

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Letícia Copatti Dogenski

**ACURÁCIA DOS MÉTODOS LONDON ATLAS E RP ATLAS NA ESTIMATIVA DE
IDADE E DIAGNÓSTICO DA MAIORIDADE DE BRASILEIROS DA REGIÃO SUL**

Passo Fundo

2025

Letícia Copatti Dogenski

**ACURÁCIA DOS MÉTODOS LONDON ATLAS E RP ATLAS NA ESTIMATIVA DE
IDADE E DIAGNÓSTICO DA MAIORIDADE DE BRASILEIROS DA REGIÃO SUL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia do Curso de Odontologia da UPF, para obtenção do título de Doutor em Odontologia – Área de Concentração em Clínica Odontológica, sob orientação do prof. Dr. **João Paulo De Carli** e co-orientação do prof. Dr. **Ademir Franco do Rosário Júnior**.

Passo Fundo

2025

Folha reservada para
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.

Após, faça a substituição pela Ata de aprovação fornecida pela Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

Folha reservada para

Ficha catalográfica

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.

Após, faça a substituição pela Ficha Catalográfica fornecida pela Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Letícia Copatti Dogenski.

Nasceu na cidade de Sananduva (RS) em 26 de junho de 1994. Graduiu-se em Odontologia pela Universidade de Passo Fundo em 2018 e obteve o título de Mestre em Diagnóstico Bucal pela Universidade Federal de Santa Catarina em 2022. Também é especialista em Estomatologia pela Faculdade Unyleya, tendo obtido o título no ano de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, que sempre foi minha fonte de inspiração e força. Minha mãe Nelci Fátima Copatti, meu pai Iracilde Luiz Dogenski (*in memoriam*) e minha irmã Larissa Copatti Dogenski, pelo apoio constante e incondicional em todos os momentos, sem o qual eu não teria conseguido chegar até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Paulo De Carli, que se tornou um grande amigo ao longo da minha jornada acadêmica, sempre oferecendo suporte nos momentos de dúvida e desafio, o que fez toda a diferença para meu crescimento pessoal e profissional. Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Ademir Franco do Rosário Júnior, cujo conhecimento, orientação e apoio foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus queridos amigos Gabriel de Castro Kondo, Natana Santin Menegasso, Thayla Siqueira e Guilherme Belmont. Tivemos vivências incríveis e inesquecíveis nos três anos que passei em Passo Fundo durante o doutorado. Sem o seu apoio, seria difícil superar os momentos mais desafiadores. E aos demais amigos que, mesmo fisicamente distantes, fizeram-se presentes nesse processo, facilitando a jornada: Izadora Buziki dos Santos e Mykaél Lemos.

Aos meus colegas de pesquisa e percurso acadêmico, Dora Marise Castro, Gabriela Caovilla Felin, Henrique Cesca, Jonathan Lauxen, Juliana Arisi Medeiros e Victória Alberton, pela colaboração e amizade. A todos os demais colegas, professores e funcionários do PPGOdonto UPF, meu sincero agradecimento pela troca de experiências e pelo suporte ao longo dessa trajetória.

À Júlia Trevizan Segalin, que me acolheu durante a minha convivência no Laboratório de Cultivo Celular da UPF, compartilhando conhecimento com paciência e generosidade. Além de parceira de trabalho, tornou-se uma amizade querida. À Sara de Figueiredo Ribeiro, com quem sempre pude contar para compartilhar tanto os desafios da vida acadêmica quanto as experiências do cotidiano. Sua amizade foi um suporte fundamental ao longo dessa jornada. À Vanessa Koltermann Sartori, pelo auxílio ao longo da pesquisa, contribuindo para que este trabalho fosse possível.

Ao Cauane Blumberg, por viabilizar a parte estatística do estudo, garantindo a qualidade e a precisão dos resultados.

Finalmente, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e pela oportunidade de realizar minha pesquisa com qualidade.

A todos, o meu mais sincero agradecimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Odontologia Legal na identificação humana	14
2.2. Estimativa de idade dentária	14
<i>2.2.1. Terceiros molares na estimativa de idade</i>	<i>16</i>
2.3. Métodos London Atlas e RP Atlas	16
3. PROPOSIÇÃO	18
3.1. Objetivo geral	18
3.2. Objetivos específicos	18
3.3 Hipótese	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1. Aspectos éticos e delineamento do estudo	19
4.2. Seleção da amostra radiográfica	19
<i>4.2.1. Critérios de inclusão</i>	<i>19</i>
<i>4.2.2. Critérios de exclusão</i>	<i>19</i>
4.3. Calibração dos avaliadores	20
4.4. Aplicação do método London Atlas	20
4.5. Aplicação do método RP Atlas	25
4.6. Análise estatística	27
5. RESULTADOS	28
6. DISCUSSÃO	34
7. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXOS	43
ANEXO I - Artigo submetido	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais métodos de estimativa de idade dentária e trabalhos que os abordam, destacando-se a dentição e a população e/ou país onde foram aplicados.....	15
Tabela 2 - Valores ICC intra e interobservadores para o dente 28 e 38 segundo os métodos London e RP Atlas.....	20
Tabela 3 - Descrição da amostra analisada, incluindo o número total de radiografias panorâmicas, bem como o número por sexo e faixa etária.....	28
Tabela 4 - Correlação de Spearman entre idade cronológica vs. idade estimada pelos métodos London Atlas e RP Atlas.....	28
Tabela 5 - Análise de erro médio entre a idade estimada pelos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo.....	29
Tabela 6 - Análise de erro médio absoluto entre a idade estimada através dos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo. Os erros médios absolutos foram superiores no sexo feminino em comparação ao masculino. O aumento nos erros médios absolutos conforme o aumento da idade ocorreu em alguns casos, principalmente até os 21 anos de idade.....	29
Tabela 7 - Análise da raiz do erro quadrático médio entre a idade estimada através dos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo.....	30
Tabela 8 - Análise do coeficiente de concordância de Lin comparando a idade estimada pelos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo.....	31
Tabela 9 - Curva ROC para avaliação de pontos de corte do método London Atlas baseado nos dentes 28 e 38.....	31
Tabela 10 - Curva ROC para avaliação de pontos de corte do método RP Atlas baseado nos dentes 28 e 38.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico do London Atlas, que estima a idade de humanos relacionando ao estágio de desenvolvimento e erupção dentária.....	21
Figura 2 - Gráfico explicativo dos estágios de desenvolvimento e erupção dentária descritos pelo London Atlas.....	21
Figura 3 - Página inicial do <i>software</i> do London Atlas.....	22
Figura 4 - Página de entrada de dados da radiografia observada.....	23
Figura 5 - Página de resultado da entrada de dados, com tabelas específicas para observação dos estágios de desenvolvimento e erupção de cada dente. Selecionando os quadrados azuis das tabelas, pode-se observar os estágios de desenvolvimento e erupção para dentes das arcadas superior e inferior.....	23
Figura 6 - Estágios de desenvolvimento de um dente multirradicular, de acordo com o London Atlas. Nesse ponto, fez-se a comparação entre os gráficos do método e a radiografia panorâmica, selecionando o estágio com melhor correspondência.....	24
Figura 7 - Exemplo de seleção do estágio de desenvolvimento “Rc” para o terceiro molar superior. O <i>software</i> oferece uma estimativa de 19,5 anos de idade.....	25
Figura 8 - Tabulação dos dados.....	25
Figura 9 - Gráfico RP Atlas para indivíduos do sexo feminino, relacionando o estágio de desenvolvimento e erupção dentária à idade estimada.....	26
Figura 10 - Gráfico RP Atlas para indivíduos do sexo masculino, relacionando o estágio de desenvolvimento e erupção dentária à idade estimada.....	26
Figura 11 - Tabulação dos dados.....	26
Figura 12 - Gráficos Bland-Altman para o método London Atlas e dentes 28 (a) e 38 (b) , e RP Atlas para os dentes 28 (c) e 38 (d) . A distribuição das idades ao longo do eixo x mostra que ambos os métodos funcionam bem para avaliar estimativas de idade dos pacientes incluídos na amostra. A maior parte das observações se manteve dentro dos limites de concordância.....	30
Figura 13 - Curva ROC para identificação de indivíduos maiores de idade pelo método London Atlas baseado nos dentes 28 (a) e 38 (b)	32
Figura 14 - Curva ROC para identificação de indivíduos maiores de idade pelo método RP Atlas baseado nos dentes 28 (a) e 38 (b)	33

RESUMO¹

Objetivo: Avaliar a acurácia dos métodos London Atlas e RP Atlas na estimativa de idade e diagnóstico da maioridade de uma amostra de indivíduos sul-brasileiros. **Metodologia:** Uma amostra de 1.099 radiografias panorâmicas foi selecionada a partir dos prontuários de pacientes de ambos os sexos, entre 15,00 e 22,99 anos de idade, que buscaram o Curso de Odontologia da Universidade de Passo Fundo/RS para tratamento odontológico entre 2016 e 2022. A análise radiográfica foi feita através das ferramentas de estimativa de idade London Atlas e RP Atlas, tendo-se avaliado o estágio de desenvolvimento dos terceiros molares esquerdos superior e inferior (28 e 38). Os dentes foram observados nas radiografias e comparados ao Atlas gráfico correspondente. As idades estimadas por ambos os métodos foram anotadas em uma planilha do *Microsoft Excel*[®] e utilizadas para análise estatística (*software* Stata versão 18, StataCorp LLC, College Station, TX, USA), considerando $p \leq 0,05$. O teste de correlação de Spearman avaliou as medidas de idade cronológica vs. idade estimada pelos dois métodos, e gráficos de Bland-Altman foram utilizados para avaliação gráfica dessa correlação. O coeficiente de concordância de Lin foi aplicado na amostra geral, nos grupos de faixas etárias e conforme sexo dos indivíduos. Utilizando-se como ponto de corte a maioridade (≥ 18 anos), ajustaram-se curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic*) para avaliar a capacidade de cada método em identificar indivíduos maiores de idade. **Resultados:** Ambos os métodos apresentaram correlação alta frente à idade cronológica, mas o London Atlas apresentou erros médios inferiores ao RP Atlas. Para ambos os métodos, a tendência é de o erro aumentar conforme a faixa etária aumenta, bem como o erro na estimativa de idade para o sexo feminino. Analisando as curvas ROC para London Atlas, o melhor ponto de corte para diagnóstico da maioridade foi 18.5 anos para o dente 28 (acurácia de 78.5%) e 19.5 anos para o dente 38 (acurácia de 80.0%). Para RP Atlas, o melhor ponto de corte foi 17 anos para os dentes 28 e 38 (acurácia de 80.8% e 80.0% respectivamente). **Conclusão:** Ambos os métodos foram adequados para estimativa de idade da amostra e efetivos no diagnóstico da maioridade, mas o London Atlas se destaca pela tendência em superestimar a idade, o que pode ser vantajoso em situações legais, que requerem prudência na interpretação da maioridade. **Palavras-chave:** Dente molar. Determinação de idade pelos dentes. Identificação de vítimas. Odontologia legal. Radiografia dentária.

¹Letícia Copatti Dogenski

ABSTRACT²

Objective: To evaluate the accuracy of the London Atlas and RP Atlas methods in estimating age and diagnosing the majority of a sample of individuals from Southern Brazil. **Methodology:** A sample of 1.099 panoramic radiographs was selected from the medical records of patients of both sexes, between 15.00 and 22.99 years of age, who sought the Dentistry Course at the University of Passo Fundo/RS for dental treatment between 2016 and 2022. The radiographic analysis was performed using the London Atlas and RP Atlas age estimation tools, and the developmental stage of the upper and lower left third molars (28 and 38) was evaluated. The teeth were observed on the radiographs and compared to the corresponding graphic Atlas. The ages estimated by both methods were recorded in a Microsoft Excel® spreadsheet and used for statistical analysis (Stata software version 18, StataCorp LLC, College Station, TX, USA), considering $p \leq 0.05$. Spearman's rank test evaluated the chronological age measurements vs. age estimated by both methods. A graphical evaluation of this display was performed using Bland-Altman plots. Lin's coefficient of concordance was applied to the general sample, in age groups and according to the sex of the individuals. Using the majority (≥ 18 years) as the cutoff point, ROC (Receiver Operating Characteristic) curves were used to evaluate the ability of each method to identify older individuals. **Results:** Both methods showed high accuracy in relation to chronological age, but the London Atlas showed lower mean errors than the RP Atlas. For both methods, the error tends to increase as the age range increases. The error in age estimation for females also tends to be higher than that for males. Analyzing the ROC curves for London Atlas, the best cutoff point for diagnosing adulthood was 18.5 years for tooth 28 (accuracy of 78.5%) and 19.5 years for tooth 38 (accuracy of 80.0%). For RP Atlas, the best cutoff point was 17 years for teeth 28 and 38 (accuracy of 80.8% and 80.0% respectively). **Conclusion:** Both methods were adequate for estimating the age of the sample and specific for diagnosing adulthood, but the London Atlas stands out for its tendency to overestimate age, which may be advantageous in legal situations that require caution in interpreting adulthood. **Palavras-chave:** Age determination by teeth. Dental radiography. Forensic dentistry. Molar tooth. Victim identification.

²Accuracy of the London Atlas and RP Atlas in age estimation of Southern Brazilians

1. INTRODUÇÃO

A estimativa de idade é um dos métodos mais utilizados para investigar as características de um indivíduo. Além de auxiliar no exame pericial e formação do perfil biológico do morto ou no exame em pessoas vivas, ela pode avaliar a probabilidade do indivíduo ter atingido uma idade juridicamente relevante (Farhadian et al., 2019), em casos de adoção (Gibelli; De Angelis; Cattaneo, 2015), pedidos de asilo de refugiados (Karkhanis; Mack; Franklin, 2014), ausência ou falsidade de registro civil (AlQahtani et al., 2017) e em casos criminais. A Odontologia se envolve na estimativa de idade por meio do desenvolvimento ósseo e/ou dental, constituído por estágios de mineralização conforme as fases de desenvolvimento humano (AlQahtani; Hector; Liversidge, 2010; Sartori et al., 2024). Assim, é possível avaliar a cronologia da erupção ou a estimativa do estágio de mineralização das coroas e raízes dos órgãos dentários através de radiografias (Adams et al., 2019), relacionando-a à possível idade real do indivíduo.

A precisão dessa estimativa é maior naqueles períodos em que os dentes estão em pleno desenvolvimento, tendendo a diminuir à medida que eles concluem a sua mineralização. Assim, nas estimativas de idade de jovens adultos, é feito o estudo do terceiro molar, que apresenta estágios de mineralização mais tardios em relação aos demais dentes (Kanchan et al., 2021). Para a avaliação da mineralização dentária, é possível se basear nas estimativas de Atlas, ortopantogramas que fornecem uma comparação de imagens direta, resultando em uma abordagem simplificada, de baixo custo, fácil de aplicar em diferentes populações e não destrutiva, podendo ser aplicadas aos indivíduos vivos ou mortos (Alqahtani; Hector; Liversidge, 2010; Sharma; Wadhwan, 2020; Sousa et al., 2024). Entre os Atlas disponíveis para estimativa da idade dentária, destaca-se o London Atlas (Alqahtani; Hector; Liversidge, 2010), desenvolvido a partir da observação de uma amostra populacional londrina. Recentemente, Sousa et al. (2024) também desenvolveram o RP Atlas, tendo como base uma população do sudeste do Brasil.

Como estas, várias metodologias já foram propostas na literatura (Nolla, 1960; Demirjian; Goldstein; Tanner, 1973; Kvaal et al., 1995; Cameriere; Ferrante; Cingolani, 2006; AlQahtani; Hector; Liversidge, 2010), cada qual desenvolvida em um grupo populacional específico. Contudo, podem haver diferenças de acurácia na técnica aplicada para a estimativa de idade de acordo com a população estudada, sendo importante a aplicação e validação das diferentes metodologias em diversas populações (Liversidge, 2009). Assim, esses estudos são imprescindíveis para que, em necessidade de questionamento de idade, os métodos sejam corretamente escolhidos e aplicados para determinado grupo populacional. O anteriormente exposto justifica a avaliação da acurácia dos

métodos London Atlas e RP Atlas na estimativa de idade de uma amostra de indivíduos sul-brasileiros, principalmente no que tange ao diagnóstico da maioridade de tais sujeitos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Odontologia Legal na identificação humana

Um dos grandes objetivos da Odontologia Legal, ou Odontologia Forense, é a identificação de vítimas de catástrofes ou crimes cujo estado do cadáver não permite outro tipo de reconhecimento, de autores de crimes (pelas marcas de mordida, por exemplo), ou de indivíduos que, por várias razões, não querem ou não são capazes de assumir a sua própria identidade (doentes mentais, emigrantes ilegais, vítimas de amnésia, crianças traficadas ou, simplesmente, sem identificação) (Farhadian et al., 2019). Para isso, podem ser utilizados diferentes métodos de identificação de aspectos anatômicos presentes no sistema estomatognático e, especialmente, nos dentes dos indivíduos em estudo. Por se formarem num estágio precoce do desenvolvimento embrionário, e possuírem alto conteúdo mineral, os dentes são muito resistentes a agentes físicos e químicos e aos fenômenos de putrefação, oferecendo muitas informações para a perícia odontológica (Marconi et al., 2022).

