

Maturidade óssea: estimação por simplificações do método de Eklof e Ringertz*

Bone maturity: estimation by means of Eklof and Ringertz method simplifications

Celso Olivete Júnior¹, Evandro Luis Linhari Rodrigues²

Resumo **OBJETIVO:** Apresentar um processo para estimação da idade óssea utilizando simplificações do método de Eklof e Ringertz, que operam de forma automática, proporcionando laudos que auxiliam o diagnóstico médico. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Foram utilizadas imagens carpais de crianças e adolescentes na faixa etária de 6 a 16 anos para a estimação da idade óssea, baseando-se nas simplificações ER5 e ER3 – análise de 5 e 3 centros de ossificação, respectivamente. A automatização dos métodos simplificados explora procedimentos específicos para o processamento de imagens radiográficas da mão. **RESULTADOS:** Os resultados alcançaram elevada concordância com a média dos laudos médicos obtidos com os três métodos clássicos (Greulich e Pyle, Tanner e Whitehouse, Eklof e Ringertz). A análise de concordância das simplificações propostas foi realizada utilizando-se o teste *t* de Student pareado com faixa de significância de 5%, e na maioria dos casos não ocorreram diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$). **CONCLUSÃO:** Analisando-se os resultados, conclui-se que é possível estimar com segurança a idade óssea utilizando simplificações do método de Eklof e Ringertz de forma rápida e automatizada. As simplificações propostas também são apropriadas para estimação da idade óssea em grandes bases de dados e livre da subjetividade presente nos métodos clássicos.

Unitermos: Idade óssea; Eklof e Ringertz; Radiografia carpal.

Abstract **OBJECTIVE:** The present study was aimed at presenting a process for estimating bone age by means of automatic simplifications of the Eklof & Ringertz method to provide reports as an aid to clinical diagnosis. **MATERIALS AND METHODS:** Carpal images from children and teenagers in the age range between 6 and 16 years were utilized for estimating their bone age based on simplifications ER5 and ER3, analyzing respectively 5 and 3 ossification centers. The automation of simplified methods utilizes specific procedures for processing radiographic images of the hand. **RESULTS:** The authors observed a high agreement with the average of medical reports based on the three classical methods (Greulich & Pyle, Tanner & Whitehouse, Eklof & Ringertz). The analysis of agreement with the proposed simplifications was performed with the paired Student's *t*-test considering a significance level of 5% and, in most of cases, statistically significant differences were not observed ($p < 0.05$). **CONCLUSION:** Based on the present results, it is concluded that simplifications of the Eklof & Ringertz method allow a reliable, fast and automated estimation of the bone age. Additionally, the proposed simplifications are appropriate for estimating bone age on extensive data bases without the subjectivity that is present in the classical methods.

Keywords: Bone age; Eklof and Ringertz; Carpal radiography.

Olivete CJ, Rodrigues ELL. Maturidade óssea: estimação por simplificações do método de Eklof e Ringertz. *Radiol Bras.* 2010;43(1):13–18.

INTRODUÇÃO

O ser humano é uma espécie biológica dinâmica que sob ação de processos metabólicos sucessivos evolui, segundo os fa-

tores individuais e ambientais, devido aos mecanismos de crescimento e desenvolvimento. O que se observa é que o corpo humano tem em sua formação e crescimento sequências e regras próprias, as quais vêm sendo observadas e estudadas sob vários aspectos⁽¹⁾.

Uma das formas de se estudar o crescimento é por meio da análise de radiografias de determinadas partes do corpo, e entre as mais utilizadas está a mão, por ser um local de fácil acesso e por não conter órgãos

vitais, podendo ser submetida a doses de radiação com mais frequência⁽¹⁾.

Os métodos mais difundidos e utilizados são: Greulich e Pyle (GP), que faz uma avaliação inspeccional dos ossos da mão através de um Atlas^(1,2); o método de Tanner e Whitehouse (TW), que analisa 20 ossos da mão e punho atribuindo um escore específico para cada osso e sexo, e pela soma desses escores obtém-se a idade óssea⁽³⁻⁵⁾; e o método de Eklof e Ringertz (ER), o qual se baseia em medidas de dimensão de dez centros de ossificação, formados por ossos do carpo, largura da epífise distal do rádio, comprimento e largura do capitato e do

* Trabalho realizado na Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos, SP, Brasil.

