que nas mulheres. Já nas mulheres o crescimento mais pronunciado foi dos 6 aos 14 anos. Corroborando com Machado et

al. (2017), o crescimento dos 14 aos 18 anos foi detectado, já a cessação do crescimento facial das mulheres normalmente acontece até os 14 anos e os crescimentos ocorridos após essa data seriam fenômenos ocasionais classificados como “amadurecimento tardio”, diferenciando dos achados de Enlow (1993). Foi evidenciado, ainda, que apesar de estar comprovado que existe um decréscimo importante no ritmo de crescimento das mulheres a partir dos 14 anos, foi possível detectar crescimento dos 14 aos 18 anos. A redução do crescimento facial no sexo feminino a partir dos 14 anos se refletiu na redução da sensibilidade e acurácia do método para tal grupo, nas faixas de 14 e 18 anos. No sexo masculino, por sua vez, as mudanças foram percebidas até a última faixa etária estudada, de 18 anos, resultando em valores maiores de sensibilidade, especificidade e acurácia.

Segundo Braga e Treil (2007), é evidente que a forma do crânio de crianças é caracterizada por uma caixa craniana relativamente grande e face pequena, e a dos adultos, com rostos proporcionalmente mais longos, demonstrando que o esqueleto facial continua a aumentar até a adolescência em relação à considerável desaceleração do crescimento da caixa craniana. As diferenças encontradas são resultado do crescimento alométrico da face, ou seja, cada estrutura possui o seu próprio padrão de desenvolvimento, conforme detectado no presente estudo nos gráficos de deslocamento com relação às idades, construídos a partir dos resultados da Análise Generalizada de Procrustes.

Os achados do presente trabalho também foram compatíveis com os estudos de Smith et al. (2021a, 2021b), os quais apontaram que homens e mulheres envelhecem de maneira significativamente diferente e que o envelhecimento difere em caráter, tempo e taxas, principalmente entre as fases iniciais e posteriores da idade. As análises craniofaciais indicam que os homens estendem o crescimento alometricamente em faixas de tamanho maiores, contribuindo substancialmente para o dimorfismo adulto.

Outras pesquisas também avaliaram esse padrão de correlação. O estudo de Saadé et al. (2018) indicou que o tamanho do centróide da estrutura craniofacial é um bom preditor da idade esquelética. Da mesma forma, o estudo da MG realizado por Viðarsdóttir et al. (2002) demonstrou que o tamanho do centróide facial tem correlação

positiva forte com a idade. Nossos achados corroboram esse fato ao indicar que o desenvolvimento do tamanho da face ocorre preditivamente com o aumento da idade.

Além dos pontos já discutidos, este estudo inédito demonstrou uma acurácia de 69.3% da MG no diagnóstico da idade entre crianças e adolescentes através de fotografias frontais, com erro médio de dois anos. Além disso, os maiores valores de sensibilidade e especificidade foram observados em imagens de crianças de 6 anos de idade, embora o melhor desempenho do método para este grupo etário tenha sido detectado para o sexo feminino. Para os demais grupos etários, de maneira geral, as melhores performances foram obtidas para o diagnóstico de idade no sexo masculino. Assim como nos estudos de Braga e Treil (2007) e de Saadé et al. (2018), constatamos que a combinação de métodos morfométricos geométricos, estudos de crescimento e previsões de idade é promissora, embora carente de estudos.

Conforme exposto em neste estudo, com respeito aos exames de diagnóstico de idade, deve constar informações sobre limites específicos e o modo de processamento de dados, e mesmo considerando a população dos dados, cada indivíduo pode apresentar diferentes padrões de envelhecimento (CUNHA et al., 2009). Dentre as principais vantagens da MG, tem-se que é aplicável para uma análise morfométrica da face quando são disponibilizadas apenas imagens bidimensionais, possibilitando avaliações em abordagens forenses que não dispõe do exame direto do indivíduo questionado.

Este estudo mostrou diferenças significativas no desempenho da MG em distinguir grupos etários. Quanto maior a diferença de idade entre os grupos comparados, maior foi a acurácia da MG. A MG mostrou também uma acurácia de aproximadamente de 70% na diferenciação de fotografias de indivíduos de 14 e 18 anos, consideradas idades críticas para determinação da vulnerabilidade de uma vítima de crime sexual e maioridade penal, respectivamente. Os resultados indicam que a MG pode ser uma ferramenta útil para realizar o diagnóstico da idade em casos criminais que envolvem as idades legais (críticas) de 14 anos (idade que define o crime de estupro de vulnerável) e 18 anos (idade que define o crime de pornografia infantil), o que corrobora com o estudo de Deitos et al. (2020), no qual a análise fotoantropométrica da face humana figura como uma ferramenta disponível para o

estudo de alterações morfológicas que ocorrem em homens e mulheres e sua relação com tais idades.

O estudo apresenta limitações no sentido de não representar imagens em condições adversas, uma vez que utilizou fotografias de boa resolução e incidência padronizada, de documentos originais, diferente da maioria das demandas de cenas de crime. Cattaneo et al. (2009) ressaltam que a péssima qualidade e baixa resolução das imagens fornecem mais obstáculos para a avaliação da idade quando comparada ao exame direto de indivíduos vivos. No entanto, ainda são poucos os métodos que utilizam as estruturas faciais externas, como utilizado neste estudo, para fazer a diferenciação sexual e estimar a idade por meio de fotografias. Destaca-se ainda que as alterações morfológicas faciais também podem ser influenciadas por fatores internos e externos, o que necessita ser melhor estudado. Apesar das limitações identificadas, os achados evidenciados auxiliam fortemente na discriminação dos indivíduos em função do sexo e idade por meio de imagens e suscita novas investigações científicas com a aplicabilidade do método da MG em diferentes cenários fotográficos.

7 CONCLUSÃO

Concluiu-se que a Morfometria Geométrica é um método aplicável na detecção de padrões de crescimento facial de crianças, adolescentes e adultos jovens brasileiros, de ambos os sexos, e que apresentou bons resultados de sensibilidade, especificidade e acurácia para fins de diagnóstico de idade em contextos forenses na amostra estudada. O padrão morfométrico de crescimento facial na população estudada apresentou diferenças em função do sexo, observando-se ritmo e desenvolvimento mais precoce no sexo feminino do que no masculino.

A Morfometria Geométrica mostrou-se um método acurado promissor para diagnóstico de idade de crianças, adolescentes e adultos jovens, com valores robustos, atingindo aproximadamente 70% de acerto na previsão das idades. O melhor desempenho do método foi observado para a idade de 6 anos, especialmente na presença de fotografias de crianças do sexo feminino. Para os demais grupos etários, a Morfometria Geométrica apresenta melhor performance no diagnóstico da idade entre indivíduos do sexo masculino. Por fim, a Morfometria Geométrica mostrou-se um método promissor para diferenciação de idades críticas legais (14 e 18 anos) por meio de fotografias.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da constatação da Morfometria Geométrica ser um método acurado para diferenciação de idades através de fotografias, sugere-se novos estudos relacionados à aplicação do método em ferramentas de diagnóstico de estimativa de idade. Estudos dedicados a esclarecer a aplicação da técnica aos exames de pornografia infantil, a criação de modelos probabilísticos e o desenvolvimento dessas ferramentas como próximos passos possibilitariam a aplicação técnica dos achados na prática pericial para estimar a idade em casos criminais.

Além disso, futuro estudos na área devem investigar as alterações morfológicas faciais ao longo do tempo em diferentes populações, especialmente por características sexualmente dimórficas poderem ser influenciadas por fatores internos e externos.

Também deve-se entender que os achados e a aplicação da presente técnica podem ser extrapolados para outras necessidades além das análises de pedopornografia, uma vez que podem fornecer conhecimento para apontar possível progressão da idade facial de pessoas dadas como desaparecidas ou foragidas.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, D.C.; ROHLF, F.J.; SLICE, D.E. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. **Hystrix**, v. 24, n. 1, p. 7, 2013.
- ADAMS, D.C.; ROHLF, F.J.; SLICE, D.E. Geometric morphometrics: ten years of progress following the “revolution”. **Ital. J. Zool.**, v. 71, p. 5-16, 2004.
- BALDASSO, R.P.; DAMASCENA, N.P.; DEITOS, A.R.; PALHARES MACHADO, C.E., FRANCO, A.; DE OLIVEIRA, R.N. Morphologic alterations ear, nose and lip detected with aging through facial photoanthropometric analysis. **J. Forensic Odontostomatol.**, v. 37, n. 2, 2019.
- BALDASSO, R.P.; FERNANDES, M.M. Advances in face detection and facial image analysis. **RBOL**, v. 5, n. 1, 2018.
- BERGMAN, R.T.; WASCHAK, J.; BORZABADI-FARAHANI, A.; MURPHY, N.C. Longitudinal study of cephalometric soft tissue profile traits between the ages of 6 and 18 years. **Angle Orthod.**, v. 84, n. 1, p. 48-55, 2014.
- BOOKSTEIN, F.L. **Morphometric tools for landmark data: geometry and biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- BORGES, D.L.; VIDAL, F.B.; FLORES, M.R.; MELANI, R.F.; GUIMARÃES, M.A.; MACHADO, C.E. Photoanthropometric face iridial proportions for age estimation: An investigation using features selected via a joint mutual information criterion. **Forensic Sci. Int.**, v. 284, p. 9-14, 2018.
- BRAGA, J.; TREIL, J. Estimation of pediatric skeletal age using geometric morphometrics and three-dimensional cranial size changes. **Int. J. Legal Med.**, v. 121, n. 6, p. 439-443, 2007.
- BRASIL, Lei 8.069, de 13 de julho de 1990. **Estatuto da Criança e do Adolescente**.
- BYERS, S.N. **Introduction to forensic anthropology: a textbook**. 2 ed. Boston: Allyn & Bacon, 2005.
- CATTANEO, C. et al. Can facial proportions taken from images be of use for ageing in cases of suspected child pornography? A pilot study. **Int. J. Legal Med.**, v. 126, 139-144, 2012.
- CATTANEO, C.; RITZ-TIMME, S.; GABRIEL, P.; GIBELLI, D.; GIUDICI, E.; POPPA, P.; NOHRDEN, D.; ASSMANN, S.; SCHMITT, R.; GRANDI, M. The difficult issue of age assessment on pedo-pornographic material. **Forensic Sci. Int.**, v. 183, e21–e24, 2009.

CUNHA, E.; BACCINO, E.; MARTRILLE, L.; RAMSTHALER, F.; PRIETO, J.; SCHULIAR, Y.; ... & CATTANEO, C. The problem of aging human remains and living individuals: a review. **Forensic Sci. Int.**, v. 193, n. 1-3, p. 1-13, 2009.

DAMASCENA, N.P.; MACHADO, C.E.P.; SILVA, M.C.; SANTIAGO, B.M.; MARTINS-FILHO, P.R. Is facial geometric morphometrics a useful method for age estimation in children and adolescents? Limited evidence and lack of studies leave us with an uncertain answer, **Morphologie**, 2023.

DEITOS, A.R. et al. Age assessment by using facial photo-anthropometry in a Brazilian population. **Forensic Sci. Int. Rep.**, v. 2, p. 100131, 2020.

DEMAYO, C.; TORRES, M.; SINCO, A.; BONACHITA-SANGUILA, M. Geometric Morphometric Analyses of Facial Shape in Twins. **Internet J. Biol. Anthropol.** 2009.

ENLOW, D. **Facial Growth**. 3 ed. Philadelphia/USA: W.B. Saunders Company, 1990.

FARKAS, L.G. **Anthropometry of the head and face**. 2 ed. New York: Raven Press, 1994.

FLORES, M.R.P.; MACHADO, C.E.P.; SILVA, R.H.A. **Proposta de análise facial fotoantropométrica em norma frontal: metodologia descritiva dos pontos anatômicos de referência** [Photo-anthropometric facial analysis in frontal view images: descriptive methodology proposal for anatomical landmarks]. Novas Edições Acadêmicas, 2017; http://facisgroup.org/facial_landmarks.