Entre os diferentes métodos de identificação humana, destacam-se os registros odontológicos por comparação de exames radiológicos (Cheong et al., 2023), análise de modelos de gesso, dados dos tratamentos realizados com aspectos da cavidade bucal da vítima (Afify et al., 2014), marcas de mordida (Freeman; Senn; Arendt, 2005), análise dos seios da face (Bangi et al., 2017), de saliva (Tsai et al., 2018) ou de rugosidades palatinas (Poojya et al., 2015) e estimativa de idade por estágios de mineralização dentária (Bleka et al., 2019). Assim, para a aplicação da maior parte dos métodos, são necessárias informações da história e registros dentários do paciente, para que haja comparação entre dados forenses *ante e post-mortem* (Martin-de-las-Heras et al., 2010). Nesse sentido, o cirurgião-dentista tem papel primordial na correta identificação ao arquivar prontuários, radiografias, modelos em gesso dos pacientes e anotações sobre cada caso, que podem servir para a identificação positiva de vítimas (Andrade et al., 2021).

2.2. Estimativa de idade dentária

A estimativa da idade é um dos principais objetivos periciais na prática investigacional e no processo de identificação positiva de um indivíduo vivo ou morto (Ubelaker; Khosrowshahi, 2019). A utilização dos dentes nessa estimativa é muito confiável, uma vez que essas estruturas são menos afetadas por doenças endócrinas ou variações nutricionais que afetam outras referências morfológicas (Elamin; Liversidge, 2013). Os métodos de estimativa de idade dentária se baseiam não apenas nas alterações regressivas, como abrasão, deposição de dentina secundária e

reabsorção radicular (Gustafson, 1950; Mazzilli et al., 2018), mas principalmente nas características dos dentes durante seu crescimento e desenvolvimento, uma vez que são processos biológicos que apresentam uma sequência constante, iniciando-se em ambiente fetal e decorrendo, mais ou menos, até à segunda década de vida (Alqahtani; Hector; Liversidge, 2010).

Considerando o desenvolvimento dentário, alguns métodos de estimativa da idade têm sido propostos desde 1960, quando Nolla publicou um estudo descrevendo os estágios da mineralização de todos os dentes permanentes mandibulares e maxilares, atribuindo a cada estágio uma idade real. Para este método foram estabelecidos dez estágios de mineralização desde o início da formação da coroa até o encerramento apical. Desde então, foram desenvolvidos e testados métodos que levam em consideração diferentes números de dentes e quadrantes dentários para análise (Demirjian; Goldstein; Tanner, 1973; Nicodemo; Moraes; Medici Filho, 1974), medidas da polpa e do dente (Kvaal et al., 1995), o tamanho da cavidade pulpar e o tamanho do segundo molar (Cameriere; Ferrante; Cingolani, 2006). Os principais métodos de estimativa de idade dentária propostos, bem como trabalhos que abordam esses métodos em diferentes dentições e populações, estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais métodos de estimativa de idade dentária e trabalhos que os abordam, destacando-se a dentição e a população e/ou país onde foram aplicados.

Método	Autores	Dentição	População/País
Estágio de mineralização das coroas e raízes dentárias	Gleiser e Hunt, 1955	Primeiro molar inferior direito	EUA
	Moorrees, Fanning e Hunt, 1963	Incisivos centrais e laterais maxilares e mandibulares	EUA
	Nicodemo, Moraes e Médiçi Filho, 1974	Todos os dentes decíduos e permanentes	Brasil
	Liversidge, 2009	Todos os permanentes mandibulares	Londres
	AlQahtani, Hector e Liversidge, 2010	Todos os dentes decíduos e permanentes	Londres
	Sousa et al., 2024	Todos os dentes decíduos e permanentes	Brasil
Cronologia da erupção	Nolla, 1960	Todos os dentes permanentes	EUA
	Demirjian, Goldstein e Tanner, 1973	Terceiro quadrante	Franco-canadenses
Desenvolvimento do terceiro molar	Köhler et al., 1994	Terceiros molares	Alemanha
	Gunst et al., 2003	Todos os terceiros molares	Bélgica
	Cameriere et al., 2008	Terceiro molar inferior esquerdo	Não especificado
Alterações na dimensão do dente e da câmara pulpar	Kvaal et al., 1995	Incisivos laterais, caninos e primeiros pré-molares mandibulares, incisivos centrais, laterais e segundos pré-molares maxilares	Noruega
	Cameriere et al., 2007	Caninos permanentes	Itália
	Gustafson, 1950	Todos os dentes decíduos e permanentes	Não especificado
	Cameriere, Ferrante e Cingolani, 2006	Segundo molar	Itália

Fonte: Autores.

2.2.1. Terceiros molares na estimativa de idade

Um dos principais critérios para a avaliação da idade dentária é a avaliação da mineralização do terceiro molar, uma vez que seu desenvolvimento leva um longo período de tempo, podendo ser usado como uma medida para a estimativa da idade cronológica em uma vasta gama de idade (Kanchan et al., 2021). Quando presentes, os terceiros molares oferecem a única possibilidade de estimativa de idade dentária na faixa etária aproximada entre 16 e 22 anos de idade, já que estão ainda em desenvolvimento enquanto os outros elementos da dentição permanente estão plenamente desenvolvidos, com formação radicular completa e ápices fechados (Sartori et al., 2024). Por ser o último dente a se formar e irromper, a análise do desenvolvimento dos terceiros molares é importante na avaliação da população adolescente e jovem adulta, não só em casos em que é necessária a identificação de restos mortais, como também na identificação de indivíduos vivos e na determinação da probabilidade do mesmo já ter atingido uma idade criminalmente imputável (Marconi et al., 2022).

Algumas características que facilitam a observação do terceiro molar na estimativa de idade dentária são a sua variabilidade no tempo de formação, a grande variação morfológica da sua coroa e raiz e a sua presença ou ausência na cavidade oral, já que são os dentes mais frequentemente afetados por agenesia e impacção (Alam et al., 2014; Begtrup et al., 2012). Além disso, a avaliação dos terceiros molares pode se basear na cronologia de mineralização ou de erupção destes dentes. Porém, fatores como etnia, sexo, hereditariedade e condições sócio-demográficas podem interferir no desenvolvimento dentário (Nicodemo; Moraes; Medici Filho, 1974), conforme verificado pelo estudo de Martin-de-las-Heras et al. (2008). Comparando radiografias panorâmicas de duas populações de origem espanhola (Galícia e Ceuta) contra radiografias de uma população magrebi (Magrebia, região noroeste da África), os autores observaram a relevância das condições sócio-geográficas no desenvolvimento de terceiros molares, que estavam relacionadas às diferenças de mineralização dos dentes nessas populações. Assim, faz-se necessário o estudo e a aplicação dos diversos métodos de estimativa de idade disponíveis em diferentes localidades, grupos e subgrupos, a fim de validar sua acurácia nessas diferentes populações.

2.3. Métodos London Atlas e RP Atlas

Ao longo dos anos, o histórico de desenvolvimento da estimativa da idade dentária resultou em diversos Atlas, propostos na tentativa de estimar com precisão a idade dos indivíduos. Um dos primeiros a serem desenvolvidos para o estudo da idade dentária foi o Atlas de Schour e Massler (1941). Desde então, destacam-se os Atlas de Moorrees, Fanning e Hunt (1963), o Ubelaker Chart (Ubelaker, 1978), o London Atlas of Human Tooth Development and Eruption (Alqahtani;

Hector; Liversidge, 2010) e o RP Atlas (Sousa et al. 2024), desenvolvidos para contextos antropológicos e forenses a partir da observação dos estágios de desenvolvimento, mineralização e erupção dentária, ou mesmo a partir de médias populacionais destas análises.

O desenvolvimento dentário (especialmente a mineralização) já provou ser um parâmetro estável e confiável como indicador de idade cronológica (Adams et al., 2018). A partir dessa premissa, AlQahtani, Hector e Liversidge (2010) desenvolveram um Atlas abrangente para estimativa de idade, utilizando como critérios tanto a formação dentária quanto a erupção em relação ao osso alveolar, para indivíduos com idades entre 28 semanas intrauterinas e 23 anos. Para o desenvolvimento do “London Atlas”, os autores observaram restos mortais humanos, com idade de morte detalhada, de 72 mulheres, 91 homens e 13 indivíduos de sexo desconhecido (N=176). Também foram observadas radiografias panorâmicas de boa qualidade, com todos os dentes em foco, de indivíduos saudáveis (N=5.528) leucodermas ou bengaleses. A partir dessa observação dos estágios de desenvolvimento e erupção, foi identificada a mediana dos estágios mínimo ao máximo para cada estágio e para cada dente de acordo com o sexo (feminino, masculino e sexo combinado) e para cada faixa etária (Alqahatani; Hector; Liversidge, 2010).

O London Atlas, contudo, foi desenvolvido e validado tendo como base indivíduos de uma população específica. Para ser aplicado em outras populações, que não a de base, os métodos de estimativa de idade devem ser adaptados a uma abordagem da amostra em estudo (Karkhanis; Mack; Franklin, 2014; Ubelaker; Khosrowshahi, 2019; Franco et al., 2021). Utilizar metodologias como o London Atlas no Brasil, por exemplo, pode ser desafiador devido a maior diversidade étnica e socioeconômica do país (Mazzilli et al., 2018). Para suprir a ausência de um Atlas dedicado à população brasileira, Sousa et al. (2024) criaram um novo Atlas de desenvolvimento dentário, baseado no gráfico de London Atlas, mas tendo como base moradores de Ribeirão Preto, São Paulo, ou de cidades próximas. Foram observadas 567 radiografias de indivíduos com idade entre 5,00 e 23,99 anos, analisando-se a idade mínima, mediana e máxima dos estágios de desenvolvimento de cada dente em cada faixa etária, bem como os estágios de erupção alveolar por faixa etária, com intervalo de um ano entre cada uma. O método foi denominado “RP Atlas”.

Para verificar a aplicabilidade de cada método de estimativa de idade em diferentes populações, também é necessário que os mesmos sejam testados em diversas localidades, inclusive dentro de um mesmo território, buscando assim um consenso quanto a sua utilização ou não na rotina pericial. Nesse sentido, sendo o Brasil um país de dimensões continentais, os diferentes métodos de estimativa de idade propostos devem ser avaliados nas diversas populações e regiões do território.

3. PROPOSIÇÃO

3.1. Objetivo geral

Avaliar a acurácia dos métodos London Atlas e RP Atlas na estimativa de idade de uma amostra de indivíduos do Sul do Brasil, a partir de imagens dos terceiros molares em radiografias panorâmicas.

3.2. Objetivos específicos

- Observar qual dos testes é mais acurado para estimar a idade da amostra estudada;
- Averiguar se a acurácia dos métodos estudados é diferente entre indivíduos do sexo feminino e masculino;
- Analisar em qual faixa etária da amostra os métodos testados são mais acurados;
- Testar se os métodos estudados são efetivos no diagnóstico da maioria da população estudada.

3.3. Hipótese

Tendo em vista que o RP Atlas foi desenvolvido com base no London Atlas e adaptado para a população Sudeste do Brasil, espera-se que seja mais acurado na estimativa de idade e diagnóstico da maioria da população estudada.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Aspectos éticos e delineamento do estudo

Este estudo radiográfico observacional transversal analítico recebeu aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Passo Fundo (CEP/UPF, parecer n. 5.603.446).

4.2. Seleção da amostra radiográfica

Uma amostra de conveniência de 1.099 radiografias panorâmicas foi selecionada a partir dos prontuários de pacientes que frequentaram o Curso de Odontologia da Universidade de Passo Fundo (CO/UPF) para tratamento odontológico entre 2016 e 2022. Além da seleção das radiografias panorâmicas, foi realizado um levantamento retrospectivo dos seguintes dados nos prontuários dos pacientes: número de registro dos prontuários, data de nascimento e sexo dos pacientes e data da obtenção das radiografias. A cada prontuário e radiografia foi fornecido, de maneira aleatória, um código numérico de identificação, sem relação com o número de registro do prontuário ou qualquer dado pessoal do indivíduo, a fim de garantir o sigilo dos dados.

As radiografias foram adquiridas por um aparelho Eagle Digital™ (Dabi Atlante, Ribeirão Preto, SP – Brasil), utilizando 75kVp e 8mAp. Todas as imagens radiográficas foram exportadas para formato de arquivo de extensão JPEG (*joint photographic experts group*), salvas em alta resolução em um computador, nomeadas com o código numérico de identificação, organizadas em pastas de acordo com o sexo do indivíduo e exportadas para o *software* de edição de imagem Adobe® Photoshop® CC (PS®CC), onde os dados de identificação foram cortados por meio da ferramenta de corte do *software*. Também foram ajustados o brilho, o contraste e o *zoom* das imagens para melhor visualização, quando necessário.

4.2.1. Critérios de inclusão

Radiografias panorâmicas de pacientes com idade entre 15,00 e 22,99 anos que realizaram tratamentos nas clínicas odontológicas do CO/UPF entre 2016 e 2022, com os dentes 28 e/ou 38 presentes e em condições de visualização radiográfica.

4.2.2. Critérios de exclusão

Radiografias panorâmicas com baixa qualidade, incluindo erros na aquisição ou processamento de imagens, lesões ósseas evidentes, distúrbios de desenvolvimento, informações ausentes acerca do sexo, data de nascimento ou data da aquisição da imagem radiográfica.

4.3. Calibração dos avaliadores

Após a seleção da amostra, dois examinadores foram submetidos a um período de treinamento para aplicação das técnicas London Atlas e RP Atlas, conforme as orientações metodológicas.

Para a aplicação do teste de Coeficiente de Correlação Intraclass (ICC), radiografias panorâmicas correspondentes a 10% da amostra final foram selecionadas através de amostragem aleatória simples contemplando pacientes de todas as faixas etárias e ambos os sexos. A amostra selecionada foi avaliada pela observadora 1 (L.C.D.) em dois momentos, com 45 dias de intervalo entre eles, para realização do teste ICC intraobservador. Para o teste ICC interobservadores, a amostra também foi avaliada pela observadora 2 (V.K.S.).

Os valores ICC intra e interobservadores para o dente 28 e 38, segundo os métodos London e RP Atlas, foram considerados excelentes (Koo; Li, 2016), conforme demonstrado na Tabela 2. O estudo seguiu com 100% da amostra final sendo avaliada pela observadora 1.

Tabela 2 - Valores ICC intra e interobservadores para o dente 28 e 38 segundo os métodos London Atlas e RP Atlas.

Intraobservadora				Interobservadores			
London Atlas		RP Atlas		London Atlas		RP Atlas	
28	38	28	38	28	38	28	38
0.961	0.967	0.979	0.987	0.930	0.937	0.965	0.973

Fonte: Autores.

4.4. Aplicação do método London Atlas

Para cada radiografia foi aplicado o método London Atlas, proposto por AlQahtani, Hector e Liversidge (2010), que permite estimar a idade considerando todos os dentes, seja da maxila ou da mandíbula, do lado esquerdo ou direito. Para cada estágio de desenvolvimento dentário proposto pelo método é atribuído um código e uma idade aproximada. Para a realização da análise, fez-se a comparação visual entre a radiografia panorâmica e o Atlas, observando em qual estágio os dentes estão radiograficamente. Para a estimativa de idade através deste método, podem ser utilizados o Atlas gráfico publicado pelos autores (Figuras 1 e 2), ou o *software* criado a partir do mesmo e disponibilizado no site da *Queen Mary University of London* (<https://www.qmul.ac.uk/dentistry/atlas/software-app-full-width/>). O presente estudo fez uso majoritariamente do *software*, utilizando o Atlas gráfico apenas em casos de dúvida ou instabilidade do site.