1. Doutor em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos, SP, Brasil.

2. Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos, SP, Brasil.

Endereço para correspondência: Dr. Celso Olivete Júnior. Departamento de Engenharia Elétrica – EESC-USP Avenida Trabalhador São-carlense, 400, Centro. São Carlos, SP, Brasil, 13566-590. E-mail: olivete@usp.br

Recebido para publicação em 8/4/2009. Aceito, após revisão, em 3/11/2009.

hamato, comprimento dos metacarpais II, III e IV, e comprimento das falanges proximais II e III^(2,4). Este método apresenta duas tabelas, uma para cada sexo, nas quais cada centro de ossificação possui um padrão mínimo e um máximo de medida. A idade óssea é calculada através de um valor médio das idades obtidas para cada centro de ossificação. Descrição mais detalhada desses métodos e dos processos de estimação pode ser obtida no portal de informações de idade óssea (www.carpal.eesc.usp.br).

Encontram-se alguns trabalhos nesta linha de pesquisa, dentre eles o de Taffarel et al.⁽⁵⁾, que desenvolveram um processo de estimação da idade óssea através da automatização do método de TW. O trabalho de Haiter et al.⁽⁶⁾ relata um estudo com o objetivo de verificar se os métodos de GP, TW e ER poderiam ser aplicados à população brasileira e qual destes métodos seria o mais confiável, quando comparados à idade cronológica do indivíduo.

De posse das características de cada um dos métodos de estimação citados, o de ER foi o explorado e implementado neste trabalho, por se tratar de um método baseado em medidas de dimensão, podendo ser implementado através de processamentos computacionais. Apresentam-se, neste trabalho, processos simplificados de estimação da maturidade óssea derivados de ER – denominados ER5 e ER3 –, que operam de forma automatizada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Conjunto de imagens do estudo

Foram selecionadas duas bases de imagens radiográficas contínuas por pacientes na faixa etária de 6 a 16 anos. A primeira é formada por 685 pacientes, sendo 357 do sexo masculino e 328 do sexo feminino (Figura 1). As radiografias foram obtidas junto ao Departamento de Odontologia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Universidade Estadual de Campinas, sendo classificadas pelos métodos de GP e TW, sob supervisão do Prof. Francisco Haiter Neto, e classificadas por ER com auxílio do *software* Anacarp⁽⁷⁾. A segunda base de imagens radiográficas é formada por 234 pacientes, sendo 130 do sexo masculino e 104 do sexo feminino. As imagens são oriundas da região de Bauru, SP, e foram

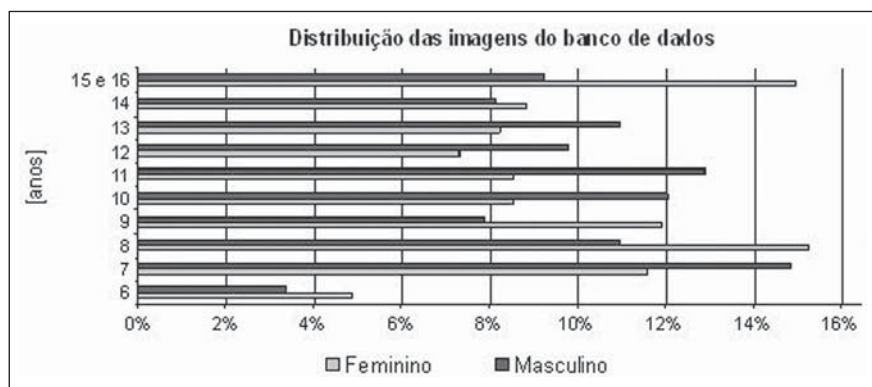


Figura 1. Distribuição das imagens do banco de dados de acordo com a média dos laudos médicos.

cedidas pelo Dr. Orivaldo Tavano⁽⁴⁾. Esta segunda base de imagens foi incluída no estudo para que fosse possível a investigação de resultados considerados discrepantes em relação à média dos laudos médicos (ER, GP e TW) obtidos pelos métodos quando aplicados na primeira base de imagens.

Métodos

Para a implementação do método foi utilizada a plataforma Borland-Builder C++ e as análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* BioEstat 3.0⁽⁸⁾.