FLORES, M.R.P.; MACHADO, C.E.P.; GALLIDABINO, M.D.; ARRUDA, G.H.M.; SILVA, R.H.A.; VIDAL, F.B.; MELANI, R.F.H. Comparative assessment of a novel photo-anthropometric landmark-positioning approach for the analysis of facial structures on two dimensional images, **J. Forensic Sci.**, v. 64, n. 3, p. 828–838, 2019.

GAYON, J. History of the concept of allometry. **Amer Zool.**, v. 40, n. 5, p. 748-58, 2000.

GONZALES, P.S.; MACHADO, C.E.P.; MICHEL-CROSATO, E. Photoanthropometry of the Face in the Young White Brazilian Population. **Braz. Dent. J.**, v. 29, n. 6, p. 619-623, 2018.

GOWER, J. C. Generalized procrustes analysis. **Psychometrika**, v. 40, n. 1, p. 33–51, 1975.

HOTELLING, H. Components, Analysis of a complex of statistical variables into principal. **Journal of educational psychology**, v. 24, p. 417, 1933.

JURMAIN, R.; KILGORE, L.; TREVANTHAN, W. **Essentials of Physical Anthropology**. 7 ed. Wadsworth, Cengage Learning, 2009.

KOHAVI, R. **A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection.** International joint Conference on artificial intelligence, v. 14, p. 1137–1145, 1995.

KOLAR, J.C.; SALTER, E.M. **Craniofacial Anthropometry: Pratical measurements of the head na face for clinical, surgical and reserch use.** Charles C Thomas Publisher, Springfield, 1997.

MAALA, N.M. **Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural rights, including the right to development.** Report of the Special Rapporteur on the sale of children, child prostitution and child pornography. United Nations Human Rights Council, Geneva, 2009.

MACHADO, C. E. P.; FLORES, M. R. P.; LIMA, L. N. C.; TINOCO, R. L. R.; FRANCO, F.; BEZERRA, A. C. B.; EVISON, M. P.; GUIMARÃES, M. A. A new approach for the analysis of facial growth and age estimation: Iris ratio. **PLoS one**, v. 12, n. 7, p. e0180330, 2017.

MACHADO, C.E.P.; SANTIAGO, B.M.; LIMA, L.N.C.; GONZALES, P.S.; FRANCO, A.; DE BARROS VIDAL, F.; ... & GUIMARÃES, M.A. Applicability of a pre-established set of facial proportions from frontal photographs in forensic age estimation of a Brazilian population. **Forensic Sci Int.**, v. 301, p. e1-e7, 2019.

MARCUS, L.F.; CORTI, M.; LOY, A.; NAYLOR, G.J.P.; SLICE, D.E. **Advances in Morphometrics.** Nato ASI series A: Life Sciences Vol. 284, Plenum Press, New York, 1996.

MAYER, F.; ARENT, T.; GESERICK, G.; GRUNDMANN, C.; LOCKEMANN, U.; RIEPERT, T.; ... & RITZ-TIMME, S. Age estimation based on pictures and videos presumably showing child or youth pornography. **Int. J. Legal Med.**, v. 128, n. 4, p. 649-652, 2014.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MIRABETE, J.F. **Manual do Direito Penal.** 22 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MITTEROECKER, P.; GUNZ, P. Advances in Geometric Morphometrics. **Evol. Biol.**, v. 36, p. 235-247, 2009.

MONTEIRO, L.R.; REIS, S.F. **Princípios de Morfometria Geométrica.** Holos, Ribeirão Preto, 1999.

MORETON, R.; MORLEY, J. Investigation into the use of photoanthropometry in facial image comparison. **Forensic Sci Int.**, v. 212, n.1, p. 231-237, 2011.

MYDLOVA, M.; DUPEJ, J.; KOUDELOVA, J.; VELEMÍNSKÁ, J. Sexual dimorphism of facial appearance in ageing human adults: a cross-sectional study. **Forensic Sci Int.**, v. 257, p. 519. e1-519. e9, 2015.

PALHARES MACHADO, C.E., DEITOS, A.R.; VELHO, J.A.; CUNHA, E.C. **Tratado de Antropologia Forense - Fundamentos e Metodologias aplicadas à Prática Pericial.** 1 ed. Millennium Editora, 2022.

PORTO, L.F.; LIMA, L.N.C.; FLORES, M.R.P.; VALSECCHI, A.; IBANEZ, O.; PALHARES, C.E.M.; DE BARROS VIDAL, F. Automatic cephalometric landmarks detection on frontal faces: An approach based on supervised learning techniques. **Digit. Investig.**, v. 30, p. 108-116, 2019.

PROFFIT, William R. **Ortodontia Contemporânea: Ortodontia Contemporânea.** Elsevier Health Sciences, 2007.

RATNAYAKE, M.; OBERTOVÁ, Z.; DOSE, M. et al. The juvenile face as a suitable age indicator in child pornography cases: a pilot study on the reliability of automated and visual estimation approaches. **Int. J. Legal Med.**, v. 128, p. 803-808, 2014.

ROHLF, F.J.; MARCUS, L.F.A. revolution in morphometrics. **Trends Ecol. Evol.**, v. 8, n. 4, p. 129-132, 1993.

ROHLF, F.J.; SLICE, D. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. **Syst. Biol.**, v. 39, n. 1, p. 40–59, 1990.

SAADÉ, A.; BARON, P.; NOUJEIM, Z.E.; AROUK, E.; AZAR, D. Predictability of Craniofacial Skeletal Age with Geometric Morphometries. **J. Contemp. Dent. Pract.**, v. 19, n. 12, p. 1493-1500, 2018.

SAN-MILLÁN, M.; RISSECH, C.; TURBÓN, D. Shape variability of the adult human acetabulum and acetabular fossa related to sex and age by geometric morphometrics. Implications for adult age estimation. **Forensic Sci. Int.**, v. 272, p. 50-63, 2017.

SCHELL, B.H.; MARTIN, M.V.; HUNG, P.C.K.; RUEDA, L. Cyber child pornography: A review paper of the social and legal issues and remedies - and a proposed technological solution. **Aggress. Violent Behav.**, v. 12, p. 45–63, 2007.

SCHMELING, A.; OLZE, A.; REISINGER, W.; GESERICK, G. Forensic Age estimation. **Forensic Sci. Int.**, v. 165, p. 178-181, 2007.

SCHMELING, A.; REISINGER, W.; GESERICK, G.; OLZE, A. Age estimation of unaccompanied minors: Part I. General considerations. **Forensic Sci. Int.**, v. 159, p. S61-S64, 2006.

SIĞIRLI, D.; ERCAN, I. Growth and Allometry in Modern Morphometrics: Review. **Turkiye Klinikleri J. Biostat.**, v.5, n.1, p.42-8, 2013.

SILVEIRA, B.E. **Morfometria geométrica comparativa de asas de Sarcophagidae (Diptera) de interesse forense.** Diss. Universidade Federal do Paraná. 2011.

SLICE, D.E. Geometric morphometrics. **Annu. Rev. Anthropol.**, v. 36, p. 261–281, 2007.

SLICE, D.E. Modern Morphometrics em SLIDE, D.E. (ed) **Modern Morphometrics in Physical Anthropology**. New York: Kluwer Press. 1-45, 2005.

SMITH, O.A.; DUNCAN, C.; PEARS, N.; PROFICO, A.; O'HIGGINS, P. (2021). Growing old: Do women and men age differently? **Anat. Rec.**, v. 304, n. 8, p. 1800-1810, 2021a.

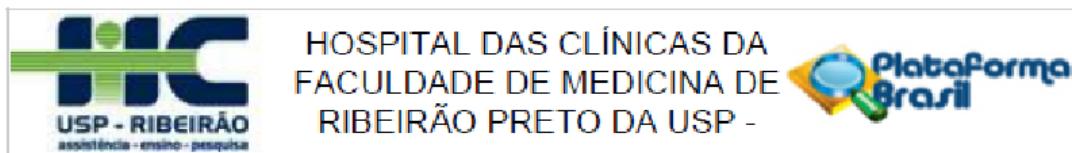
SMITH, O.A.; NASHED, Y.S.; DUNCAN, C.; PEARS, N.; PROFICO, A.; O'HIGGINS, P. 3D Modeling of craniofacial ontogeny and sexual dimorphism in children. **The Anatomical Record**, v. 304, n. 9, p. 1918-1926, 2021b.

STYNER, M.; LIEBERMAN, J.A.; MCCLURE, R.K.; WEINBERGER, D.R.; JONES, D.W.; GERIG, G. Morphometric analysis of lateral ventricles in schizophrenia and healthy controls regarding genetic and disease-specific factors. **PNAS**, v. 102, n. 13, p. 4872–4877, 2005.

VOLGER, H. ICAO—International Civil Aviation Organization. In: **A Concise Encyclopedia of the United Nations**. Brill Nijhoff, 2010. p. 355-357.

ZELDITCH, M.L.; SWIDERSKI, D.L.; SHEETS, H.D. FINK, W.L. **Geometric Morphometrics for Biologists: a Primer**. Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA, 2004.

ANEXO A - PARECER CONSUBSTANCIADO COM APROVAÇÃO DO CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Análise de parâmetros faciais na população brasileira com finalidade forense a partir de banco de imagens em norma frontal.

Pesquisador: Carlos Eduardo Palhares Machado

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 51448515.0.0000.5440

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.356.054

Apresentação do Projeto:

O protocolo de pesquisa foi instruído com o projeto de pesquisa na íntegra, a folha de rosto da Plataforma Brasil devidamente preenchida e assinada pelo responsável pela Instituição proponente (Policia federal e Universidade de São Paulo), com a anuência das instituições coparticipantes (Universidade de Brasília e Universidade Estadual de Campinas), o comprovante de cadastramento da pesquisa no Sistema CONEP, o orçamento detalhado (custeio e capital por ano) demonstrando a existência de infraestrutura necessária ao desenvolvimento da pesquisa, a fonte de financiamento de tal orçamento (CAPES, edital Ciências Forenses no 25/2014, "PRÓ-FORENSES"), o cronograma detalhado de atividades de 2015 até 2019, solicitação de dispensa do TCLE acompanhada do termo de sigilo e confidencialidade.

Objetivo da Pesquisa:

"O presente projeto adota a hipótese de que é possível, por meio da análise de imagens faciais em norma frontal retiradas de banco de dados nacional, analisar a frequência e a distribuição de parâmetros métricos, geométricos e morfológicos da face da população brasileira, a fim de criar bases estatísticas de suporte aos exames de comparação facial e identificação humana por meio de imagens." Pretende ainda, a pesquisa, desenvolver e validar metodologia de análise dos padrões faciais em norma frontal, avaliar a qualidade das imagens dos bancos acessados,

Endereço:	CAMPUS UNIVERSITÁRIO	CEP:	14.048-000
Bairro:	MONTE ALEGRE		
UF: SP	Município:	RIBEIRAO PRETO	
Telefone:	(16)3602-2228	Fax:	(16)3633-1144
		E-mail:	cep@horp.usp.br



Continuação do Parecer: 1.356.054

descrever a população segundo parâmetros antropométricos e antropológicos, além de variações métricas diversas. Os objetivos são bastante amplos, mas o material e a metodologia são adequados às proposições.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

A proporcionalidade entre riscos potenciais de quebra de sigilo e os benefícios, não provoca a menor dúvida sobre a importância e a necessidade de realização do projeto de pesquisa proposto. Existem garantias de sigilo e confidencialidade, com força de autoridade, e as contribuições para o conhecimento forense são incontroversas.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa representa contribuição importante para as Ciências Forenses e para as atividades policiais e periciais, pois se pretende desenvolver estudos epidemiológicos sobre antropometria e antropologia da população brasileira, usando dados e imagens contidas no Sistema Nacional de Passaportes, com vistas à identificação. O estudo tem a participação de centros de excelência em Ciências Forenses, além da participação da autoridade policial. A metodologia adotada pelos autores está adequada ao que se recomenda para este tipo de estudo epidemiológico.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Trata-se de estudo transversal realizado com coleções de imagens de indivíduos do Sistema nacional de Passaportes (SINPA) da Polícia Federal, que é coproponente do projeto. Consta a solicitação do TCLE, pois o estudo será conduzido com dados primários já produzidos, por meio de amostragem do universo de indivíduos, cujas informações pessoais serão resguardadas no ambiente da Polícia Federal, além de que os pesquisadores não terão acesso aos dados identificadores das pessoas, como nome, endereço, etc. Não há óbices às garantias de confidencialidade dos dados proferidas pelos autores.