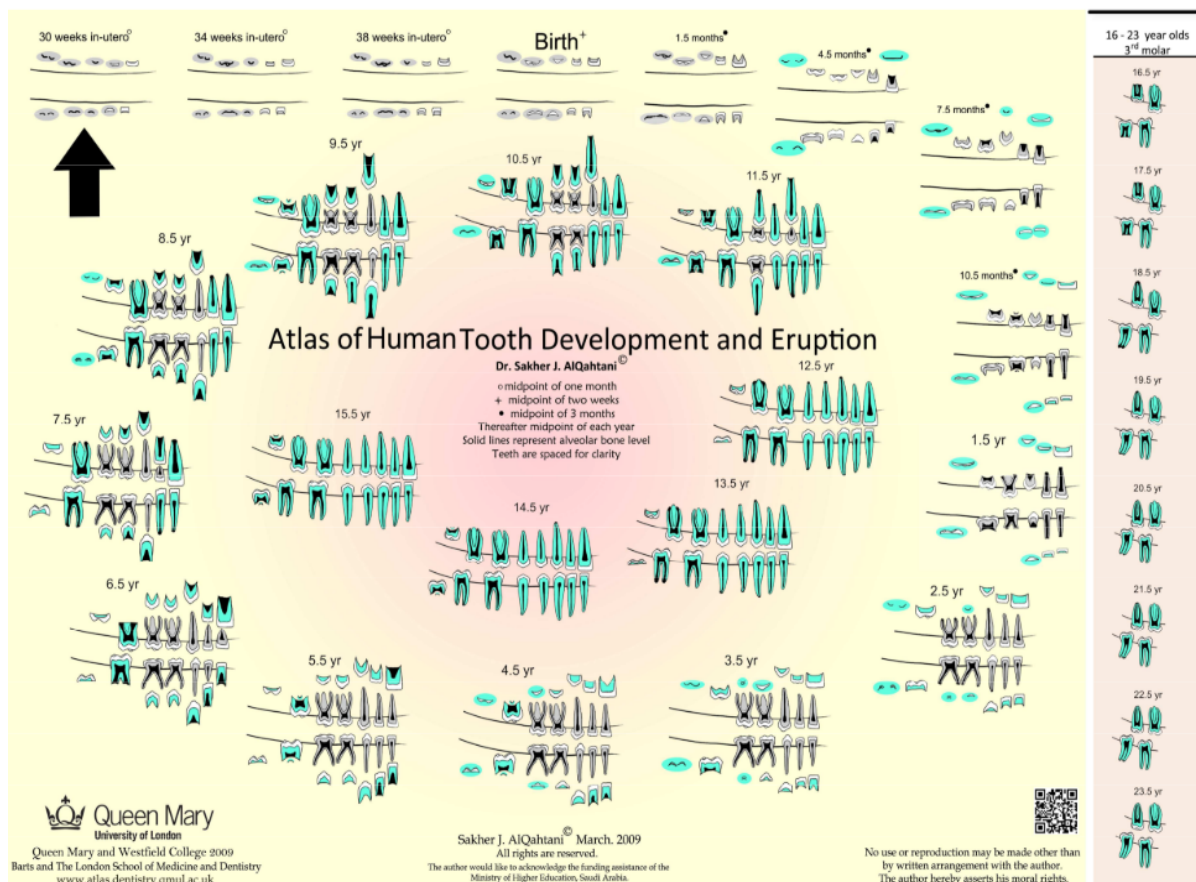


Figura 1 - Gráfico do London Atlas, que estima a idade de humanos relacionando ao estágio de desenvolvimento e erupção dentária. Fonte: AlQahtani, Hector e Liversidge (2010).

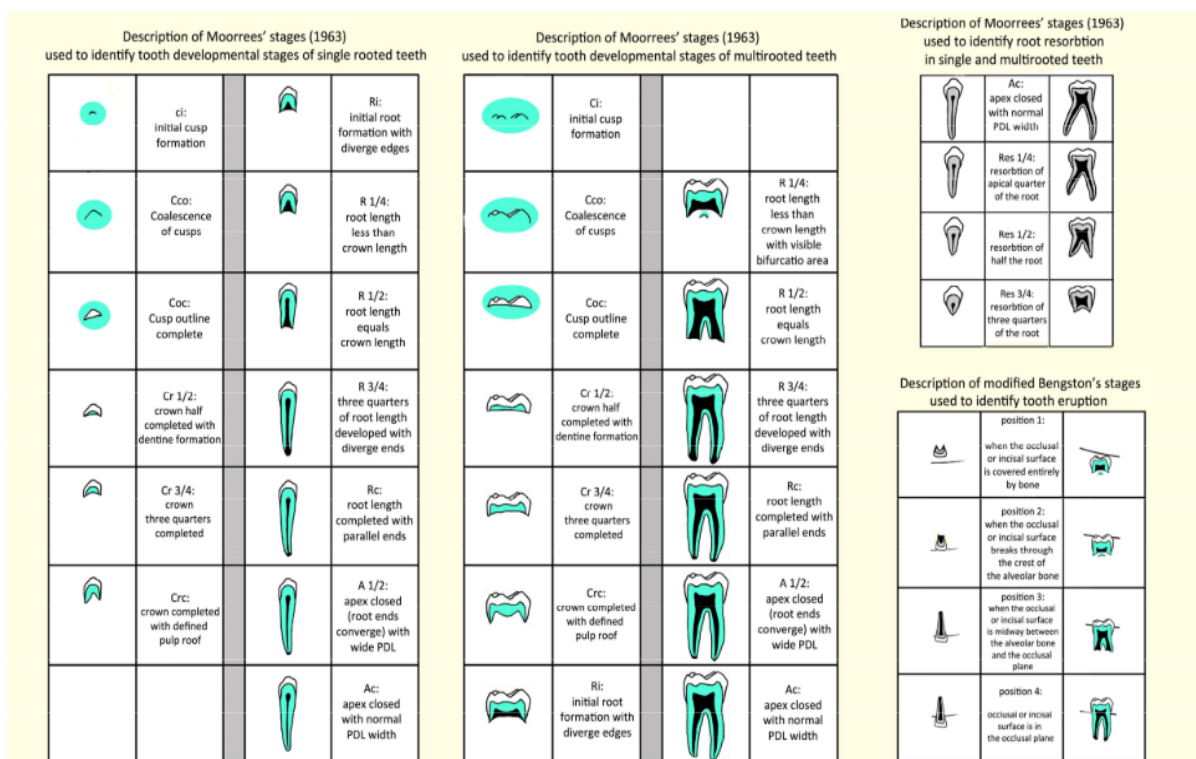


Figura 2 - Gráfico explicativo dos estágios de desenvolvimento e erupção dentária descritos pelo London Atlas. Fonte: AlQahtani, Hector e Liversidge (2010).

Foram observados os terceiros molares superior e inferior do lado esquerdo (28 e 38) de toda a amostra radiográfica, comparando seu estágio de desenvolvimento àqueles descritos pelo método de London Atlas. Para isso, foi feito o acesso à página do *software*, onde são disponibilizadas três opções de navegação, sendo: 1-*Playback* (apresenta o desenvolvimento dentário para homens, mulheres ou ambos, abrangendo faixas etárias entre 28 semanas intrauterinas e 23 anos de idade); 2-*Data entry* (apresenta uma calculadora de faixa etária dentária que permite inserir dados do desenvolvimento dentário); e 3-*Comparison* (permite comparar o desenvolvimento dos dentes entre duas idades diferentes do mesmo sexo ou entre sexos diferentes na mesma idade) (Figura 3).

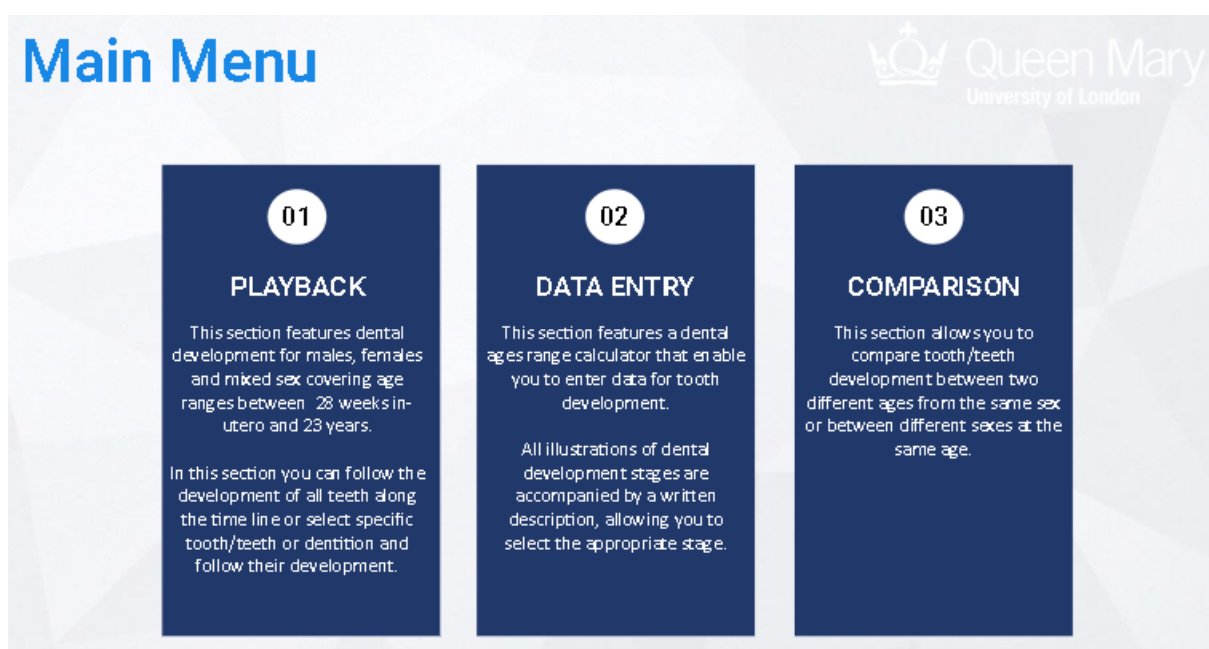


Figura 3 - Página inicial do *software* do London Atlas. Fonte: *Website* da *Queen Mary University of London*.

Neste estudo, foi utilizada a calculadora de faixa etária disponível na opção 2 do *software*, onde é permitido definir o sexo (*male*, *female* ou *unknown*), o tipo de dentição (*deciduous*, *permanent* ou *both*) e a arcada (*superior*, *inferior* ou *both*) do indivíduo em estudo, bem como o sistema de notação utilizado (*Antropology*, *Palmer*, *FDI* ou *Universal*). Os dados tabulados referentes a cada indivíduo do estudo foram utilizados, enquanto o sistema de notação foi o FDI (*Fédération Dentaire Internationale*) (Figura 4).

MAIN MENU

Queen Mary University of London

Gender

☐ Male

☐ Female

☐ Unknown

Dentition

☐ Deciduous

☐ Permanent

☐ Both

Jaw

☐ Upper

☐ Lower

☐ Both

Notation System

☐ Anthropology

☐ Palmer

☐ FDI

☐ Universal

SEARCH

Figura 4 - Página de entrada de dados da radiografia observada. Fonte: *Website da Queen Mary University of London*.

Após a entrada dos dados, o *software* oferece uma tabela contendo todos os dentes daquela dentição. Com um clique sobre o número do dente em estudo, o *software* oferece opções para comparação visual dos estágios de desenvolvimento e de erupção de cada dente das diferentes arcadas, conforme a dentição selecionada (Figura 5). O presente estudo se ateve à última coluna da primeira tabela, ou seja, aos estágios de desenvolvimento dos dentes 28 e 38.

DEVELOPMENT

JAW		PERMANENT TEETH							
UPPER	1	2	3	4	5	6	7	8	
LOWER	1	2	3	4	5	6	7	8	

ERUPTION

JAW		PERMANENT TEETH							
UPPER	1	2	3	4	5	6	7	8	
LOWER	1	2	3	4	5	6	7	8	

Clear

Figura 5 - Página de resultado da entrada de dados, com tabelas específicas para observação dos estágios de desenvolvimento e erupção de cada dente. Selecionando os quadrados azuis das tabelas, pode-se observar os estágios de desenvolvimento e erupção para dentes das arcadas superior e inferior. Fonte: *Website da Queen Mary University of London*.

Uma vez selecionado o dente que se pretende observar, o *software* mostra uma série de figuras a partir das quais se fez a comparação visual com estágio de desenvolvimento do dente visualizado na radiografia panorâmica (Figura 6).

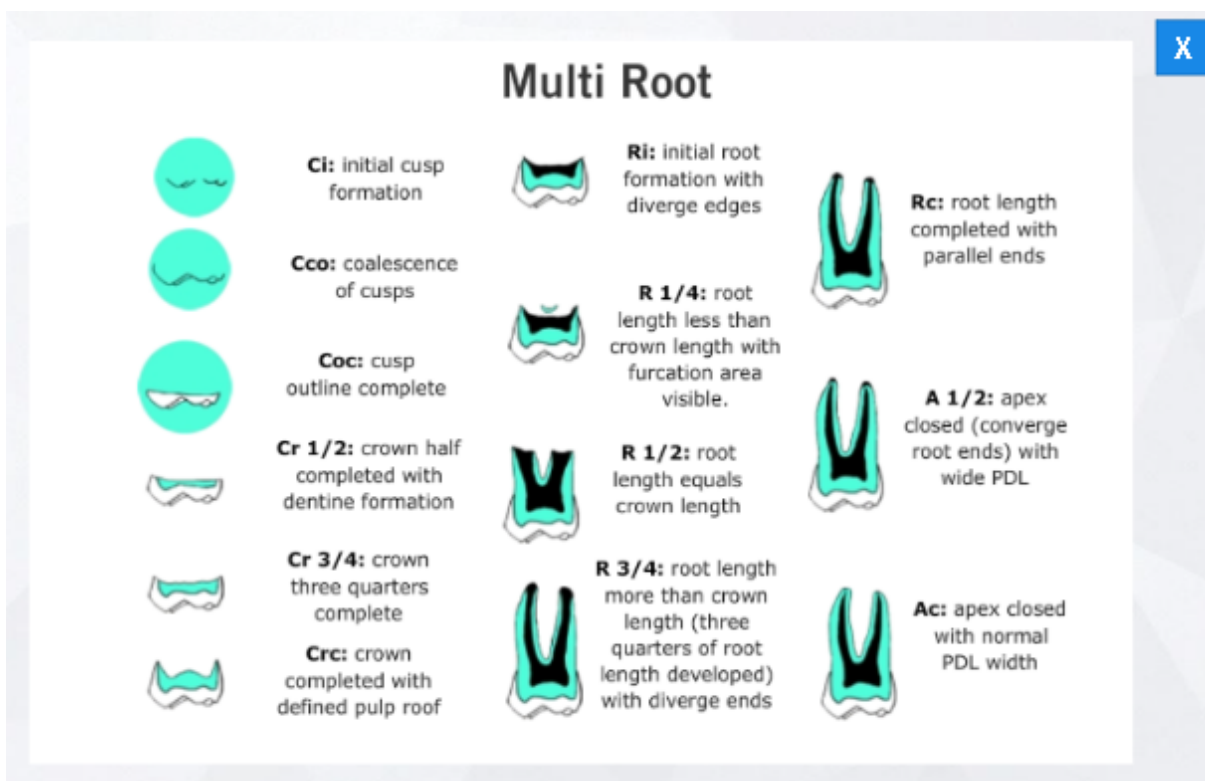


Figura 6 - Estágios de desenvolvimento de um dente multiradicular, de acordo com o London Atlas. Nesse ponto, fez-se a comparação entre os gráficos do método e a radiografia panorâmica, selecionando o estágio com melhor correspondência. Fonte: *Website da Queen Mary University of London*.

Selecionando o estágio de desenvolvimento que melhor se aproxima do real, o *software* oferece uma estimativa da idade do indivíduo (Figura 7). Para este estudo, a idade estimada pelo *software* foi anotada em uma planilha do *Microsoft Excel*[®], onde constavam as informações: número de registro, sexo (1-masculino; 2-feminino), idade real e código do estágio de desenvolvimento (Figura 8).

Figura 7 - Exemplo de seleção do estágio de desenvolvimento “Rc” para o terceiro molar superior. O *software* oferece uma estimativa de 19,5 anos de idade. Fonte: *Website* da *Queen Mary University of London*.

	A	B	C	D	E	F	G
1				London Atlas			
2	Número do RX	Idade cronológica	Sexo	Código 28	Idade	Código 38	Idade
3							

Figura 8 - Tabulação dos dados. Fonte: Autores.

4.5. Aplicação do método RP Atlas

Para cada radiografia também foi aplicado o método RP Atlas, proposto por Sousa et al. (2024), que permite estimar a idade considerando todos os dentes, seja da maxila ou da mandíbula, do lado esquerdo ou direito, separando-os pelo sexo. Para a aplicação deste método, portanto, o Atlas observado (feminino ou masculino) deveria estar de acordo com o sexo do indivíduo (Figuras 9 e 10). Para cada estágio de desenvolvimento dentário proposto, é atribuída uma idade aproximada. Foi feita a comparação dos elementos 28 e 38 observados nas radiografias panorâmicas com o Atlas correspondente, e selecionado visualmente o estágio de desenvolvimento que melhor se aproximava do real. A estimativa da idade correspondente foi anotada na planilha do *Microsoft Excel*[®] com as informações pertinentes e a avaliação anterior pelo método de London Atlas (Figura 11).