1 – Propostas de simplificações para o método de ER

Uma das dificuldades encontradas no método ER está relacionada com a sobre-

posição dos ossos do carpo e punho, causando dificuldades no processo de obtenção de suas medidas, o que prejudica a obtenção precisa das medidas dos centros de interesse e pode, por consequência, produzir resultados pouco confiáveis. Para sanar este problema, buscou-se excluir estes ossos do processo de estimação, propondo-se, dessa forma, uma simplificação do método ER, denominada ER5.

a) A simplificação ER5

Nesta simplificação, a estimação da idade óssea é realizada com base na análise de apenas cinco centros de ossificação (ER5), compostos por duas falanges proximais e três ossos metacarpais, descartando os ossos do carpo e punho (Figura 2).

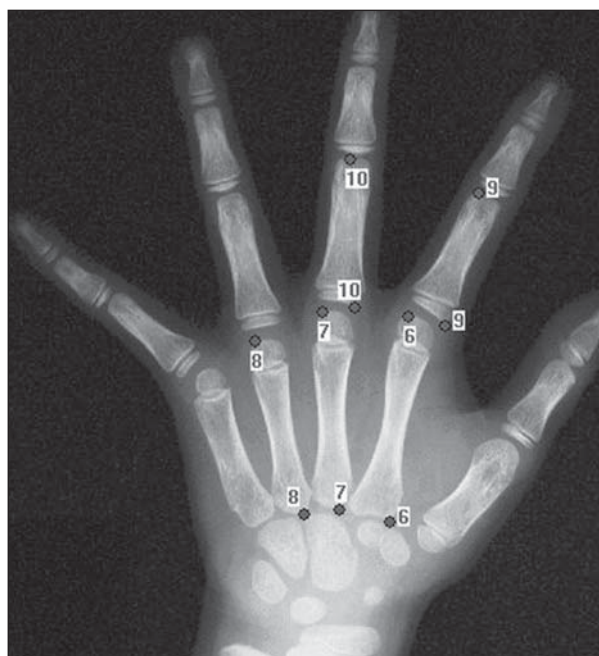


Figura 2. Centros de ossificação utilizados no método ER5: 6, 7 e 8 – comprimento dos metacarpais II, III e IV; 9 e 10 – comprimento das falanges proximais II e III.

Posteriormente, realizou-se estudo estatístico objetivando uma nova simplificação para o método ER, sendo assim elaborado o método ER3.

b) A simplificação ER3

Buscou-se verificar o limite mínimo do número de centros ósseos que apresentassem resultados estatisticamente significantes, ou seja, próximos ao valor da média dos laudos médicos. Foram feitas todas as combinações possíveis entre os cinco ossos (tomados 2 a 2, 3 a 3 e média dos cinco ossos) utilizados no ER5, comparando-as com a média dos laudos médicos. A denominação para os ossos utilizada nas combinações foi: P1, P2 e P3 – comprimento dos metacarpais II, III e IV; P4 e P5 – comprimento das falanges proximais II e III. Em seguida, foram gerados gráficos para cada imagem do conjunto (Figura 3), analisando quais combinações mais se aproximaram do valor do laudo médico.

A linha tracejada (com quadrados) no gráfico da Figura 3 refere-se ao valor médio dos laudos médicos (ER, GP e TW). Os pontos selecionados no gráfico foram as combinações P1 P5 (círculo com rótulo 1) e P1 P3 P5 (círculo com rótulo 2). A média da combinação P1 P3 P5, formada pelos ossos em destaque na Figura 4, apresentou excelente aproximação em relação ao valor médio dos laudos médicos, indicando uma simplificação para o método ER.

2 – Método de estimação da idade óssea

Na Figura 5 são apresentados os passos para estimação da idade óssea.

1. *Pré-processamento* – No sentido de eliminar as variações da não uniformidade encontrada no fundo da imagem, inerente ao processo de obtenção das radiografias, foi aplicado um algoritmo desenvolvido por Nascimento et al.⁽⁹⁾ e exposto no trabalho de Olivete et al.⁽¹⁰⁾ para correção do efeito *heel* e um filtro passa-baixa para suavizar os ruídos⁽¹¹⁾.

2. *Segmentação dos ossos* – Uma forma simples de se isolar os ossos da mão pode ser conseguida com a utilização de um método eficiente de *thresholding*⁽¹¹⁾. Os métodos implementados foram: Otsu, Pun, Niblack e Rosenfeld⁽¹²⁻¹⁴⁾.