Recomendações:

Não há o que acrescentar, sob o ponto de vista da ética em pesquisa com seres humanos.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O protocolo de pesquisa está bem instruído, os aspectos éticos foram garantidos, a pesquisa está bem estruturada em seus aspectos formais e metodológicos, as instituições participantes foram anuentes e há recursos financeiros e de infraestrutura para a sua realização.

Diante do exposto e à luz da Resolução CNS 466/2012, o projeto de pesquisa, assim como a dispensa do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido podem ser enquadrados na categoria

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Bairro: MONTE ALEGRE

CEP: 14.048-000

UF: SP

Município: RIBEIRÃO PRETO

Telefone: (16)8602-2228

Fax: (16)3633-1144

E-mail: cep@hcrp.usp.br



HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO DA USP -



Continuação do Parecer: 1.356.054

APROVADO.

Considerações Finais a critério do CEP:

Projeto Aprovado: Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados ao CEP, relatórios parciais anuais referentes ao andamento da pesquisa e relatório final ao término do trabalho. Qualquer modificação do projeto original deve ser apresentada a este CEP em nova versão, de forma objetiva e com justificativas, para nova apreciação.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_563119.pdf	01/12/2015 02:13:11		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Solicitacao_dispensa_TCLE.pdf	01/12/2015 02:12:35	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Outros	Edital_25_2014_CAPES_Carta_anuenci_a_UNB.pdf	28/11/2015 16:17:09	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Outros	Edital_25_2014_CAPES_Carta_anuenci_a_UNICAMP.pdf	28/11/2015 16:16:32	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Outros	Edital_25_2014_CAPES_Carta_anuenci_a_PF.pdf	28/11/2015 16:15:37	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Outros	Edital_25_2014_CAPES_Carta_anuenci_a_USP.pdf	28/11/2015 16:14:32	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Outros	Edital_25_2014_CAPES_RESULTADO_FINAL.pdf	28/11/2015 16:12:42	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Outros	Edital_25_2014_CAPES_PROFORENSES.pdf	28/11/2015 16:11:29	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Outros	Anuencia_POLICIA_FEDERAL_pesquisa_FACE.pdf	28/11/2015 16:09:00	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Orçamento	Orcamento_detalhado_aprovado_pela_UPC_FMRP_USP_e_CAPES.pdf	28/11/2015 16:05:14	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Orçamento	Aprovacao_orcamento_UPC_FMRP_USP.pdf	28/11/2015 16:04:33	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao_compromisso_pesquisadores_responsaveis.pdf	28/11/2015 16:02:12	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Folha de Rosto	FOLHA_ROSTO_ASSINADA.pdf	28/11/2015 15:56:24	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_PROFORENSESES_FACE_SUBLIMISSAO_CEP_FINAL_REVISADO.pdf	28/11/2015 13:17:25	Carlos Eduardo Palhares Machado	Aceito

Situação do Parecer:

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO	CEP: 14.048-000
Bairro: MONTE ALEGRE	
UF: SP	Município: RIBEIRÃO PRETO
Telefone: (16)3602-2228	Fax: (16)3633-1144
E-mail: cep@hcrp.usp.br	



HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA
FACULDADE DE MEDICINA DE
RIBEIRÃO PRETO DA USP -



Continuação do Parecer: 1.366.054

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIBEIRÃO PRETO, 08 de Dezembro de 2015

Assinado por:
MARCIÁ GUIMARÃES VILLANOVA
(Coordenador)

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO
Bairro: MONTE ALEGRE CEP: 14.048-900
UF: SP Município: RIBEIRÃO PRETO
Telefone: (16)3602-2228 Fax: (16)3633-1144 E-mail: cepi@hcsp.usp.br

ANEXO B – NORMAS DA REVISTA FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL



FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL

An international journal dedicated to the applications of medicine and science in the administration of justice.

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

- **Description** p.1
- **Audience** p.1
- **Impact Factor** p.1
- **Abstracting and Indexing** p.2
- **Editorial Board** p.2
- **Guide for Authors** p.4



ISSN: 0379-0738

DESCRIPTION

Forensic Science International is the flagship journal in the prestigious Forensic Science International family, publishing the most innovative, cutting-edge, and influential contributions across the forensic sciences. Fields include: forensic pathology and histochemistry, chemistry, biochemistry and toxicology, biology, serology, odontology, psychiatry, anthropology, digital forensics, the physical sciences, firearms, and document examination, as well as investigations of value to public health in its broadest sense, and the important marginal area where science and medicine interact with the law.

The journal publishes: Case Reports Commentaries Letters to the Editor Original Research Papers (Regular Papers) Rapid Communications Review Articles Technical Notes

Forensic Science International adheres to strict [ethical publication guidelines](#) and actively supports a culture of inclusive and representative publication. For any submission enquiries, please contact the respective [Editor](#).

The Forensic Science International journals offer comprehensive and pioneering coverage within the forensic sciences and beyond, disseminating ground-breaking discoveries, highly specialised research, and foundational science across the family of publications. The FSI portfolio comprises of: [Forensic Science International](#)[Forensic Science International: Animals and Environments](#)[Forensic Science International: Digital Investigation](#)[Forensic Science International: Genetics](#)[Forensic Science International: Genetics Supplement Series](#)[Forensic Science International: Mind and Law](#)[Forensic Science International: Reports](#)[Forensic Science International: Synergy](#)

AUDIENCE

Pathologists, Anthropologists, Psychiatrists, Biologists, Serologists, Odontologists, Physical Scientists, Toxicologists, Scientists in Legal and Social Medicine, Questioned Documents and Jurisprudence

IMPACT FACTOR

2021: 2.676 © Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2022

ABSTRACTING AND INDEXING

Current Awareness in Biological Sciences
 PubMed/Medline
 Biological Abstracts
 Bulletin Signalétique
 Cambridge Scientific Abstracts
 Chemical Abstracts
 Criminology, Penology and Police Science Abstracts
 Current Contents
 Embase
 National Criminal Justice Reference Service
 Science Citation Index
 Scopus

EDITORIAL BOARD

Co Editors-in-Chief

C. Cattaneo, University of Milan, Faculty of Medicine and Surgery, Via San Vittore 12, 20122, Milano, Italy
 Areas of Expertise - Forensic Anthropology, Forensic Odontology, Forensic Medicine, Humanitarian Forensics
C. Jackowski, Institute of Forensic Medicine, University of Bern, Murtenstr. 26, CH-3008, Bern, Switzerland
 Areas of Expertise: Forensic Pathology; Forensic Imaging; Forensic Radiology; Physics and Biomechanics, Traffic Medicine

Associate Editors

O.H. Drummer, Monash University, Clayton, 3168, Victoria, Australia
B. Ludes, University Paris Cité, Paris, France
S. Matuszewski, Adam Mickiewicz University, 61-712, Poznan, Poland
D. Meuwly, Netherlands Forensic Institute, 's-Gravenhage, Netherlands
C. Weyermann, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland

Assistant Editors

D. Deangelis, (for C. Cattaneo), Milan, Italy
D. Gallidabino, (for C. Weyermann) Northumbria University, London, United Kingdom
M. Morelato, (for C. Weyermann) University of Technology Sydney, Broadway, Australia
S. Moret, (for C. Weyermann) University of Technology Sydney, Broadway, Australia
Z. Obertova, (for C. Cattaneo), Milan, Italy
W. D. Zech, (for C. Jackowski) University of Bern, Murtenstr. 26, CH-3008, Bern, Switzerland

Editorial Board

J. Amendt, Frankfurt am Main, Germany
S.L. Beh, Hong Kong, Hong Kong
P. Buzzini, Huntsville, Texas, United States of America
C. Campobasso, Campobasso, Italy
A. Carracedo Álvarez, Santiago de Compostela, Galicia, Spain
D. Charabidze, Lille, France
H. Chung, Wonju, South Korea
S. Cordner, Southbank, VIC, Australia
F. Crispino, Trois-Rivières, Quebec, Canada
E. Cunha, Coimbra, Portugal
H. Druid, Stockholm, Sweden
S. P. Elliott, Birmingham, United Kingdom
D. Gerostamoulos, Southbank, Australia
G.L. de la Grandmaison, Garches, France
J. R. Hall, London, United Kingdom
C. Henssge, Essen, Germany
M. Houck, Miami, Florida, United States of America
M.A. Huestis, Baltimore, MD, United States of America
H. Ikegaya, Kyoto, Japan
A.W. Jones, Stockholm, Sweden
Y. Katsumata, Kashiiwa, Japan
B. Kneubuehl, Bern, Switzerland
K. Krishan, Chandigarh, India

G. Lau, Singapore, Singapore
C. Lenhardt, Canberra, NSW, Australia
M. Liebrenz, Bern, Switzerland
A. Luna Maldonado, Murcia, Spain
B. Madea, Bonn, Germany
H. Maeda, Osaka, Japan
P. Margot, Lausanne, Switzerland
C. Neumann, University Park, PA, United States of America
D. Nuno Vieira, Coimbra, Portugal
S. Pollak, Freiburg im Breisgau, Germany
M.S. Pollanen, Toronto, ONT, Canada
K. Püschel, Hamburg, Germany
G. Quatrehommes, Nice, France
R. Ramotowski, Washington, DC, United States of America
J. Robertson, Canberra, Australia
C. Roux, Broadway, NSW, Australia
I.E. Sääksjärvi, TURKU, Finland
J. Saukko, TURKU, Finland
J. Stevens, Exeter, United Kingdom
M. Steyn, Hatfield, South Africa
F. Tagliaro, Verona, Italy
T. Takatori, Kashiwa, Japan
A. M. Tarone, College Station, Texas, United States of America
A. Thierauf-Emberger, Freiburg im Breisgau, Germany
D. Ubelaker, Washington, DC, United States of America
Q. Wang, Guangzhou, Guangdong, China
Y. Wang, Shanghai, China
D. Wells, Miami, FL, United States of America
E.J. Wiltshire, Southampton, United Kingdom
X. Xu, Shantou, China
J. Zieba-Palus, Krakow, Poland

GUIDE FOR AUTHORS

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

INTRODUCTION

Forensic Science International is a peer-reviewed, international journal for the publication of original contributions in the many different scientific disciplines comprising the forensic sciences. These fields include, but are not limited to, forensic pathology and histochemistry, toxicology (including drugs, alcohol, etc.), serology, chemistry, biochemistry, biology (including the identification of hairs and fibres), odontology, psychiatry, anthropology, the physical sciences, firearms, and document examination, as well as the many other disciplines where science and medicine interact with the law.

Types of paper

1. Original Research Articles (Regular Papers)
2. Review Articles
3. Rapid Communications
4. Technical Notes
5. Preliminary Communications
6. Letters to the Editor
7. Commentaries

Announcement of Population Data: these types of articles will be published in *Forensic Science International: Genetics*, only. Please submit these articles via <https://www.editorialmanager.com/fsi>.

Preliminary Communications(where brief accounts of important new work may be announced with less delay than is inevitable with major papers) may be accepted after correspondence with the appropriate Associate Editor.

Review Articles may be regularly submitted or invited by Editors. However, they will undergo the normal review process of the journal.