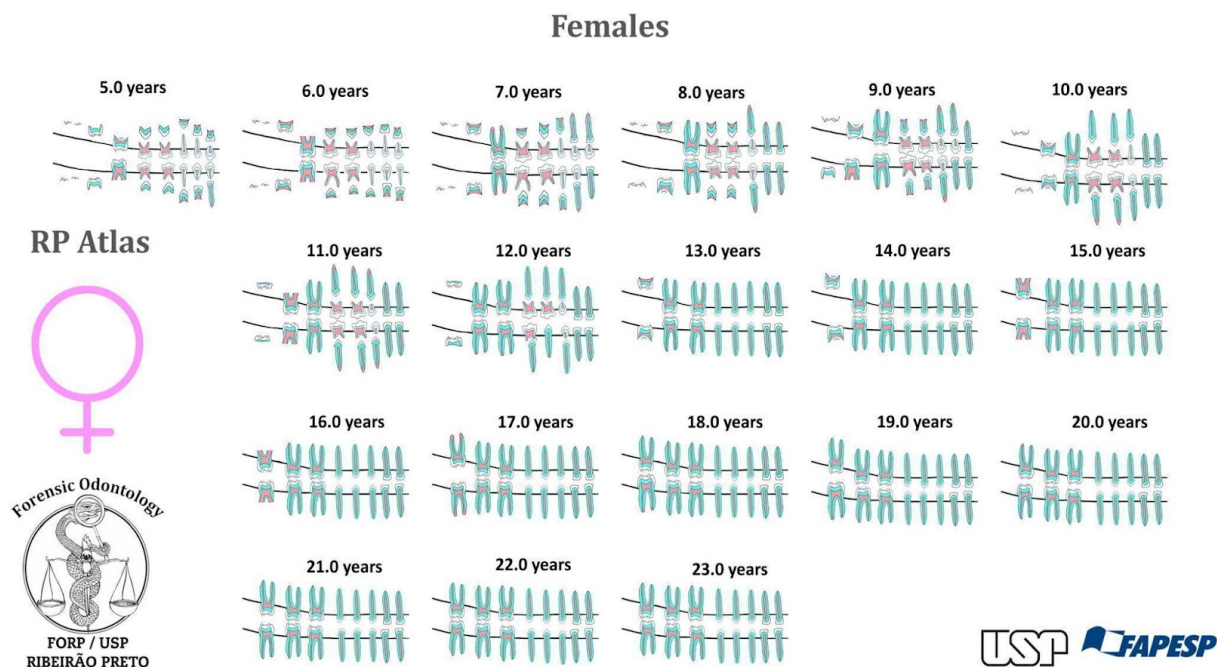


Figura 9 - Gráfico RP Atlas para indivíduos do sexo feminino, relacionando o estágio de desenvolvimento e erupção dentária à idade estimada. Fonte: Sousa et al. (2024).

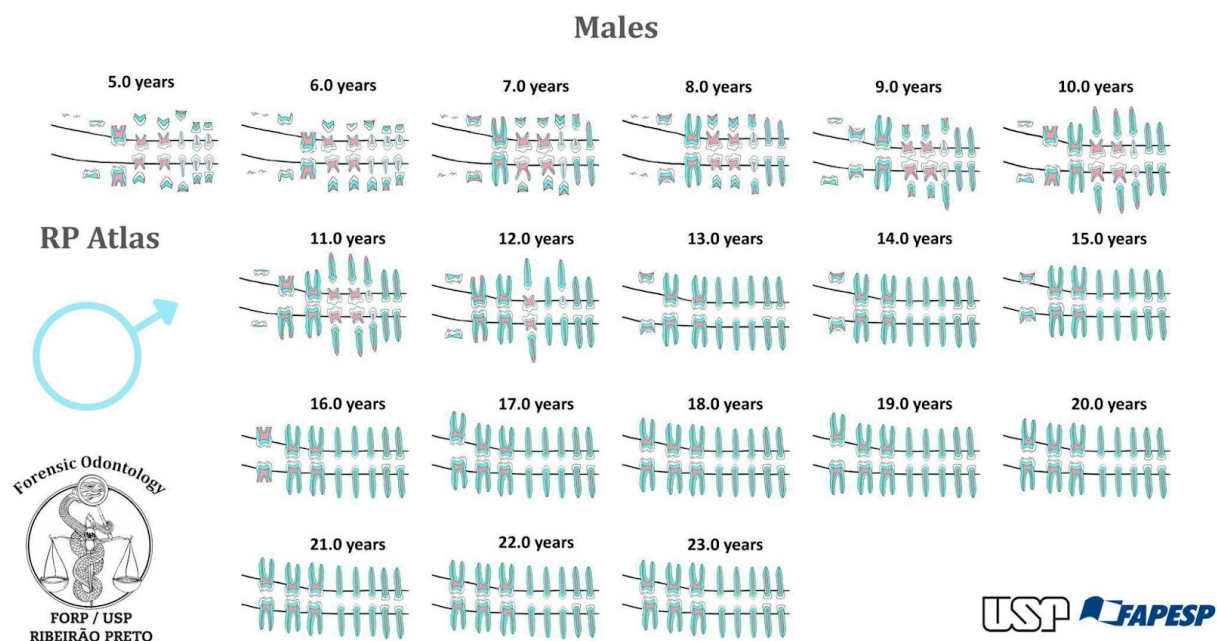


Figura 10 - Gráfico RP Atlas para indivíduos do sexo masculino, relacionando o estágio de desenvolvimento e erupção dentária à idade estimada. Fonte: Sousa et al. (2024).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				London Atlas				RP Atlas			
2	Número do RX	Idade cronológica	Sexo	Código 28	Idade	Código 38	Idade	Código 28	Idade	Código 38	Idade
3											

Figura 11 - Tabulação dos dados. Fonte: Autores.

4.6. Análise estatística

Uma análise de Shapiro-Wilk indicou uma distribuição assimétrica dos dados. A partir disso, o teste de correlação de Spearman foi utilizado para avaliar as medidas de idade cronológica *vs.* idade estimada pelos dois métodos de estimativa de idade. Uma avaliação gráfica dessa correlação foi realizada por meio de gráficos de Bland-Altman. O coeficiente de concordância de Lin também foi avaliado para a amostra geral, bem como para grupos de faixas etárias e conforme o sexo dos pacientes.

Utilizando como ponto de corte a maioridade (≥ 18 anos), ajustaram-se duas curvas ROC para avaliar a capacidade de cada um dos métodos em diagnosticar a maioridade. Com base na curva ROC, estimou-se a sensibilidade, especificidade e acurácia de cada ponto de corte, bem como a área abaixo da curva (AUC) geral.

Todas as análises foram conduzidas utilizando o *software* Stata versão 18 (StataCorp LLC, College Station, TX, USA) e considerando um nível de significância de 95%.

5. RESULTADOS

Uma descrição da amostra analisada pode ser encontrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição da amostra analisada, incluindo o número total de radiografias panorâmicas, bem como o número por sexo e faixa etária.

Faixa etária	Feminino (n)	Masculino (n)	Total
15-15,99	52	49	101
16-16,99	60	56	116
17-17,99	52	52	104
18-18,99	75	47	122
19-19,99	104	53	157
20-20,99	119	78	197
21-21,99	111	63	174
22-22,99	79	49	128
TOTAL (N)	652	447	1.099

Fonte: Autores.

Os resultados da correlação de Spearman para idade cronológica vs. idade estimada pelos métodos London Atlas e RP Atlas estão descritos na Tabela 4. Ambos os métodos apresentaram correlação alta frente à idade cronológica. A menor correlação foi obtida pelo método London Atlas para o dente 28, enquanto a maior foi observada para o método RP Atlas para o dente 28.

Tabela 4 - Correlação de Spearman entre idade cronológica vs. idade estimada pelos métodos London Atlas e RP Atlas.

	Idade cronológica	London Atlas (28)	London Atlas (38)	RP Atlas (28)	RP Atlas (38)
Idade cronológica	1.000				
London Atlas (28)	0.722	1.000			
London Atlas (38)	0.736	0.847	1.000		
RP Atlas (28)	0.801	0.908	0.832	1.000	
RP Atlas (38)	0.798	0.847	0.914	0.903	1.000

Fonte: Autores.

O método London Atlas apresentou erros médios inferiores ao RP Atlas (Tabela 5). Para ambos os métodos, a tendência é de o erro aumentar conforme a faixa etária aumenta. O erro na estimativa de idade para o sexo feminino tende a ser superior ao sexo masculino.

Tabela 5 - Análise de erro médio entre a idade estimada pelos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo.

	London Atlas		RP Atlas	
	Dente 28	Dente 38	Dente 28	Dente 38
Geral	0.52 (0.40; 0.64)	0.23 (0.12; 0.35)	1.25 (1.15; 1.35)	1.37 (1.28; 1.47)
Faixa etária				
15-	-0.11 (-0.36; 0.14)	-0.29 (-0.61; 0.03)	0.29 (0.06; 0.51)	0.48 (0.17; 0.78)
16-	0.06 (-0.25; 0.36)	-0.02 (-0.32; 0.28)	0.77 (0.58; 0.95)	0.82 (0.64; 1.01)
17-	-0.46 (-0.84; -0.09)	-0.59 (-0.97; -0.21)	0.89 (0.66; 1.12)	1.00 (0.75; 1.24)
18-	0.26 (-0.13; 0.66)	0.07 (-0.34; 0.47)	1.47 (1.25; 1.69)	1.46 (1.24; 1.69)
19-	0.03 (-0.28; 0.35)	-0.16 (-0.44; 0.13)	1.55 (1.31; 1.80)	1.63 (1.42; 1.84)
20-	0.97 (0.71; 1.23)	0.42 (0.16; 0.68)	1.51 (1.24; 1.79)	1.72 (1.46; 1.99)
21-	1.32 (1.04; 1.61)	0.91 (0.62; 1.20)	1.64 (1.32; 1.96)	1.76 (1.45; 2.07)
22-	1.50 (1.23; 1.76)	1.11 (0.88; 1.34)	1.35 (1.08; 1.63)	1.50 (1.22; 1.77)
Sexo				
Masculino	0.20 (0.04; 0.35)	0.28 (0.13; 0.43)	0.89 (0.76; 1.03)	1.06 (0.93; 1.18)
Feminino	0.75 (0.59; 0.91)	0.20 (0.03; 0.36)	1.51 (1.37; 1.64)	1.60 (1.47; 1.74)

Fonte: Autores.

Com base no erro médio absoluto, o desempenho dos métodos foi comparável, independente do dente em que se basearam (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise de erro médio absoluto entre a idade estimada através dos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo. Os erros médios absolutos foram superiores no sexo feminino em comparação ao masculino. O aumento nos erros médios absolutos conforme o aumento da idade ocorreu em alguns casos, principalmente até os 21 anos de idade.

	London Atlas		RP Atlas	
	Dente 28	Dente 38	Dente 28	Dente 38
Geral	1.40 (1.32; 1.48)	1.41 (1.34; 1.49)	1.45 (1.36; 1.53)	1.56 (1.47; 1.65)
Faixa etária				
15-	0.89 (0.71; 1.06)	1.18 (0.97; 1.39)	0.93 (0.79; 1.07)	1.16 (0.95; 1.36)
16-	1.43 (1.29; 1.58)	1.37 (1.22; 1.53)	1.00 (0.86; 1.15)	1.04 (0.89; 1.18)
17-	1.77 (1.61; 1.93)	1.75 (1.56; 1.95)	1.14 (0.96; 1.32)	1.23 (1.04; 1.43)
18-	1.76 (1.53; 1.99)	1.93 (1.74; 2.11)	1.61 (1.43; 1.80)	1.66 (1.50; 1.83)
19-	1.47 (1.27; 1.67)	1.38 (1.21; 1.55)	1.77 (1.56; 1.97)	1.75 (1.58; 1.93)
20-	1.28 (1.05; 1.50)	1.22 (1.03; 1.41)	1.83 (1.61; 2.06)	1.93 (1.70; 2.16)
21-	1.53 (1.27; 1.78)	1.40 (1.17; 1.64)	1.77 (1.47; 2.07)	1.86 (1.56; 2.16)
22-	1.50 (1.23; 1.76)	1.13 (0.90; 1.36)	1.35 (1.08; 1.63)	1.50 (1.22; 1.77)
Sexo				
Masculino	1.25 (1.14; 1.35)	1.24 (1.15; 1.34)	1.23 (1.13; 1.33)	1.29 (1.18; 1.39)
Feminino	1.60 (1.48; 1.71)	1.54 (1.43; 1.64)	1.67 (1.55; 1.79)	1.78 (1.66; 1.90)

Fonte: Autores.

Os resultados da raiz do erro quadrático médio foram similares aos anteriores: melhor desempenho do método London Atlas em comparação ao RP Atlas, maior erro entre o sexo feminino em comparação ao masculino e aumento do erro para maiores faixas etárias (Tabela 7).

Tabela 7 - Análise da raiz do erro quadrático médio entre a idade estimada através dos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo.

	London Atlas		RP Atlas	
	Dente 28	Dente 38	Dente 28	Dente 38
Geral	1.86 (1.75; 1.96)	1.83 (1.72; 1.93)	1.94 (1.83; 2.06)	2.05 (1.94; 2.16)
Faixa etária				
15-	1.25 (0.97; 1.48)	1.53 (1.16; 1.83)	1.16 (0.93; 1.35)	1.50 (1.20; 1.75)
16-	1.62 (1.48; 1.75)	1.60 (1.42; 1.77)	1.25 (1.08; 1.40)	1.30 (1.11; 1.46)
17-	1.95 (1.79; 2.10)	2.01 (1.76; 2.22)	1.46 (1.21; 1.67)	1.59 (1.31; 1.83)
18-	2.15 (1.93; 2.36)	2.17 (1.98; 2.34)	1.90 (1.68; 2.09)	1.89 (1.72; 2.04)
19-	1.91 (1.65; 2.14)	1.71 (1.53; 1.88)	2.15 (1.91; 2.37)	2.04 (1.86; 2.21)
20-	1.98 (1.65; 2.25)	1.72 (1.43; 1.97)	2.38 (2.12; 2.61)	2.43 (2.19; 2.64)
21-	2.21 (1.83; 2.53)	2.06 (1.67; 2.38)	2.58 (2.21; 2.90)	2.66 (2.30; 2.99)
22-	2.06 (1.61; 2.43)	1.64 (1.27; 1.95)	2.01 (1.44; 2.45)	2.07 (1.63; 2.43)
Sexo				
Masculino	1.65 (1.51; 1.78)	1.58 (1.45; 1.70)	1.64 (1.49; 1.77)	1.69 (1.54; 1.82)
Feminino	2.12 (1.97; 2.27)	2.00 (1.85; 2.13)	2.23 (2.07; 2.38)	2.30 (2.15; 2.44)

Fonte: Autores.

Os gráficos de Bland-Altman mostram a análise de concordância do método London Atlas (Figuras 12a e b) e RP Atlas (Figuras 12c e d), respectivamente. Os limites de concordância tendem a ser mais largos para as médias de idade mais novas em comparação às mais velhas.

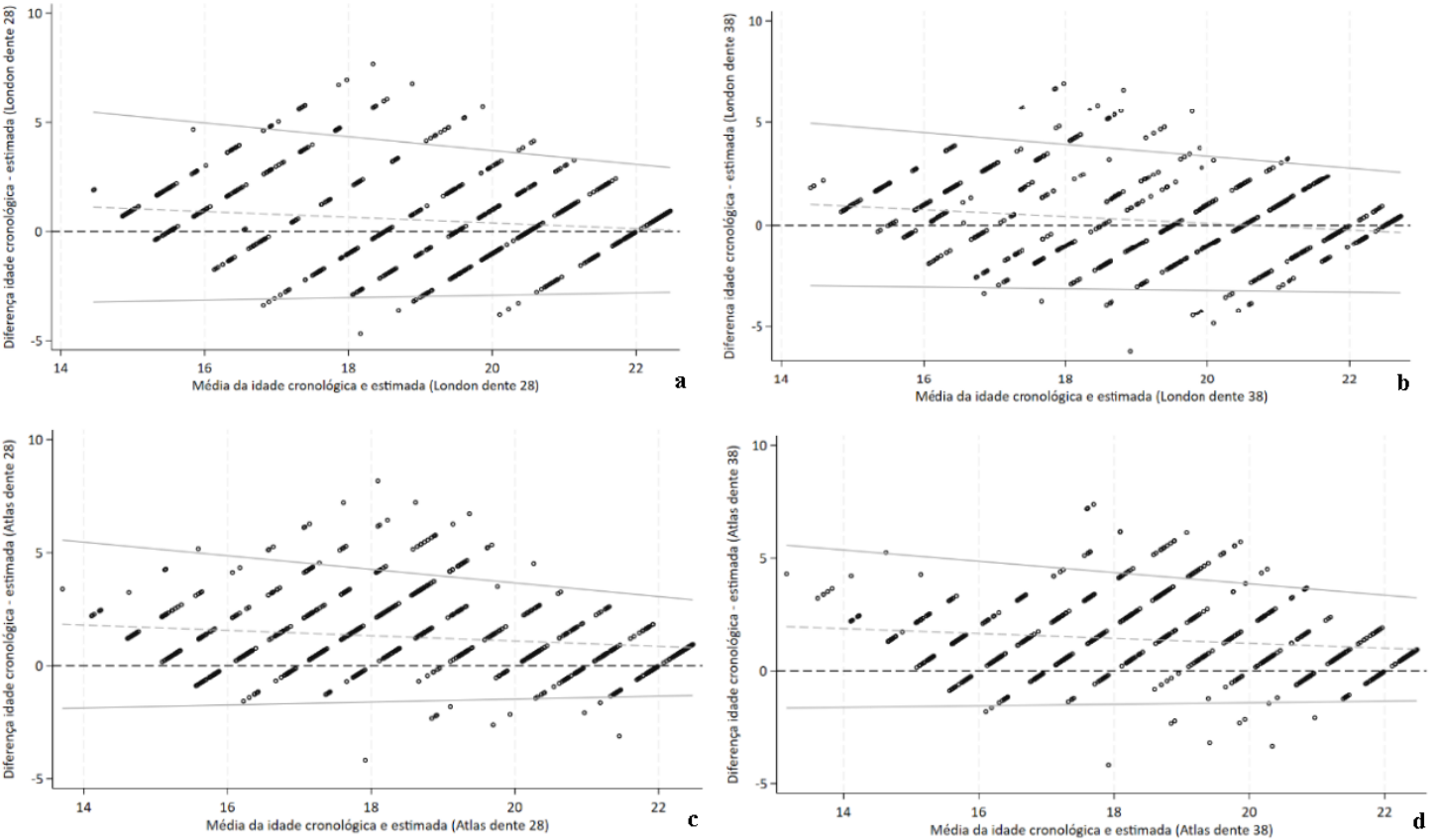


Figura 12a, b, c e d - Gráficos Bland-Altman para o método London Atlas e dentes 28 (a) e 38 (b), e RP Atlas para os dentes 28 (c) e 38 (d). A distribuição das idades ao longo do eixo x mostra que ambos os métodos funcionam bem para avaliar estimativas de idade dos pacientes incluídos na amostra. A maior parte das observações se manteve dentro dos limites de concordância. Fonte: Autores.

