

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

Tássia Silveira Furlanetto

VALIDAÇÃO DO PROTOCOLO DIPA (*DIGITAL IMAGE-BASED POSTURAL ASSESSMENT*) COMO METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA COLUNA VERTEBRAL NO PLANO SAGITAL E ESTIMATIVA DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA A POSTURA PADRÃO DA COLUNA VERTEBRAL

Porto Alegre

2017

Tássia Silveira Furlanetto

VALIDAÇÃO DO PROTOCOLO DIPA (*DIGITAL IMAGE-BASED POSTURAL ASSESSMENT*) COMO METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA COLUNA VERTEBRAL NO PLANO SAGITAL E ESTIMATIVA DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA A POSTURA PADRÃO DA COLUNA VERTEBRAL

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências do Movimento Humano.

Orientadora: Prof. Dra. Cláudia Tarragô Candotti

Porto Alegre

2017

CIP - Catalogação na Publicação

Furlanetto, Tássia Silveira

VALIDAÇÃO DO PROTOCOLO DIPA (DIGITAL IMAGE-BASED POSTURAL ASSESSMENT) COMO METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA COLUNA VERTEBRAL NO PLANO SAGITAL E ESTIMATIVA DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA A POSTURA PADRÃO DA COLUNA VERTEBRAL / Tássia Silveira Furlanetto. -- 2017.

122 f.

Orientador: Cláudia Tarragô Candotti.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Fotogrametria. 2. Coluna Vertebral. 3. Validação. 4. Diagnóstico. I. Candotti, Cláudia Tarragô, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à *Deus*, por todas as oportunidades de conhecimento e educação que me proporcionou e por me amparar nos momentos difíceis.

Agradeço imensamente aos meus pais *Jaime* e *Aida* por toda a educação ética e moral proporcionada, além de todo o carinho e amor dedicados em toda minha criação. Vocês são a minha base e meu porto seguro. Às minhas irmãs *Daiana* e *Maiara* e aos meus cunhados *Rafael* e *Matheus*, pela preocupação e torcida constante.

Agradeço ao meu marido e companheiro da vida *Walter*, pela família que juntos construímos, com respeito, companheirismo, parceria e muito amor. Obrigada por me apoiar em absolutamente todos os momentos, sempre com todo o amor e carinho do mundo. E, mais importante ainda, por dividir comigo os momentos mais felizes da nossa vida junto com a nossa filha *Fernanda*. Obrigada por dividir junto comigo todos os momentos da gestação, do nascimento e desse primeiro ano da vida da nossa pequena. Vocês são o bem mais precioso da minha vida. Amo muito vocês.

Agradeço também a todos os *familiares do Walter*, por entender os nossos horários dedicados aos estudos e por torcerem sempre pelo nosso sucesso; e aos *nossos amigos*, pelos momentos de conversas e descontração, permitindo que a nossa saniedade mental permanecesse íntegra.

Muito obrigada, à *UFRGS* e à *CAPES* por proporcionar a continuidade da minha formação através de um estudo gratuito e de qualidade, com apoio financeiro; ao *PPG Ciências do Movimento Humano*, na pessoa de seus professores e funcionários, pelo comprometimento na formação dos alunos.

Agradeço a todos do *Grupo Biomec* pelo auxílio na execução deste trabalho, sempre com momentos de discussões e sugestões necessárias, além de todos os momentos de descontração e amizade. Pesquisa não se faz sozinho, e com a parceria de um grupo de estudos assim, fica muito mais fácil.

Agradeço a *Cleusa*, que possibilito a realização dessa pesquisa nas clínicas de radiografia. E a todos que participaram como *voluntários dessa pesquisa*, permitindo que esse trabalho fosse concluído.

Agradeço também a todos os membros da banca examinadora, *Prof. Dra. Adriane Vieira*, *Prof. Dr. Jefferson Fagunde Loss*, *Prof. Dra. Silvia Maria Amado João* e a *Prof. Dra. Mônica de Oliveira Melo*, pela atenção dispensada na avaliação final deste trabalho. Em especial, ao prof. *Jefferson* por ser um idealizador do DIPA junto de nós e, mais ainda, por participar de todas as decisões que tomamos a respeito da execução de todo o trabalho.

E, por fim, à minha orientadora *Prof. Dra. Cláudia Candotti*, na verdade muito mais que uma orientadora, a pessoa responsável pela minha formação acadêmica e na pesquisa, responsável por quem eu sou como pesquisadora e como futura docente. Esses mais de 12 anos juntas nos tornaram muito parecidas, tudo o que sou hoje quando faço pesquisa, quando dou aula, quando oriento um aluno devo à ti, devo aos teus ensinamentos, devo à tua maneira super exigente, mas, ao mesmo tempo, super dedicada de orientar. Hoje, tu és mais que uma orientadora, és uma grande amiga, uma amiga que tenho certeza estará comigo por mais muitos anos. Essa tese é a conclusão de um sonho de pesquisadora dela, que ela dividiu comigo há anos atrás e confiou em mim para executar boa parte dele. Então, o encerramento dessa etapa na minha formação e desta etapa na construção do DIPA é dedicado a ti. Muito obrigada de coração.

RESUMO

FURLANETTO, T. S. Validação do protocolo DIPA (*Digital Image-Based Postural Assessment*) como metodologia de avaliação da coluna vertebral no plano sagital e estimativa de valores de referência para a postura padrão da coluna vertebral. **Tese de Doutorado.** Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017. **Contextualização:** Os capítulos 1, 2, 3, 4 e 5 estão apresentados em formato de artigos, sendo dois de revisão de literatura e três artigos originais. Os capítulos 1, 2 e 3 correspondem ao embasamento teórico do Capítulo 4. O Capítulo 1 é uma revisão sistemática da literatura acerca da aplicabilidade da fotogrametria e dos procedimentos matemáticos inerentes na utilização dessa técnica como meio de avaliação postural da coluna vertebral. O Capítulo 2 apresenta uma revisão sistemática com meta-análise dos valores de referência das curvaturas sagitais da coluna vertebral, utilizando o método Cobb em radiografias. O Capítulo 3 apresenta o artigo que desenvolve e valida uma equação de predição para estimar as curvaturas internas sagitais da coluna vertebral a partir da superfície da pele, tanto para crianças quanto para adultos. O Capítulo 4 apresenta a validação do protocolo DIPA para avaliação da coluna vertebral de adultos (valores angulares das curvaturas, bem como a respectiva classificação da postura da coluna vertebral). E, por fim, o Capítulo 5 apresenta a quantificação da geometria vertebral e análise da concordância da palpação dos processos espinhosos da coluna vertebral, utilizando os exames radiográficos. **Palavras-chave:** fotogrametria, coluna vertebral, validação, diagnóstico.

ABSTRACT

*FURLANETTO, T. S. Validation of DIPA[®] (Digital Image-Based Postural Assessment) protocol as a methodology of spine evaluation in the sagittal plane and estimation of reference values for the spinal posture pattern. **Doctoral Dissertation.** Graduate Program in Human Movement Sciences. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017. **Contextualization:** Chapters 1, 2, 3, 4 and 5 are presented as articles, two of which are literature review and three original articles. Chapters 1, 2 and 3 correspond to the theoretical basis of Chapter 4. Chapter 1 is a systematic review of the literature on the applicability of photogrammetry and the mathematical procedures inherent in the use of this technique as a postural assessment of the spine. Chapter 2 presents a systematic review with meta-analysis of the reference values of the sagittal curvatures of the spine using the Cobb method in radiographs. Chapter 3 presents the article that develops and validates a prediction equation to estimate sagittal internal curvatures of the spine from the surface of the skin for children and adults. Chapter 4 presents the validation of the DIPA protocol for evaluation of the adult spine (angular values of curvatures, and classification of spine posture). Finally, Chapter 5 presents the quantification of the vertebral geometry and analysis of the palpation concordance of the spinal processes, using the radiographic examinations. **Keywords:** photogrammetry, spine, validation, diagnosis.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1: Fotogrametria como instrumento de avaliação postural da coluna vertebral: uma revisão sistemática

Figura 1	Fluxograma da seleção de artigos.....	20
Quadro 1	Síntese dos 35 estudos incluídos nessa revisão sistemática.....	23
Figura 2	Exemplos das técnicas utilizadas para medir a curvatura da coluna vertebral encontradas nos artigos que compõem essa revisão sistemática. a) valores lineares para avaliação da escoliose (YANG <i>et al.</i> , 2011); b) valores angulares para avaliação da escoliose (FORTIN <i>et al.</i> , 2013); c) valores lineares para curvaturas torácicas e lombares (MILANESI <i>et al.</i> , 2011); d) valores angulares para curvatura torácica (RODRIGUES; ROMEIRO; PATRIZZI, 2009). As imagens utilizadas são ilustrações preparadas para o presente estudo.....	32

CAPÍTULO 2: Valores de referencia para os ângulos Cobb na avaliação da coluna vertebral no plano sagital: uma revisão sistemática com meta-análise

Figura 1	Fluxograma dos estudos incluídos.....	47
----------	---------------------------------------	----

CAPÍTULO 3: Desenvolvimento e validação de equações de predição dos ângulos das curvaturas internas da coluna vertebral, de crianças e adultos, a partir da superfície da pele

Figura 1	(a) Pontos anatômicos de referência marcados nas imagens radiográficas, no detalhe, os seis pontos marcados em cada vértebra. (b) Curvaturas obtidas para a cifose torácica e lordose lombar: 1 - curvatura interna a partir do baricentro dos corpos vertebrais; 2 - curvatura interna a partir do ápice dos processos espinhosos; 3 - curvatura externa a partir da superfície da pele (FURLANETTO <i>et al.</i> , <i>in press</i>).....	67
Figura 2	Exemplo do calculo do ângulo (α) da curva interna, obtido a partir do baricentro dos corpos vertebrais. (a) Tangentes relativas à curvatura torácica ao nível vertebral T4-T12. (b) Tangentes relativas à curvatura lombar ao nível vertebral T10-S2 (FURLANETTO <i>et al.</i> , <i>in press</i>).....	68
Figura 3	Diagramas de dispersão da amostra de crianças (n=40) entre: (a) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura torácica; (b) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura torácica; (c) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura lombar; (d) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura lombar.....	73
Figura 4	Diagramas de dispersão da amostra de adultos (n=25) entre: (a) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura torácica; (b) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura torácica; (c) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura lombar; (d) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura lombar.....	73

CAPÍTULO 4: Validação do protocolo DIPA (*Digital Image-based Postural Assessment*) como metodologia de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral

Figura 1	Posicionamento do indivíduo em posição ortostática para o registro fotográfico (a) e realização dos exames de Raios-X da coluna torácica (b) e da coluna lombar (c), com os pontos anatômicos de referência palpados e identificados na superfície da pele.....	84
----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Figura 2	Cálculo dos ângulos da curvatura torácica (a) e da curvatura lombar (b) fornecido pelo <i>software</i> DIPA [®]	85
Figura 3	Cálculo dos ângulos das curvaturas torácica (a) e lombar (b) realizado nos exames de Raios-X a partir do método Cobb duas linhas.....	85
Figura 4	Diagrama de dispersão entre as medidas obtidas com o <i>software</i> DIPA [®] e com o exame de Raios-X para a curvatura torácica (a) e lombar (b).....	88
Figura 5	Método gráfico de Bland e Altman: concordância entre os ângulos DIPA e Cobb para a curvatura torácica (a) e lombar (b).....	89
Figura 6	Curva ROC para diagnóstico de (a) hiper cifose torácica, (b) retificação torácica, (c) hiperlordose lombar e (d) retificação lombar, a partir dos ângulos DIPA corrigidos de cifose torácica e lordose lombar.....	91
Figura 7	Exemplos de radiografias de indivíduos com menor tecido adiposo (a) e com maior tecido adiposo na região lombar (b). Pode-se observar uma diferença maior entre a curvatura interna e externa nos indivíduos com maior tecido adiposo.....	93
Figura 8	Exemplo da projeção na superfície da pele do marcador utilizado pelo <i>software</i> DIPA [®] (a) e sugestão da projeção na superfície da pele levando em conta a inclinação do marcador (b).....	94

CAPÍTULO 5: Quantificação da geometria vertebral e análise da concordância da palpação dos processos espinhosos da coluna vertebral em radiografias sagitais

Figura 1	Pontos anatômicos de referência marcados nas imagens radiográficas da coluna lombar (a), onde o retângulo pontilhado mostra o marcador com material metálico para visualização na radiografia; e medidas geométricas obtidas nas radiografias: altura anterior do corpo vertebral (AA-CV), altura posterior do corpo vertebral (AP-CV), largura superior do corpo vertebral (LS-CV), largura inferior do corpo vertebral (LI-CV), ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral (I-PE-CV), distância entre o corpo vertebral e o processo espinhoso (D-CV-PE) e distância entre o processo espinhoso e a superfície da pele (D-PE-SP).....	103
Figura 2	Avaliação do percentual de concordância da palpação dos processos espinhosos das vértebras T12, L2 e L4 em um indivíduo.....	104
Figura 3	Metodologia utilizada para localizar o processo espinhoso e o marcador referente à palpação (a); metodologia utilizada para verificar o percentual de acerto da palpação no presente estudo (b) e metodologia sugerida para verificar o percentual de acerto da palpação levando em conta a inclinação do marcador (c). Os pontos amarelos identificam o processo espinhoso da vértebra e os pontos vermelhos identificam o marcador.....	109