Rapid Communications should describe work of significant interest, whose impact would suffer if publication were not expedited. They should not be longer than 5 printed journal pages (about 10 submitted pages). Authors may suggest that their work is treated as a Rapid Communication, but the final decision on whether it is suitable as such will be taken by the handling Editor. Rapid Communications requiring revision should be resubmitted as a new submission.

Technical Notes report new developments, significant advances and novel aspects of experimental and theoretical methods and techniques which are relevant for scientific investigations within the journal scope. Manuscripts of this type should be short (a few pages only). Highly detailed and specific technical information such as computer programme code or user manuals can be included as electronic supplements. The manuscript title must start with "Technical Note:".

Commentaries Commentary articles are designed to allow experts from right across forensics to present their view on a 'hot topic' or emerging field. Commentaries should be between 1000-1500 words and contain fewer than 5 references. Authors may suggest that their work is treated as a Commentary, but the final decision on whether it is suitable as such will be taken by the handling Editor. Commentaries will not appear in the printed version of the journal.

Revisions deadline

Please note that articles that are sent to the author for revision need to be returned within 60 days (and within 20 days for subsequent revisions). A reminder will be sent in the second month. Any articles that are sent after the two month period of revision will be considered a re-submission.

Contact details for submission

Papers for consideration should be submitted by topic. Editors and their topic specialty are listed below.

C. Cattaneo (Co Editors-in-Chief):
 Tel: +39 02503 15679
 E-mail: cristina.cattaneo@unimi.it

C. Jackowski (Co Editors-in-Chief):
 Tel: +41 (0)31 631 84 12
 E-mail: Christian.Jackowski@irm.unibe.ch

B. Ludes: Forensic Genetics.
 E-mail: ludes@unistra.fr

P. Margot: Questioned Documents and Physical Science: ballistics, tool marks, contact traces, drugs analysis, fingerprints and identification, etc.
 Tel: +41 21 692 4605
 Fax: +41 21 692 4605
 E-mail: pierre.margot@unil.ch

O.H. Drummer: Toxicology
 Tel: +61 3 9684 4334
 Fax: +61 3 9682 7353
 E-mail: olaf.drummer@vifm.org

S. Matuszewski: Entomology
 Tel: +48 61 82 94 292
 E-Mail: szymmat@amu.edu.pl

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information on Ethics in publishing.

The editors reserve the right to reject papers on ethical grounds, regardless of whether requisite local/national ethical guidelines and approvals have been adhered to and confirmed.

Informed consent and patient details

Studies on patients or volunteers require ethics committee approval and informed consent, which should be documented in the paper. Appropriate consents, permissions and releases must be obtained where an author wishes to include case details or other personal information or images of patients and any other individuals in an Elsevier publication. Written consents must be retained by the author but copies should not be provided to the journal. Only if specifically requested by the journal in exceptional circumstances (for example if a legal issue arises) the author must provide copies of the consents or evidence that such consents have been obtained. For more information, please review the Elsevier Policy on the Use of Images or Personal Information of Patients or other Individuals. Unless you have written permission from the patient (or, where applicable, the next of kin), the personal details of any patient included in any part of the article and in any supplementary materials (including all illustrations and videos) must be removed before submission.

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential competing interests include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors must disclose any interests in two places: 1. A summary declaration of interest statement in the title page file (if double anonymized) or the manuscript file (if single anonymized). If there are no interests to declare then please state this: 'Declarations of interest: none'. 2. Detailed disclosures as part of a separate Declaration of Interest form, which forms part of the journal's official records. It is important for potential interests to be declared in both places and that the information matches. [More information](#).

Additional information

Multiple submissions is not acceptable to the Editor, and any such papers, together with future submissions from the authors, will be rejected outright. Submission also implies that all authors have approved the paper for release and are in agreement with its content.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see 'Multiple, redundant or concurrent publication' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify compliance, your article may be checked by Crossref Similarity Check and other originality or duplicate checking software.

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Content should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader; contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition; and use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, stereotypes, slang, reference to dominant culture and/or cultural assumptions. We advise to seek gender neutrality by using plural nouns ("clinicians, patients/clients") as default/wherever possible to avoid using "he, she," or "he/she." We recommend avoiding the use of descriptors that refer to personal attributes such as age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition unless they are relevant and valid. When coding terminology is used, we recommend to avoid offensive or exclusionary terms such as "master", "slave", "blocklist" and "whitelist". We suggest using alternatives that are more appropriate and (self-) explanatory such as "primary", "secondary", "blocklist" and "allowlist". These guidelines are meant as a point of reference to help identify appropriate language but are by no means exhaustive or definitive.

Author contributions

For transparency, we encourage authors to submit an author statement file outlining their individual contributions to the paper using the relevant CRediT roles: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Funding acquisition; Investigation; Methodology; Project administration; Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing - original draft; Writing - review & editing. Authorship statements should be formatted with the names of authors first and CRediT role(s) following. [More details and an example](#).

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service to find the best home for your manuscript. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated **Scientific Managing Editor**, a tool assisted recommendation, or a combination. If you agree, your manuscript will be transferred, though you will have the opportunity to make changes to the manuscript before the submission is complete. Please note that your manuscript will be independently reviewed by the new journal. [More information](#).

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. **Permission** of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement, it is recommended to state this.

Open access

Please visit our [Open Access page](#) for more information.

Elsevier Researcher Academy

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Submit your article

Please submit your article via <https://www.editorialmanager.com/fsi>.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Peer review

This journal operates a double anonymized review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision

is final. Editors are not involved in decisions about papers which they have written themselves or have been written by family members or colleagues or which relate to products or services in which the editor has an interest. Any such submission is subject to all of the journal's usual procedures, with peer review handled independently of the relevant editor and their research groups. [More information on types of peer review.](#)

Double anonymized review

This journal uses double anonymized review, which means the identities of the authors are concealed from the reviewers, and vice versa. [More information](#) is available on our website. To facilitate this, please include the following separately:

Title page (with author details): This should include the title, authors' names, affiliations, acknowledgements and any Declaration of Interest statement, and a complete address for the corresponding author including an e-mail address.

Anonymized manuscript (no author details): The main body of the paper (including the references, figures, tables and any acknowledgements) should not include any identifying information, such as the authors' names or affiliations.

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

• **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Acknowledgements

Please provide Acknowledgements as a separate file and remove this from the manuscript. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, it is recommended to include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, Crossref and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

Preprint references

Where a preprint has subsequently become available as a peer-reviewed publication, the formal publication should be used as the reference. If there are preprints that are central to your work or that cover crucial developments in the topic, but are not yet formally published, these may be referenced. Preprints should be clearly marked as such, for example by including the word preprint, or the name of the preprint server, as part of the reference. The preprint DOI should also be provided.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley. Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software](#).

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: Indicate references by number(s) in square brackets in line with the text. The actual authors can be referred to, but the reference number(s) must always be given.

Example: '..... as demonstrated [3,6]. Barnaby and Jones [8] obtained a different result'

List: Number the references (numbers in square brackets) in the list in the order in which they appear in the text.

Examples:

Reference to a journal publication:

[1] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, The art of writing a scientific article, *J. Sci. Commun.* 163 (2010) 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

[2] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon*. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

[3] W. Strunk Jr., E.B. White, *The Elements of Style*, fourth ed., Longman, New York, 2000.

Reference to a chapter in an edited book:

[4] G.R. Mettam, L.B. Adams, How to prepare an electronic version of your article, in: B.S. Jones, R.Z. Smith (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*, E-Publishing Inc., New York, 2009, pp. 281–304.

Reference to a website:

[5] Cancer Research UK, *Cancer statistics reports for the UK*. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/>, 2003 (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] [6] M. Oguro, S. Imahiro, S. Saito, T. Nakashizuka, Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions, Mendeley Data, v1, 2015. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Reference to software:

[7] E. Coon, M. Berndt, A. Jan, D. Svyatsky, A. Atchley, E. Kikinzon, D. Harp, G. Manzini, E. Shelef, K. Lipnikov, R. Garimella, C. Xu, D. Moulton, S. Karra, S. Painter, E. Jafarov, S. Molins, Advanced Terrestrial Simulator (ATS) v0.88 (Version 0.88), Zenodo, March 25, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3727209>.

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Data visualization

Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions [here](#) to find out about available data visualization options and how to include them with your article.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Research Elements

This journal enables you to publish research objects related to your original research – such as data, methods, protocols, software and hardware – as an additional paper in Research Elements.

Research Elements is a suite of peer-reviewed, open access journals which make your research objects findable, accessible and reusable. Articles place research objects into context by providing detailed descriptions of objects and their application, and linking to the associated original research articles. Research Elements articles can be prepared by you, or by one of your collaborators.

During submission, you will be alerted to the opportunity to prepare and submit a Research Elements article.

More information can be found on the [Research Elements page](#).

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

AFTER ACCEPTANCE***Availability of accepted article***

This journal makes articles available online as soon as possible after acceptance. This concerns the Journal Pre-proofs (both in HTML and PDF format), which have undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but are not yet the definitive versions of record. A Digital Object Identifier (DOI) is allocated, thereby making it fully citable and searchable by title, author name(s) and the full text. The article's PDF also carries a disclaimer stating that it is an unedited article. Subsequent production stages will simply replace this version.

Online proof correction

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this

stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive 25 free paper offprints, or alternatively a customized Share Link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's Author Services. Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

Author orders

When your article is published, you can commemorate your publication with printed author copies of the journal issue, customized full-color posters, extra offprints, and more. Please visit <https://webshop.elsevier.com> to learn more.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch. You can also [check the status of your submitted article](#) or [find out when your accepted article will be published](#).

© Copyright 2018 Elsevier | <https://www.elsevier.com>

ARTIGO 1: Is facial geometric morphometrics a useful method for age estimation in children and adolescents? Limited evidence and lack of studies leave us with an uncertain answer.

(Carta ao editor aceita na Revista Morphologie - Qualis A4)

+Model
MORPHO-599; No. of Pages 2

ARTICLE IN PRESS

Morphologie xxx (xxxx) xxx–xxx



Disponible en ligne sur
ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com



LETTER TO THE EDITOR

Is facial geometric morphometrics a useful method for age estimation in children and adolescents? Limited evidence and lack of studies leave us with an uncertain answer

KEYWORDS

Age estimation;
Facial analysis;
Geometric
morphometrics

Summary Facial geometric morphometrics is a non-invasive method that has recently shown potential applications, including age estimation, diagnosis of facial abnormalities, monitoring facial development, and evaluating treatment outcomes. A systematic review identified two studies that demonstrated the use of facial geometric morphometrics for age estimation in children and adolescents, showing promising results in terms of accuracy and error. This finding could be particularly relevant in forensic investigations. However, a research agenda should be established to prioritize the assessment of the diagnostic accuracy of facial morphometric geometries in estimating age among children and adolescents.

© 2023 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Dear Editor,

Facial geometric morphometrics is a promising non-invasive technique that utilizes digital imaging and statistical methods to analyze and quantify the size and shape of facial structures [1]. Recent research indicates that this method has multiple potential applications, including diagnosing facial abnormalities, monitoring facial development, evaluating treatment outcomes after surgery or orthodontic treatment, and forensic investigations [2]. Additionally, facial geometric morphometrics has demonstrated accurate classification and differentiation of individuals based on their age and biological sex, which could have significant implications for identifying missing or unidentified children and adolescents [3–6].

To evaluate the effectiveness of this relatively new technique, we conducted a systematic review searching for analytical studies that evaluated facial geometric morphometrics as an age estimation method in children and

adolescents using various imaging techniques such as scanning, photogrammetry, computed tomography, magnetic resonance, or cephalometry. We performed searches in electronic databases and grey literature [7] until February 14, 2022, without language restrictions (Table 1; supplementary file). We excluded studies that did not compare estimated age by facial geometric morphometrics with the individual's chronological age, as well as case reports, case series, studies with overlapping populations, and those focusing on syndromic diseases, anomalies, asymmetries, or craniofacial trauma.