O coeficiente de concordância de Lin foi alto (entre 0.67 e 0.71) e comparável entre os métodos de estimativa de idade. Esse coeficiente foi superior para o sexo masculino em comparação ao feminino. Por outro lado, quando avaliada conforme grupos de faixa etária, a concordância é baixa (Tabela 8).

Tabela 8 - Análise do coeficiente de concordância de Lin comparando a idade estimada pelos métodos London Atlas e RP Atlas à idade cronológica para a amostra geral e conforme grupos de faixa etária e sexo.

	London Atlas		RP Atlas	
	Dente 28	Dente 38	Dente 28	Dente 38
Geral	0.67 (0.64; 0.71)	0.71 (0.68; 0.74)	0.68 (0.65; 0.71)	0.67 (0.64; 0.70)
Faixa etária				
15-	0.12 (0.07; 0.16)	0.10 (0.06; 0.14)	0.14 (0.09; 0.19)	0.09 (0.05; 0.14)
16-	0.15 (0.12; 0.18)	0.16 (0.14; 0.19)	0.17 (0.13; 0.21)	0.17 (0.13; 0.21)
17-	0.11 (0.08; 0.14)	0.13 (0.11; 0.15)	0.12 (0.09; 0.16)	0.13 (0.09; 0.16)
18-	0.09 (0.06; 0.11)	0.09 (0.07; 0.11)	0.06 (0.04; 0.09)	0.07 (0.05; 0.10)
19-	0.10 (0.08; 0.13)	0.10 (0.07; 0.12)	0.08 (0.06; 0.10)	0.06 (0.04; 0.08)
20-	0.11 (0.09; 0.14)	0.13 (0.10; 0.16)	0.08 (0.06; 0.10)	0.08 (0.06; 0.09)
21-	0.08 (0.05; 0.10)	0.09 (0.06; 0.11)	0.06 (0.04; 0.08)	0.07 (0.05; 0.08)
22-	0.07 (0.04; 0.10)	0.08 (0.05; 0.12)	0.08 (0.05; 0.11)	0.07 (0.05; 0.10)
Sexo				
Masculino	0.75 (0.71; 0.79)	0.77 (0.73; 0.81)	0.78 (0.74; 0.81)	0.76 (0.72; 0.80)
Feminino	0.62 (0.57; 0.67)	0.66 (0.62; 0.71)	0.63 (0.59; 0.67)	0.61 (0.56; 0.65)

Fonte: Autores.

Analisando as curvas ROC para o método London Atlas, foram definidos oito possíveis pontos de corte para o dente 28, com o melhor deles para identificação de indivíduos maiores de idade sendo 18.5 anos (acurácia de 78.5%). Para o dente 38 foram definidos 11 possíveis pontos de corte, com o melhor deles sendo 19.5 anos (acurácia de 80.0%) (Tabela 9, Figuras 13a e b). O potencial preditivo geral do método para ambos os dentes foi bom, com AUC=0.845 (IC95%=0.821; 0.869) e AUC=0.859 (IC95%=0.835; 0.883), respectivamente.

Tabela 9 - Curva ROC para avaliação de pontos de corte do método London Atlas baseado nos dentes 28 e 38.

Ponto de corte	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
	London Atlas - dente 28			London Atlas - dente 38		
≥ 14.5	99.9	0.7	69.5	100.0	1.3	69.8
≥ 15.5	95.5	26.5	74.4	98.2	23.2	75.2
≥ 16				94.2	40.1	77.6
≥ 16.5	88.9	52.0	77.6	90.5	52.2	78.7
≥ 17	88.9	52.6	77.8	88.8	52.5	77.7
≥ 18				86.6	62.3	79.2
≥ 18.5	83.6	67.0	78.5	81.7	69.4	77.9
≥ 19.5	71.5	85.6	75.8	78.4	83.5	80.0
≥ 20.5	57.9	93.1	68.7	60.0	93.9	70.4
≥ 22	23.9	100.0	47.2	32.3	97.3	52.2
≥ 20.5				14.4	99.7	40.6

Fonte: Autores.

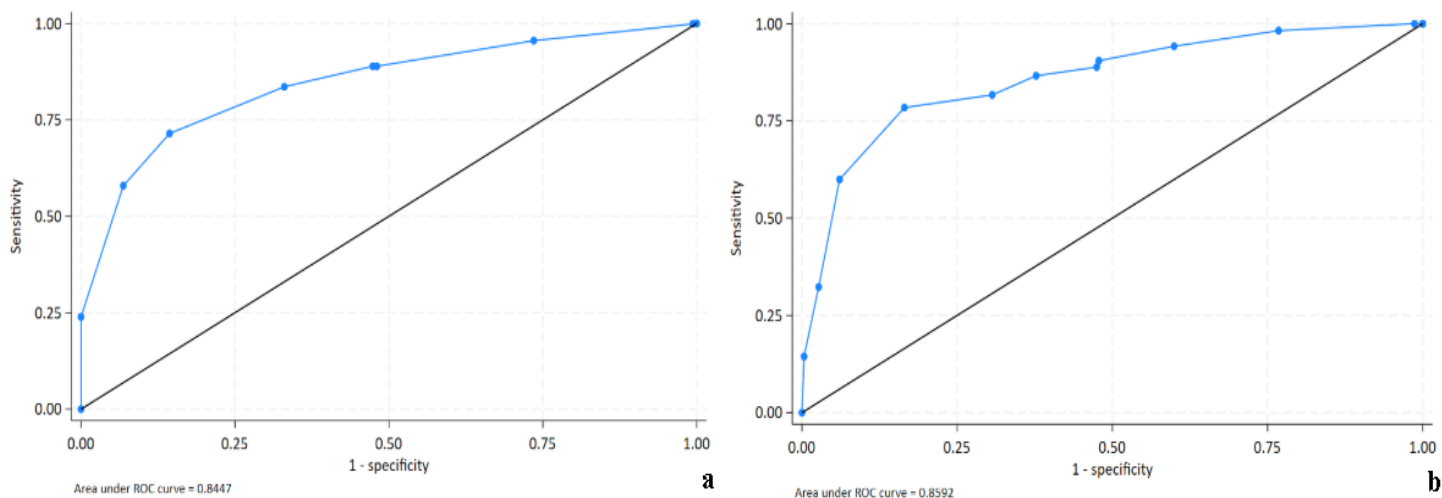


Figura 13 - Curva ROC para identificação de indivíduos maiores de idade pelo método London Atlas baseado nos dentes 28 **(a)** e 38 **(b)**. Fonte: Autores.

Para o método RP Atlas, foram definidos 11 possíveis pontos de corte tanto para o dente 28 quanto para o dente 38. O melhor ponto de corte foi de 17 anos para ambos os dentes (acurácia de 80.8% e 80.0%, respectivamente) (Tabela 10, Figuras 14a e b). O potencial preditivo geral do método para ambos os dentes foi bom, com AUC=0.874 (IC95%=0.853; 0.895) e AUC=0.876 (IC95%=0.856; 0.898), respectivamente.

Tabela 10 - Curva ROC para avaliação de pontos de corte do método RP Atlas baseado nos dentes 28 e 38.

Ponto de corte	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
	RP Atlas - dente 28			London Atlas - dente 38		
≥ 12				100.0	0.3	69.5
≥ 13	100.0	0.3	69.5	100.0	2.7	70.2
≥ 14	99.9	3.3	70.3	100.0	5.4	71.0
≥ 15	98.4	17.3	73.6	99.6	18.5	74.7
≥ 16	94.4	36.9	76.8	96.1	39.7	78.8
≥ 17	86.0	69.0	80.8	85.6	67.3	80.0
≥ 18	68.3	91.8	75.5	66.4	93.3	74.6
≥ 19	55.9	98.7	69.0	53.3	98.7	67.2
≥ 20	44.5	98.7	61.1	40.5	98.7	58.3
≥ 21	32.7	100.0	53.3	32.0	99.7	52.7
≥ 22	19.6	100.0	44.2	16.2	100.0	41.9
≥ 23	0.1	100.0	30.7			

Fonte: Autores.

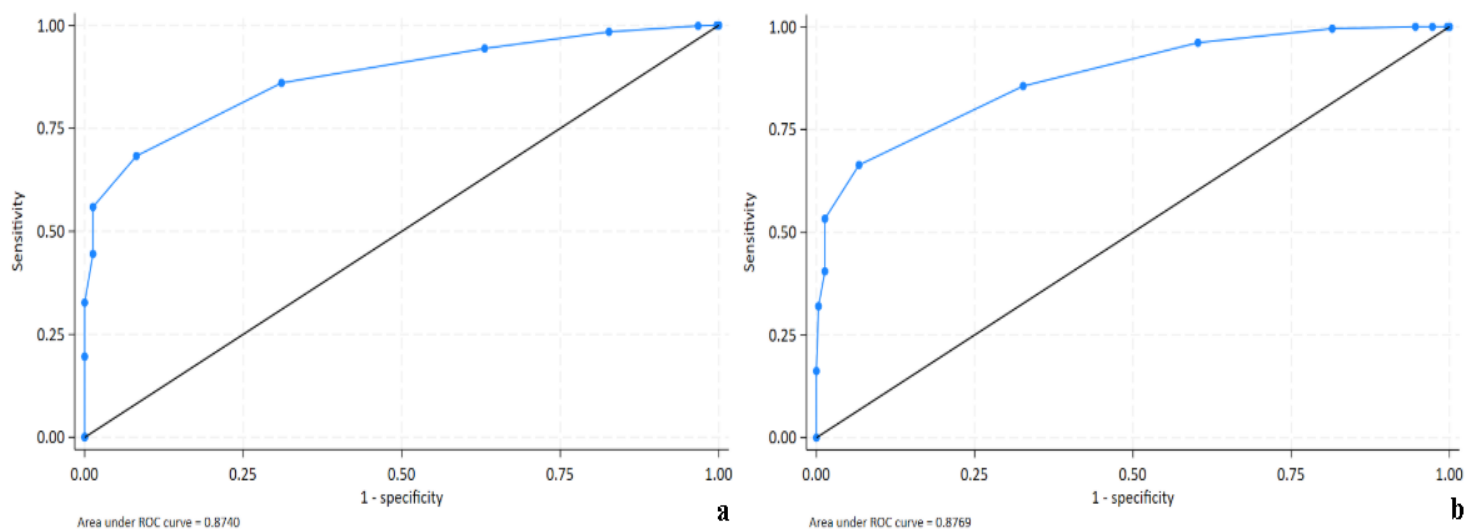


Figura 14a e b - Curva ROC para identificação de indivíduos maiores de idade pelo método RP Atlas baseado no dente 28 **(a)** e 38 **(b)**. Fonte: Autores.

6. DISCUSSÃO

O presente estudo teve por objetivo avaliar a acurácia dos métodos London Atlas e RP Atlas na estimativa de idade e diagnóstico da maioridade de uma amostra de indivíduos do Sul do Brasil, a partir de imagens dos terceiros molares esquerdos em radiografias panorâmicas. Verificou-se que ambos os métodos apresentaram correlação alta quando avaliados frente à idade cronológica. No entanto, a hipótese do estudo foi rejeitada, uma vez que o método London Atlas apresentou erros médios inferiores ao método RP Atlas. Assim, ainda que o RP Atlas tenha sido desenvolvido tendo como base uma população do Sudeste brasileiro, o London Atlas mostrou consistir numa ferramenta mais acurada para estimativa de idade de indivíduos do Sul do Brasil. Tal resultado pode se embasar na diferença de ancestralidade que existe entre as populações das regiões Sudeste e Sul do país. Registros históricos indicam que ambas as regiões tiveram alta mistura genética e imigrantes em comum (europeus, africanos e asiáticos orientais). O Sul do Brasil, porém, recebeu uma imigração predominante de europeus italianos, alemães, poloneses e europeus orientais (Carvalho-Silva et al., 2006; Pena; Santos; Tarazona-Santos, 2020).

Os valores de erro médio observados para o método London Atlas foram inferiores a 1, de modo que as diferenças na comparação da idade cronológica à idade estimada através deste método tendem a ser inferiores a 1 ano. Estes resultados estão de acordo com os estudos de Koç, Özlek e Talmaç (2021) e Cheong et al. (2023), que encontraram erros médios para o método London Atlas de 0,83 e 0,92 anos, respectivamente, estudando populações da Turquia e da Coreia do Sul. Deste modo, verificou-se que o London Atlas pode estimar a idade de forma quase precisa nessas populações. Por outro lado, Namwong e Mânica (2019), Dalben et al. (2022), Ishwarkumar et al. (2022) e Lin et al. (2022) encontraram erros médios de 1,03, 1,04, 1,02 e 1,16 anos ao estudarem, respectivamente, as populações tailandesa, brasileira, sul-africana e chinesa. Apesar de ainda serem considerados aceitáveis, esses valores de erros médios ligeiramente maiores do que os encontrados no presente estudo demonstram como a precisão dos métodos de estimativa de idade pode variar de acordo com a população estudada, sendo necessárias validações e estudos que justifiquem sua aplicação em diferentes contextos.

Observando o erro médio, o erro médio absoluto e a raiz do erro quadrático médio para ambos os métodos, também foi verificada uma tendência de o erro na estimativa de idade aumentar conforme a faixa etária aumenta, principalmente até os 21 anos de idade. Isso ocorre porque, à medida que o indivíduo envelhece, o desenvolvimento dentário se estabiliza e as diferenças entre os estágios de desenvolvimento se tornam menos indicativas de uma faixa etária específica (Koç;

Özlek; Talmaç, 2021, Zhou et al., 2023). Portanto, a tendência de o erro na estimativa de idade aumentar conforme a faixa etária aumenta não é exclusivo dos métodos utilizados neste estudo, mas um achado que pode ser esperado para a maioria dos métodos de estimativa de idade (Moorrees; Fanning; Hunt, 1963; Lin et al., 2022; Koç; Özlek; Talmaç, 2021; Sartori et al., 2024). Considerando o método London Atlas, o mesmo padrão foi encontrado nos estudos de Dalben et al. (2022), Cheong et al. (2023) e Zhou et al. (2023), que observaram maior eficácia do método em indivíduos com até 20 anos de idade, embora ainda tenha se mostrado confiável em outras faixas etárias.

O erro na estimativa de idade para o sexo feminino tendeu a ser superior quando comparado ao sexo masculino para ambos os métodos. Já foi observado que as meninas geralmente apresentam uma maturação dentária mais avançada em comparação aos meninos, com exceção dos terceiros molares, que se desenvolvem antes nos meninos (Karadayi et al., 2014, Sousa et al., 2024). Karadayi et al. (2014) verificaram que esse padrão é mais notável no intervalo de idade de 5 a 14 anos em crianças turcas, geralmente em um único estágio, e não em todos os dentes. Sousa et al. (2024), durante o desenvolvimento do método RP Atlas, observaram que essa discrepância na maturação dentária era contínua na amostra analisada, geralmente estando uma ou duas etapas à frente para as meninas. O estudo de Poulsen e Sonnesen (2023) reitera essa afirmação ao observar a maturação dentária entre meninos e meninas em duas coortes de nascimento (de 1969 a 1973 e de 2005 a 2010). Foi verificado que as meninas exibiram uma maturação dentária precoce em relação aos meninos em ambos os períodos de tempo, embora a maturação dentária, em geral, tenha se acelerado nas crianças nascidas mais recentemente.