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: Fotogrametria como instrumento de avaliação postural da coluna vertebral: uma revisão sistemática

Tabela 1	Resultados da avaliação da qualidade dos estudos, por meio da Escala Downs & Black.	21
----------	------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 2: Valores de referencia para os ângulos Cobb na avaliação da coluna vertebral no plano sagital: uma revisão sistemática com meta-análise

Tabela 1	Estratégia de busca utilizada no PubMed*.....	44
Tabela 2	Características dos estudos incluídos: idade, número de indivíduos e protocolos para o exame de Raios-X e cálculo do ângulo Cobb.....	48
Tabela 3	Dados extraídos dos estudos: valores de referência (em graus Cobb) das curvaturas sagitais.	50
Tabela 4	Avaliação do risco de viés utilizando os critérios da <i>Guidelines for Critically Appraising Studies</i>	51
Tabela 5	Meta-análise para os valores de referência das curvaturas torácica e lombar na população de crianças.....	52
Tabela 6	Meta-análise para os valores de referência das curvaturas torácica e lombar na população de adolescentes.....	53
Tabela 7	Meta-análise para os valores de referência das curvaturas cervical, torácica e lombar na população de adultos.....	54
Tabela 8	Meta-análise para os valores de referência das curvaturas cervical, torácica e lombar na população de idosos.....	55

CAPÍTULO 3: Desenvolvimento e validação de equações de predição dos ângulos das curvaturas internas da coluna vertebral, de crianças e adultos, a partir da superfície da pele

Tabela 1	Média e desvio padrão dos ângulos, expressos em graus, obtidos nos diferentes níveis vertebrais avaliados para a curvatura torácica e curvatura lombar (n=40) de crianças.....	71
Tabela 2	Média e desvio padrão dos ângulos, expressos em graus, obtidos nos diferentes níveis vertebrais avaliados para a curvatura torácica e curvatura lombar (n=40) de adultos.....	71
Tabela 3	Correlação de Pearson (r) e nível de significância (p) encontrado entre as duas curvas internas com a curva externa (n=40) na amostra de radiografia de crianças.	72
Tabela 4	Correlação de Pearson (r) e nível de significância (p) encontrado entre as duas curvas internas com a curva externa (n=25) na amostra de radiografia de adultos.	72
Tabela 5	Reprodutibilidade inter-avaliador dos resultados fornecidos pelos ângulos (graus) obtidos para as curvaturas torácica e lombar (n = 15) por dois avaliadores (R1 e R2) e reprodutibilidade intra-avaliador dos resultados fornecidos por um avaliador (R3) em dois dias diferentes.	74
Tabela 6	Resultados da validação concorrente para a amostra de crianças, com base no valor estimado e no valor verdadeiro do ângulo obtido diretamente da respectiva curva interna (n=59).....	74
Tabela 7	Resultados da validação concorrente para a amostra de adultos, com base no valor estimado e no valor verdadeiro do ângulo obtido diretamente da respectiva curva interna (n=43).....	75

CAPÍTULO 4: Validação do protocolo DIPA (*Digital Image-based Postural Assessment*) como metodologia de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral

Tabela 1	Média e desvio padrão (DP) dos ângulos (°) DIPA e Cobb nas curvaturas torácica e lombar; coeficiente de correlação de Pearson; Teste t de <i>Student</i> e erro RMS da comparação entre as medidas.....	88
Tabela 2	Valores de referência da normalidade do <i>software</i> DIPA [®] e dos exames de Raios-X para as curvaturas torácica e lombar da coluna vertebral.	91

CAPÍTULO 5: Quantificação da geometria vertebral e análise da concordância da palpação dos processos espinhosos da coluna vertebral em radiografias sagitais

Tabela 1	Média ± desvio padrão das medidas geométricas das estruturas vertebrais da coluna vertebral, mensuradas em radiografias.....	106
Tabela 2	Frequência de concordância do percentual de acerto das vértebras palpadas (considerando percentual de acerto acima de 5%, 25%, 50% e 75%).....	106

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	12
INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1: Fotogrametria como instrumento de avaliação postural da coluna vertebral: uma revisão sistemática	16
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	16
1.1 INTRODUÇÃO.....	17
1.2 METODOLOGIA.....	18
1.3 RESULTADOS.....	20
1.4 DISCUSSÃO.....	29
1.5 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
CAPÍTULO 2: Valores de referencia para os ângulos Cobb na avaliação da coluna vertebral no plano sagital: uma revisão sistemática com meta-análise...	41
RESUMO.....	41
ABSTRACT.....	41
2.1 INTRODUÇÃO.....	42
2.2 METODOLOGIA.....	43
2.2.1 Identificação e seleção dos estudos.....	43
2.2.2 Avaliação das características dos estudos.....	45
2.2.3 Análise dos dados.....	45
2.3 RESULTADOS.....	46
2.3.1 Fluxograma dos estudos.....	46
2.3.2 Características dos estudos.....	47
2.3.3 Risco de viés nos estudos incluídos.....	51
2.3.4 Meta-análise.....	52
2.4 DISCUSSÃO.....	55
2.5 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
CAPÍTULO 3: Desenvolvimento e validação de equações de predição dos ângulos das curvaturas internas da coluna vertebral, de crianças e adultos, a partir da superfície da pele	63
RESUMO.....	63
ABSTRACT.....	63
3.1 INTRODUÇÃO.....	64
3.2 METODOLOGIA.....	65
3.2.1 Desenvolvimento das equações de predição.....	66
3.2.2 Reprodutibilidade do método.....	69
3.2.3 Validação das equações de predição.....	69
3.3 RESULTADOS.....	70
3.3.1 Desenvolvimento das equações de predição.....	70
3.3.2 Reprodutibilidade do método.....	74
3.3.3 Validação das equações de predição.....	74

3.4 DISCUSSÃO.....	75
3.5 CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIAS.....	77
CAPÍTULO 4: Validação do protocolo DIPA (<i>Digital Image-based Postural Assessment</i>) como metodologia de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral.....	80
RESUMO.....	80
ABSTRACT.....	81
4.1 INTRODUÇÃO.....	81
4.2 METODOLOGIA.....	82
4.2.1 Amostra.....	82
4.2.2 Procedimentos de coleta dos dados.....	83
4.2.3 Procedimentos de análise dos dados.....	84
4.2.4 Tratamento estatístico.....	86
4.3 RESULTADOS.....	87
4.3.1 Valores angulares das curvaturas sagitais.....	87
4.3.2 Classificações das curvaturas sagitais.....	90
4.4 DISCUSSÃO.....	92
4.5 CONCLUSÃO.....	96
REFERÊNCIAS.....	96
CAPÍTULO 5: Quantificação da geometria vertebral e análise da concordância da palpação dos processos espinhosos da coluna vertebral em radiografias sagitais.....	99
RESUMO.....	99
ABSTRACT.....	100
5.1 INTRODUÇÃO.....	100
5.2 METODOLOGIA.....	102
5.3 RESULTADOS.....	105
5.4 DISCUSSÃO.....	106
5.5 CONCLUSÃO.....	109
REFERÊNCIAS.....	110
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112
DIFICULDADES E LIMITAÇÕES.....	113
PERSPECTIVAS.....	114
REFERÊNCIAS.....	115
ANEXO 1 - ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA (CAPÍTULO 1 DESSA TESE)	119
ANEXO 2 - ARTIGO ORIGINAL (CAPÍTULO 3 DESSA TESE - RESULTADOS DE CRIANÇAS)	121

APRESENTAÇÃO

O *software* Digital Image-based Postural Assessment (DIPA[®]) atualmente encontra-se na versão 3.3. O *software* DIPA[®] apresenta uma interface amigável, autoexplicativa aos seus usuários e compatível com o sistema Windows, sendo disponibilizado gratuitamente a todos os interessados via internet (www.ufrgs.br/biomec). A utilização do *software* DIPA[®] preconiza o seguimento de um protocolo de avaliação baseado na fotogrametria, denominado de protocolo DIPA (CANDOTTI; FURLANETTO; LOSS, 2017). O *software* DIPA[®] se propõe a avaliar o indivíduo como um todo, nos planos sagital e frontal, sendo capaz de identificar e descrever alterações posturais de diversos segmentos corporais de maneira quantitativa, além de fornecer uma classificação da postura estática, de crianças e adultos.

Especificamente nessa tese foi realizada a proposição e a validação de uma metodologia de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral de adultos, para implementar melhorias no *software* DIPA[®], que sejam capazes de quantificar e classificar a postura da coluna vertebral dos indivíduos. Os dados dessa tese foram analisados na versão 3.4 do *software* DIPA[®], ainda não disponível aos usuários.

Esta tese foi desenvolvida no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sendo a coleta de dados realizada em parceria com duas clínicas de radiologias: o Instituto de Radiologia Pante Ltda (São Leopoldo) e a Clínica Ortofisio Ltda (Esteio), que disponibilizaram o espaço para a realização dos exames radiológicos associados à fotogrametria.

A partir de dados obtidos na literatura e das coletas e análises dos dados da fase experimental desse estudo, foi possível a elaboração desta tese de doutorado, cujo texto está formatado da seguinte forma: (1) introdução; (2) cinco capítulos, sendo que dois são referentes à revisão de literatura e três referentes às fases experimentais da tese; (3) considerações finais; (4) dificuldades, limitações e perspectivas do estudo; e (5) referências bibliográficas utilizadas na apresentação e na introdução.

Ressalta-se que os capítulos 1, 2, 3, 4 e 5 estão apresentados em formato de artigos. O Capítulo 1 contém a revisão sistemática da literatura acerca da aplicabilidade da fotogrametria e dos procedimentos matemáticos inerentes na utilização dessa técnica como meio de avaliação postural da coluna vertebral, a qual está publicada no *World Journal of Orthopedics* (FURLANETTO *et al.*, 2016). O artigo foi publicado no idioma inglês e encontra-se no

Anexo 1. O Capítulo 2 apresenta a revisão sistemática com meta-análise dos valores de referência das curvaturas sagitais da coluna vertebral, utilizando o método Cobb em radiografias, que está em processo de revisão na Revista Motricidade. Esses valores de referência foram utilizados para subsidiar a classificação da postura da coluna no *software* DIPA[®] versão 3.3, até que tenha sido obtidos valores de referência para a fotogrametria.

O Capítulo 3 apresenta o artigo que desenvolve e valida uma equação de predição para estimar as curvaturas internas sagitais da coluna vertebral a partir da superfície da pele, tanto para crianças quanto para adultos. Ressalta-se que os resultados de crianças foram publicados pelo *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* em junho de 2017 (FURLANETTO *et al.*, *in press*), e encontra-se no Anexo 2. Os resultados do Capítulo 3 foram utilizados para subsidiar o cálculo dos valores angulares das curvaturas da coluna, no *software* DIPA[®] versão 3.3.

O Capítulo 4 apresenta a validação do protocolo DIPA para avaliação de adultos (valores angulares das curvaturas, bem como a respectiva classificação da postura da coluna vertebral). Esses valores de referência estarão subsidiando a versão 3.4 do *software* DIPA[®]. E, por fim, o Capítulo 5 apresenta a quantificação da geometria vertebral e análise da concordância da palpação dos processos espinhosos da coluna vertebral, utilizando os exames radiográficos. Essas informações deverão também subsidiar o *software* DIPA[®], em futuras versões.

INTRODUÇÃO

A postura da coluna vertebral, no plano sagital, apresenta curvaturas fisiológicas anteroposteriores e a manutenção dessas curvaturas é importante para o suporte estrutural, proporcionando proteção adequada para a medula espinhal, ao mesmo tempo em que permite a mobilidade dos segmentos da coluna vertebral (CZAPROWSKI *et al.*, 2012). Em teoria, as alterações anteroposteriores da coluna vertebral caracterizam-se por um aumento ou diminuição da magnitude das curvaturas fisiológicas (SINGH; BAILEY; LEE, 2010), com consequente desequilíbrio corporal, prejuízo na funcionalidade, aumento de dor nas costas e possível restrição da amplitude de movimento (SINGH; BAILEY; LEE, 2010; GREENDALE *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 2010), além de uma redução na qualidade de vida (MIYAKOSHI *et al.*, 2003; IMAGAMA *et al.*, 2011).

Procedimentos de avaliações posturais qualitativos e quantitativos são utilizados para identificar alterações nas curvaturas da coluna vertebral ou para acompanhar a evolução do tratamento (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Esses procedimentos são métodos não invasivos, utilizados como uma opção para evitar os problemas decorrentes das exposições à radiação, uma vez que os exames de Raios-X são utilizados como padrão ouro para detecção das alterações nas curvaturas da coluna vertebral (ALLEN *et al.*, 2008; TAYYAB *et al.*, 2007; GSTOETTNER *et al.*, 2007; MASSO; GORTON, 2000; CHEN, 1999).

Na prática clínica, é comumente observado que os profissionais da saúde adotam a inspeção visual como primeiro recurso avaliativo da postura da coluna vertebral. Entretanto, esse método apresenta algumas desvantagens, como ausência de números que possam quantificar o desvio e sua progressão e é dependente da experiência do avaliador (WATSON; MACDONNCHA, 2000; GRIEGEL-MORRIS *et al.*, 1992). Além disso, o diagnóstico inicial acaba necessitando de posterior confirmação pelo exame radiográfico. Na tentativa de amenizar essas desvantagens, alguns instrumentos têm sido desenvolvidos com intuito de tornar essa avaliação quantificável, mais exata e precisa (OLIVEIRA *et al.*, 2012; CHAISE *et al.*, 2011; RAJABI *et al.*, 2008; GREENDALE *et al.*, 2011; PERRIMAN *et al.*, 2010; KOROVESSIS *et al.*, 2001; GRAVINA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2009; RANA VOLO *et al.*, 2013; D'OSUALDO; SCHIERANO; IANNIS, 1997) e *softwares* de avaliação postural (FORTIN *et al.*, 2012; EDMONDSTON *et al.*, 2012; LETAFATKAR *et al.*, 2011; LEROUX *et al.*, 2000).