3. *Isolamento dos centros de ossificação* – Para selecionar os dedos da mão,

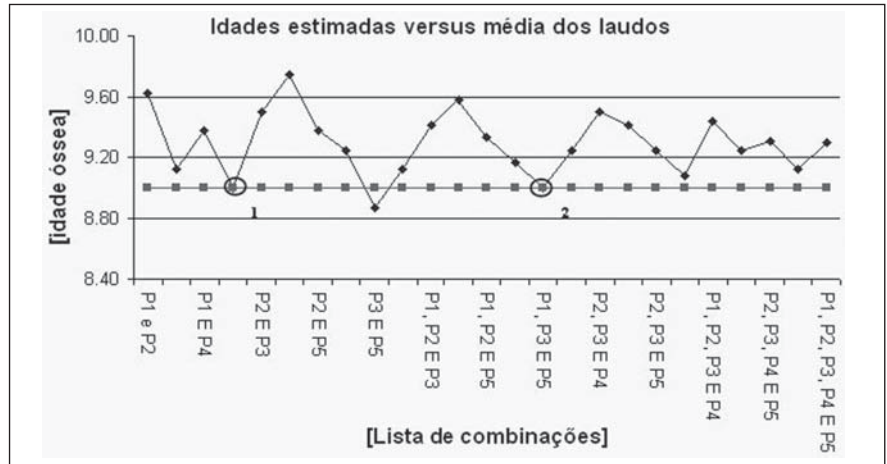


Figura 3. Gráfico das combinações em relação à média dos laudos médicos.

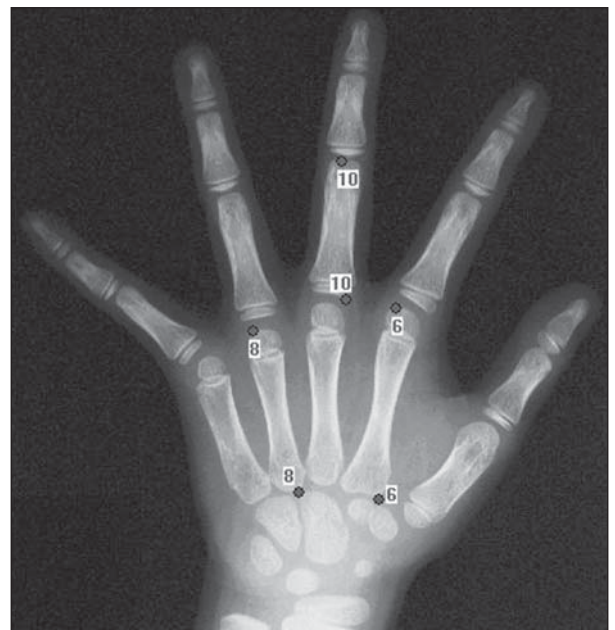


Figura 4. Os três centros de ossificação utilizados no método ER3: 6 e 8 – comprimento dos metacarpais II e IV; 10 – comprimento da falange proximal III.

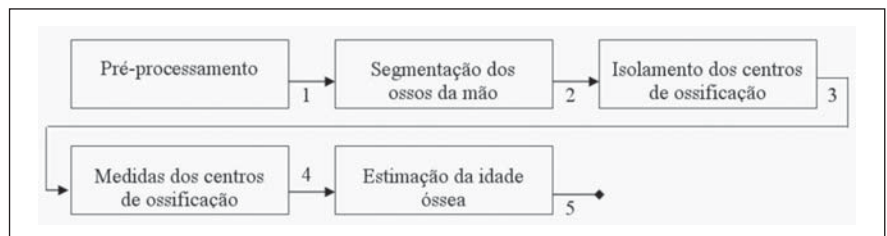


Figura 5. Sequência de processamento utilizado no método.

construiu-se um procedimento que realiza varreduras horizontais na imagem, guiando-se pelo *pixel* com intensidade 255 (cor do fundo). Posteriormente, inseriram-se marcadores para isolar os ossos metacarpais II, III e IV e as falanges proximais II e III.

4. *Medidas dos centros de ossificação* – Após a inserção dos marcadores, é calculado o comprimento, em *pixels*, de cada osso, usando a distância euclidiana. Para ser utilizado pelo método ER, esse valor é convertido para milímetros.