We screened reports in two stages: titles and abstracts followed by full-text articles. Our variables of interest were author, year, country, study design and setting, sample size, sex and age, imaging exam type and landmarks used, methodological procedures and statistical analysis, main findings, and conclusion. We judged the risk of bias according to the JBI Critical Appraisal Tools for Analytical Cross-Sectional Studies (<https://jbi.global/critical>

<https://doi.org/10.1016/j.morpho.2023.04.002>
1286-0115/© 2023 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Please cite this article as: N.P. Damascena, C.E.P. Machado, M.C. Silva et al., Is facial geometric morphometrics a useful method for age estimation in children and adolescents? Limited evidence and lack of studies leave us with an uncertain answer, *Morphologie*, <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2023.04.002>

-appraisal-tools). Two reviewers conducted data extraction and assessed the risk of bias. Results of individual studies were reported descriptively.

Our search yielded 922 records, of which 21 full-text articles were assessed for eligibility. However, only two studies have used facial geometric morphometrics to estimate the age of children and adolescents [8,9] (Fig. 1; supplementary file), and their characteristics are summarized in the supplement (Table 1; supplementary file). Braga and Treil's study [8] indicated that geometric morphometrics is a promising approach for forensic skeletal age assessment in non-adults. For facial wireframe of children older than 10 years, the standard errors were smaller for girls (± 1.27 years) and boys (± 1.37 years) [8]. Saadé et al.'s study [9] demonstrated a significant correlation between centroid size and chronological (Pearson coefficient = 0.616; 95% CI 0.355–0.789) and skeletal age (Pearson coefficient = 0.605; 95% CI 0.331–0.794) and suggested that geometric morphometrics could be a useful method for age estimation in children and adolescents [9]. Both studies were classified as having a low risk of bias because of their clear criteria for sample selection, detailed descriptions of study subjects and settings, use of objective and standardized methods to estimate age, identification of confounding factors, valid and reliable measurement of results, and appropriate statistical analysis.

Geometric morphometrics has been considered a versatile method for analyzing biological structures, which offers several benefits for age estimation, such as its non-invasive approach, applicability to different structures, multivariate data analysis capabilities, and comparability across populations. Although individual study results suggest that facial geometric morphometrics has potential for age estimation in children and adolescents, the lack of a meta-analysis and the limited number of studies available highlight the need for further research in this area. As the forensic application of this method is recent, it is recommended that a research agenda be established to prioritize additional studies that assess the diagnostic accuracy of a facial geometry morphometrics in estimating age. This will help to provide a more comprehensive understanding of the potential applications and limitations of facial geometric morphometrics in forensic investigations.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

Financial support

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Process 422805/2021-1.

Online Supplement. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2023.04.002>.

References

- [1] Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix It J Mamm* 2013;24:7–14. <http://dx.doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6283>.
- [2] Rutland JW, Bellaire CP, Yao A, Arrighi-Altisan A, Napoli JG, Delman BN, et al. The expanding role of geometric morphometrics in craniofacial surgery. *J Craniofac Surg* 2021;32:1104–9. <https://journals.lww.com/10.1097/SCS.0000000000007362>.
- [3] Schmeling A, Reisinger W, Geserick G, Olze A. Age estimation of unaccompanied minors. *Forensic Sci Int* 2006;159:S61–4. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073806007040>.
- [4] Cattaneo C, Ritz-Timme S, Gabriel P, Gibelli D, Giudici E, Poppe P, et al. The difficult issue of age assessment on pedo-pornographic material. *Forensic Sci Int* 2009;183:e21–4. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073808003708>.
- [5] Cattaneo C, Obertová Z, Ratnayake M, Marasciuolo L, Tutkuvienė J, Poppe P, et al. Can facial proportions taken from images be of use for ageing in cases of suspected child pornography? A pilot study. *Int J Legal Med* 2012;126:139–44. <http://link.springer.com/10.1007/s00414-011-0564-7>.
- [6] Machado CEP, Santiago BM, Lima LNC, Gonzales PS, Franco A, Vidal de B F, et al. Applicability of a pre-established set of facial proportions from frontal photographs in forensic age estimation of a Brazilian population. *Forensic Sci Int* 2019;301:e1–7. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073819301859>.
- [7] Bramer WM, Rethlefsen ML, Kleijnen J, Franco OH. Optimal database combinations for literature searches in systematic reviews: a prospective exploratory study. *Syst Rev* 2017;6:245. <http://dx.doi.org/10.1186/s13643-017-0644-y>.
- [8] Braga J, Treil J. Estimation of pediatric skeletal age using geometric morphometrics and three-dimensional cranial size changes. *Int J Legal Med* 2007;121:439–43. <http://link.springer.com/10.1007/s00414-007-0170-x>.
- [9] Saadé A, Baron P, Noujeim ZE, Arouk E, Azar D. Predictability of craniofacial skeletal age with geometric morphometrics. *J Contemp Dent Pract* 2018;19:1493–500. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30713179>.

Nicole Prata Damascena ^{a,*}

Carlos Eduardo Palhares Machado ^b

Melina Calmon Silva ^c

Bianca Marques Santiago ^{d,*}

Paulo Ricardo Martins-Filho ^{a,**}

^a Graduate Program in Health Sciences, Federal University of Sergipe, Sergipe, Brazil

^b National Institute of Criminalistics, Brazilian Federal Police, Distrito Federal, Brazil

^c Forensic Anthropology and Identification of Persons Research Group, Brazilian Federal Police, Distrito Federal, Brazil

^d Graduate Program in Dentistry, Federal University of Paraíba, Paraíba, Brazil

* Investigative Pathology Laboratory, Federal University of Sergipe, Sergipe, Brazil

** Corresponding author at: Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Centro de Ciências da Saúde. Campus I—Cidade Universitária. João Pessoa, Paraíba 58051-900, Brasil.
E-mail address: bianca.santiago@academico.ufpb.br
(B.M. Santiago)

ARTIGO 2: Accuracy of geometric morphometric for age estimation using frontal face photographs

(Artigo submetido na Revista Forensic Science International - Qualis A2)

Forensic Science International
Accuracy of geometric morphometrics for age estimation using frontal face photographs
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Original Research Article
Keywords:	Forensic sciences; Pediatrics; Age determination; Photograph; Pornography.
Corresponding Author:	Paulo Ricardo Martins-Filho, PhD Federal University of Sergipe Aracaju, Sergipe BRAZIL
First Author:	Nicole Damascena
Order of Authors:	Nicole Damascena Shirley Verônica Lima Bianca Santiago Melina Silva Paulo Ricardo Martins-Filho, PhD Carlos Eduardo Machado
Abstract:	Age estimation is crucial in legal and humanitarian contexts. Various methods are used, including image-based approaches, which are often the only material available. However, visual observation of photographic material is an imprecise method to estimate age, which can compromise judicial decision-making. This study aimed to evaluate the accuracy of geometric facial morphometry (GFM) for age estimation among Brazilian children, adolescents, and young adults. The study analyzed a sample of 17,000 frontal face photographs of Brazilian individuals aged 6-22 years, randomly selecting 1000 images per age, and creating age groups with four-year intervals (6, 10, 14, and 18 years). The images were selected from the Brazilian Federal Police civil database, which contains standardized photographs of individuals from all regions of Brazil. Automated analysis was conducted on the photographs by marking 28 cephalometric points and the extracted data were utilized to create facial patterns by age and sex of the individuals through the GFM method. Statistical analyses (Generalized Procrustes Analysis, Principal Component Analysis, and modeling by Support Vector Machines, Linear and Multinomial Logistic Regression) were performed using R software (version 3.6). The GFM method showed significant age discrimination values, reaching an overall accuracy of approximately 70% in age prediction with an error margin of less than 3 years. The Discriminant Analysis model achieved the highest accuracy for males (74.7%), while the Multinomial Logistic Regression model obtained the highest results for females (67.2%). The highest sensitivity (88.3% – 89.3%) and specificity (92.8% – 96.1%) values were observed for the age group of 6 years. The GFM emerges as a promising approach for age estimation among children and adolescents in forensic settings.
Suggested Reviewers:	Eugênia Cunha genac62@gmail.com Yuri Wanderley Cavalcante yuri.wanderley@yahoo.com.br Alexandre Deitos deitos.ard@pf.gov.br
Opposed Reviewers:	

Dear Editor-in-Chief Cristina Cattaneo, MD, PhD

I am writing to submit our manuscript titled "**Accuracy of geometric morphometrics for age estimation using frontal face photographs**" for consideration for publication in **Forensic Science International**.

1 Age estimation is a crucial aspect in legal and humanitarian contexts, as it plays a significant role in ensuring justice
2 and protecting the rights of children and adolescents. Various methods, including dental analysis, bone density tests,
3 evaluation of physical characteristics, and image-based methods, are used by forensic professionals to estimate age.
4 However, visual observation of photographic material has been demonstrated to be an imprecise method of age
5 estimation, which can compromise judicial decision-making. Hence, understanding the correlation between facial
6 proportions and age progression can provide significant contributions in cases where victims' faces can be visualized.
7 This study evaluated the accuracy of age estimation among Brazilian children, adolescents, and young adults using
8 frontal face photographs through the technique of geometric facial morphometry (GFM).

9
10 We analyzed 17,000 frontal face photographs of Brazilian individuals, randomly selecting 1000 images per age group
11 with four-year intervals. The photographs were marked with 28 cephalometric points, and the extracted data were
12 utilized to create facial patterns by age and sex of the individuals through the GFM method. Statistical analyses were
13 performed using R software, and the GFM method showed significant age discrimination values, reaching an overall
14 accuracy of approximately 70% in age prediction with an error margin of less than 3 years.
15

16 The results of our study demonstrate that the GFM method emerges as a promising approach for age estimation among
17 children and adolescents in forensic settings. In addition, we believe that our study's findings can provide significant
18 contributions in cases where victims' faces can be visualized.
19

20 Neither this manuscript nor one with substantially similar content has been published or is being considered for
21 publication elsewhere. All authors have contributed significantly, have read the final draft and are in agreement with the
22 content of the manuscript. On behalf of my co-authors, I declare that we have no competing interests.
23

24 Thank you for your consideration, and we look forward to your response.
25

26 Sincerely,
27
28

29 **Paulo Ricardo Martins-Filho, PhD**
30

31 Epidemiologist and Expert in Evidence-based Medicine
32 Head of the Investigative Pathology Laboratory, Graduate Program in Medicine, Federal University of Sergipe, Brazil
33 Member of Research Group in Forensic Anthropology and Identification of Persons, National Council for Scientific and
34 Technological Development (CNPq), Brazil
35
36

37 **Carlos Eduardo Palhares Machado, PhD**
38

39 Head of the National Institute of Criminalistics, Federal Police, Brazil
40 Forensic Anthropology Society of Europe (F.A.S.E.) certified (level 1)
41 Coordinator of Research Group in Forensic Anthropology and Identification of Persons, National Council for Scientific
42 and Technological Development (CNPq), Brazil
43
44

45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Accuracy of geometric morphometrics for age estimation using frontal face photographs

1 Nicole Prata Damascena^{1,2}

2

3 Shirley Verônica Melo Almeida Lima³

4

5 Bianca Marques Santiago^{4,5}

6

7 Melina Calmon Silva⁶

8

9 Carlos Eduardo Palhares Machado⁷

10

11 Paulo Ricardo Martins-Filho^{1,2}

12

13

14

15

16

17

18 1 Graduate Program in Health Sciences, Federal University of Sergipe, Sergipe, Brazil.

19

20 2 Investigative Pathology Laboratory, Federal University of Sergipe, Sergipe, Brazil.

21

22 3 Department of Nursing, Federal University of Sergipe, Sergipe, Brazil.

23

24 4 Center for Forensic Medicine and Dentistry, Institute of Science Police of Paraiba, Paraiba, Brazil.