Atualmente, a fotogrametria, juntamente com técnicas computadorizadas, tem sido uma metodologia amplamente utilizada para avaliação postural, possivelmente porque permite uma avaliação quantitativa sucinta, registrando transformações sutis na postura (DUNK; LALONDE; CALLAGHAN, 2005; SMITH; O’SULLIVAN; STRAKER, 2008; SACCO *et al.*, 2007), além de realizar uma avaliação completa da postura corporal, incluindo segmentos como coluna vertebral, quadril, joelho, ombros e cabeça (D’OSUALDO; SCHIERANO; CISOTTI, 2002). Em relação ao segmento coluna vertebral, muitos estudos têm realizado procedimentos para a validação da fotogrametria (FORTIN *et al.*, 2012; EDMONDSTON *et al.*, 2012; LETAFATKAR *et al.*, 2011; LEROUX *et al.*, 2000; VAN NIEKERK *et al.*, 2008).

Não obstante, a literatura ainda carece de *softwares* livres que vão além da quantificação dos ângulos articulares e distâncias dos segmentos, ou seja, que sejam capazes de reproduzir sua metodologia de avaliação e apresentarem uma classificação diagnóstica das alterações das magnitudes da coluna vertebral dos indivíduos. Para isso, valores de referência da normalidade dos segmentos corporais precisam estar estabelecidos na literatura. Porém, no que diz respeito à coluna vertebral, a literatura é controversa quanto aos valores de referência para os ângulos das curvaturas no plano sagital na postura padrão (IUNES *et al.*, 2009).

Com a intenção de utilizar a fotogrametria não somente para a quantificação dos segmentos corporais, mas também para classificação da postura estática, foi desenvolvida uma metodologia de avaliação (FURLANETTO *et al.*, 2011; FURLANETTO *et al.*, 2017) e classificação das alterações laterais e anteroposteriores da coluna vertebral, utilizando o *software* DIPA[©] (*Digital Image-based Postural Assessment*). Os parâmetros de reprodutibilidade intra e inter-avaliador dessa metodologia foram previamente avaliados e confirmados (FURLANETTO *et al.*, 2017). Quanto à validação concorrente dessa metodologia, apenas a detecção das alterações laterais da coluna vertebral (FURLANETTO *et al.*, 2012) foi confirmada, faltando ainda a validação das medidas das alterações anteroposteriores da coluna vertebral.

Nesse contexto, essa tese de doutorado tem como objetivo geral verificar a validade concorrente, a partir da comparação e concordância com exames de Raios-X, de uma metodologia de avaliação postural, desenvolvida no *software* DIPA[©] para identificação das magnitudes e das classificações das curvaturas sagitais da coluna vertebral de adultos; bem como, prever valores de referência para a postura padrão da coluna vertebral utilizando a fotogrametria como metodologia.

CAPÍTULO 1

ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Fotogrametria como instrumento de avaliação postural da coluna vertebral: uma revisão sistemática

(Artigo traduzido de *Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review* – ANEXO 1)

RESUMO

Objetivo: verificar a aplicabilidade da fotogrametria e identificar quais são os procedimentos matemáticos inerentes na utilização dessa técnica como meio de avaliação da postura da coluna vertebral. **Métodos:** Uma busca sistemática usando palavras-chave foi conduzida nas bases de dados PubMed, EMBASE, Scopus, Science e Medicine®. Adotou-se como critérios de inclusão: (1) utilizar a fotogrametria como método de avaliação postural, (2) avaliar as curvaturas da coluna vertebral, no plano sagital ou frontal, (3) ter sido publicado nas últimas três décadas e (4) estar redigido na íntegra na língua inglesa. Os critérios de exclusão foram: (1) estudos cujo objetivo envolvia verificar algum aspecto de validação de instrumentos, (2) estudos nos quais foram publicados em formato de resumo e em anais de eventos científicos e (3) estudos que utilizaram a avaliação da anteriorização da cabeça para determinar o posicionamento angular da coluna cervical. Os artigos dessa revisão foram incluídos e avaliados, quanto à qualidade metodológica com a escala Downs & Black, por dois revisores independentes. **Resultados:** Inicialmente, foram encontrados 1758 artigos, sendo incluídos 76 artigos, dos quais, após a leitura na íntegra dos textos, 29 foram incluídos conforme os critérios pré-estabelecidos. Ainda, destes foram analisadas as referências bibliográficas, sendo selecionados seis artigos, totalizando 35 artigos selecionados para a presente revisão sistemática. Essa revisão sistemática revelou que a fotogrametria tem sido utilizada em estudos do tipo observacional. Além disso, foi possível observar que, embora, as metodologias de coleta dos dados utilizadas sejam semelhantes entre os estudos, em relação aos aspectos de análises dos dados, as metodologias são muito divergentes, principalmente no que diz respeito às rotinas matemáticas que subsidiam os diferentes softwares de avaliação postural. **Conclusão:** Com a fotogrametria, o objetivo da avaliação, seja para fins clínicos, de pesquisa ou de saúde coletiva, deve ser considerado ao escolher o protocolo a ser utilizado para avaliar a postura da coluna vertebral.

Palavras-chave: Lordose; Cifose; Coluna vertebral; Fotogrametria; Escoliose; Postura

ABSTRACT

Aim: To evaluate the use of photogrammetry and identify the mathematical procedures applied when evaluating spinal posture. **Methods:** A systematic search using keywords was conducted in the PubMed, EMBASE, Scopus, Science and Medicine® databases. The following inclusion criteria adopted were: (1) the use of photogrammetry as a method to

*evaluate spinal posture; (2) evaluations of spinal curvature in the sagittal and/or frontal plane; (3) studies published within the last three decades; and (4) written entirely in English. The exclusion criteria were: (1) studies which objective involved the verification of some aspect of validation of instruments; (2) studies published as abstracts and those published in scientific events; and (3) studies using evaluation of the anteriorization of the head to determine the angular positioning of the cervical spine. The articles in this review were included and evaluated for their methodological quality, based on the Downs and Black scale, by two independent reviewers. **Results:** Initially, 1758 articles were found, 76 of which were included upon reading the full texts and 29 were included in accordance with the predetermined criteria. In addition, after analyzing the references in those articles, a further six articles were selected, so that 35 articles were included in this review. This systematic review revealed that the photogrammetry has been using in observational studies. Furthermore, it was also found that, although the data collection methodologies are similar across the studies, in relation to aspects of data analysis, the methodologies are very different, especially regarding the mathematical routines employed to support different postural evaluation software. **Conclusion:** With photogrammetry, the aim of the assessment, whether it is for clinical, research or collective health purposes, must be considered when choosing which protocol to use to evaluate spinal posture.*

Key words: *Lordosis; Kyphosis; Spine; Photogrammetry; Scoliosis; Posture*

1.1 INTRODUÇÃO

A fotogrametria é uma técnica não invasiva amplamente utilizada para avaliação postural, constituindo-se em uma opção viável ao profissional da saúde e nas pesquisas na área de postura (CARMAN; BROWNE; BIRCH, 1990). Isso, possivelmente, porque permite uma avaliação quantitativa sucinta e precisa, registrando transformações sutis na postura em geral (DUNK; LALONDE; CALLAGHAN, 2005; SMITH; O’SULLIVAN; STRAKER, 2008; SACCO *et al.*, 2007). Além disso, do ponto de vista da avaliação da coluna vertebral, é capaz de fornecer informações nos planos frontal e sagital (FORTIN *et al.*, 2012; D’OSUALDO; SCHIERANO; CISOTTI, 2002). Ainda, tem o indiscutível fato de que a opção pela utilização da fotogrametria contribui com a redução da incidência à radiação e possibilita o monitoramento de um tratamento postural. Não obstante, a utilização dessa técnica como meio de avaliação postural é dependente diretamente tanto dos procedimentos de coleta, quanto dos métodos matemáticos que fornecem as medidas e os diagnósticos posturais, os quais devem apresentar todos os aspectos de validação necessários (FURLANETTO *et al.*, 2012; MASSO; GORTON, 2000).

Em relação especificamente à avaliação da coluna vertebral a partir da fotogrametria, muitos estudos têm realizado procedimentos para a validação dessa técnica (FORTIN *et al.*, 2012; EDMONDSTON *et al.*, 2012; LETAFATKAR *et al.*, 2011; LEROUX *et al.*, 2000;

VAN NIEKERK *et al.*, 2008; FURLANETTO *et al.*, 2012). Além disso, na prática clínica, a fotogrametria pode ser útil para avaliação e acompanhamento da evolução dos tratamentos da coluna vertebral, por meio da comparação de dados quantitativos da postura (IUNES *et al.*, 2009; FURLANETTO *et al.*, 2012). E, em estudos científicos, o seu uso pode ser útil tanto em observações transversais e longitudinais, quanto em estudos de intervenção.

Embora a fotogrametria seja uma técnica difundida na literatura para a avaliação da coluna vertebral, até onde se tem conhecimento, não está clara sua real aplicabilidade, ou seja, o quanto essa técnica está de fato sendo utilizada para monitorar o tratamento postural ou para mapear a postura da população, em estudos observacionais. Além disso, muitos dos estudos que propõe a utilização da fotogrametria não explicitam os métodos empregados para geração dos resultados, constituindo-se em verdadeiras “caixas pretas”, o que dificulta aos usuários, tanto na prática clínica como na pesquisa científica, na tomada de decisão do método avaliativo. Dessa forma, o objetivo dessa revisão sistemática foi verificar a aplicabilidade da fotogrametria e identificar quais são os procedimentos matemáticos inerentes na utilização dessa técnica como meio de avaliação da postura da coluna vertebral.

1.2 METODOLOGIA

Este estudo consistiu em uma revisão sistemática, cujos critérios de elegibilidade foram estudos observacionais e ensaios clínicos randomizados e não randomizados que utilizem a fotogrametria como ferramenta de avaliação da coluna vertebral na tentativa de entender sua importância na avaliação da postura. O método desta revisão sistemática segue as recomendações propostas pela Colaboração Cochrane (HIGGINS; GREEN, 2011).

Foi realizada uma busca sistemática de artigos científicos nas bases de dados PubMed, Embase, Scopus, Science e Medicine® nos meses de dezembro de 2013 e janeiro de 2014. As palavras-chave utilizadas foram consultadas nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), Medical Subject Headings (MeSH) ou Emtree: ("Photogrammetry" OR "Digital Analysis" OR "Digital Photographs" OR "Digital photography") AND ("Spinal postural evaluation" OR "Spine" OR "Vertebral Column" OR "Column, Vertebral" OR "Columns, Vertebral" OR "Vertebral Columns" OR "Spinal Column" OR "Column, Spinal" OR "Columns, Spinal" OR "Spinal Columns" OR "Vertebra" OR "Vertebrae" OR "Lordosis" OR "Kyphosis" OR "Kyphoses" OR "Scoliosis" OR "Scolioses" OR "Posture" OR "Postures" OR "Spine Curvatures" OR "lumbar curvatures" OR "thoracic curvatures" OR "thoracic curve" OR

“lordosis curve” OR “thoracic kyphosis” OR “lumbar lordosis”). A busca se limitou aos artigos escritos na íntegra na língua inglesa, por que é a linguagem internacional.

Para compor a presente revisão sistemática, os artigos identificados pela estratégia de busca inicial deveriam preencher os seguintes critérios de inclusão: (1) utilizar a fotogrametria como método de avaliação postural, (2) avaliar as curvaturas da coluna vertebral, no plano sagital ou frontal, (3) ter sido publicado nas últimas três décadas e (4) estar redigido na íntegra na língua inglesa. Foram excluídos os (1) estudos cujo objetivo envolvia verificar algum aspecto de validação de instrumentos, (2) estudos nos quais foram publicados em formato de resumo e em anais de eventos científicos e (3) estudos que utilizaram a avaliação da anteriorização da cabeça para determinar o posicionamento angular da coluna cervical, pois se acredita que essas variáveis analisam aspectos diferentes da postura corporal e não podem ser analisadas em conjunto.

Todos os procedimentos de busca, seleção, avaliação da qualidade, leitura e extração dos dados dos artigos foram realizados por dois avaliadores, de forma independente e cegada. Nos casos de divergência de opiniões entre os avaliadores, um terceiro avaliador foi convidado para realizar a avaliação do artigo.

Inicialmente, os estudos foram selecionados a partir da leitura dos títulos e resumos, sendo que os artigos que apresentavam potencial para serem incluídos na pesquisa foram lidos e analisados na íntegra. Quando o título e o resumo não foram esclarecedores, o artigo foi buscado na íntegra, para não correr o risco de deixar estudos importantes fora da revisão sistemática. Complementando esse processo, as referências bibliográficas de cada artigo incluído foram, ainda, averiguadas com o objetivo de encontrar artigos não localizados na busca eletrônica.