5. *Estimação da idade óssea* – Para cada medida encontrada, consulta-se a tabela de medidas para identificação do valor referente à idade. A idade final é obtida pela média da idade encontrada para todos os centros de ossificação.

3 – Processo de análise dos dados

As idades ósseas foram estimadas utilizando a ferramenta desenvolvida Anacarp⁽⁷⁾; posteriormente, foram analisadas utilizando o *software* BioEstat 3.0. Calcularam-se os valores dos desvios-padrão, média, coeficiente de correlação e teste *t* de Student para os valores obtidos pela média dos laudos (TW, GP e ER) e métodos simplificados (ER5 e ER3). Com o objetivo de verificar a correlação entre a idade estimada, utilizando ER5 e ER3, e a média dos laudos médicos, utilizou-se a correlação de Pearson. Por esta análise obtém-se um modelo de regressão linear do tipo $Y = aX + b$, onde *X* representa a média dos laudos, *Y* representa a idade óssea estimada, e *a* e *b* são coeficientes desta regressão. Para medir a taxa de concordância com a média dos laudos médicos, o coeficiente *a* deve ser igual a 1 e o coeficiente *b* deve ser igual a zero; assim, $Y = X$. No sentido de verificar se esta relação é estatisticamente significativa, aplicou-se o teste *t* de Student pareado para o coeficiente de correlação, com nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Para melhorar a apresentação e análise dos resultados, as imagens foram classificadas de acordo com a média dos laudos

médicos considerando grupos de faixa etária de 6 a 16 anos, em que cada faixa etária abrange uma quantidade de indivíduos; por exemplo, 6 anos compreende indivíduos de 6 anos até 6 anos e 11 meses. Na Tabela 1 são apresentados os resultados para os indivíduos do sexo masculino.

Analisando a Tabela 1, nota-se que a estimativa realizada pelo método ER5, sexo masculino, obteve correlação forte e positiva com as médias dos laudos médicos, variando entre 0,58 e 0,96. Observa-se que somente os resultados obtidos para os indivíduos da faixa etária 11 anos não foram estatisticamente significantes, com valor *p* (teste *t* de Student) igual a 0,4512.

A fim de se identificar se o método simplificado ER5 não poderia ser utilizado para estimativa da maturidade óssea para a faixa etária de 11 anos (sexo masculino), selecionaram-se 32 indivíduos de outro conjunto de imagens, oriundas de outra região brasileira, e aplicou-se o método. Os resultados obtidos foram estatisticamente significantes (valor de *p* [teste *t* de Student pareado] = 0,0076, com correlação de 72%), o que comprovou que a simplificação pode ser aplicada à faixa etária de 11 anos. Para compreender a divergência encontrada no primeiro banco, foram analisadas, individualmente, as imagens nas quais os resultados não foram significantes, e das 44 imagens, se for considerado um desvio-padrão de 6 meses – um valor aceitável entre os padrões apresentados pelos métodos clássicos, que variam entre 6 meses e 1 ano, dependendo da faixa etária –, apenas três indivíduos (7%) permaneceram com valores estatisticamente não significantes. Com

isso, pode-se inferir que na produção dos laudos para a faixa de 11 anos do primeiro conjunto, com dois dos métodos clássicos (GP e TW) que são realizados por procedimentos de comparação, pode ter havido imprecisão suficiente para a geração de valores distintos daqueles esperados para os laudos.

No conjunto de imagens do sexo masculino, com o método ER5, os resultados mostraram fortes correlações, com valores chegando a 97% e dentro da faixa de significância ($p < 0,05$). Os resultados não foram significantes apenas para os grupos com faixas etárias de 9 e 14 anos. Avaliando os resultados do grupo de indivíduos com 9 anos (total de 28 imagens), duas imagens (7,14%) tiveram idades estimadas que diferiram 7 e 8 meses, respectivamente, do valor esperado (média dos laudos). No grupo de 14 anos, cerca de 10% dos laudos gerados ficaram fora do intervalo de desvio-padrão de 6 meses em relação à média dos laudos. Aqui também cabe o mesmo comentário feito para a faixa etária de 11 anos, ou seja, há grande possibilidade de erro na emissão dos laudos com dois dos métodos clássicos (GP e TW), que por serem realizados por procedimentos de comparação estão sujeitos às subjetividades de interpretação daqueles que emitiram os laudos.