25

26 5 Graduate Program in Dentistry, Federal University of Paraiba, Paraiba Brazil.

27

28 6 National Center for the Dissemination of Forensic Sciences, Brazilian Federal Police, Distrito Federal, Brazil.

29

30 7 National Institute of Criminalistics, Brazilian Federal Police, Distrito Federal, Brazil.

31

32

33 Corresponding author: Paulo Ricardo Martins-Filho. Universidade Federal de Sergipe, Hospital Universitário, Laboratório de

34 Patologia Investigativa. Rua Cláudio Batista, s/n. Sanatório. Aracaju, Sergipe, Brasil. CEP: 49060-100.

35

36 E-mail: prmartinsfh@gmail.com

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

Highlights (for review)**Accuracy of geometric morphometrics for age estimation using frontal face photographs****Highlights**

- 1 • GFM emerges as a promising approach for age estimation among children and adolescents in forensic settings.
- 2 • The overall accuracy of GDM in age prediction is approximately 70% with an error margin of less than 3 years.
- 3 • The method performed best for males, with greater age detection ability at 6 years of age.
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35
- 36
- 37
- 38
- 39
- 40
- 41
- 42
- 43
- 44
- 45
- 46
- 47
- 48
- 49
- 50
- 51
- 52
- 53
- 54
- 55
- 56
- 57
- 58
- 59
- 60
- 61
- 62
- 63
- 64
- 65

Accuracy of geometric morphometrics for age estimation using frontal face photographs**1 Abstract**

2
3 Age estimation is crucial in legal and humanitarian contexts. Various methods are used, including image-based
4 approaches, which are often the only material available. However, visual observation of photographic material is an
5 imprecise method to estimate age, which can compromise judicial decision-making. This study aimed to evaluate the
6 accuracy of geometric facial morphometry (GFM) for age estimation among Brazilian children, adolescents, and young
7 adults. The study analyzed a sample of 17,000 frontal face photographs of Brazilian individuals aged 6-22 years,
8 randomly selecting 1000 images per age, and creating age groups with four-year intervals (6, 10, 14, and 18 years). The
9 images were selected from the Brazilian Federal Police civil database, which contains standardized photographs of
10 individuals from all regions of Brazil. Automated analysis was conducted on the photographs by marking 28
11 cephalometric points and the extracted data were utilized to create facial patterns by age and sex of the individuals
12 through the GFM method. Statistical analyses (Generalized Procrustes Analysis, Principal Component Analysis, and
13 modeling by Support Vector Machines, Linear and Multinomial Logistic Regression) were performed using R software
14 (version 3.6). The GFM method showed significant age discrimination values, reaching an overall accuracy of
15 approximately 70% in age prediction with an error margin of less than 3 years. The Discriminant Analysis model
16 achieved the highest accuracy for males (74.7%), while the Multinomial Logistic Regression model obtained the highest
17 results for females (67.2%). The highest sensitivity (88.3% – 89.3%) and specificity (92.8% – 96.1%) values were
18 observed for the age group of 6 years. The GFM emerges as a promising approach for age estimation among children
19 and adolescents in forensic settings.

20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33 **Keywords:** Forensic sciences; Pediatrics; Age determination; Photograph; Pornography.

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

1. Introduction

Age estimation plays an important role in ensuring justice and protecting the rights of children and adolescents in legal and humanitarian contexts [1,2]. Forensic professionals may use various procedures to estimate age, such as dental analysis, bone density tests, evaluation of physical characteristics including facial bone structure and development, and image-based methods. Although images are often the only material available, it has been demonstrated that visual observation of photographic material of children and adolescents is an imprecise method to estimate age, which can compromise judicial decision-making in cases of criminal offenses involving minors [3–5]. Therefore, understanding the correlation between facial proportions and age progression could provide important contributions in cases where it is possible to visualize the victims' faces [6–8].

The development of age estimation methods based on images has been receiving increasing attention from the scientific community. Despite three-dimensional geometric analysis of craniofacial bone structures is considered promising for classification/discrimination of individuals based on age and sex [9–11], there are no studies that have evaluated the technique of geometric morphometrics for age estimation through facial photographs. The present study aimed to describe the technique of geometric facial morphometry (GFM) and evaluate its accuracy for age estimation among Brazilian children, adolescents, and young adults using frontal face photographs.

2. Material and Methods

2.1. Design and sample

This cross-sectional study used a sample of 17,000 frontal face photographs from diverse Brazilian individuals, with equal representation of males and females, and age ranging from 6 to 22 years. A total of 1000 images per age were randomly selected, and age groups with four-year intervals (6, 10, 14, and 18 years) were created.

According to Hair et al. [12], a sample of at least 10 observations for each variable is considered adequate for multivariate analyses. As such, since the sample for ages 6, 10, 14, and 18 provided 4000 observations, and the sample with ages between 6 and 22 years had 17,000 observations, the sample sizes were considered adequate for all analyses in this study.

2.2. Source of data and image standardization

We selected frontal face photographs from a subset of around 15 million images in the Brazilian Federal Police civil database, which contains standardized photographs of individuals from all regions of Brazil. The images are generated in accordance with the recommendations of the International Civil Aviation Organization (ICAO), as follows: digital camera with a focal distance of 35mm positioned at the height of the eyes of the photographed person, at a distance of about 1.5 meters; light background with frontal flash using two light sources with light diffusion film to enhance contrast; images stored in the image bank in PNG format, with a resolution of 480 x 640 pixels, colored with 24 bits RGB; neutral expression with closed lips and direct gaze at the camera; absence of beard, mustache, heavy makeup, or adornments that obstructed the visualization of facial structures of interest; centered face in relation to the sagittal plane, using symmetry between the ears as a reference; centered face in relation to the horizontal plane, using alignment between the corners of the eyes and the upper edge of the ear as a reference; centered face in relation to the sagittal axis, taking alignment between the eyes and the horizontal plane (eyes at the same height) as a reference; and absence of

severe asymmetries or deformations that could compromise the study findings. Images that did not meet at least one of these criteria were excluded from the study.

2.3. Facial pattern detection and age estimation analysis

Automated analysis was conducted on the photographs by marking 28 cephalometric points [13, 14] according to the methodology proposed by Flores et al. [15]. The extracted data were utilized to create facial patterns by age and sex of the individuals through the GFM method [10,16].

Typically, geometric morphometric analyses employ the Procrustes paradigm [17]. This paradigm involves collecting a set of coordinates for each individual by recording the relative positions of each point of interest. Next, a Generalized Procrustes Analysis [18,19] is conducted to compare the shapes of two or more individuals by superimposing them onto a common coordinate system while maintaining position, size, and orientation variation. The superimposition is optimized by adjusting the translation, rotation, and scaling of the objects, i.e., the position and size of the objects are adjusted to become similar, minimizing the Procrustes distance between them [18,19]. Finally, statistical tests are applied to determine the geometric differences present in the sample.

2.4. Statistical analyses

The analyses were performed using R software (version 3.6) with a significance level of 5%. To explain the variance and covariance structure of a set of variables, a Principal Component Analysis [20, 21] was executed on the coordinates obtained from the Generalized Procrustes Analysis. The Principal Component Analysis generated scores, which along with the centroid size, were used to model the Brazilian face using the *geomorph* package. To estimate the accuracy, sensitivity, and specificity of GFM for age estimation, Support Vector Machines [22], Linear Regression [23], Multinomial Logistic Regression [24, 25], Discriminant Analysis [12], and Random Forest [26] techniques were applied based on the chronological ages recorded at the time of photograph acquisition. The validation of the results was carried out using the Holdout method [27] in the *dplyr* statistical package, with 70% of the data for the training set and 30% for the testing.

2.5. Ethical aspects

The present study was approved by the Research Ethics Committee of the University of São Paulo under number 17017213.0.0000.5440.

3. Results

Figure 1 shows graphical analyses of points and mean points across sex and age groups (6, 10, 14, and 18 years). The plotted mean points represent the average face shape of the individuals analyzed for each sex and age group, providing a clearer identification of differences between them. The scale for comparison was kept constant in all graphs, with the horizontal (X) axis ranging from -400 to -100 and the vertical (Y) axis ranging from -600 to -350.

Figure 2 represents the displacement of facial anatomical points according to age and sex. The direction and length of the arrows depict movements associated with facial growth. The illustrations reveal that individuals at age 10 have a "slenderer" and "stretched" face than those at age 6. Additionally, anatomical variations in relation to facial growth are more pronounced at ages 14 and 18 than in previous age groups.

Figure 3 illustrates Principal Component Analyses from coordinates generated by Generalized Procrustes Analysis for age groups, as well as percentage maps with mean points for each group. In Figure 3A, the first principal component explained 47.6% of the total variability of the Procrustes coordinates, while the second component explained 21%, resulting in a satisfactory total amount of variability ($>50\%$) explained by the first two components considering the four age groups.

In Figure 3B, the first principal component explains 48.9% of the total variability of the Procrustes coordinates across ages 6 to 22 years, while the second component explains 20.4%. The total amount of variability explained by the first two components is also satisfactory, with a value of 69.3%. Figures 3C and 3D present the mean points for each age group and age, respectively. It appears that the age of 18 years has smaller points for the second component. However, due to the number of points plotted in Figures 3A and 3B, mean points for each age were also presented. It is noteworthy that the age of 18 years is further away from the others when the analysis is performed for age groups with a four-year interval (Figure 3C). In the analysis with a one-year interval between groups, it is observed that the ages of 15 and 16 years, 18 and 19 years, and 20 and 21 years are closer to each other, while the ages of 18, 19, 20, 21, and 22 years are further away from the others (Figure 3D).

Table 1 presents the accuracy, sensitivity, and specificity results for each age group of 6, 10, 14, and 18 years. Discriminant Analysis achieved an overall accuracy of 69.5%. For specific age groups, the highest values of sensitivity and specificity were obtained for the age of 6 years, with 89.3% (Random Forest) and 96.1% (Discriminant Analysis), respectively. The worst performances were observed for photographs of the age group of 14 years, with a sensitivity of 56.7% and specificity of 83.9% through Discriminant Analysis. Moreover, GFM accuracy was higher in males (74.7%; Multinomial Regression). For both sexes, the highest and lowest performances were observed for photographs of age groups of 6 and 14 years, respectively.

Table 2 displays the root mean squared error (RMSE) and mean absolute error (MAE) for predicting ages from 6 to 22 years. The average prediction error is reported in years, with the lowest values observed for linear regression in males, at 2.411 (RMSE) and 1.918 (MAE). These results demonstrate that linear regression outperformed other models in terms of accuracy.

4. Discussion

Research into the existence of differences in facial proportions between men and women is crucial not only to estimate sex from images but also age, which reduces methodological errors and generates more reliable data. Advanced technologies, such as three-dimensional visualizations and computational mathematics, can quantify complex bone structures and address questions that conventional methods cannot answer [28]. In addition, new approaches that provide insight into the relationship between age and changes in facial growth can be applied to photographs.

The results of Cattaneo et al. [6] indicate that many indices extracted from frontal and lateral photographs are correlated with their respective indices extracted from living individuals and seem to be strongly related to age. Other studies have also demonstrated this correlation and have been improving their methods in search of better results. Flores et al. [29] showed that the variability values of iris points experienced much lower values in studies of accuracy in facial reference point positioning compared to those pointed out between the points of least dispersion by Cattaneo et al. [6]. However, facial analysis based on indices is particularly complicated when verifying a set of measures. Geometric morphometrics,

on the other hand, is based on cartesian coordinates that preserve all the geometric information between anatomical landmarks [30].