Os estudos que cumpriram os critérios de inclusão foram avaliados quanto à qualidade metodológica com a escala Downs & Black, a qual consiste em um *checklist* com 26 critérios, os quais são respondidos como “sim”, “não” ou “impossível determinar” (DOWNS; BLACK, 1998). Essa escala foi escolhida por ser utilizada para avaliar tanto estudos observacionais quanto ensaios clínicos randomizados, porém alguns critérios são direcionados à avaliação de apenas ensaios clínicos randomizados, sendo dispensáveis da presente revisão sistemática. Assim, foram utilizados apenas 12 critérios da escala Downs & Black na avaliação metodológica do presente estudo.

A escala Downs & Black não determina qual o escore mínimo para determinar a qualidade dos estudos (DOWNS; BLACK, 1998). Dessa forma, os estudos não foram

excluídos por sua avaliação de qualidade, sendo apresentado somente o somatório de critérios classificados como “sim” para cada artigo. Quanto maior o escore de critérios do artigo, melhor sua qualidade metodológica (DOWNS; BLACK, 1998).

1.3 RESULTADOS

Inicialmente, foram encontrados 1758 artigos a partir das palavras-chave utilizadas. Desses, foram excluídos 601 estudos por serem duplicatas e 1081 por não se enquadrarem nos critérios de inclusão. Sendo assim, inicialmente, 76 estudos foram incluídos nesta revisão sistemática. Após a leitura na íntegra, 29 estudos contemplaram todos os critérios de inclusão. Após, foram analisadas as referências bibliográficas dos estudos incluídos e, a partir dessa análise, observou-se que seis artigos contemplavam os critérios de inclusão, totalizando 35 artigos selecionados para comporem a presente revisão sistemática (Figura 1).

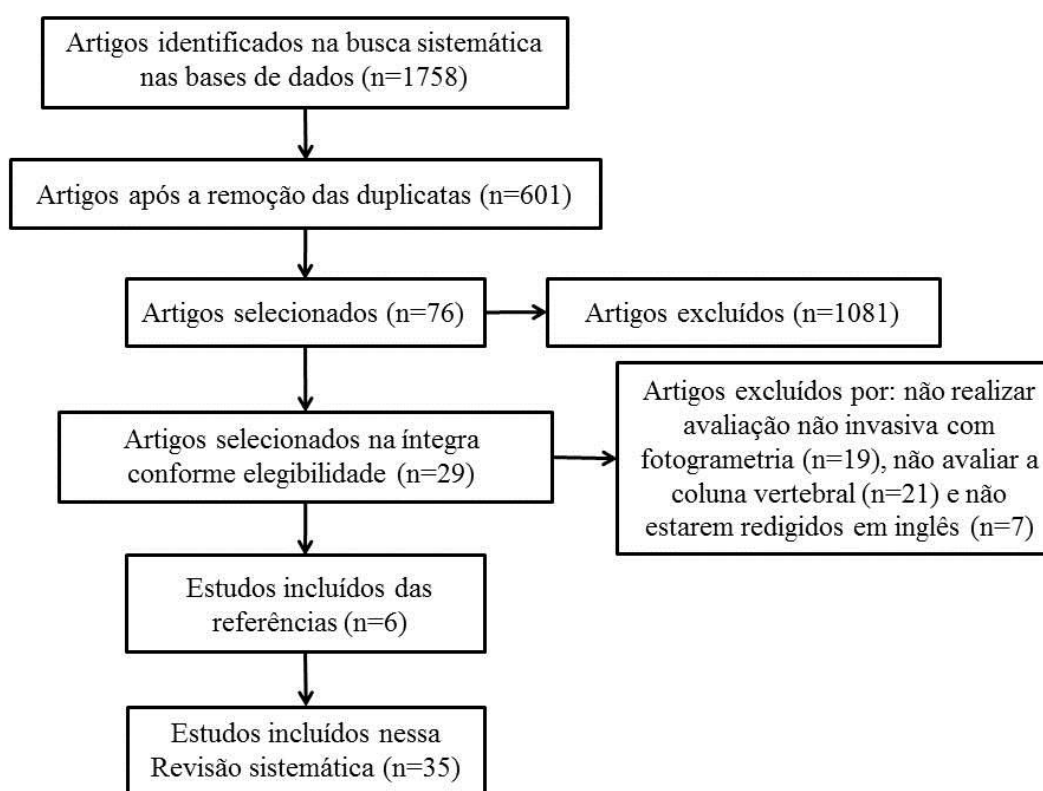


Figura 1 - Fluxograma da seleção de artigos.

A Tabela 1 apresenta a avaliação da qualidade metodológica da escala Downs & Black dos estudos selecionados nessa revisão sistemática. Todos os 35 artigos apresentaram escores do *checklist* superiores ou igual a 6. Além disso, 9 estudos apresentaram escore entre 7 e 8; 19 estudos apresentaram escore entre 9 e 10; e 6 artigos apresentaram escore entre 11 e 12.

Tabela 1 - Resultados da avaliação da qualidade dos estudos, por meio da Escala Downs & Black.

Estudos - 1º autor (ano)	Critérios Checklist Downs & Black												Total (nº de ✓)
	1	2	3	6	7	9	10	11	12	16	18	20	
Almeida (2013)	✓	X	✓	X	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	8
Cheng (2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Fortin (2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Annetts (2012)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	10
Weber (2012)	✓	✓	✓	✓	X	?	✓	X	X	✓	✓	✓	8
Edmondston (2011)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	10
Milanesi (2011)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Pezzan (2011)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Yang (2011)	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	9
Da Silveira (2010)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Iunes (2010)	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	9
Belli (2009)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	11
Chase (2009)	✓	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓	✓	✓	?	10
Iunes (2009a)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	10
Iunes (2009b)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Penha (2009)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
Rodrigues (2009)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	10
Straker (2009)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
Iunes (2008)	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	9
Smith (2008)	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	9
Yi (2008)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Min (2007)	X	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	?	✓	?	✓	7
Straker (2007)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	11
Szopa (2007)	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	?	?	✓	?	✓	8
Amsters (2006)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	?	?	✓	?	X	7
O'Sullivan (2006)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Milosavljevic (2005)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
Munhoz (2005)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
Lima (2004)	✓	✓	✓	✓	X	?	✓	?	?	✓	✓	?	7
Raine (1997)	✓	✓	✓	X	✓	X	✓	X	X	✓	✓	✓	8
Christie (1995)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	✓	✓	✓	10
Watson (1995)	✓	?	✓	X	✓	✓	X	?	?	✓	✓	✓	7
Raine (1994)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	10
Mitchell (1992)	X	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	?	✓	?	X	6
Dieck (1985)	✓	✓	✓	✓	X	?	✓	?	?	✓	✓	✓	8

CRITÉRIOS DOWNS & BLACK: 1) A hipótese/objetivo é claramente descrito? 2) Os resultados principais a serem mensurados são claramente descritos na Introdução ou Materiais e Métodos? 3) As características dos pacientes incluídos foram claramente descritas? 6) Os principais achados do estudos são claramente descritos? 7) O estudo estima a variabilidade aleatória nos dados dos principais resultados? 9) Foram descritas as características dos pacientes perdidos no estudo? 10) Os valores verdadeiros de probabilidade foram descritos para os principais resultados? 11) Os sujeitos que foram convidados a participar do estudo são representativos de toda a população onde foram recrutados? 12) Os sujeitos que foram recrutado para participar do estudo são

representativos de toda a população onde foram recrutados? 16) Se qualquer um dos resultados do estudo foram baseados em "dragagem de dados", este foi claro? 18) Os testes estatísticos apropriados foram usados para avaliar os principais resultados? 20) Os principais desfechos avaliados foram precisos (válido e confiável)?
RESPOSTAS AOS CRITÉRIOS: ✓ = Sim; X = Não; ? = Impossível determinar.

Os 35 estudos incluídos nesta revisão, os quais utilizam a fotogrametria como instrumento de avaliação da coluna vertebral no plano sagital e frontal são apresentados e descritos no Quadro 1. São também apresentados os aspectos relacionados ao objetivo, ao tipo de estudo, à metodologia e aos resultados dos estudos.

Quadro 1 - Síntese dos 35 estudos incluídos nessa revisão sistemática.

1º autor (ano)	Objetivo	Tipo de estudo	Metodologia	Resultados
Almeida (2013) Brasil	Acessar a correlação entre função pulmonar e postura; investigar a correlação entre composição corporal e postura corporal.	Observacional	n=34 pacientes adultos com asma Avaliações: impedância bioelétrica, espirometria, pletismografia corporal, avaliação da capacidade difusa para monóxido de carbono e avaliação da força da musculatura respiratória. A lordose lombar foi avaliada pela anteversão pélvica (<i>Postural Assessment Software – PAS/SAPO</i>).	Os pacientes apresentaram hiperlordose lombar. Essa alteração postural correlacionou com a função pulmonar dos pacientes e a composição corporal.
Cheng (2013) Taiwan	Investigar a influência da estabilização corporal inferior e alterações posturais na atividade de caligrafia em crianças com paralisia cerebral (PC).	Observacional	n=14 crianças com PC Na vista posterior foi mensurado o ângulo de inclinação lateral do tronco e ângulo da coluna C7/L4; e, na vista lateral foi mensurado o ângulo de inclinação do tronco à frente (<i>AutoCAD Software</i>).	Uma cadeira que fornece um posicionamento adequado foi eficaz na melhoria da postura do tronco em crianças com PC durante a atividade de caligrafia. Um lápis com altura de aderência atribuída ou com um design biaxial, quando comparado com um regular, pode melhorar o alinhamento do tronco.
Fortin (2013) Canadá	Explorar as diferenças nas posturas em pé e sentada e comparar as diferenças entre escoliose torácica, toracolombar e lombar.	Observacional	n=50 (29 escolioses torácica, 14 escolioses toracolombar e 7 escolioses lombar). A lordose cervical (plano sagital) e a escoliose (plano frontal) foram avaliadas por ângulos nas posições em pé e sentada (<i>software</i> desenvolvido por grupo multidisciplinar).	A lordose cervical não apresentou diferença nas duas posturas e o ângulo da escoliose foi significativamente menor na posição em pé. Não foram encontradas diferenças significativas para o ângulo de escoliose nos grupos de indivíduos com escoliose.
Annetts (2012) Reino Unido	Investigar as diferenças no ângulo da lombar e do pescoço quando comparamos quatro projetos de acentos de cadeiras; e considere as posturas adotadas nas quatro cadeiras em relação à postura ideal.	Observacional	n=14 Os ângulos da lombar e do pescoço foram avaliados na postura sentada em quatro projetos de acentos de cadeiras (programa Matlab).	Todas as cadeiras resultaram em um valor negativo para a região lombar, indicando que uma postura lordótica foi adotada. Todas as cadeiras resultaram em um valor positivo para o ângulo do pescoço, demonstrando uma anteriorização da posição da cabeça. Nenhuma cadeira parecia produzir consistentemente uma postura ideal em todas as regiões.
Weber (2012) Brasil	Avaliar a relação entre lordose cervical, postura de anteriorização da cabeça e posição da cabeça.	Observacional	n=80 mulheres A curvatura cervical foi mensurada pela distância horizontal da linha vertical tangente (<i>Postural Assessment Software – PAS/SAPO</i>). Três ângulos de posição da cabeça foram mensurados: flexão/extensão da cabeça, postura de anteriorização da cabeça A1 e postura de anteriorização da cabeça A2.	Houve uma correlação moderada significativa e negativa entre lordose cervical e a anteriorização da cabeça A1. Houve uma correlação moderada significativa entre lordose cervical e flexão/extensão da cabeça.
Edmondston (2011) Austrália	Examinar a mobilidade de extensão da coluna torácica; e avaliar a influência da cifose torácica no alcance de movimento da extensão torácica e na posição final de extensão alcançada.	Observacional	n=40 A mobilidade torácica foi avaliada pelo ângulo da cifose, na postura em pé, sentada, em quatro apoios e deitada (<i>ImageJ Software</i>).	O alcance de movimento sagital na postura em pé foi $20,2^\circ \pm 6,6^\circ$, sendo $8,7^\circ \pm 5,8^\circ$ para extensão e $11,5^\circ \pm 3,7^\circ$ para flexão. A média do ângulo torácico foi de $21,6^\circ \pm 5,6^\circ$. A magnitude da cifose torácica foi associada à posição do alcance final de extensão, mas não à amplitude de movimento em direção à extensão.