Na Figura 6 é apresentado um gráfico ilustrando as correlações entre as médias dos laudos médicos (TW, GP e ER) e as simplificações (ER5 e ER3), considerando as faixas etárias e o sexo masculino. É possível notar que as simplificações obtiveram forte correlação (valores acima de 0,5) quase na totalidade das faixas etárias.

Tabela 1 Análise dos resultados – média dos laudos e simplificações ER5 e ER3, sexo masculino – agrupados por faixa etária.

		Grupos – faixas etárias (anos)										
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Média dos laudos (ER, GP e TW)	Idade média	6,30	7,51	8,38	9,45	10,54	11,37	12,42	13,50	14,32	15,20	16,24
	Desvio-padrão	0,42	0,30	0,31	0,34	0,31	0,25	0,31	0,31	0,31	0,29	0,38
ER5	Idade média	6,06	7,75	8,49	9,52	10,64	11,38	12,56	13,51	14,52	15,15	16,11
	Desvio-padrão	0,35	0,41	0,46	0,43	0,40	0,45	0,52	0,44	0,44	0,34	0,30
	Correlação	0,6326	0,6160	0,7843	0,8206	0,7691	0,5893	0,8274	0,7702	0,7640	0,9606	0,5643
	<i>t</i> de Student (<i>p</i>)	0,0348	0,0000	0,0589	0,0083	0,0051	0,4512	0,0080	0,0043	0,0029	0,0217	0,0498
ER3	Idade média	6,63	7,78	8,55	9,42	10,34	11,23	12,12	13,56	14,33	15,02	16,11
	Desvio-padrão	0,47	0,55	0,40	0,35	0,43	0,35	0,52	0,35	0,37	0,49	0,60
	Correlação	0,6839	0,6466	0,7146	0,3520	0,9700	0,7659	0,6814	0,6379	0,3823	0,7563	0,6732
	<i>t</i> de Student (<i>p</i>)	0,0110	0,0000	0,0002	0,2639	0,0013	0,0022	0,0000	0,0123	0,4858	0,0499	0,0182

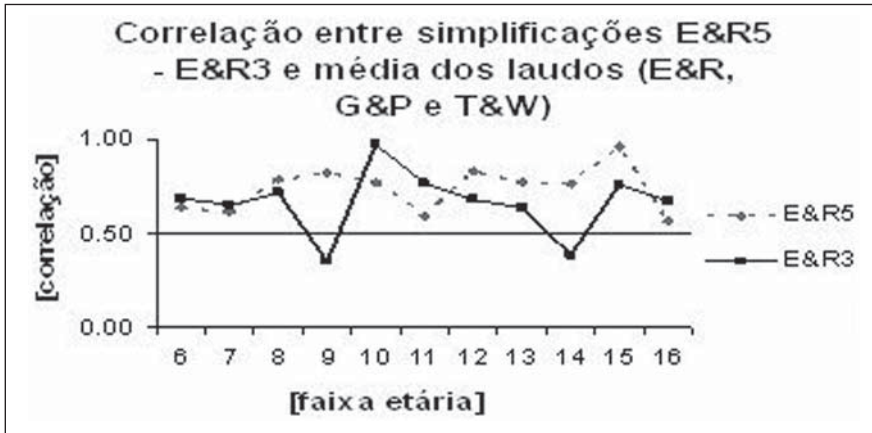


Figura 6. Correlação entre média dos laudos versus simplificações ER5 e ER3 – indivíduos do sexo masculino.

Uma análise similar foi realizada para os indivíduos do sexo feminino e os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Analisando a Tabela 2, verifica-se que os resultados mostram correlações positivas e elevadas com a média dos laudos médicos, com valores chegando a aproximadamente 91%. O pior resultado foi o do grupo de 14 anos, com uma correlação de 0,5317 e valor de $p = 0,2830$ (acima do nível de significância de 5%). Neste grupo foram avaliadas 31 imagens e em 5 casos os laudos estimados (variando entre 7 meses e 1 ano e 2 meses) diferiram do valor do laudo médio, considerando um desvio-padrão de 6 meses.