Assim, em algumas populações, as meninas têm uma maturação dental precoce em relação aos meninos, o que pode ter uma influência direta do dimorfismo sexual, pelo qual o crescimento é primeiro alcançado pelos sujeitos do sexo feminino (Sharma; Wadhwan, 2020). Quando considerados apenas os terceiros molares, porém, as meninas podem exibir maior variabilidade no desenvolvimento, ou um padrão menos consistente e uniforme, que aumenta o erro médio. Para tentar superar esses erros, o método RP Atlas foi desenvolvido com tabelas de referência distintas para os sexos feminino e masculino. Ainda assim, no presente estudo, verificou-se que o erro para o sexo feminino foi ligeiramente mais acentuado em relação ao masculino. Contudo, essa diferença de erro não é significativa para qualquer dos métodos utilizados neste estudo para a estimativa de idade dessa população, de modo que a precisão geral dos métodos pode ser considerada adequada para ambos os sexos.

Os gráficos de Bland-Altman mostraram que os limites de concordância tendem a ser mais largos para as médias de idade mais novas em comparação às mais velhas, mas essa redução dos

limites é muito suave. A distribuição das idades ao longo do eixo x mostra que ambos os métodos funcionam bem para avaliar estimativas de idade dos pacientes incluídos na amostra. Ainda, a maior parte das observações se mantiveram dentro dos limites de concordância, o que indica bom desempenho dos métodos de estimativa.

Os coeficientes de concordância de Lin foram, em geral, altos (variando entre 0.67 e 0.71) e comparáveis entre os métodos, mas superiores para o sexo masculino (ao redor de 0.75) em comparação ao feminino (ao redor de 0.61). Por outro lado, quando a concordância foi avaliada conforme grupos de faixa etária, nota-se que a concordância é baixa. A diminuição da concordância, se avaliada conforme as faixas etárias, pode ter ocorrido como um artefato da diminuição do tamanho de amostra quando se restringe aos grupos de idade, tornando a medida mais sensível a variações (Lin; Hedayat; Wu, 2007).

As curvas ROC foram utilizadas para avaliar o potencial dos métodos em diagnosticar a maioridade dos sujeitos. Através desta análise, busca-se a idade que maximiza a área sob a curva do gráfico, demonstrando maior potencial preditivo. A análise através do método London Atlas determinou que o melhor ponto de corte para a identificação de indivíduos maiores de idade foi 18.5 anos para o dente 28, com acurácia de 78.5%, e 19.5 anos para o dente 38, com acurácia de 80.0%. Ou seja, caso esse método seja utilizado para diagnosticar a maioridade através dos dentes 28 e 38, é mais assertivo utilizar a idade de 18,5 anos e 19,5 anos, respectivamente, como referência de maioridade. Conforme as observações de erro médio, o método de London Atlas tende a superestimar a idade cronológica do indivíduo analisado. Para o método RP Atlas, verificou-se que o melhor ponto de corte para a identificação de indivíduos maiores de idade, levando em consideração tanto o dente 28 quanto o dente 38, foi de 17.0 anos, com acurácia de 80.8% e 80,0%, respectivamente. Deste modo, o método RP Atlas apresentou uma tendência a subestimar a idade cronológica dos indivíduos analisados.

As leis brasileiras definem a idade de 18 anos como um marco para atingir a maioridade civil e criminal (Brasil, 1988). Assim, para casos pertinentes de fins forenses, é altamente relevante que se utilizem técnicas e padrões específicos, com a maior acurácia possível no diagnóstico da maioridade, para cada população (Sartori et al., 2024). Diante dos resultados deste trabalho, verificou-se que o método London Atlas é mais adequado para diagnosticar a maioridade penal na amostra estudada, pois é preferível que os métodos superestimem a idade, a fim de evitar o diagnóstico de maioridade em indivíduos menores de idade. Com os resultados do RP Atlas indicando um ponto de corte para a maioridade de 17,0 anos para os dentes 28 e 38, há mais risco de indivíduos menores de idade serem classificados indevidamente como maiores de idade.

Todas as metodologias baseadas em atlas possuem limitações. As tabelas ilustradas não são capazes de representar todos os casos. A sobreposição nos estágios de maturidade, a falta de diferenciação por sexo (resultando em um alto grau de variabilidade) e a possibilidade de falta de concordância entre os observadores pode levar a maiores taxas de erro em comparação com outras técnicas de avaliação do desenvolvimento dentário. Assim, ressalta-se a necessidade de investigações adicionais para ajustar e aprimorar a aplicabilidade desses métodos em diferentes populações e faixas etárias, especialmente em indivíduos acima de 21 anos. As pesquisas que aplicam estes métodos podem fornecer proposições para ajustes dos Atlas e sua aplicação em subpopulações diversas, e mesmo de base para o estabelecimento de um repositório internacional de dados embasados nos diversos Atlas disponíveis para diferentes subpopulações étnicas.

7. CONCLUSÕES

- Ambos os métodos de estimativa de idade demonstraram ser adequados para a amostra estudada, com o London Atlas apresentando maior precisão, evidenciada por erros médios menores em comparação ao RP Atlas.

- Uma maior imprecisão foi verificada para indivíduos do sexo feminino em ambos os métodos. A acurácia também tendeu a diminuir em grupos etários superiores a 21 anos.

- Ambos os métodos foram efetivos em diagnosticar a maioridade. Nesse quesito, o método London Atlas se destaca pela tendência em superestimar a idade, característica que pode ser vantajosa em situações legais que requerem maior prudência no diagnóstico da maioridade.

- O método London Atlas é o mais indicado para a estimativa de idade da população estudada, sendo preferencial em contextos onde a precisão e a cautela no diagnóstico da maioridade são essenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, D. M.; RALSTON, C. E.; SUSSMAN, R. A.; HEIM, K.; BETHARD, J. D. Impact of population-specific dental development on age estimation using dental atlases. *Am J Phys Anthropol*, v.168, n.1, p.190-199, 2019. doi: 10.1002/ajpa.23735.
- AFIFY, M. M.; ZAYET, M. K.; MAHMOUD, N. F.; RAGAB, A. R. Age estimation from pulp/tooth area ratio in three mandibular teeth by panoramic radiographs: Study of an Egyptian sample. *J Forensics Res*, v.5, p.1, 2014.
- ALAM, M. K.; HAMZA, M. A.; KHAFIZ, M. A.; RAHMAN, S. A.; SHAARI, R.; HASSAN, A. Multivariate analysis of factors affecting presence and/or agenesis of third molar tooth. *PloS One*, v.9, p.101-157, 2014.
- ALQAHTANI, S. J.; HECTOR, M. P.; LIVERSIDGE, H. M. Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *Am J Phys Anthropol*, v.142, n.3, p.481-490, 2010. doi: 10.1002/ajpa.21258.
- ALQAHTANI, S.; KAWTHAR, A.; ALRAIK, A.; ALSHALAN, A. Third molar cut-off value in assessing the legal age of 18 in Saudi population. *Forensic Sci Int*, v.272, p.64-67, 2017.
- ANDRADE, A. M. C.; GOMES, J. A.; OLIVEIRA, L. K. B. F.; SANTOS, L. R. S.; SILVA, S. R. C.; MOURA, V. S.; ROMÃO, D. A. Odontologia legal—o papel do Odontologista na identificação de cadáveres: uma revisão integrativa. *Res Soc Dev*, v.10, p.e29210212465, 2021.
- BANGI, B. B.; GINJUPALLY, U.; NADENDLA, L. K.; VADLA, B. 3D evaluation of maxillary sinus using computed tomography: A sexual dimorphic study. *Int J Dent*, v.2017, p.1-4, 2017.
- BEGTRUP, A.; GRONASTOD, H.; CHRISTENSEN, I. J.; KJAER, I. Predicting lower third molar eruption on panoramic radiographs after cephalometric comparison of profile and panoramic radiographs. *Eur J Orthod*, v.35, p.460-466, 2012.
- BLEKA, O.; WISLOFF, T.; DAHLBERG, P. S.; ROLSETH, V.; EGELAND, T. Advancing estimation of chronological age by utilizing available evidence based on two radiographical methods. *Int J Legal Med*, v.133, p. 217-229, 2019.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República,. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.
- CAMERIERE, R.; FERRANTE, L.; BELCASTRO, M. G.; BONFIGLIOLI, B.; RASTELLI, E.; CINGOLANI, M. Age estimation by pulp/tooth ratio in canines by mesial and vestibular peri-apical X-rays. *J Forensic Sci*, v.52, n.5, p.1151-1155, 2007. doi: 10.1111/j.1556-4029.2007.00530.x.
- CAMERIERE, R.; FERRANTE, L.; CINGOLANI, M. Variations in pulp/tooth area ratio as an indicator of age: a preliminary study. *J Forensic Sci*, v. 49, p. 317– 319, 2006.
- CAMERIERE, R.; FERRANTE, L.; DE ANGELIS, D.; SCARPINO, F.; GALLI, F. The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stages to test chronological age of over 18 year olds in living subjects. *Int J Legal Med*, v.122, n.6, p.493-497,

2008. doi: 10.1007/s00414-008-0279-6.

CARVALHO-SILVA, D. R.; TARAZONA-SANTOS, E.; ROCHA, J.; PENA, S. D.; SANTOS, F. R. Y chromosome diversity in Brazilians: Switching perspectives from slow to fast evolving markers. *Genetica*, v.126, n.1-2, p.251-260, 2006. doi: 10.1007/s10709-005-1454-z.

CHEONG, H.; KUMAGAI, A.; OH, S.; LEE, S. S. Dental characteristics on panoramic radiographs as parameters for non-invasive age estimation: a pilot study. *Anat Cell Biol*, v.56, n.4, p.474-481, 2023. doi: 10.5115/acb.23.140.

DALBEN, E.; BUENO, J.; FONSECA, Y.; MÂNICA, S.; NASCIMENTO, M.; FRANCO, A. Application of the London Atlas software app 2nd edition for the radiographic assessment of dental development. *J Clin Exp Dent*, v.14, n.11, p.e944-e952, 2022. doi: 10.4317/jced.59974.

DEMIRJIAN, A. GOLDSTEIN, H.; TANNER, J. M. A new system of dental age assessment. *Human Biology*, v.45, p.211-227, 1973.

ELAMIN, F.; LIVERSIDGE, H. M. Malnutrition has no effect on the timing of human tooth formation. *PLoS One*, v.8, n.8, p.e72274, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0072274.

FARHADIAN, M.; SALEMI, F.; SAATI, S.; NAFISI, N. Dental age estimation using the pulp-to-tooth ratio in canines by neural networks. *Imaging Sci Dent*, v.49, n.1, p.19-26, 2019. doi: 10.5624/isd.2019.49.1.19.

FRANCO, A.; DE OLIVEIRA, M. N.; CAMPOS VIDIGAL, M. T.; BLUMENBERG, C.; PINHEIRO, A. A.; PARANHOS, L. R. Assessment of dental age estimation methods applied to Brazilian children: a systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofac Radiol*, v.50, n.2, p.20200128, 2021. doi: 10.1259/dmfr.20200128.

FREEMAN, A. J.; SENN, D. R.; ARENDT, D. M. Seven hundred seventy eight bite marks: analysis by anatomic location, victim and biter demographics, type of crime, and legal disposition. *J Forensic Sci*, v.50, p.1436-1443, 2005.

GIBELLI, D.; DE ANGELIS, D.; CATTANEO, C. Radiological pitfalls of age estimation in adopted children: a case report. *Minerva Pediatr*, v.67, p.203-208, 2015.

GLEISER, I.; HUNT, E. E. Jr. The permanent mandibular first molar: its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthropol*, v.13, n.2, p.253-283, 1955. doi: 10.1002/ajpa.1330130206.

GUNST, K.; MESOTTEN, K.; CARBONEZ, A.; WILLEMS, G. Third molar root development in relation to chronological age: a large sample sized retrospective study. *Forensic Sci Int*, v.136, n.1-3, p.52-57, 2003. doi: 10.1016/s0379-0738(03)00263-9.

GUSTAFSON, G. Age determination on teeth. *J Am Dent Assoc*, v.41, n.1, p.45-54, 1950. doi: 10.14219/jada.archive.1950.0132.

ISHWARKUMAR, S.; PILLAY, P.; CHETTY, M.; SATYAPAL, K. S. Employing the London Atlas in the age estimation of a select South African population. *Dent J (Basel)*, v.10, n.9, p.171, 2022. doi: 10.3390/dj10090171.

- KANCHAN, T.; CHUGH, V.; CHUGH, A.; MESHRAM, V.; SHEDGE, R.; PATNANA, A. K.; KRISHAN, K. Age estimation using third molar maturation based on Demirjian's criteria. *Leg Med (Tokyo)*, v.53, p.101959, 2021. doi: 10.1016/j.legalmed.2021.101959.
- KARADAYI, B.; AFŞIN, H.; OZASLAN, A.; KARADAYI, S. Development of dental charts according to tooth development and eruption for Turkish children and young adults. *Imaging Sci Dent*, v.44, n.2, p.103-113, 2014. doi: 10.5624/isd.2014.44.2.103.
- KARKHANIS, S.; MACK, P.; FRANKLIN, D. Age estimation standards for a Western Australian population using the dental age estimation technique developed by Kvaal et al. *Forensic Sci Int*, v.235, p.104.e1-6, 2014.
- KOÇ, A.; ÖZLEK, E.; TALMAÇ, A. G. Ö. Accuracy of the London atlas, Willems, and Nolla methods for dental age estimation: A cross-sectional study on Eastern Turkish children. *Clin Oral Investig*, v.25, n.8, p.4833-4840, 2021. doi: 10.1007/s00784-021-03788-w.
- KÖHLER, S.; SCHMELZLE, R.; LOITZ, C.; PÜSCHEL, K. Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensaltersbestimmung [Development of wisdom teeth as a criterion of age determination]. *Ann Anat*, v.176, n.4, p.339-345, 1994.
- KOO, T. K.; LI, M. Y. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med*, v.15, n.2, p.155-163, 2016. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012.
- KVAAL, S. I.; KOLLTVEIT, K. M.; SOLHEIMA, T.; THOMSEN, I. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int*, v.74, p.175-185, 1995.
- LIN, L.; HEDAYAT, A. S.; WU, W. A unified approach for assessing agreement for continuous and categorical data. *J Biopharm Stat*, v.17, n.4, p.629-652, 2007. doi: 10.1080/10543400701376498.
- LIN, Y.; MAIMAITIYIMING, N.; SUI, M.; ABUDUXIKU, N.; TAO, J. Performance of the London Atlas, Willems, and a new quick method for dental age estimation in Chinese Uyghur children. *BMC Oral Health*, v.22, n.1, p.624, 2022. doi: 10.1186/s12903-022-02652-x.
- LIVERSIDGE, H. M. Timing of human mandibular third molar formation. *Ann Hum Biol*, v.35, p.452-453, 2009.
- MARCONI, V.; IOMMI, M.; MONACHESI, C.; FARAGALLI, A.; SKRAMI, E.; GESUITA, R.; FERRANTE, L.; CARLE, F. Validity of age estimation methods and reproducibility of bone/dental maturity indices for chronological age estimation: a systematic review and meta-analysis of validation studies. *Sci Rep*, v.12, n.1, p.15607, 2022. doi: 10.1038/s41598-022-19944-5.
- MARTIN-DE-LAS-HERAS, S.; VALENZUELA, A.; LUNA, J. D.; BRAVO, M. The utility of dental patterns in forensic dentistry. *Forensic Sci Int*, v.195, n.1-3, p.166.e1-166.e5, 2010.
- MAZZILLI, L. E. N.; MELANI, R. F. H.; LASCALA, C. A.; PALACIO, L. A. V.; CAMERIERE, R. Age estimation: Cameriere's open apices methodology accuracy on a southeast brazilian sample. *J Forensic Leg Med*, v.58, p.164-168, 2018.
- MOORREES, C. F.; FANNING, E. A.; HUNT, E. E. Jr. Age variation of formation stages for ten