Milanesi (2011) Brasil	Verificar o impacto da respiração bucal durante a infância na postura corporal na idade adulta.	Observacional	n=24 grupo experimental (sujeitos com histórico de respiração bucal durante a infância) e 20 sujeitos grupo controle. A lordose cervical e lombar foram avaliadas por ângulos e distâncias; a cifose torácica foi avaliada por ângulo (<i>Postural Assessment Software – PAS/SAPO</i>).	O ângulo de lordose cervical e as medidas de distância cervical foram maiores no grupo experimental. O ângulo de lordose lombar foi menor no grupo experimental, o que significa maior lordose lombar. Não houve diferença significativa entre os grupos para a cifose torácica e distância lombar.
Pezzan (2011) Brasil	Analisar a influência do uso de sapatos de salto alto no ângulo de lordose lombar entre adolescentes que eram usuários e não usuários de sapatos de salto alto e correlacionar esses ângulos com as idades e o tempo de uso do salto alto.	Observacional	n=50 grupo usuárias (GU) e n=50 grupo não-usuárias (GNU) de sapatos de salto alto As fotografias foram tiradas com pés descalços e com sapatos de salto alto. A lordose lombar foi avaliada por ângulo (<i>Postural Assessment Software – PAS/SAPO</i>).	O GU apresentou ângulos de lordose mais baixos em comparação com o GNU. Na condição descalço, o ângulo de lordose lombar no GNU diminuiu, enquanto o GU aumentou. Na condição de salto alto, os ângulos da lordose lombar no GU aumentaram e no GNU diminuíram.
Yang (2011) Estados Unidos	Analisar a correlação entre a densidade de custos e os resultados cosméticos no tratamento cirúrgico de adolescentes com escoliose idiopática (AEI).	Observacional	n= 58 casos de AEI Avaliações: Fotografias e determinação de custos na pré-operatório e no acompanhamento. A escoliose foi avaliada por ângulos e distâncias (<i>Adobe Photoshop CS4</i>).	Em todas as variáveis fotográficas pós-operatórias mensuradas, não houve correlação estatisticamente significativa entre o aumento da densidade de custos e a mudança nas variáveis estéticas do pré-operatório para o acompanhamento.
Da Silveira (2010) Brasil	Avaliar alterações posturais baseadas na idade e sua associação com a função respiratória em crianças com respiração bucal.	Observacional	n= 17 crianças com respiração nasal e 17 crianças com respiração bucal A função pulmonar foi avaliada por espirometria. As lordoses cervical e lombar foram avaliadas por ângulo (<i>Fisiometer@3.0 Software</i>).	As crianças com respiração bucal têm hiperlordose cervical que aumentam com a idade, além da redução nos valores de espirometria. Não houve diferença na lordose lombar entre os grupos.
Iunes (2010) Brasil	Analisar a eficácia do método Klapp no tratamento da escoliose.	Ensaio clínico randomizado	n=16 pacientes com escoliose A lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar foram avaliadas por ângulos (<i>Software ALCimagem@-2000</i>) antes e após o tratamento com 20 sessões do método Klapp.	Somente o ângulo de lordose lombar sofreu modificação pós-intervenção com o método de Klapp, com tendência para sua diminuição.
Belli (2009) Brasil	Avaliar a postura corporal de crianças com asma em comparação com um grupo controle não asmático equiparados por gênero, idade, peso e estatura.	Observacional	n=30 crianças asmáticas e 30 grupo controle A lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar foram avaliadas por ângulos (<i>Software ALCimagem@-2000</i>)	Observou-se um valor de ângulo de cifose torácica significativamente menor nas crianças asmáticas. No entanto, para os outros ângulos, não foram encontradas diferenças significativas.
Chase (2009) Austrália	Determinar se uma amostra de crianças e adolescentes com constipação de trânsito lento (CTL) apresentava características musculoesqueléticas do tronco diferentes de indivíduos controles equiparadas por idade e sexo.	Observacional	n= 40 sujeitos com CTL e 40 sujeitos controles O ângulo passivo da flexão-extensão do tronco foi medido na posição deitada e inclinação do tronco à frente; a postura sentada no plano sagital foi avaliada pela medida do ângulo de flexão-extensão toracolombar (<i>Software ImageJ</i>)	Não houve diferença na mobilidade da coluna entre os dois grupos de sujeitos. O ângulo de flexão toracolombar durante a sessão foi estatisticamente maior no grupo CTL do que no grupo controle.
Iunes (2009a) Brasil	Comparar a concordância entre a avaliação postural visual e a avaliação postural através da fotogrametria computadorizada.	Observacional	n=21 Avaliações: avaliação postural visual e fotogrametria computadorizada. Na fotogrametria, a lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar foram avaliadas por ângulos (<i>Software ALCimagem@-2000</i>)	Para a lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar, não foi possível comparar a análise visual com a da fotogrametria porque não há relatos na literatura sobre os valores de normalidade das curvaturas vertebrais.

Iunes (2009) Brasil	Comparar o alinhamento da coluna cervical entre indivíduos com e sem distúrbio temporomandibular (DTM).	Observacional	n=90 (30 grupo controle, 30 com sinais e sintomas musculares de DTM e 30 com sinais e sintomas musculares de DTM e diagnósticos estabelecidos). A lordose cervical foi avaliada por ângulo (<i>Software ALCimagem@-2000</i>).	Não houve diferenças entre os três grupos em relação à lordose cervical. A presença de DTM não influenciou a postura cervical.
Penha (2009) Brasil	Caracterizar quantitativamente a postura da coluna vertebral e verificar diferenças nos aspectos posturais analisados e sua possível correlação com sexo ou idade em estudantes de escolas públicas de 7 e 8 anos na cidade de Amparo, São Paulo, Brasil.	Observacional	n=230 (115 com 7 anos e 115 com 8 anos). A cifose torácica, lordose lombar e desvio torácico lateral foram avaliados por ângulos (<i>Software CorelDraw</i>).	Apenas o grupo de meninos de 7 anos apresentou ângulos menores na lordose lombar do que nos outros grupos. Na cifose torácica, houve diferença entre as faixas etárias, as crianças de 8 anos de idade eram mais cifóticas do que as de 7 anos de idade. 88,7% das crianças apresentaram desvio torácico lateral. O lado mais comum foi para a esquerda, a localização mais frequente foi torácica e a proporção do desvio foi maior para meninos (63%) do que para meninas (45%).
Rodrigues (2009) Brasil	Medir o grau de cifose torácica em mulheres adultas idosas com e sem osteoporose espinhal e verificar a diferença entre os valores obtidos.	Observacional	n=12 (6 mulheres com osteoporose espinhal e 6 mulheres com osteopenia da coluna vertebral) A cifose torácica foi medida por ângulos (<i>Autocad-2006</i>).	O grau de cifose torácica das mulheres com osteoporose (66,8°) foi maior quando comparado aos valores das mulheres com osteopenia (53,0°).
Straker (2009) Austrália	Avaliar as relações entre as posturas sagitais da coluna cervical, torácica e lombar e a dor prolongada no pescoço / ombro, considerando o sexo.	Observacional	n=1593 adolescentes A dor foi avaliada por um questionário. Foram avaliados os ângulos cervicotorácico, lombar e do tronco em três posturas sentadas estáticas: olhar para a frente, olhar para o colo e sentar-se caído (<i>Sistema de análise de movimento Peak Motus</i>).	Houve diferença significativa entre os gêneros no ângulo cervical, lombar e do tronco. As mulheres apresentaram posturas mais eretas e lordóticas quando olhavam para a frente. Adolescentes com dor prolongada sentaram-se com mais flexão do tronco. Adolescentes com dor prolongada sentaram-se com um ângulo cervical-torácico mais flexionado, um ângulo menor do tronco e um ângulo da lordose lombar menor.
Iunes (2008) Brasil	Avaliar se a frequência de uso do salto alto tem alguma influência nas mudanças posturais e se o tipo de salto alto interfere na postura.	Observacional	n=40 (20 mulheres que usavam sapatos de salto alto todos os dias e 20 mulheres que usavam sapatos de salto alto ocasionalmente para funções sociais) Os sujeitos foram fotografados com roupa de banho e sem sapatos. A lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar foram avaliadas por ângulos (<i>Software ALCimagem@-2000</i>).	A frequência de uso e o tipo de salto alto não modificaram a postura estática em mulheres.
Smith (2008) Austrália	1) Determinar quando a avaliação fotográfica pode resultar em subgrupos semelhantes a subgrupos determinados radiograficamente e subgrupos clinicamente determinados quanto à postura sagital. 2) Explorar os perfis dos grupos quanto ao gênero, altura e peso e explorar a relação de várias variáveis da dor espinhal com grupos identificados	Observacional	n=766 adolescentes A experiência de dor nas costas foi avaliada por um questionário contendo 130 perguntas. Foi avaliado o ângulo lombar e do tronco (<i>Sistema de análise de movimento Peak Motus</i>).	Usando imagens fotográficas bidimensionais, o alinhamento sagital torácico-lombo-pélvico dos adolescentes pode ser classificado em 4 grupos: neutro, balanço, hiperlordótico e plano. Os adolescentes classificados como tendo posturas não neutras quando comparados com aqueles classificados como tendo uma postura neutra demonstraram probabilidades significativamente maiores de dor nas costas.

Yi (2008) Brasil	Investigar a relação entre a excursão do diafragma e as curvaturas da coluna vertebral nas crianças com respiração bucal.	Observacional	n=52 crianças (22 grupo respiração nasal - controle e 20 grupo respiração bucal) As imagens da excursão do diafragma foram registradas usando radiografia anteroposterior. A lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar foram avaliadas por ângulos (<i>Postural evaluation software- PAS/SAPO</i>).	Não há relação entre curvaturas espinhais e excursão do diafragma nos grupos estudados.
Min (2007) Suíça	Descrever o ângulo de cifose do corpo inteiro medido em fotografias clínicas pré-operatórias e sua significância no planejamento operacional.	Observacional (retrospectivamente)	n=11 pacientes submetidos à osteotomia da coluna lombar O ângulo foi medido no pré-operatório e no último acompanhamento (média de 4 anos).	A média do ângulo foi de 41° (20° a 70°) no pré-operatório e foi de 10,5° (8° a 14°) no último acompanhamento.
Straker (2007) Austrália	Testar a hipótese de que a duração do uso do computador está associada a hábitos posturais em adolescentes do sexo masculino e feminino.	Observacional	n= 884 adolescentes O uso do computador foi avaliado por questionário. Os ângulos de flexão torácica, cervico-torácico, tronco e lombar foram avaliados em três posturas sentadas: olhando para baixo, olhando para a frente e posição caída (Sistema de análise de movimento Peak Motus).	Masculino - sentado olhando para a frente: não foram observadas associações significativas entre níveis de uso do computador e posturas variáveis. Masculino - sentado olhando para baixo: significativo. Tendência linear fraca foi observada para aumento da flexão torácica com o uso do computador. Feminino - sentado olhando para frente: níveis crescentes de uso do computador associados ao aumento da lordose lombar. Feminino - sentado olhando para baixo: níveis crescentes de uso do computador associados à diminuição do ângulo lombar. Masculino e feminino - sentados caídos: aumento do uso do computador associado à diminuição do ângulo lombar, apenas no sexo feminino.
Szopa (2007) Polônia	Identificar e definir alguns padrões posturais compensatórios em crianças com paralisia cerebral (PC) em posições verticais.	Observacional	n=18 crianças com PC O ângulo de desvio do eixo mecânico da coluna em relação ao eixo anatômico e a relação da linha do fio de prumo com a prega glútea foi medida nessas posições: de pé com os dois pés e um pé (direito e esquerdo), apoio dois joelhos, apoio um joelho (direito e esquerdo) e sentada (<i>Software</i> fabricado pela INFOMED).	Dois principais padrões de postura compensatória foram distinguidos nesta base em crianças com PC: postura antigravitacional e programática. A curva lateral da coluna vertebral em ambos os tipos foi direcionada para o lado do corpo saudável, mas no tipo antigravitacional o lado saudável foi o sobrecarregado, enquanto que no tipo programático foi o lado lesionado.
Amsters (2006) Austrália	Comparar a postura de pessoas com tetraplegia de curta duração e longa duração, em uma posição estática funcional em uma cadeira de rodas.	Observacional	n=30 pessoas com tetraplegia n=30 grupo controle A cifose torácica foi avaliada na postura sentada na cadeira de rodas pelo ângulo do tórax.	A cifose torácica foi significativamente maior no grupo com tetraplegia que no grupo controle.
O'Sullivan (2006) Austrália	Examinar se existe uma relação entre a postura da coluna vertebral e a dor lombar (DL) em um subgrupo específico de trabalhadores industriais que relataram dor provocada pela flexão.	Observacional	n=21 grupo controle e 24 sujeitos com DL A DL foi avaliada por questionário. A lordose lombar foi medida por ângulo. Posições: sentado naturalmente e posturas sentadas máximas, posição ereta natural e posturas de balanço máximo, posturas de levantamento e flexão lombar máxima (<i>Software</i> de análise de imagem Scion).	Não houve diferença entre os dois grupos ao comparar os ângulos de flexão lombar "habituais", em pé e durante elevação. Ao comparar a diferença de ângulo lombar entre o sentar naturalmente e o sentar máximo, o grupo DL sentou-se significativamente mais perto do final da flexão lombar na postura sentada naturalmente.