1 This research used the innovative applied proposal of geometric morphometrics as a parameter for measuring facial
2 changes in frontal photographs based on the study by Silveira [16], which had excellent performance in differentiating
3 genera, species, and sexes of insects. Although unprecedented, this research was based on data related from previous
4 facial studies [6,7,29], especially regarding facial structures and age groups. Therefore, our findings contribute to the
5 establishment of population growth patterns and propose a promising alternative method for estimating age in forensic
6 contexts from facial images in frontal view.
7

8
9 The method applied in this study also considered the differentiation between sexes in subadult individuals, another
10 important challenge in forensic anthropological examinations, as most existing shape and size differences are hormone-
11 dependent and only emerge during puberty [7]. As there are differences between men and women even at ages preceding
12 puberty, this fact must be taken into consideration for knowledge production. In this sense, the growth pattern was
13 identified from displacement graphs, and the accuracy of each model was analyzed through sensitivity and specificity,
14 as well as performance measured by the error in years.
15

16
17 The average male face at any age was larger than the average female face at the corresponding age. Aging changes were
18 similar in both sexes, although the female growth pattern was considerably shorter and less pronounced. The female
19 face became more rounded during aging, while the male face transformed from oval to rectangular, and sexual
20 dimorphism decreased with age. Similar results were found in the study by Mydlova et al. [10], which showed that sex
21 and age have a significant influence on the shape of the human face, with allometry for facial shape and size and growth
22 pattern in similar directions for all sexes and age groups.
23

24
25 Moreover, our study revealed that there is a more rapid growth trajectory observed up to the age of 14 years, followed
26 by a decline in growth rate. Notably, this decline coincides with the emergence of greater disparities in anthropometric
27 measurements between males and females. Our findings contradict an earlier study [31], which posited that the cessation
28 of facial growth in males typically occurs at 16 years of age, and any growth thereafter should be classified as "late
29 maturation." Overall, the MFG method achieved an accuracy of about 70% in age estimation, with a margin of error no
30 greater than three years. The best test sensitivity results were observed for females at 6 years of age and for males from
31 10 years old onwards. For specificity, similar results were obtained for both sexes in the 6-year-old age group, whereas
32 for the 10-year-old age group, females obtained higher values. For the 14 and 18-year-old groups, higher specificity
33 values were observed for males.
34

35
36 According to Braga and Treil [11], the shape of children's skulls is characterized by a relatively large cranial box and a
37 small face, whereas adults have a proportionally longer face that demonstrates the facial skeleton continues to grow
38 until adolescence compared to the considerable deceleration of cranial box growth. The differences found are the result
39 of allometric growth of the face, which is detected in this study. Our findings were consistent with the studies of Smith
40 et al. [32,33], which indicated that men and women age significantly differently, and aging differs in characteristics,
41 time, and rates, mainly between the early and later phases of life. Craniofacial analyses indicate that men extend
42 allometric growth in larger size ranges, substantially contributing to adult dimorphism.
43

44
45 Other studies have investigated the correlation between craniofacial structure and age. Saadé et al. [9] found that the
46 size of the centroid of the craniofacial structure was a good predictor of skeletal age, while Víðarsdóttir et al. [28]
47
48

demonstrated a strong positive correlation between the size of the facial centroid and age using geometric morphometrics. Our results support these findings by indicating that facial size development follows a predictable pattern with increasing age.

This study has limitations in terms of its representativeness of images in adverse conditions, as it utilized high-resolution frontal photographs of original documents rather than typical images from crime scene investigations. Cattaneo et al. [3] emphasize that poor image quality and low resolution pose greater obstacles to age assessment compared to direct examination of living individuals. Nonetheless, few methods currently exist that use external facial structures, as employed in this study, to differentiate sex and estimate age from photographs. Despite the identified limitations, our findings strongly aid in sex and age discrimination through images and suggest new scientific possibilities regarding the applicability of the GFM method in different photographic scenarios.

5. Conclusion

Our results indicate a vertical increase in facial size in both sexes with age, more gradually and distinctly in males, and a more prominent elongation of the face, particularly in its lower third. GFM modeling demonstrated robust values, achieving 70% accuracy in age prediction with a margin of error of less than three years. The method performed best for males, with greater age detection ability at 6 years of age.

Funding

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Grant 0025/2014.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

This study was conducted under the auspices of the ANP/CNPq Research Group in Forensic Anthropology and Identification of Persons.

References

- [1] E. Cunha, E. Baccino, L. Martrille, F. Ramsthaler, J. Prieto, Y. Schular, N. Lymerup, C. Cattaneo, The problem of aging human remains and living individuals: A review, *Forensic Sci Int.* 193 (2009) 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.09.008>.
- [2] A.R. Deitos, L.N.C. Lima, T.P.M. Santos, A. Franco, F. de B. Vidal, E. Daruge, L. Francesquini, C.E.P. Machado, Age assessment by using facial photo-anthropometry in a Brazilian population, *Forensic Science International: Reports.* 2 (2020) 100131. <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2020.100131>.
- [3] C. Cattaneo, S. Ritz-Timme, P. Gabriel, D. Gibelli, E. Giudici, P. Poppa, D. Nohrden, S. Assmann, R. Schmitt, M. Grandi, The difficult issue of age assessment onpedo-pornographic material, *Forensic Sci Int.* 183 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.09.005>.
- [4] D. Gibelli, Z. Obertová, S. Ritz-Timme, P. Gabriel, T. Arent, M. Ratnayake, D. De Angelis, C. Cattaneo, The identification of living persons on images: A literature review, *Leg Med.* 19 (2016) 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2016.02.001>.
- [5] M. Ratnayake, Z. Obertová, M. Dose, P. Gabriel, H.M. Bröker, M. Brauckmann, A. Barkus, R. Rizgeliene, J. Tutkuviene, S. Ritz-Timme, L. Marasciuolo, D. Gibelli, C. Cattaneo, The juvenile face as a suitable age indicator in child pornography cases: a pilot study on the reliability of automated and visual estimation approaches, *Int J Legal Med.* 128 (2014) 803–808. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0875-y>.
- [6] C. Cattaneo, Z. Obertová, M. Ratnayake, L. Marasciuolo, J. Tutkuviene, P. Poppa, D. Gibelli, P. Gabriel, S. Ritz-Timme, Can facial proportions taken from images be of use for ageing in cases of suspected child pornography? A pilot study, *Int J Legal Med.* 126 (2012) 139–144. <https://doi.org/10.1007/s00414-011-0564-7>.

- [7] C.E.P. Machado, M.R.P. Flores, L.N.C. Lima, R.L.R. Tinoco, A. Franco, A.C.B. Bezerra, M.P. Evison, M.A. Guimarães, A new approach for the analysis of facial growth and age estimation: Iris ratio, *PLoS One.* 12 (2017). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180330>.
- [8] C.E.P. Machado, B.M. Santiago, L.N.C. Lima, P.S. Gonzales, A. Franco, F. de B. Vidal, I.A. Aguilera, M.A. Guimarães, 1 Applicability of a pre-established set of facial proportions from frontal photographs in forensic age estimation of a Brazilian 2 population, *Forensic Sci Int.* 301 (2019) e1–e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.05.009>.
- [9] A. Saadé, P. Baron, Z.E.F. Noujeim, E. Arouk, D. Azar, Predictability of craniofacial skeletal age with geometric morphometrics, 3 *J Contemp Dent Pract.* 19 (2018) 1494–1501. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2455>.
- [10] M. Mydllová, J. Dupej, J. Koudelová, J. Veleminská, Sexual dimorphism of facial appearance in ageing human adults: A cross- 4 sectional study, *Forensic Sci Int.* 257 (2015) 519.e1-519.e9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.09.008>.
- [11] J. Braga, J. Treil, Estimation of pediatric skeletal age using geometric morphometrics and three-dimensional cranial size 5 changes, *Int J Legal Med.* 121 (2007) 439–443. <https://doi.org/10.1007/s00414-007-0170-x>.
- [12] J.F. Hair, et al., *Análise Multivariada de Dados.* Bookman, Porto Alegre, 2009.
- [13] L.F. Porto, L.N. Correia Lima, M.R. Pinheiro Flores, A. Valsecchi, O. Ibanez, C.E. Machado Palhares, F. de Barros Vidal, 6 Automatic cephalometric landmarks detection on frontal faces: An approach based on supervised learning techniques, *Digit Investig.* 30 (2019) 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.dini.2019.07.008>.
- [14] L.G. Farkas, *Anthropometry of the head and face*, 2nd ed., Raven Press, New York, 1994.
- [15] M.R.P. Flores, C.E.P. Machado, R.H.A. Silva, Proposta de análise facial fotoantropométrica em norma frontal: metodologia 7 descriptiva dos pontos anatômicos de referência [Photo-anthropometric facial analysis in frontal view images: descriptive methodology proposal for anatomical landmarks], Novas Edições Acadêmicas. (2017). http://facisgroup.org/facial_landmarks (accessed April 5, 2022).
- [16] B.E. Silveira, *Morfometria geométrica comparativa de asas de Sarcophagidae (Diptera) de interesse forense: uma ferramenta 8 eficaz para a identificação?* Universidade Federal do Paraná, 2011.
- [17] D.C. Adams, F.J. Rohlf, D.E. Slice, A field comes of age: Geometric morphometrics in the 21st century, *Hystrix.* 24 (2013). 9 <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6283>.
- [18] J.C. Gower, Generalized procrustes analysis, *Psychometrika.* 40 (1975) 33–51.
- [19] D.C. Adams, F.J. Rohlf, D.E. Slice, Geometric morphometrics: ten years of progress following the “revolution”, *Ital J Zool.* 10 71 (2004) 5–16.
- [20] H. Hotelling, Components, Analysis of a complex of statistical variables into principal, *J Educ Psychol.* 24 (1933) 417.
- [21] S.A. Mingoti, *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*, Editora UFMG, Belo 11 Horizonte, 2005.
- [22] V. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer, New York, 1995.
- [23] D.C. Montgomery, E.A. Peck, G.G. Vining, *Introduction to linear regression analysis*, 4th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, 12 2006.
- [24] M.A. Efronymson, *Mathematical methods for digital computers*, John Wiley, New York, 1960.
- [25] A. Agresti, *Categorical analysis*, John Wiley, New York, 2002.
- [26] L. Breiman, *Random Forests*. Machine Learning, University of California, Berkeley, 2001.
- [27] R. Kohavi, A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection, *IJCAI'95: Proceedings of 13 the 14th international joint conference on Artificial intelligence*, 2 (1995) 1137–1143.
- [28] U.S. Vioarsdóttir, P. O'Higgins, C. Stringer, A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the 14 modern human facial skeleton, *J Anat.* 201 (2002) 211–229. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2002.00092.x>.
- [29] M.R.P. Flores, C.E.P. Machado, M.D. Gallidabino, G.H.M. de Arruda, R.H.A. da Silva, F.B. de Vidal, R.F.H. Melani, 15 Comparative Assessment of a Novel Photo-Anthropometric Landmark-Positioning Approach for the Analysis of Facial Structures 16 on Two-Dimensional Images, *J Forensic Sci.* 64 (2019) 828–838. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13935>.
- [30] F.J. Rohlf, L.F. Marcus, A revolution in morphometrics, *Trends Ecol Evol.* 8 (1993) 129–132.
- [31] D. Enlow, *Facial Growth*, 3rd ed., W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1990.
- [32] O.A.M. Smith, Y.S.G. Nashed, C. Duncan, N. Pears, A. Profico, P. O'Higgins, 3D Modeling of craniofacial ontogeny and 17 sexual dimorphism in children, *Anat Rec.* 304 (2021) 1918–1926. <https://doi.org/10.1002/ar.24582>.
- [33] O.A.M. Smith, C. Duncan, N. Pears, A. Profico, P. O'Higgins, Growing old: Do women and men age differently?, *Anatomical 18 Record.* 304 (2021) 1800–1810. <https://doi.org/10.1002/ar.24584>.
- 19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