Na Tabela 2 também se observam resultados não significantes para as faixas etárias de 9 e 10 anos ($p > 0,05$). Analisando individualmente os laudos para estes grupos etários, constatou-se que para a faixa de 9 anos, 7,5% dos laudos estimados di-

feriram do valor do laudo médio. Já para a faixa etária de 10 anos, esse erro foi de 3,7%. Para verificar essas diferenças estatísticas dentro dessas faixas etárias, repetiu-se a estimativa para os indivíduos pertencentes ao conjunto de imagens 2 (Database II) – mesmas faixas etárias –, e os resultados avaliados a partir da correlação de Pearson ficaram acima de 79% e valores de p (t de Student) dentro da faixa de significância ($< 0,003$).

DISCUSSÃO

Os métodos que tradicionalmente têm sido utilizados como referências confiáveis no processo de estimativa da idade óssea são baseados na análise da radiografia carpal: GP, TW e ER. Os dois primeiros necessitam de uma análise inspeccional comparativa, inserindo significante dose de subjetividade no processo. O método de

ER é um dos mais utilizados em clínicas especializadas que utilizam ferramentas computadorizadas para auxílio ao diagnóstico. Este método apresenta algumas dificuldades de utilização, dentre elas o processo manual de obtenção das medidas dos centros de ossificação, em que é necessária a inserção de 20 marcadores para a identificação de todos os ossos utilizados no processo^(7,15).

Optou-se por explorar o método de ER por ser um método padrão bastante usado na avaliação da idade óssea no âmbito odontológico⁽¹⁶⁾. Utilizando-se parâmetros originais do método, desenvolveu-se uma ferramenta – Anacarp⁽⁷⁾ – que realiza o processo de estimativa de forma automática e simplificada, diferentemente dos softwares encontrados na literatura, que operam de forma manual^(6,16). Estes necessitam de um elevado tempo do operador, pois são necessários 20 marcadores para identificar todos os centros de ossificação. Na ferramenta Anacarp este processo de identificação é feito de forma automática e simplificada, oferecendo resultados de elevada concordância com o valor médio dos laudos médicos (obtidos por GP, TW e ER).

Os resultados foram analisados pela correlação de Pearson e com o teste t de Student pareado. Resultados iniciais não foram estatisticamente significantes (valores de p acima de 0,05) quando utilizado o método ER5 para indivíduos da faixa etária de 11 anos (sexo masculino) e 14 anos (sexo feminino), o que motivou a utilização de um segundo banco de imagens, o que permitiu inferir que os laudos emitidos com GP e TW para o primeiro banco estão

Tabela 2 Análise dos resultados – média dos laudos e simplificações ER5 e ER3, sexo feminino – agrupados por faixa etária.

		Grupos – faixas etárias (anos)										
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Média dos laudos (ER, GP e TW)	Idade média	6,23	7,35	8,38	9,45	10,41	11,39	12,44	13,46	14,66	15,36	16,00
	Desvio-padrão	0,68	0,32	0,33	0,38	0,33	0,26	0,33	0,29	0,24	0,31	0,01
ER5	Idade média	6,45	7,28	8,22	9,37	10,56	11,53	12,54	13,65	14,61	15,53	16,38
	Desvio-padrão	0,70	0,47	0,45	0,44	0,49	0,50	0,52	0,45	0,55	0,55	0,48
	Correlação	0,9059	0,9077	0,7373	0,8803	0,8702	0,4890	0,8696	0,6145	0,5317	0,8010	0,8297
	t de Student (p)	0,0141	0,0407	0,0012	0,0100	0,0343	0,0476	0,0288	0,0024	0,2830	0,0043	0,0100
ER3	Idade média	6,48	7,26	8,22	9,48	10,38	11,52	12,32	13,18	14,51	15,12	15,75
	Desvio-padrão	0,59	0,47	0,74	0,44	0,42	0,43	0,30	0,48	0,50	0,43	0,45
	Correlação	0,7734	0,8451	0,7373	0,4782	0,3420	0,5704	0,4674	0,7024	0,7632	0,8970	0,9560
	t de Student (p)	0,0376	0,0312	0,0408	0,2811	0,2744	0,0381	0,0220	0,0000	0,0401	0,0003	0,0383