Milosavljevic (2005) Nova Zelândia	Determinar se as características adaptativas da postura e movimento foram evidentes na coluna torácica e lombar, bem como nos quadris de tosquiadores; determinar se as alterações adaptativas observadas foram associadas à dor lombar (DL) atual ou anterior.	Observacional	n=64 tosquiadores e 64 não tosquiadores A lordose lombar foi determinada pela alteração angular do fio e foi expressa em radianos por metro (rad / m). Foram analisadas três posições: flexão, postura normal, extensão (programa CAD).	A extensão lombar para tosquiadores (9,88) foi significativamente menor do que para não tosquiadores (14,08). A flexão lombar não houve diferenças significativas entre os grupos. A curvatura torácica inferior para tosquiadores (2,14) foi significativamente menor do que para não tosquiadores (2,48). As comparações tanto da lordose lombar quanto da cifose torácica superior não demonstraram diferenças significativas entre os dois grupos. No grupo não tosquiadores, os participantes com DL anterior reduziram significativamente a extensão lombar e a flexão lombar. Tosquiadores com DL anterior não demonstraram qualquer redução significativa de qualquer uma dessas variações de movimento lombar. A extensão lombar média no grupo não tosquiadores com DL anterior ainda era maior que a do grupo de tosquiadores.
Munhoz (2005) Brasil	Investigar a relação entre os distúrbios internos da articulação temporomandibular (ATM) e os desvios da postura corporal.	Observacional	n=50 (30 indivíduos com distúrbio interno na ATM e 20 grupo controle) A lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar foram avaliadas por distâncias (<i>Software CorelDraw</i>)	Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas de postura corporal entre os grupos.
Lima (2004) Brasil	Determinar e comparar a postura de crianças com respiração obstrutiva (RO) e respiração bucal (RB) em relação às crianças com respiração nasal (RN).	Observacional	n=62 crianças (17 grupo RO, 26 grupo RB e grupo 19 RN) A lordose cervical, a cifose torácica, a lordose lombar e o desvio lateral da coluna foram avaliados por ângulos (<i>Software ALCimagem@-2000</i>).	Foram observadas alterações significativas no alinhamento cervical no grupo RO. Observaram-se mudanças significativas na cifose torácica, indicando aumento no grupo RO. Para a lordose lombar e o desvio lateral da coluna vertebral, não foram observadas alterações significativas em nenhum dos grupos.
Raine (1997) Austrália	Descrever quantitativamente a curvatura da coluna torácica no plano sagital.	Observacional	n=160 homens e mulheres assintomáticos A cifose torácica alta e baixa foi avaliada pelos ângulos tangentes em radianos/mm.	Os resultados de cifose torácica não foram demonstrados.
Christie (1995) Canadá	Avaliar as alterações posturais em pacientes com dor lombar crônica e aguda em comparação com indivíduos saudáveis, em busca de potenciais fatores de risco ou associações de dor lombar (DL).	Observacional	n=59 (39 participantes com DL e 20 grupo controle) A intensidade da dor foi registrada usando uma escala analógica visual (VAS). Os indivíduos foram divididos em dor aguda e crônica. A lordose lombar e a cifose torácica foram avaliadas por ângulos, em posições eretas e sentadas.	Posições em pé: o grupo de dor crônica teve uma lordose significativamente aumentada em comparação com o grupo controle. O grupo agudo apresentou cifose aumentada do que o grupo controle. A lordose lombar é o parâmetro mais importante na predição do grupo DL. Posições sentadas: indivíduos com dor aguda tiveram uma cifose torácica aumentada. A cifose torácica contribui para a predição do grupo DL.
Watson (1995) Irlanda	Investigar possíveis relações entre a incidência de lesões esportivas e a existência de alterações posturais em jogadores de futebol.	Observacional	n=52 jogadores de futebol (futebol, rugby, futebol gaélico) As lesões foram divididas em quatro categorias: nas costas, no joelho, no tornozelo e musculares. As avaliações da escoliose, cifose torácica e lordose lombar não foram claras.	As lesões nas costas foram associadas com cifose torácica, lordose lombar e escoliose. Os sujeitos que sofreram dois, três ou todos os tipos de lesões apresentaram escores significativamente mais baixos para a lordose do que indivíduos que sofreram menos de dois tipos de lesões.

Raine (1994) Austrália	Identificar diferenças de gênero na cifose torácica e correlacionar a cifose torácica com a posição da cabeça e do ombro.	Observacional	n=39 A curvatura torácica superior e inferior foi medida a partir do contorno da superfície da coluna torácica pelos ângulos tangentes em radianos/cm (Digitalizador GTCO).	Não houve diferença significativa entre os gêneros para a medição da curva torácica superior, porém a torácica inferior foi significativamente maior nos homens. O alinhamento da cabeça no plano sagital foi negativamente correlacionado com a curvatura torácica superior. Houve aumento da curvatura da coluna torácica superior quando a cabeça foi anteriorizada.
Mitchell (1992) África do Sul	Avaliar o ângulo de curvatura da coluna lombar em gestantes.	Observacional	n=13 gestantes A lordose lombar foi avaliada por ângulo.	O grau de curvatura da coluna lombar em gestantes foi de 33,9° ($\pm 3,6^\circ$).
Dieck (1985) Estados Unidos	Examinar a relação entre a assimetria postural e o desenvolvimento subsequente de dor de costas e pescoço.	Observacional	n=903 mulheres A dor nas costas e pescoço e os fatores de risco foram obtidos por questionário. O desvio da coluna vertebral da linha média do corpo para a mensuração da escoliose foi avaliado por ângulo.	Não houve relação entre o aumento do desvio em relação à linha média e a dor lombar subsequente.

1.4 DISCUSSÃO

Esta revisão sistemática teve como objetivo verificar a aplicabilidade da fotogrametria e identificar quais são os procedimentos matemáticos inerentes na utilização dessa técnica como meio de avaliação da postura da coluna vertebral. Existe muita semelhança quanto à aplicabilidade da fotogrametria no meio científico entre os 35 artigos incluídos. Porém, observam-se muitas diferenças nos procedimentos matemáticos empregados para a avaliação da coluna vertebral. A seguir, os artigos incluídos nessa revisão sistemática serão analisados por agrupamentos, referentes à metodologia empregada na coleta e análise dos dados com a fotogrametria: (1) tipo de estudo, (2) população avaliada, (3) região da coluna e tipo de alteração avaliada e (4) tipos de procedimentos matemáticos.

Em relação aos estudos nos quais a fotogrametria é utilizada como ferramenta de avaliação postural, apenas em um deles o estudo é do tipo ensaio clínico randomizado (IUNES *et al.*, 2010), sendo todos os outros estudos do tipo observacional. O motivo da não utilização desse instrumento em estudos do tipo ‘ensaios clínicos’ é contraditório, visto que a fotogrametria é dita como um instrumento válido e reproduzível para o acompanhamento da evolução de um tratamento, tanto na prática clínica quanto na pesquisa (IUNES *et al.*, 2010; FURLANETTO *et al.*, 2012; D’OSUALDO; SCHIERANO; CISOTTI, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Explicações para esses achados podem ser provenientes da ainda carência por softwares de livre acesso para avaliação da coluna vertebral; ou da recente utilização das fotografias digitais e dos softwares de análise para uma utilização em grandes estudos de intervenção (CARMAN; BROWNE; BIRCH, 1990). Ainda nesse sentido, a dificuldade de tratar a postura da coluna vertebral pode ser responsável por esses resultados, visto que é um segmento corporal altamente influenciado por fatores mecânicos, sociais, políticos e psicológicos (VIEIRA; SOUZA, 2006).

Como praticamente todos os estudos apresentados nessa revisão sistemática foram transversais, seus objetivos variavam quanto à população avaliada, sendo possível avaliar algumas características específicas da postura da coluna vertebral desses grupos. E para esse intuito, a fotogrametria é muito útil, pois é capaz de quantificar as variáveis morfológicas relacionadas à postura registrando transformações sutis (DUNK; LALONDE; CALLAGHAN, 2005; SMITH; O’SULLIVAN; STRAKER, 2008). Algumas populações específicas foram avaliadas com a fotogrametria, tais como adultos (EDMONDSTON *et al.*, 2011; IUNES *et al.*, 2009a; RAINE; TWOMEY, 1994; WEBER *et al.*, 2012; RAINE;

TWOMEY, 1997; DIECK *et al.*, 1985), crianças e adolescentes (PENHA; BALDINI; JOÃO, 2009; SMITH; O'SULLIVAN; STRAKER, 2008; STRAKER *et al.*, 2009; STRAKER *et al.*, 2007), gestantes (MITCHELL; NESS; WHITELOCK, 1992) e atletas (WATSON, 1995). Em alguns estudos, cuja amostra é composta por adultos, alguns utensílios (por exemplo, cadeiras e sapatos de salto alto) são empregados com intuito de verificar se existe alguma alteração na postura da coluna vertebral durante sua utilização (ANNETSS *et al.*, 2012; IUNES *et al.*, 2008; PEZZAN *et al.*, 2011).

Ainda nesse sentido, alguns estudos contemplam pacientes com diversas doenças, as quais os autores acreditam ter uma relação com a postura da coluna vertebral. Podendo ser encontrados artigos nos quais a amostra é composta por pacientes com asma (ALMEIDA *et al.*, 2013; BELLI *et al.*, 2009), com tetraplegia (AMSTERS; NITZ, 2006), com paralisia cerebral (CHENG *et al.*, 2013; SZOPA *et al.*, 2007), com disfunções na articulação temporomandibular (IUNES *et al.*, 2009; MUNHOZ *et al.*, 2005), com osteoporose e osteopenia (RODRIGUES; ROMEIRO; PATRIZZI, 2009), com dor lombar (CHRISTIE; KUMAR; WARREN, 1995; O'SULLIVAN *et al.*, 2006), com constipação de trânsito lento (CHASE *et al.*, 2009) e crianças que apresentam respiração bucal (DA SILVEIRA *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2004; MILANESI *et al.*, 2011; YI *et al.*, 2008)

No que se refere à região da coluna vertebral avaliada, tem sido documentada uma maior dificuldade na avaliação no plano sagital em comparação à avaliação no plano frontal. Isso pode ser explicado pelo fato de que no plano frontal espera-se uma simetria entre os lados direito e esquerdo, e a coluna vertebral deve ser uma linha reta (FURLANETTO *et al.*, 2012; IUNES *et al.*, 2009). Em contrapartida, no plano sagital, a coluna vertebral apresenta curvaturas fisiológicas, e as alterações caracterizam-se por um aumento ou redução da magnitude das curvaturas (SINGH; BAILEY; LEE, 2010), o que dificulta a avaliação subjetiva e visual. Na tentativa de quantificar a magnitude das curvaturas, diferentes procedimentos matemáticos têm sido propostos para avaliar as curvaturas sagitais da coluna vertebral. Possivelmente por esse motivo, cerca de 80% dos estudos encontrados na presente revisão sistemática visam avaliar a lordose cervical, a cifose torácica e a lordose lombar, enquanto que apenas oito artigos avaliam a presença de escoliose (CHENG *et al.*, 2013; SZOPA *et al.*, 2007; PENHA; BALDINI; JOÃO, 2009; FORTIN *et al.*, 2013; YANG *et al.*, 2011; WATSON, 1995; LIMA *et al.*, 2004; DIECK *et al.*, 1985).

Não obstante, a literatura ainda carece de softwares de avaliação postural que vão além da quantificação dos ângulos articulares e distâncias dos segmentos, e sim que sejam capazes

de apresentar uma classificação diagnóstica das alterações das magnitudes da coluna vertebral dos indivíduos. Para isso, valores de normalidade dos segmentos corporais precisam estar estabelecidos na literatura, porém, no que diz respeito à coluna vertebral, a literatura é controversa quanto aos valores de referencia para os ângulos das curvaturas no plano sagital na postura padrão (IUNES *et al.*, 2009).

Os protocolos de coleta de dados dos estudos que utilizam a fotogrametria como instrumento de avaliação tendem a ser muito parecidos entre os estudos, diferenciando-se, minimamente, de acordo com o objetivo de cada avaliação. Todas as metodologias são baseadas em procedimentos básicos como: (1) preparação prévia do local de coletas com localização padronizada da máquina fotográfica e do indivíduo; (2) palpação e marcação de pontos anatômicos de referências; e (3) registros fotográficos do indivíduo em determinadas posições (EDMONDSTON *et al.*, 2012; LETAFATKAR *et al.*, 2011; DUNK, LALONDE; CALLAGHAN, 2005; RAINE; TWOMEY, 1994).

Porém, em relação aos procedimentos de análises dos dados, diferentes softwares ou rotinas digitais são utilizados para a digitalização dos pontos anatômicos marcados. Do mesmo modo, são totalmente diferentes os procedimentos matemáticos inseridos nos softwares ou nas rotinas digitais (FORTIN *et al.*, 2010). Não obstante, na maior parte dos casos, os estudos não fornecem informações sobre os procedimentos matemáticos presentes nos softwares ou nas rotinas digitais que subsidiam os resultados da avaliação. Aliado a isso, tem-se ainda, o fato de que muitas vezes, o software não é disponibilizado livremente, tornando difícil a reprodução do método de avaliação em outros estudos.

Por esse motivo, ressalta-se a grande divergência de softwares e procedimentos matemáticos encontrados nessa revisão. Dentre os softwares conhecidos e validados, que foram utilizados repetidamente nos artigos selecionado estão: *ALCimagem®-2000* (LIMA *et al.*, 2004; IUNES *et al.*, 2009; IUNES *et al.*, 2008; IUNES *et al.*, 2010; IUNES *et al.*, 2009a; BELLI *et al.*, 2009), *Postural Assessment Software (PAS/SAPO)* (ALMEIDA *et al.*, 2013; MILANESI *et al.*, 2011; PEZZAN *et al.*, 2011; YI *et al.*, 2008; WEBER *et al.*, 2012), *Peak Motus Motion Analysis System* (SMITH; O'SULLIVAN; STRAKER, 2008; STRAKER *et al.*, 2009; STRAKER *et al.*, 2007), *CorelDraw* (MUNHOZ *et al.*, 2005; PENHA; BALDINI; JOÃO, 2009), *AutoCad* (CHENG *et al.*, 2013; RODRIGUES; ROMEIRO; PATRIZZI, 2009) e *Image J Software* (EDMONDSTON *et al.*, 2012; CHASE *et al.*, 2009).

Quanto às diversas rotinas matemáticas que estão inseridas nesses sistemas com objetivo de mensurar as alterações da coluna vertebral no plano frontal e sagital, para

mensuração das magnitudes da escoliose, no plano frontal, e das curvaturas anteroposteriores, no plano sagital, os valores angulares e lineares tem sido os mais utilizados. A Figura 2 ilustra algumas dessas técnicas utilizadas na avaliação das alterações da coluna vertebral.