- permanent teeth. *J Dent Res*, v.42, p.1490-1502, 1963. doi: 10.1177/00220345630420062701.
- NAMWONG, W.; MÂNICA, S. Testing the London atlas for age estimation in Thai population. *Acta Odontol Scand*, v.78, n.3, p.161-164, 2019. doi: 10.1080/00016357.2019.1667526.
- NICODEMO, R. A.; MORAIS, L. C.; MÉDICI, E. Tabela cronológica da mineralização dos dentes permanentes entre brasileiros. *Rev Fac Odont*, v.3, p.55-56, 1974.
- NOLLA, C. M. The development of permanent teeth. *J Dent Child*, v.27, p.254-266, 1960.
- PENA, S. D. J.; SANTOS, F. R.; TARAZONA-SANTOS, E. Genetic admixture in Brazil. *Am J Med Genet C Semin Med Genet*, v.184, n.4, p.928-938, 2020. doi: 10.1002/ajmg.c.31853.
- POOJYA, R.; SHRUTHI, C. S.; RAJASHEKAR, V. M.; KAIMAL, A. Palatal rugae patterns in edentulous cases, are they a reliable forensic marker? *Int J Biomed Sci*, v.11, p.109-112, 2015.
- POULSEN, A. R.; SONNESEN, L. Dental maturation in two groups of children born in 1969-1973 and 2005-2010. *Dent J (Basel)*, v.11, n.11, p.248, 2023. doi: 10.3390/dj11110248.
- SARTORI, V. K.; DO ROSÁRIO JR, A. F.; CORAZZA, P. H.; DALL BELLO, Y.; BOEDI, R. M.; DALLEPIANE, F. G.; DOGENSKI, L. C.; LINDEN, M. S. S.; TRENTIN, M. S.; DE CARLI, J. P. Accuracy of the third molar maturity index (I3M) for diagnosing the legal majority of young southern Brazilians. *J Clin Exp Dent*, v.16, n.4, p.e455-e562, 2024. doi:10.4317/jced.61423.
- SCHOUR, I.; MASSLER, M. 1941. Development of human dentition chart, 2nd ed. Chicago: American Dental Association.
- SHARMA, P.; WADHWAN, V. Comparison of accuracy of age estimation in Indian children by measurement of open apices in teeth with the London Atlas of tooth development. *J Forensic Odontostomatol*, v.38, n.1, p.39-47, 2020.
- SOUSA, A. M. S.; JACOMETTI, V.; SATO, C. M.; ALQAHTANI, S.; DA SILVA, R. H. A. Technical note: RP Atlas-an unprecedented proposal for a Brazilian population dental development chart based on the London atlas. *Am J Biol Anthropol*, v.31, p.e24906, 2024. doi: 10.1002/ajpa.24906.
- TSAI, L. C.; SU, C. W.; LEE, J. C. I.; LU, Y. S.; CHEN, H. C.; LIN, Y. C.; HSIEH, H. M. The detection and identification of saliva in forensic samples by RT-LAMP. *Forensic Sci Med Pathol*, v.14, p.469-477, 2018.
- UBELAKER, D. H. 1978. Human skeletal remains: Excavation, analysis, interpretation. Chicago: Aldine Publishing Co. Inc.
- UBELAKER, D. H.; KHOSROWSHAHI, H. Estimation of age in forensic anthropology: historical perspective and recent methodological advances. *Forensic Sci Res*, v.4, n.1, p.1-9, 2019. doi: 10.1080/20961790.2018.1549711.
- ZHOU, J.; QU, D.; FAN, L.; YUAN, X.; WU, Y.; SUI, M.; ZHAO, J.; TAO, J. Applicability of the London Atlas method in the East China population. *Pediatr Radiol*, v.53, n.2, p.256-264, 2023. doi: 10.1007/s00247-022-05491-8.

ANEXOS

ANEXO I - Artigo submetido³

Accuracy of the London Atlas and RP Atlas in age estimation of Southern Brazilians

Letícia Copatti Dogenski¹, Ademir Franco do Rosário Júnior², Vanessa Koltermann Sartori¹, Micheline Sandini Trentin¹, Juliane Bervian¹, Pedro Henrique Corazza¹, Yuri Dal Bello¹, Matheus Albino Souza¹, João Paulo De Carli¹

¹Postgraduate Program in Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil

²Postgraduate Program in Dentistry, São Leopoldo Mandic, Campinas, São Paulo, Brazil

Corresponding author: João Paulo De Carli

E-mail address: joaodecarli@upf.br

Address: Building A7, Campus I. BR 285, São José district, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil. ZIP Code: 99052-900.

Author's contributions: All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by Letícia Copatti Dogenski, Vanessa Koltermann Sartori, Micheline Sandini Trentin, Juliane Bervian, Pedro Henrique Corazza, Yuri Dal Bello, and Matheus Albino Souza. The first draft of the manuscript was written by Letícia Copatti Dogenski and all authors commented on previous versions of the manuscript. The final manuscript was revised and edited by Ademir Franco do Rosário Júnior and João Paulo De Carli, and all authors read and approved it.

Abstract

Objective: To assess the accuracy of the London Atlas and RP Atlas methods in estimating age and diagnosing adulthood in a Southern Brazilian population. **Materials and methods:** A total of 1,099 panoramic radiographs from individuals aged 15.00–22.99 years were analyzed. The London Atlas and RP Atlas tools were used to estimate age based on the developmental stages of the upper and lower left third molars (teeth 28 and 38). Statistical analysis included Spearman's rank test, Bland-Altman plots, Lin's concordance coefficient, and ROC curves, with adulthood (≥ 18 years) as the cutoff ($p \leq 0.05$). **Results:** Both methods showed high accuracy, with the London Atlas exhibiting lower mean errors than the RP Atlas. Errors increased with age and were higher in females. The best adulthood cutoff for the London Atlas was 18.5 years for tooth 28 (78.5% accuracy) and 19.5 years for tooth 38 (80.0% accuracy). For the RP Atlas, the cutoff was 17 years for both teeth (80.8% and 80.0% accuracy, respectively). **Conclusions:** Both methods were suitable for age estimation and adulthood diagnosis, with the London Atlas tending to overestimate age—an advantage in legal contexts requiring caution. **Clinical relevance:** Validating age estimation methods in specific populations enhances accuracy, preventing errors when applying methods developed for other populations and ensuring suitability for the local context.

Keywords: Molar tooth. Age determination by teeth. Victim identification. Forensic dentistry. Dental radiography.

³Formatado de acordo com as normas da revista Journal of Forensic and Legal Medicine..

Introduction

Age estimation is one of the most widely used methods for investigating an individual's characteristics. In addition to assisting in forensic examinations and the formation of a biological profile of the deceased or the examination of living individuals, it can assess the probability that a person has reached a legally relevant age¹, in cases of adoption², asylum requests from refugees³, absence or falsification of civil records⁴, and criminal cases. Dentistry is involved in age estimation through bone and/or dental development, which consists of mineralization stages according to the phases of human development^{5,6}. Thus, it is possible to evaluate the chronology of tooth eruption or estimate the stage of crown and root mineralization of dental organs through radiographs⁷, relating it to the individual's possible actual age.

The accuracy of this estimation is higher during periods when teeth are actively developing, tending to decrease as mineralization is completed. Thus, in age estimations of young adults, the third molar is studied, as it exhibits later stages of mineralization compared to other teeth⁸. For the assessment of dental mineralization, estimations based on Atlases can be used, as well as orthopantomograms, which provide a direct image comparison, resulting in a simplified, low-cost, easy-to-apply, and non-destructive approach that can be used for both living and deceased individuals^{5,9,10}. Among the available Atlases for dental age estimation, the London Atlas⁵ stands out, developed based on the observation of a London population sample. Recently, Sousa et al.¹⁰ also developed the RP Atlas, based on a population from southeastern Brazil.

As with these, several methodologies have already been proposed in the literature^{5,11-14}, each developed for a specific population group. However, differences in accuracy may exist when applying a given technique for age estimation depending on the studied population, making it essential to apply and validate different methodologies across various populations¹⁵. Thus, these studies are crucial to ensuring that, in cases where age determination is required, the appropriate methods are correctly chosen and applied to the specific population group.

Considering this, the objective of this study is to evaluate the accuracy of the London Atlas and RP Atlas methods in estimating the age of a sample of individuals from southern Brazil, based on third molar images in panoramic radiographs.

Materials and methods

This cross-sectional analytical observational radiographic study was approved by the Research Ethics Committee of the University of Passo Fundo (CEP/UPF, approval no. 5.603.446).

Sample

The convenience sample consisted of 1,099 panoramic radiographs selected from the records of patients aged between 15.00 and 22.99 years who attended the Dentistry Program at the University of Passo Fundo (CO/UPF) between 2016 and 2022. The presence of teeth 28 and/or 38, with adequate radiographic visualization, was required. Panoramic radiographs with poor quality, including errors in image acquisition or processing, evident bone lesions, developmental disorders, or missing information regarding sex, date of birth, or the date of radiographic image acquisition, were excluded from the study.

A retrospective review of patient records was also conducted to collect the following data: patient record number, date of birth, sex, and date of radiograph acquisition. Each record and radiograph was assigned a randomly generated numerical identification code, unrelated to the patient record number or any personal data, to ensure data confidentiality.

The radiographs were acquired using an Eagle Digital™ device (Dabi Atlante, Ribeirão Preto, SP – Brazil) with settings of 75 kVp and 8 mA. The radiographic images were exported in JPEG file format, saved in high resolution on a computer, named with the numerical identification code, organized into folders according to the individual's sex, and exported to the Adobe® Photoshop® CC image editing software. In Photoshop, identification data were cropped using the software's cropping tool. Additionally, brightness, contrast, and zoom adjustments were made to enhance image visualization when necessary.

Evaluator calibration

Two examiners underwent a training period for the application of the London Atlas and RP Atlas techniques, following the methodological guidelines. An Intraclass Correlation Coefficient (ICC) test was conducted, for which 10% of the panoramic radiographs from the final sample were randomly selected to include all age groups and sexes of the patients. The selected sample was evaluated by Observer 1 (L.C.D.) at two different time points, with a 45-day interval between them, and once by Observer 2 (V.K.S.). The intra-observer ICC (London Atlas: 0.961 (28) and 0.967 (38); RP Atlas: 0.979 (28) and 0.987 (38)) and inter-observer ICC (London Atlas: 0.930 (28) and 0.937 (38); RP Atlas: 0.965 (28) and 0.973 (38)) values were considered excellent¹⁶.

Application of the London Atlas Method

The London Atlas method⁵ was applied using the “Data entry” option in the software provided by the authors on the Queen Mary University of London website (<https://www.qmul.ac.uk/dentistry/atlas/software-app-full-width-/>). This option allows users to define the sex (male, female, or unknown), dentition type (deciduous, permanent, or both), and arch (upper, lower, or both) for each radiograph under study, as well as the notation system used (Anthropology, Palmer, FDI, or Universal).

The upper and lower left third molars (teeth 28 and 38) of the entire radiographic sample were analyzed, visually comparing their developmental stage to those described in the method. By selecting the developmental stage that best matches the actual one, the software provides an estimated age for the individual. This estimated age was recorded in a Microsoft Excel® spreadsheet along with the following information: radiograph number, sex, actual age, and developmental stage code.

Application of the RP Atlas Method

The RP Atlas method, proposed by Sousa et al.¹⁰, was also applied to each radiograph. In this method, an approximate age is assigned to each dental development stage. The left upper and lower third molars (teeth 28 and 38) observed in the panoramic radiographs were compared to the corresponding Atlas, and the developmental stage that best matched the actual condition was visually selected. The estimated corresponding age was recorded in the Microsoft Excel® spreadsheet, along with the relevant information and the previous assessment using the London Atlas method.

Statistical Analysis

A normality assessment of the data distribution was conducted using the Shapiro-Wilk test, which indicated a skewed distribution. Based on this, Spearman's correlation test was used to evaluate the relationship between chronological age and age estimated by the two age estimation methods. A graphical assessment of this correlation was performed using Bland-Altman plots. The Lin's concordance correlation coefficient was also calculated for the overall sample, as well as for different age groups and according to patient sex.

Using the legal age threshold (≥ 18 years) as a cutoff, two ROC curves were fitted to assess the ability of each method to determine adulthood. Based on the ROC curve, sensitivity, specificity, and accuracy were estimated for each cutoff point, as well as the overall area under the curve (AUC). All analyses were conducted using Stata software version 18 (StataCorp LLC, College Station, TX, USA) with a 95% significance level.

Results

The Spearman correlation results for chronological age vs. estimated age using the London Atlas and RP Atlas methods are presented in Table 1. Both methods showed a high correlation with chronological age.

Table 1 Spearman correlation between chronological age vs. age estimated by the London Atlas and RP Atlas methods.

	Chronological age	London Atlas (28)	London Atlas (38)	RP Atlas (28)	RP Atlas (38)
Chronological age	1.000				
London Atlas (28)	0.722	1.000			
London Atlas (38)	0.736	0.847	1.000		
RP Atlas (28)	0.801	0.908	0.832	1.000	
RP Atlas (38)	0.798	0.847	0.914	0.903	1.000

The London Atlas method exhibited lower mean errors compared to the RP Atlas. For both methods, the error tended to increase as age increased. Additionally, age estimation errors for females tended to be higher than for males (Table 2).

Table 2 Analysis of mean error between estimated age through the London Atlas and RP Atlas methods and chronological age for the overall sample and according to age groups and sex.

	London Atlas		RP Atlas	
	Tooth 28	Tooth 38	Tooth 28	Tooth 38
Overall	0.52 (0.40; 0.64)	0.23 (0.12; 0.35)	1.25 (1.15; 1.35)	1.37 (1.28; 1.47)
Age group				
15-	-0.11 (-0.36; 0.14)	-0.29 (-0.61; 0.03)	0.29 (0.06; 0.51)	0.48 (0.17; 0.78)
16-	0.06 (-0.25; 0.36)	-0.02 (-0.32; 0.28)	0.77 (0.58; 0.95)	0.82 (0.64; 1.01)
17-	-0.46 (-0.84; -0.09)	-0.59 (-0.97; -0.21)	0.89 (0.66; 1.12)	1.00 (0.75; 1.24)
18-	0.26 (-0.13; 0.66)	0.07 (-0.34; 0.47)	1.47 (1.25; 1.69)	1.46 (1.24; 1.69)
19-	0.03 (-0.28; 0.35)	-0.16 (-0.44; 0.13)	1.55 (1.31; 1.80)	1.63 (1.42; 1.84)
20-	0.97 (0.71; 1.23)	0.42 (0.16; 0.68)	1.51 (1.24; 1.79)	1.72 (1.46; 1.99)
21-	1.32 (1.04; 1.61)	0.91 (0.62; 1.20)	1.64 (1.32; 1.96)	1.76 (1.45; 2.07)
22-	1.50 (1.23; 1.76)	1.11 (0.88; 1.34)	1.35 (1.08; 1.63)	1.50 (1.22; 1.77)
Sex				
Male	0.20 (0.04; 0.35)	0.28 (0.13; 0.43)	0.89 (0.76; 1.03)	1.06 (0.93; 1.18)
Female	0.75 (0.59; 0.91)	0.20 (0.03; 0.36)	1.51 (1.37; 1.64)	1.60 (1.47; 1.74)

Based on the mean absolute error, the performance of the methods was comparable, regardless of the tooth on which they were based (Table 3).

Table 3 Analysis of mean absolute error between the estimated age using the London Atlas and RP Atlas methods and the chronological age for the overall sample, as well as according to age group and sex. The mean absolute errors were higher in females compared to males. The increase in mean absolute errors with age was observed in some cases, mainly up to 21 years old.

	London Atlas		RP Atlas	
	Tooth 28	Tooth 38	Tooth 28	Tooth 38
Overall	1.40 (1.32; 1.48)	1.41 (1.34; 1.49)	1.45 (1.36; 1.53)	1.56 (1.47; 1.65)
Age group				
15-	0.89 (0.71; 1.06)	1.18 (0.97; 1.39)	0.93 (0.79; 1.07)	1.16 (0.95; 1.36)
16-	1.43 (1.29; 1.58)	1.37 (1.22; 1.53)	1.00 (0.86; 1.15)	1.04 (0.89; 1.18)
17-	1.77 (1.61; 1.93)	1.75 (1.56; 1.95)	1.14 (0.96; 1.32)	1.23 (1.04; 1.43)
18-	1.76 (1.53; 1.99)	1.93 (1.74; 2.11)	1.61 (1.43; 1.80)	1.66 (1.50; 1.83)
19-	1.47 (1.27; 1.67)	1.38 (1.21; 1.55)	1.77 (1.56; 1.97)	1.75 (1.58; 1.93)
20-	1.28 (1.05; 1.50)	1.22 (1.03; 1.41)	1.83 (1.61; 2.06)	1.93 (1.70; 2.16)
21-	1.53 (1.27; 1.78)	1.40 (1.17; 1.64)	1.77 (1.47; 2.07)	1.86 (1.56; 2.16)
22-	1.50 (1.23; 1.76)	1.13 (0.90; 1.36)	1.35 (1.08; 1.63)	1.50 (1.22; 1.77)
Sex				
Male	1.25 (1.14; 1.35)	1.24 (1.15; 1.34)	1.23 (1.13; 1.33)	1.29 (1.18; 1.39)
Female	1.60 (1.48; 1.71)	1.54 (1.43; 1.64)	1.67 (1.55; 1.79)	1.78 (1.66; 1.90)

The Bland-Altman plots illustrate the concordance analysis of the London Atlas (Fig.1a and 1b) and RP Atlas (Fig.1c and 1d) methods, respectively. The limits of agreement tended to be wider for younger age groups compared to older ones.