com valores distintos daqueles esperados para os laudos. No método ER3, a mesma observação pode ser feita para os indivíduos incluídos nas faixas etárias de 9 e 14 anos (sexo masculino) e 9 e 10 anos (sexo feminino). Repetiram-se as análises para estas faixas etárias utilizando indivíduos de outra base de imagens e os laudos gerados por ambos os métodos e sexos foram coerentes com a média dos laudos médicos, considerando a faixa de significância de 5%. Foram feitas análises individuais nos grupos de imagens em que os laudos estimados ficaram fora da faixa de significância, tomando-se como referência um desvio-padrão de 6 meses em relação à média dos laudos, e o erro obtido em ambos os sexos variou entre 3,7% e 10%.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos processos de estimação usando as simplificações (ER5 e ER3), em ambos os sexos e para todas as faixas etárias, observou-se correlações positivas e elevadas com os valores das médias dos laudos médicos, podendo ser observadas no item “Correlação” das Tabelas 1 e 2, com valores ficando acima de 0,5000 (50% de concordância). Observando os valores do teste *t* de Student, nota-se que os resultados foram estatisticamente significantes, com valores de *p* ficando abaixo de 0,05 (ver item *t* de Student nas Tabelas 1 e 2).

Com isso, conclui-se que as simplificações do método ER podem ser utilizadas com segurança no processo de estimação, trazendo resultados significantes quando comparados com a média dos laudos médicos, e com a vantagem de operar de forma automatizada. Isso contribui para a redução da subjetividade presente nos métodos clássicos, oferecendo também uma solução apropriada para estimação da idade óssea em grandes bases de dados.

REFERÊNCIAS

- Haite Neto F, Almeida SM, Leite CC. Estudo comparativo dos métodos de estimativa da idade óssea de Greulich & Pyle e Tanner & Whitehouse. *Pesqui Odontol Bras.* 2000;14:378–84.
- Oliveira HW, Veeck EB, Souza PHC, et al. Avaliação radiográfica da idade óssea em crianças infectadas pelo HIV por via vertical. *Radiol Bras.* 2006;39:27–31.
- Tanner JM, Whitehouse RH, Healy MJR. A new system for estimating skeletal maturity from the hand and wrist, with standards derived from a study of 2,600 healthy British children. Part II: The Scoring System. Paris: International Children's Centre; 1962.
- Tavano O. Estudo das principais tabelas de avaliação da idade biológica, através do desenvolvimento ósseo, visando sua aplicação em brasileiros leucodermas da região de Bauru [tese de doutorado]. Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo; 1976.
- Taffarel B, Wangenheim AV, Silva PCA. Processamento de imagens para análise e estimativa de problemas de crescimento ósseo em crianças. III Workshop de Informática Aplicada à Saúde – CBCComp 2003; Florianópolis, SC, Brasil; 2003.
- Haite-Neto F, Kurita LM, Menezes AV, et al. Skeletal age assessment: a comparison of 3 methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130:435.e15–20.
- Olivete CJ. Estimativa da idade óssea através da análise carpal baseada na simplificação do método de Eklof & Ringertz [dissertação de mestrado]. São Carlos: Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade de São Paulo; 2005.
- Ayres M. BioEstat. Versão 3.0. Belém: Sociedade Civil Mamirauá, MCT – CNPq; 2005. [acessado em 10 de fevereiro de 2009]. Disponível em: www.mamiraua.org.br
- Nascimento MZ, Frere AF, Marques MA, et al. Subtraction of images for automatic determination of center of the radiation field. *Engineering in Medicine and Biology Society. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE.* 2003;1:937–40.
- Olivete CJ, Rodrigues ELL, Nascimento MZ. O efeito da correção do “efeito heel” em imagens radiográficas da mão. *Rev Bras Fis Méd.* 2005; 1:38–51.
- Gonzalez RC, Woods RE. *Digital image processing techniques.* New York: Addison Wesley; 1993.
- Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans Systems Man Cybernet.* 1997;9:62–6.
- Abutaleb AS. Automatic thresholding of gray-level pictures using two dimensional entropy. *Comput Vision Graph Image Process.* 1989;47: 22–32.
- Kapur JN, Sahoo PK, Wong AKC. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Comput Vision Graph Image Process.* 1985;29:273–85.
- Olivete CJ, Rodrigues ELL. Software automático para determinação da idade óssea baseado no método de Eklof & Ringertz. *Rev Bras Fis Méd.* 2009;2:15–9. [acessado em 25 de março de 2009]. Disponível em: http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/au_tra_72_p15-19.pdf
- Duarte HEM, Viek R, Siqueira DF, et al. Avaliação das idades dentária e óssea em indivíduos situados antes do surto de crescimento puberal. *Rev Ortodontia SPO.* 2008;41:95–100.