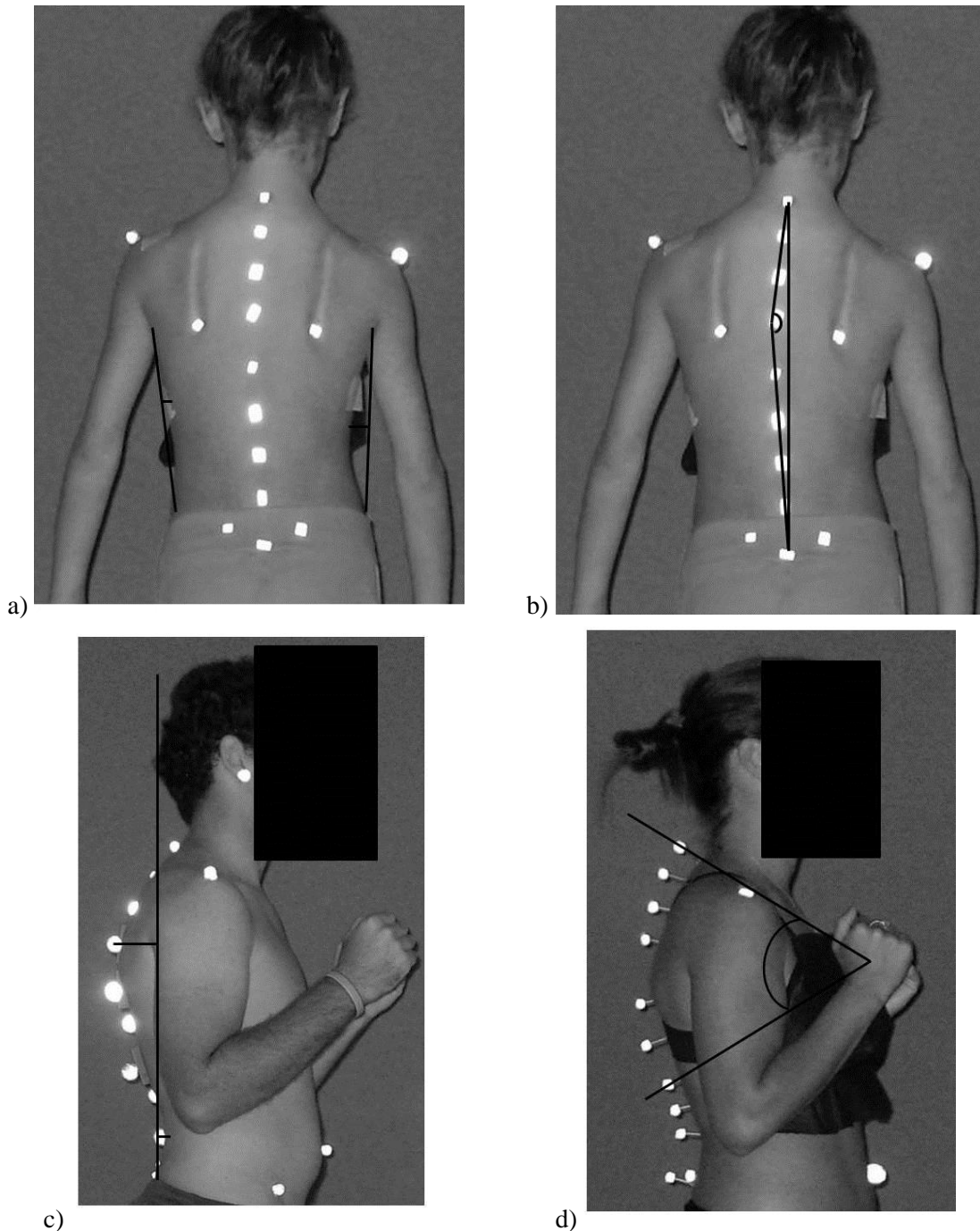


Figura 2 - Exemplos das técnicas utilizadas para medir a curvatura da coluna vertebral encontradas nos artigos que compõem essa revisão sistemática. a) valores lineares para avaliação da escoliose (YANG *et al.*, 2011); b) valores angulares para avaliação da escoliose (FORTIN *et al.*, 2013); c) valores lineares para curvaturas torácicas e lombares (MILANESI *et al.*, 2011); d) valores angulares para curvatura torácica (RODRIGUES; ROMEIRO; PATRIZZI, 2009). As imagens utilizadas são ilustrações preparadas para o presente estudo.

Os valores angulares são frequentemente utilizados, uma vez que o padrão ouro de avaliação postural utiliza um cálculo angular para mensurar o grau da escoliose e as magnitudes das curvaturas sagitais da coluna. Ou seja, nos exames de Raios-X da coluna vertebral é possível calcular o chamado ângulo Cobb, amplamente utilizado para o diagnóstico postural da coluna vertebral (MIOR *et al.*, 1996; MAC-THIONG *et al.*, 2007).

Alguns dos estudos selecionados avaliam os ângulos da escoliose através da fotogrametria de maneira semelhante ao ângulo Cobb (FORTIN *et al.*, 2013; YANG *et al.*, 2011). Entretanto, enquanto o ângulo Cobb utiliza os corpos vertebrais para a avaliação, a fotogrametria calcula a magnitude da curva através dos processos vertebrais das vértebras de interesse. Para essa avaliação, duas linhas são traçadas unindo os processos espinhosos e o ângulo entre essas linhas fornece o ângulo da curvatura (FORTIN *et al.*, 2013; YANG *et al.*, 2011).

Os valores lineares, no plano frontal, partem da afirmativa de que a coluna vertebral deve ser uma linha reta (FURLANETTO *et al.*, 2012). Assim, as metodologias calculam a alteração postural através da distancia dos pontos marcados, referentes aos processos espinhosos, quando esses se desviam da linha vertical (PENHA; BALDINI; JOÃO, 2009; YANG *et al.*, 2011; SZOPA *et al.*, 2007; DIECK *et al.*, 1985).

No plano sagital, os valores angulares são encontrados mais frequentemente que os valores lineares para avaliação das curvaturas anteroposteriores da coluna vertebral. Semelhante ao ângulo Cobb, a fotogrametria se propõe avaliar as curvaturas a partir do cálculo do ângulo formado entre dois pontos da coluna vertebral (MITCHELL; NESS; WHITELOCK, 1992; CHRISTIE; KUMAR; WARREN, 1995; RODRIGUES; ROMEIRO; PATRIZZI, 2009), porém, utiliza os processos espinhosos como referencia, enquanto que a radiografia utiliza os corpos vertebrais.

Contudo, ressalta-se que os processos espinhosos apresentam um ângulo de inclinação em relação ao corpo vertebral (GILAD; NISSAN, 1985) e que este ângulo pode interferir na obtenção do ângulo da curvatura através da fotogrametria. Assim, ressalta-se cautela ao utilizar um método semelhante ao padrão ouro nos procedimentos matemáticos dos softwares de avaliação postural, visto que o ponto anatômico palpado e utilizado com referência é totalmente diferente.

Quando os softwares de avaliação pela fotogrametria se assemelham na maneira de mensurar a magnitude das curvas, divergem em relação aos níveis vertebrais utilizados ou pontos anatômicos. Os distintos pontos marcados modificam o cálculo das curvaturas,

dificultando a comparação entre os estudos. Alguns níveis vertebrais relatados nos estudos incluídos nesta revisão sistemática, para a cifose torácica, foram entre: C7-T12 (CHRISTIE; KUMAR; WARREN, 1995), T1-T4-T8 (MILOSAVLJEVIC; MILBURN; KNOX, 2005), T4-T8-T12 (MILOSAVLJEVIC; MILBURN; KNOX, 2005) e T1-T6-T12 (EDMONDSTON *et al.*, 2011). E, para a lordose lombar foram entre T12-L5 (CHRISTIE; KUMAR; WARREN, 1995), T12 – Espinha ilíaca Antero superior (EIAS) – trocânter maior do fêmur (STRAKER *et al.*, 2009; STRAKER *et al.*, 2007; SMITH; O’SULLIVAN; STRAKER, 2008).

Além da semelhança com o cálculo do Cobb, alguns valores angulares recorrentes foram os ângulos calculados para as três curvaturas: (a) lordose cervical: união de três retas passando por occipital, C4 e C7 até uma linha vertical posterior; (b) cifose torácica: união de três retas passando por C7, T7 e T12 até uma linha vertical posterior; e (c) lordose lombar: união de três retas passando por T12, L3 e L5 até uma linha vertical posterior (IUNES *et al.*, 2010; BELLI *et al.*, 2009; IUNES *et al.*, 2009a; IUNES *et al.*, 2008; PEZZAN *et al.*, 2011). Entre essas possibilidades para mensurar as curvaturas sagitais, foram encontradas, ainda, rotinas que se baseavam em outros tipos de cálculos, tais como: tangentes do contorno das curvaturas (RAINE; TWOMEY, 1994; RAINE; TWOMEY, 1997; O’SULLIVAN *et al.*, 2006), ângulo do tronco (STRAKER *et al.*, 2009; STRAKER *et al.*, 2007; SMITH; O’SULLIVAN; STRAKER, 2008; CHENG *et al.*, 2013) e ângulo do peito (AMSTERS; NITZ, 2006).

Segundo as teorias que utilizam os valores lineares para avaliar a coluna vertebral no plano sagital, as alterações das curvaturas podem ser quantificadas pela mensuração da distância do processo espinhoso até uma linha vertical de referência, sendo que, em curvaturas retificadas há uma diminuição das distâncias e em curvaturas aumentadas há um aumento das distâncias (ZAINA *et al.*, 2009; FURLANETTO *et al.*, 2011; FURLANETTO *et al.*, 2012). Entre esses estudos, estão os estudos de Annetts *et al.* (2012), WEBER *et al.* (2012), Milanesi *et al.* (2011) e Munhoz *et al.* (2005).

Mesmo com essa vasta oferta de procedimentos matemáticos que podem ser usados na avaliação quantitativa da coluna vertebral, inseridos na fotogrametria, muitas vezes na prática clínica e na pesquisa, os profissionais da saúde e estudantes se deparam com a escassez de ferramentas que possibilitem a obtenção de uma classificação da postura do indivíduo. Ou seja, muitas vezes o resultado angular ou linear fornecido pelo software é carente de significado clínico, pois não está equiparado em relação ao padrão ouro. Assim, é necessário um cuidado na escolha do software e/ou do procedimento matemático quanto às vantagens,

limitações, público-alvo e características de utilização da fotogrametria, com intuito de facilitar a correta escolha da metodologia de avaliação para as diferentes situações, tanto na clínica, quanto na pesquisa científica.

A presente revisão sistemática mostra que a fotogrametria pode ser amplamente utilizada no ambiente de pesquisa científica, porque facilita a coleta e análise de dados detalhados, permitindo a avaliação não só da coluna vertebral, mas também de outros segmentos corporais nos planos sagital e frontal. Por outro lado, no ambiente escolar, a coleta de dados deve priorizar protocolos simplificados, facilitando assim a avaliação de grandes populações. Além disso, o software e os procedimentos matemáticos para a análise postural devem ser facilmente disponíveis, assim como PAS/SAPO e ALCimagem®-2000. No ambiente clínico, a escolha da coleta de dados fotogramétricos e do protocolo de avaliação dependerá do propósito da avaliação postural, bem como do foco investigativo do profissional de saúde, de modo que um protocolo de avaliação simplificado ou mais completo possa ser usado.

1.5 CONCLUSÃO

Foi possível observar que existe uma gama de estudos que utilizam a fotogrametria como instrumento de avaliação não invasiva da coluna vertebral, tanto para mensuração das alterações anteroposteriores, quanto laterais. No entanto, a grande maioria dos artigos selecionados foram estudos do tipo observacional, sendo apenas um do tipo experimental. Portanto, quanto à aplicabilidade da fotogrametria para o acompanhamento do tratamento postural, a literatura ainda está incipiente, carente de evidências que sustentem seu uso nesse tipo de acompanhamento.

Ainda, foi também possível observar que, embora, as metodologias de coleta dos dados utilizadas sejam semelhantes entre os estudos, em relação aos aspectos de análises dos dados, as metodologias são muito divergentes, principalmente no que diz respeito às rotinas matemáticas que subsidiam os diferentes softwares de avaliação postural. Por fim, mesmo que a fotogrametria seja uma opção viável, válida e reproduzível para a avaliação da coluna vertebral, a literatura ainda é carente de estudos que apresentem softwares cujos resultados forneçam tanto as magnitudes das curvaturas, quanto a classificação diagnóstica da postura da coluna vertebral, atestada de significado clínico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. P.; GUIMARÃES, F. S.; MOÇO, V. J. R.; MENEZES, S. L. S.; MAFORT, T. T.; LOPES, A. J. Correlation between pulmonary function, posture, and body composition in patients with asthma. **Rev Port Pneumol.** v. 19, n. 5, p. 204-210, 2013.

AMSTERS, D.; NITZ, J. The consequences of increasing age and duration of injury upon the wheelchair posture of men with tetraplegia. **Int J Rehabil Res.** v. 29, n. 4, p. 347-349, 2006.

ANNETTS, S.; COALES, P.; COLVILLE, R.; MISTRY, D.; MOLES, K.; THOMAS, B.; VAN DEURSEN, R. A pilot investigation into the effects of different office chairs on spinal angles. **Eur Spine J.** v. 21, Suppl. 2, p. S165-S170. 2012.