Fig.1a,b,c,d Bland-Altman plots for the London Atlas method and tooth 28 and 38, and for the RP Atlas method and teeth 28 and 38. The distribution of ages along the x-axis shows that both methods perform well in assessing age estimates for the patients included in the sample. Most observations remained within the limits of agreement.

The Lin's concordance correlation coefficient was high (between 0.67 and 0.71) and comparable between the age estimation methods. This coefficient was higher for males compared to females. On the other hand, when evaluated according to age groups, concordance was low (Table 4).

Table 4 Analysis of the Lin concordance coefficient comparing the estimated age by the London Atlas and RP Atlas methods to chronological age for the overall sample and according to age groups and sex.

	London Atlas		RP Atlas	
	Tooth 28	Tooth 38	Tooth 28	Tooth 38
Overall	0.67 (0.64; 0.71)	0.71 (0.68; 0.74)	0.68 (0.65; 0.71)	0.67 (0.64; 0.70)
Age group				
15-	0.12 (0.07; 0.16)	0.10 (0.06; 0.14)	0.14 (0.09; 0.19)	0.09 (0.05; 0.14)
16-	0.15 (0.12; 0.18)	0.16 (0.14; 0.19)	0.17 (0.13; 0.21)	0.17 (0.13; 0.21)
17-	0.11 (0.08; 0.14)	0.13 (0.11; 0.15)	0.12 (0.09; 0.16)	0.13 (0.09; 0.16)
18-	0.09 (0.06; 0.11)	0.09 (0.07; 0.11)	0.06 (0.04; 0.09)	0.07 (0.05; 0.10)
19-	0.10 (0.08; 0.13)	0.10 (0.07; 0.12)	0.08 (0.06; 0.10)	0.06 (0.04; 0.08)
20-	0.11 (0.09; 0.14)	0.13 (0.10; 0.16)	0.08 (0.06; 0.10)	0.08 (0.06; 0.09)
21-	0.08 (0.05; 0.10)	0.09 (0.06; 0.11)	0.06 (0.04; 0.08)	0.07 (0.05; 0.08)
22-	0.07 (0.04; 0.10)	0.08 (0.05; 0.12)	0.08 (0.05; 0.11)	0.07 (0.05; 0.10)
Sex				
Male	0.75 (0.71; 0.79)	0.77 (0.73; 0.81)	0.78 (0.74; 0.81)	0.76 (0.72; 0.80)
Female	0.62 (0.57; 0.67)	0.66 (0.62; 0.71)	0.63 (0.59; 0.67)	0.61 (0.56; 0.65)

Analyzing the ROC curves for the London Atlas method, it was determined that the best cutoff point for tooth 28 was 18.5 years (accuracy of 78.5%), and for tooth 38 it was 19.5 years (accuracy of 80.0%) (Fig.2a and 2b). The overall predictive potential of the method for both teeth was good, with AUC=0.845 (95% CI=0.821; 0.869) and AUC=0.859 (95% CI=0.835; 0.883), respectively.

For the RP Atlas method, the best cutoff point was 17.0 years for both tooth 28 (accuracy of 80.8%) and tooth 38 (accuracy of 80.0%) (Fig.2c and 2d). The overall predictive potential of the method for both teeth was good, with AUC=0.874 (95% CI=0.853; 0.895) and AUC=0.876 (95% CI=0.856; 0.898), respectively.

Fig.2a,b,c,d ROC curve for identifying adult individuals using the London Atlas and RP Atlas methods based on teeth 28 and 38.

Discussion

The present study aimed to evaluate the accuracy of the London Atlas and RP Atlas methods in age estimation and diagnosing adulthood in a sample of individuals from Southern Brazil, using images of the left third molars in panoramic radiographs. It was found that both methods showed a high correlation when evaluated against chronological age. However, the study hypothesis was rejected since the London Atlas method presented lower mean errors than the RP Atlas method. Thus, although the RP Atlas was developed in Brazil, the London Atlas proved to be a more accurate tool for age estimation in the Southern Brazilian population. This result may be attributed to the ancestral differences between the populations of the Southeastern and Southern regions of Brazil. Historical records indicate that both regions experienced significant genetic mixing and shared immigrant groups (Europeans, Africans, and East Asians). However, the South of Brazil saw a much more diverse European immigration, including Italians, Germans, Poles, and Eastern Europeans^{17,18}.

The observed mean error values for the London Atlas method were less than 1, meaning any differences observed when comparing chronological age to estimated age using this method were likely to be under a 1-year difference. These results are in line with the studies by Koç, Özlek, and Talmaç¹⁹ and Cheong et al.²⁰, who found mean errors of 0.83 and 0.92 years, respectively, when studying populations from Turkey and South Korea. These findings suggest that the London Atlas can estimate age with near precision in these populations. On the other hand, Namwong and Mânica²¹, Dalben et al.²², Ishwarkumar et al.²³, and Lin et al.²⁴ found mean errors of 1.03, 1.04, 1.02, and 1.16 years when studying the Thai, Brazilian, South African, and Chinese populations, respectively. Although still considered acceptable, these slightly higher mean errors compared to those observed in the present study highlight how the accuracy of age estimation methods can vary depending on the studied population. This underscores the necessity for validations and studies that justify the application of these methods in different contexts.

It was also observed that the error in age estimation tends to increase as age increases, especially up to 21 years old. This happens because, as a person ages, dental development stabilizes, and the differences between dental development stages become less indicative of a specific age range^{19,25}. Therefore, the tendency for the error in age estimation to increase with age is not exclusive to the methods used in this study but is a finding that can be expected in most age estimation methods^{6,19,24,26}. Regarding the London Atlas method, the same pattern was found in the studies of Cheong et al.²⁰, Dalben et al.²², and Zhou et al.²⁵, who observed greater efficacy of the method in individuals up to 20 years old, although it still proved reliable in other age groups.

The error in age estimation for females tended to be higher when compared to males for both methods. It has been observed that girls generally exhibit more advanced dental maturation compared to boys, with the exception of the third molars, which develop earlier in boys^{10,27}. Karadayi et al.²⁷ found that this pattern was most notable in the age range of 5 to 14 years in Turkish children, usually in a single stage and not across all teeth. Sousa et al.¹⁰, during the development of the RP Atlas method, observed that this discrepancy in dental maturation was continuous in the sample they analyzed, with girls typically being one or two stages ahead. The study by Poulsen and Sonnesen²⁸ reaffirms this finding by observing dental maturation in boys and girls across two birth cohorts (1969 to 1973 and 2005 to 2010). It was found that girls exhibited earlier dental maturation compared to boys in both time periods, although overall dental maturation had accelerated in children born more recently.

Thus, in some populations, girls exhibit earlier dental maturation compared to boys, which can have a direct influence from sexual dimorphism, where growth is first reached by females⁹. However, when considering only the third molars, girls may exhibit greater variability in development or a less consistent and uniform pattern, which increases the average error. To try to overcome these errors, the RP Atlas method was developed with distinct reference tables for females and males. Still, in this study, it was found that the error for females was slightly more pronounced than for males. However, this difference in error is not significant for either of the methods used in this study for estimating the age of this population, so the overall precision of the methods can be considered adequate for both sexes.

The Bland-Altman plots showed that the limits of agreement tend to be wider for younger average ages compared to older ones, but this reduction in limits is very gradual. The distribution of ages along the x-axis shows that both methods work well for estimating the ages of the patients in the sample. Furthermore, most of the observations remained within the limits of agreement, indicating good performance of the estimation methods.

The Lin's concordance coefficients were generally high (ranging from 0.67 to 0.71) and comparable between the methods, but higher for males (around 0.75) compared to females (around 0.61). On the other hand, when concordance was assessed according to age groups, it is noticeable that the concordance was low. The decrease in concordance, when assessed according to age groups, could have occurred as an artifact of the reduced sample size when restricted to the age groups, making the measure more sensitive to variations²⁹.

The ROC curves were used to assess the potential of the methods in diagnosing the majority age of the subjects. Through this analysis, the age that maximizes the area under the curve is sought, thereby demonstrating the greatest predictive potential. For the tooth 28 analyzed using the London Atlas method, the best cutoff point for identifying individuals of legal age was 18.5 years, with an accuracy of 78.5%. For the tooth 38 analyzed with the London Atlas method, the best cutoff point was 19.5 years, with an accuracy of 80.0%. As observed in the mean error, the London Atlas method tends to overestimate the chronological age of the individual analyzed. Thus, it is understood that, if this method is used to identify individuals of legal age through teeth 28 and 38, it is more accurate to use the ages of 18.5 and 19.5 years, respectively, as the reference for majority age.

For the RP Atlas method, the best cutoff point for identifying individuals of legal age, considering both tooth 28 and tooth 38, was 17.0 years, with an accuracy of 80.8% and 80.0%, respectively. Thus, the RP Atlas method presented a tendency to underestimate the chronological age of the individuals analyzed.

Brazilian laws define the age of 18 as the threshold for reaching legal and criminal majority. Therefore, for relevant forensic cases, it is highly important to use specific techniques and standards with the highest possible

accuracy in diagnosing the majority age for each population⁶. Given the results of this study, it was found that the London Atlas method is more appropriate for diagnosing legal majority in the studied sample, as it is preferable for methods to overestimate the age to avoid diagnosing majority in individuals who are still minors. With the RP Atlas results indicating a cutoff for majority age of 17.0 years for teeth 28 and 38, there is a greater risk of minors being misclassified as adults. Thus, the hypothesis raised in this study was rejected, as, although developed in Brazil, the RP Atlas underestimates the age of individuals in the southern Brazilian sample studied, which is not favorable in legal processes for diagnosing majority age.

All atlas-based methodologies have limitations. The illustrated tables are not capable of representing all cases. Overlapping stages of maturity, the lack of differentiation by sex (resulting in a high degree of variability), and the possibility of lack of agreement between observers may lead to higher error rates compared to other techniques for assessing dental development. Therefore, there is a need for further investigations to adjust and improve the applicability of these methods in different populations and age groups, especially in individuals over 21 years of age. Research that applies these methods can provide a foundation for adjustments to the Atlases and their application in diverse subpopulations, and even serve as the basis for the establishment of an international data repository based on the various available Atlases for different ethnic subpopulations.

Conclusions

Both age estimation methods proved to be suitable for the studied sample, with the London Atlas showing greater accuracy, as evidenced by lower mean errors compared to the RP Atlas. Greater imprecision was observed for females in both methods. Accuracy also tended to decrease in age groups older than 21 years. Both methods were effective in diagnosing the majority. In this regard, the London Atlas stands out for its tendency to overestimate age, a characteristic that can be advantageous in legal situations that require greater caution in the diagnosis of majority age. So, the London Atlas method is the most recommended for age estimation in the studied population, being preferable in contexts where precision and caution in the diagnosis of majority age are essential.

Acknowledgments: The authors thank the Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education (CAPES) for its support in conducting this study.

References

1. Farhadian M, Salemi F, Saati S, Nafisi N (2019) Dental age estimation using the pulp-to-tooth ratio in canines by neural networks. *Imaging Sci Dent* 49:19-26. doi: 10.5624/isd.2019.49.1.19.
2. Gibelli D, De Angelis D, Cattaneo C (2015) Radiological pitfalls of age estimation in adopted children: a case report. *Minerva Pediatr* 67:203-208.
3. Karkhanis S, Mack P, Franklin D (2014) Age estimation standards for a Western Australian population using the dental age estimation technique developed by Kvaal et al. *Forensic Sci Int* 235:104.e1-6. doi: 10.1016/j.forsciint.2013.12.008.
4. AlQahtani S, Kawthar A, AlAraik A, AlShalan A (2017) Third molar cut-off value in assessing the legal age of 18 in Saudi population. *Forensic Sci Int* 272:64-67. doi: 10.1016/j.forsciint.2017.01.004.

5. AlQahtani SJ, Hector MP, Liversidge HM (2010) Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *Am J Phys Anthropol* 142:481-490. doi: 10.1002/ajpa.21258.
6. Sartori VK, Júnior AR, Corazza PH, Bello YD, Boedi RM, Dallepiane FG, Dogenski LC, Linden MS, Trentin MS, De Carli JP (2024) Accuracy of the third molar maturity index (I3M) for diagnosing the legal majority of young southern Brazilians. *J Clin Exp Dent* 16:e455-e462. doi: 10.4317/jced.61423.
7. Adams DM, Ralston CE, Sussman RA, Heim K, Bethard JD (2019) Impact of population-specific dental development on age estimation using dental atlases. *Am J Phys Anthropol* 168:190-199. doi: 10.1002/ajpa.23735.
8. Kanchan T, Chugh V, Chugh A, Meshram V, Shedge R, Patnana AK, Krishan K (2021) Age estimation using third molar maturation based on Demirjian's criteria. *Leg Med (Tokyo)* 53:101959. doi: 10.1016/j.legalmed.2021.101959.
9. Sharma P, Wadhwan V (2020) Comparison of accuracy of age estimation in Indian children by measurement of open apices in teeth with the London Atlas of tooth development. *J Forensic Odontostomatol* 38:39-47.
10. da Silveira Sousa AM, Jacometti V, Sato CM, AlQahtani S, da Silva RHA (2024) Technical note: RP Atlas-an unprecedented proposal for a Brazilian population dental development chart based on the London atlas. *Am J Biol Anthropol* 184:e24906. doi: 10.1002/ajpa.24906.
11. NOLLA, C. M (1960) The development of permanent teeth. *J Dent Child* 27:254-266.
12. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973) A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 45:211-227.
13. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T (1995) Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int* 74:175-185. doi: 10.1016/0379-0738(95)01760-g.
14. Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M (2004) Variations in pulp/tooth area ratio as an indicator of age: a preliminary study. *J Forensic Sci* 49:317-319.
15. Liversidge HM (2008) Timing of human mandibular third molar formation. *Ann Hum Biol* 35:294-321. doi: 10.1080/03014460801971445.
16. Koo TK, Li MY (2016) A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 15:155-163. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012.
17. Carvalho-Silva DR, Tarazona-Santos E, Rocha J, Pena SD, Santos FR (2006) Y chromosome diversity in Brazilians: switching perspectives from slow to fast evolving markers. *Genetica* 126:251-260. doi: 10.1007/s10709-005-1454-z.
18. Pena SDJ, Santos FR, Tarazona-Santos E (2020) Genetic admixture in Brazil. *Am J Med Genet C Semin Med Genet* 184:928-938. doi: 10.1002/ajmg.c.31853.
19. Koç A, Özlek E, Öner Talmaç AG (2021) Accuracy of the London atlas, Willems, and Nolla methods for dental age estimation: a cross-sectional study on Eastern Turkish children. *Clin Oral Investig* 25:4833-4840. doi: 10.1007/s00784-021-03788-w.
20. Cheong H, Kumagai A, Oh S, Lee SS (2023) Dental characteristics on panoramic radiographs as parameters for non-invasive age estimation: a pilot study. *Anat Cell Biol* 56:474-481. doi: 10.5115/acb.23.140.

21. Namwong W, Mânica S (2020) Testing the London atlas for age estimation in Thai population. *Acta Odontol Scand* 78:161-164. doi: 10.1080/00016357.2019.1667526.
22. Dalben E, Bueno J, Fonseca Y, Mânica S, Nascimento M, Franco A (2022) Application of the London Atlas Software App 2nd edition for the radiographic assessment of dental development. *J Clin Exp Dent* 14:e944-e952. doi: 10.4317/jced.59974.
23. Ishwarkumar S, Pillay P, Chetty M, Satyapal KS (2022) Employing the London Atlas in the Age Estimation of a Select South African Population. *Dent J (Basel)* 10:171. doi: 10.3390/dj10090171.
24. Lin Y, Maimaitiyiming N, Sui M, Abuduxiku N, Tao J (2022) Performance of the London Atlas, Willems, and a new quick method for dental age estimation in Chinese Uyghur children. *BMC Oral Health* 22:624. doi: 10.1186/s12903-022-02652-x.
25. Zhou J, Qu D, Fan L, Yuan X, Wu Y, Sui M, Zhao J, Tao J (2023) Applicability of the London Atlas method in the East China population. *Pediatr Radiol* 53:256-264. doi: 10.1007/s00247-022-05491-8.
26. Moorres CF, Fanning EA, Hunt EE Jr (1963) Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res* 42:1490-1502. doi: 10.1177/00220345630420062701.
27. Karadayı B, Afşin H, Ozaslan A, Karadayı S (2014) Development of dental charts according to tooth development and eruption for Turkish children and young adults. *Imaging Sci Dent* 44:103-113. doi: 10.5624/isd.2014.44.2.103.
28. Poulsen AR, Sonnesen L (2023) Dental Maturation in Two Groups of Children Born in 1969-1973 and 2005-2010. *Dent J (Basel)* 11:248. doi: 10.3390/dj11110248.
29. Lin L, Hedayat AS, Wu W (2007) A unified approach for assessing agreement for continuous and categorical data. *J Biopharm Stat* 17:629-652. doi: 10.1080/10543400701376498.