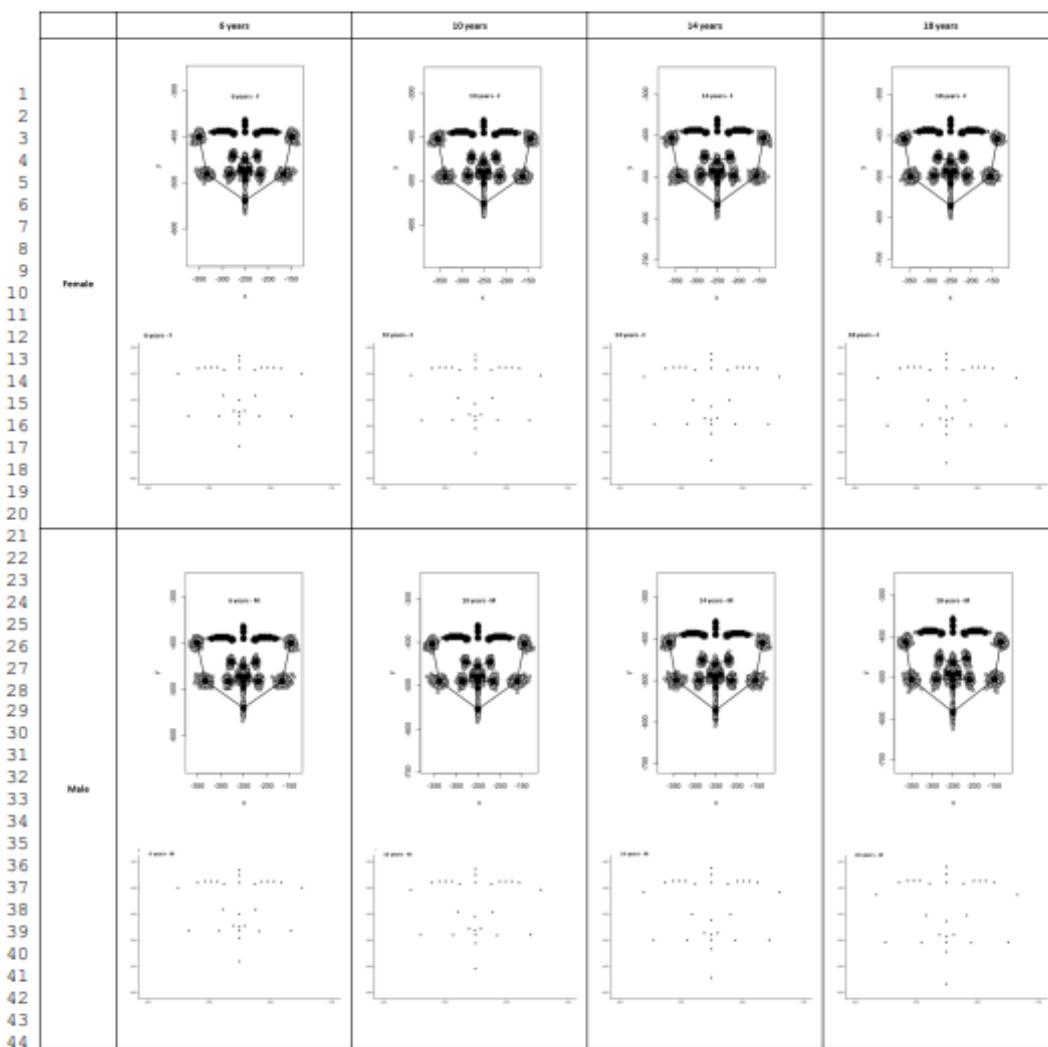
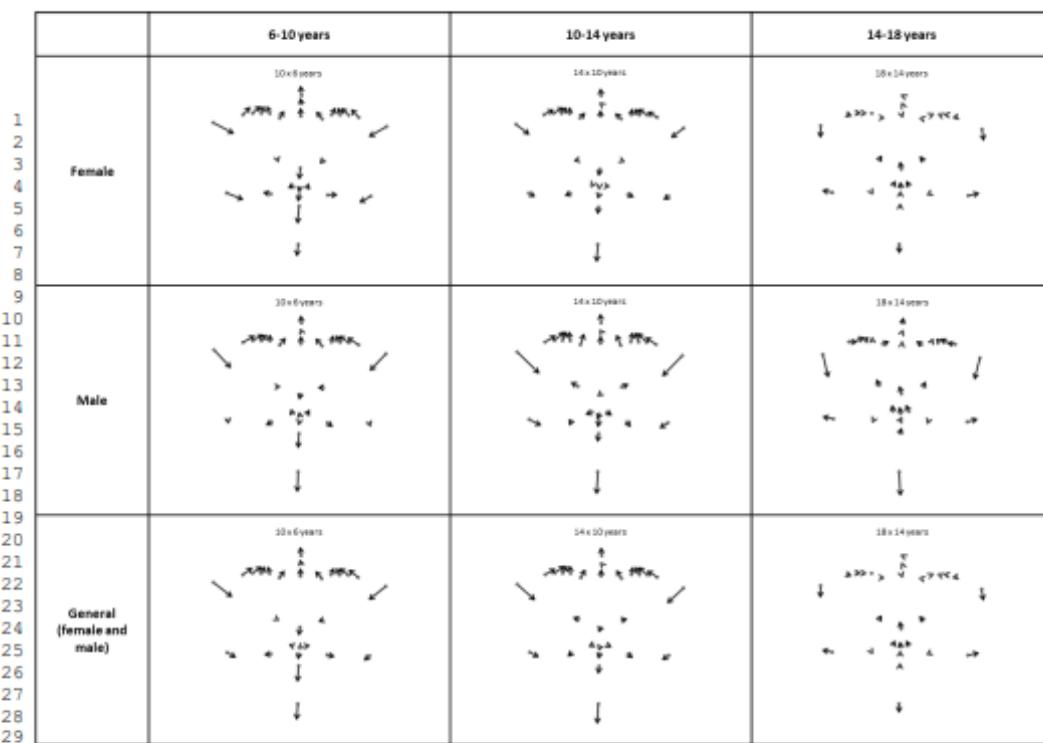


Figure 1. Analysis of landmarks and corresponding midpoints in images of males and females at ages 6, 10, 14, and 18.

45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65



30 Figure 2. Facial growth direction in images of male and female individuals across 6, 10, 14, and 18-year-old age groups.

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

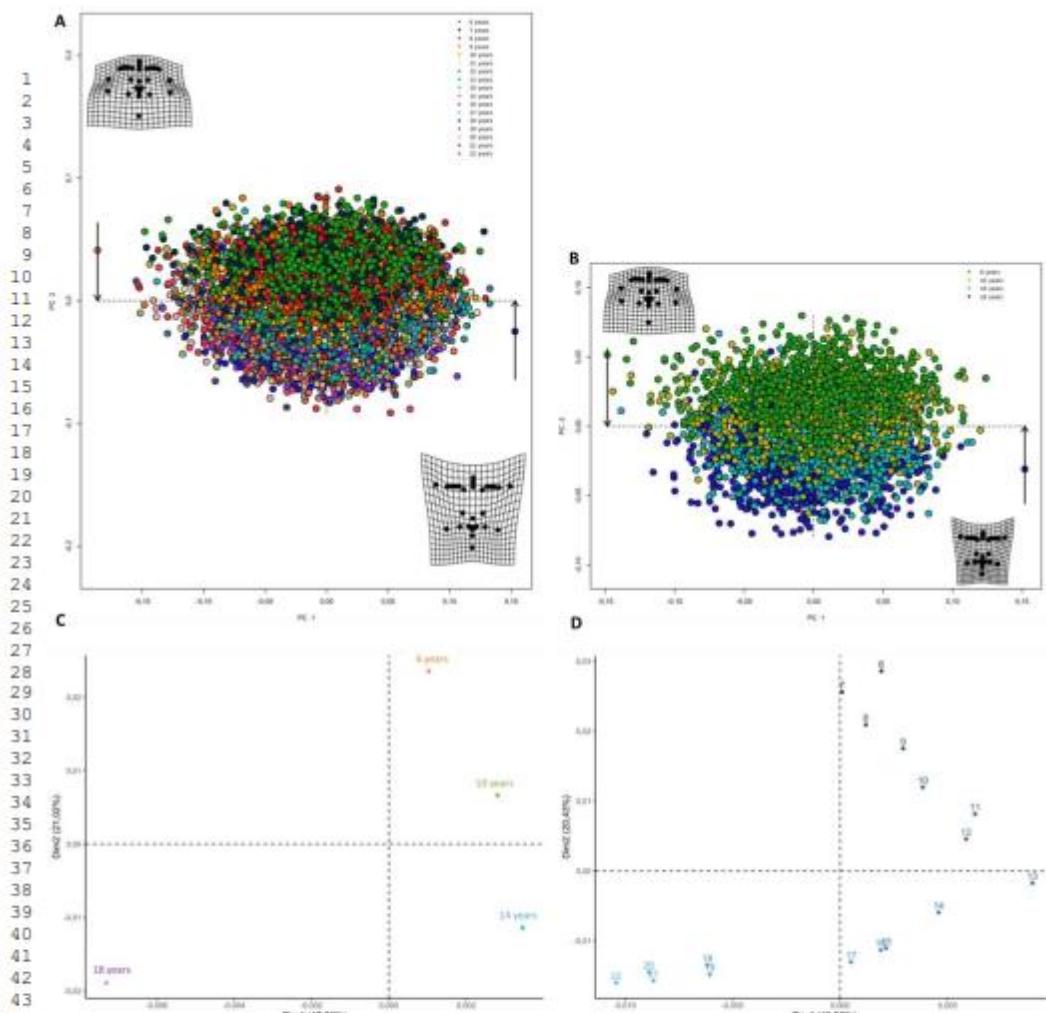


Figure 3. Percentage maps of age groups, with intervals of 1 year (3A) and 4 years (3B), and their respective midpoints (3C and 3D).

45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Table 1. Accuracy, sensitivity, and specificity of geometric facial morphometry based on the four age groups (6, 10, 14, and 18 years).

	Method	Accuracy	Sensitivity				Specificity			
			6 y	10 y	14 y	18 y	6 y	10 y	14 y	18 y
1 2 3 4	SVM ¹	0.684	0.883	0.687	0.520	0.647	0.948	0.892	0.843	0.896
	MLR ²	0.693	0.873	0.710	0.523	0.663	0.956	0.888	0.846	0.901
	Discriminant Analysis	0.695	0.853	0.727	0.567	0.633	0.961	0.878	0.839	0.916
	Random forest	0.659	0.893	0.617	0.450	0.677	0.928	0.877	0.853	0.888
5 6 7 8	SVM ¹	0.708	0.834	0.695	0.615	0.691	0.953	0.877	0.854	0.929
	MLR ²	0.747	0.834	0.695	0.679	0.770	0.955	0.900	0.883	0.924
	Discriminant Analysis	0.737	0.815	0.734	0.679	0.721	0.964	0.890	0.865	0.931
	Random forest	0.713	0.874	0.672	0.564	0.739	0.938	0.892	0.887	0.901
9 10 11 12	SVM ¹	0.643	0.928	0.577	0.514	0.579	0.935	0.918	0.808	0.864
	MLR ²	0.658	0.906	0.632	0.473	0.638	0.952	0.902	0.833	0.857
	Discriminant Analysis	0.672	0.899	0.681	0.514	0.605	0.965	0.892	0.830	0.873
	Random forest	0.597	0.935	0.515	0.377	0.586	0.918	0.908	0.811	0.826

¹Support Vector Machines; ²Multinomial Logistic Regression.

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

Table 2. Root mean squared error (RMSE) and mean absolute error (MAE) for predicting ages from 6 to 22 years.

	Method	RMSE	MAE
1 General	Support Vector Machines	2.702	2.135
	Multinomial Logistic Regression	2.690	2.161
	Random forest	2.710	2.165
2 Male	Support Vector Machines	2.481	1.978
	Multinomial Logistic Regression	2.411	1.918
	Random forest	2.422	1.941
3 Female	Support Vector Machines	2.918	2.316
	Multinomial Logistic Regression	2.830	2.282
	Random forest	2.882	2.323

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65