BELLI, J. F. C.; CHAVES, T. C.; OLIVEIRA, A. S.; GROSSI, D. B. Analysis of body posture in children with mild to moderate asthma. **Eur J Pediatr.** v. 168, p. 1207-1216, 2009.

CARMAN, D. L., BROWNE, R. H.; BIRCH, J. G. Measurement of scoliosis and kyphosis radiographs: intraobserver and interobserver variation. **J Bone Joint Surg,** v. 72, n. 3, p. 328-333, 1990.

CHASE, J. W.; STILLMAN, B. C.; GIBB, S. M.; CLARKE, M. C. C.; ROBERTSON, V. J.; CATTO-SMITH, A; *et al.* Trunk strength and mobility changes in children with slow transit constipation. **J Gastroenterol Hepatol.** v. 24, p. 1876-1884, 2009.

CHENG, H. K.; LIEN, Y.; YU, Y.; JU, Y.; PEI, Y.; CHENG, C.; WU, D. B. The effect of lower body stabilization and different writing tools on writing biomechanics in children with cerebral palsy. **Res Dev Disabil.** v. 34, p. 1152-1159, 2013.

CHRISTIE, H. J.; KUMAR, S.; WARREN, S. A. Postural Aberrations in Low Back Pain. **Arch Phys Med Rehabil.** v. 76, p. 218-224, 1995.

DA SILVEIRA, W.; MELLO, F. C.; GUIMARÃES, F. S.; MENEZES, S. L. S. Postural alterations and pulmonary function of mouth-breathing children. **Braz J Otorhinolaryngol.** v. 76, n. 6, p. 683-686, 2010.

DIECK, G. S., KELSEY, J. L., GOEL, V. K.; PANJABI, M. M.; STEPHEN, W. D.; LAPRADE, M. H. An epidemiologic study of the relationship between postural asymmetry in the teen years and subsequent back and neck pain. **Spine.** v. 10, n. 10, p. 872-877, 1985.

D'OSUALDO, F.; SCHIERANO, S.; CISOTTI, C. The evaluation of the spine through the surface: The role of surface measurements in the evaluation and treatment of spine diseases in young patients. **Eura Medicophys.** v. 38, n. 3, p. 147-152, 2002.

DOWNS, S. H.; BLACK, N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. **J Epidemiol Community Health.** v. 52, p. 377-384, 1998.

DUNK, N. M.; LALONDE, J.; CALLAGHAN, J. P. Implications for the use of postural analysis as a clinical diagnostic tool: reliability of quantifying upright standing spinal postures from photographic images. **J Manipulative Physiol Ther.** v. 28, n. 6, p. 386-392, 2005.

EDMONDSTON, S. J.; CHRISTENSEN, M. M.; KELLER, S.; STEIGEN, L. B.; BARCLAY, L. Functional radiographic analysis of thoracic spine extension motion in asymptomatic men. **J Manipulative Physiol Ther.** v. 35, n. 3, p. 203-208, 2012.

EDMONDSTON, S.; WALLER, R.; VALLIN, P.; HOLTHE, A.; NOEBAUER, A.; KING, E. Thoracic spine extension mobility in young adults: influence of subject position and spinal curvature. **J Orthop Sports Phys Ther.** v. 41, n. 4, p. 266-273, 2011.

FORTIN, C.; FELDMAN, D. E.; CHERIET, F.; GRAVEL, D.; GAUTHIER, F.; LABELLE, H. Reliability of a quantitative clinical posture assessment tool among persons with idiopathic scoliosis. **Physiotherapy.** v. 98, p. 64-75, 2012.

FORTIN, C.; FELDMAN, D. E.; CHERIET, F.; LABELLE, H. Differences in standing and sitting postures of youth with idiopathic scoliosis from quantitative analysis of digital photographs. **Phys Occup Ther Pediatr.** v. 33, n. 3, p. 313-326, 2013.

FORTIN, C.; FELDMAN, D. E.; CHERIET, F.; LABELLE, H. Validity of a quantitative clinical measurement tool of trunk posture in idiopathic scoliosis. **Spine.** v. 35, n. 19, p. E988-E994, 2010.

FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; COMERLATO, T.; LOSS, J. F. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. **Comput Methods Programs Biomed.** v. 108, p. 203-212, 2012.

GILAD, I.; NISSAN, M. Sagittal evaluation of elemental geometrical dimensions of human vertebrae. **J Anat.** v. 143, p. 115-120, 1985.

HANNA, T. What is somatics? **Somatics.** Novato Institute for Somatic Research and Training. v. 5, n. 4, p. 4-8, 1986.

HIGGINS JPT, GREEN S. **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions.** Version 5.0.2. Disponível em: <handbook.cochrane.org/v5.0.2>. Acesso em: 05 jun. 2014.

IUNES, D. H.; BEVILAQUA-GROSSI, D.; OLIVEIRA, A. S.; CASTRO, F. A.; SALGADO, H. S. Comparative analysis between visual and computerized photogrammetry postural assessment. **Braz J Phys Ther.** v. 13, n. 4, p. 308-15, 2009.

IUNES, D. H.; CARVALHO, L. C. F.; OLIVEIRA, A. S.; BEVILAQUA-GROSSI, D. Craniocervical posture analysis in patients with temporomandibular disorder. **Braz J Phys Ther.** v. 13, n. 1, p. 89-95, 2009.

IUNES, D. H.; CECÍLIO, M. B. B.; DOZZA, M. A.; ALMEIDA, P. R. Quantitative photogrammetric analysis of the Klapp method for treating idiopathic scoliosis. **Braz J Phys Ther.** v. 14, n. 2, p. 133-140, 2010.

IUNES, D. H.; MONTE-RASO, V. V.; SANTOS, C. B. A.; CASTRO, F. A.; SALGADO, H. S. Postural influence of high heels among adult women: analysis by computerized photogrammetry. **Braz J Phys Ther**. v. 12, n. 6, p. 454-459, 2008.

LEROUX, M. A.; ZABJEK, K.; SIMARD, G.; BADEAUX, J.; COILLARD, C.; RIVARD, C. A noninvasive anthropometric technique for measuring kyphosis and lordosis. **Spine**. v. 25, n. 13, p. 1689-1694, 2000.

LETAFATKAR, A.; AMIRSASAN, R.; ABDOLVAHABI, Z.; HADADNEZHAD, M. Reliability and validity of the AutoCAD software method in lumbar lordosis measurement. **J Chiropr Med**. v. 10, p. 240-247, 2011.

LIMA, L. C. O.; BARAÚNA, M. A.; SOLOGUREM, M. J. J.; CANTO, R. S. T.; GASTALDI, A. C. Postural alterations in children with mouth breathing assessed by computerized biophotogrammetry. **J Appl Oral Sci**. v. 12, n. 3, p. 232-237, 2004.

MAC-THIONG, J. M.; PINEL-GIROUX, F. M.; GUISE, J. A.; LABELLE, H. Comparison between constrained and non-constrained Cobb techniques for the assessment of thoracic kyphosis and lumbar lordosis. **Eur Spine J**. v. 16, p. 1325-1331, 2007.

MASSO, P. D.; GORTON, G. E. Quantifying changes in standing body segment alignment following spinal instrumentation and fusion in idiopathic scoliosis using an optoelectronic measurement system. **Spine**. v. 25, n. 4, p. 457-462, 2000.

MILANESI, J. M.; BORIN, G.; CORRÊA, E. C.R.; SILVA, A. M. T.; BORTOLUZZI, D. C.; SOUZA, J. A. Impact of the mouth breathing occurred during childhood in the adult age: Biophotogrammetric postural analysis. **Int J Pediatr Otorhinolaryngol**. v. 75, p. 999-1004, 2011.

MILOSAVLJEVIC, S.; MILBURN, P. D.; KNOX, B. W. The influence of occupation on lumbar sagittal motion and posture. **Ergonomics**. v. 48, n. 6, p. 657-667, 2005.

MIN, K.; HAHN, F.; LEONARDI, M. Lumbar spinal osteotomy for kyphosis in ankylosing spondylitis the significance of the whole body kyphosis angle. **J Spinal Disord Tech**. v. 20, n. 2, p. 149-153, 2007.

MITCHELL, J.; NESS, D. A new method of measuring the degree of lumbar spine curvature in pregnant women. **Physiotherapy**. v. 48, n. 4, p. 51-54, 1992.

MUNHOZ, W. C.; MARQUES, A. P.; SIQUEIRA, J. T. T. Evaluation of body posture in individuals with internal temporomandibular joint derangement. **J Craniomandibular Pract**. v. 23, n. 4, p. 269-277, 2005.

OLIVEIRA, T. S.; CANDOTTI, C. T.; LA TORRE, M.; PELINSON, P. P. T.; FURLANETTO, T. S.; KUTCHAK, F. M.; LOSS, J. F. Validity and reproducibility of the measurements obtained using the Flexicurve instrument to evaluate the angles of thoracic and lumbar curvatures of the spine in the sagittal plane. **Rehabil Res Pract**. 2012.

O'SULLIVAN, P. B.; DANKAERTS, W.; BURNETT, A. F.; GARRETH, T. F.; JEFFORD, E.; NAYLOR, C. S.; O'SULLIVAN, K. J. Effect of different upright sitting postures on spinal- pelvic curvature and trunk muscle activation in a pain-free population. **Spine**. v. 31, n. 19, p. E707-E712, 2006.

PENHA, P. J.; BALDINI, M.; JOÃO, S. M. A. Spinal postural alignment variance according to sex and age in 7-and 8-year-old children. **J Manipulative Physiol Ther**. v. 32, n. 2, p. 154-159, 2009.

PEZZAN, P. A. O.; JOÃO, S. M. A.; RIBEIRO, A. P.; MANFIO, E. F. Postural assessment of lumbar lordosis and pelvic alignment angles in adolescent users and nonusers of high-heeled shoes. **J Manipulative Physiol Ther**. v. 34, n. 9, p. 614-621, 2011.

RAINE, S.; TWOMEY, L. T. Head and shoulder posture variations in 160 asymptomatic women and men. **Arch Phys Med Rehabil**. v. 78, p. 1215-1223, 1997.

RAINE, S.; TWOMEY, L. T. Posture of the head, shoulders and thoracic spine in comfortable erect standing. **Aust J Physiother**. v. 40, n. 1, p. 25-32, 1994.

RODRIGUES, A. C. C.; ROMEIRO, C. A. P.; PATRIZZI, L. J. Evaluation of thoracic kyphosis in older adult women with osteoporosis by means of computerized biophotogrammetry. **Braz J Phys Ther**. v. 13, n. 3, p. 205-209, 2009.

SINGH, D. K.; BAILEY, M.; LEE, R. Biplanar measurement of thoracolumbar curvature in older adults using an electromagnetic tracking device. **Arch Phys Med Rehabil**. v. 91, p. 137-142, 2010.

SMITH, A.; O'SULLIVAN, P.; STRAKER, L. Classification of sagittal thoraco-lumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain. **Spine**. v. 33, n. 19, p. 2101-2107, 2008.

STRAKER, L. M.; O'SULLIVAN, P. B.; SMITH, A.; PERRY, M. Computer use and habitual spinal posture in australian adolescents. **Public Health Rep**. v. 122, p. 634-643, 2007.

STRAKER, L. M.; O'SULLIVAN, P. B.; SMITH, A. J.; PERRY, M. C. Relationships between prolonged neck/ shoulder pain and sitting spinal posture in male and female adolescents. **Man Ther**. v. 14, p. 321-329, 2009.

SZOPA, A.; DOMAGALSKA, M.; CZUPRYNA, K.; PLASZEWSKI, M. Postural consequences of muscle tone disorders in children with cerebral palsy (hemiparesis). **Fizioter**. v. 3, n. 4, p. 241-249, 2007.

VAN NIEKERK, S.; LOUW, Q.; VAUGHAN, C.; GRIMMER-SOMERS, K.; SCHREVE, K. Photographic measurement of upper-body sitting posture of high school students: A reliability and validity study. **BMC Musculoskelet Disord**. v. 9, n. 113, p. 1-11, 2008.

WATSON, A. W. Sports injuries in footballers related to defects of posture and body mechanics. **J Sports Med Phys Fitness**. v. 35, n. 4, p. 289-94, 1995.

WEBER, P.; CORRÊA, E. C. R.; MILANESI, J. M.; SOARES, J. C.; TREVISA, M. E. Craniocervical posture: cephalometric and biophotogrammetric analysis. **Braz J Oral Sci.** v. 11, n. 3, p. 416-421, 2012.

YANG, S.; JONES-QUAIDOO, S. M.; EAGER, M.; GRIFFIN, J. W.; REDDI, V.; NOVICOFF, W.; *et al.* Right adolescent idiopathic thoracic curve (Lenke 1 A and B): does cost of instrumentation and implant density improve radiographic and cosmetic parameters? **Eur Spine J.** v. 20, n. 7, p. 1039-1047, 2011.

YI, L. C.; JARDIM, J. R.; INOUE, D. P.; PIGNATARI, S. S. N. The relationship between excursion of the diaphragm and curvatures of the spinal column in mouth breathing children. **J Pediatr.** v. 84, n. 2, p. 171-177, 2008.

CAPÍTULO 2

ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA COM META-ANÁLISE

Valores de referencia para os ângulos Cobb na avaliação da coluna vertebral no plano sagital: uma revisão sistemática com meta-análise

(Reference values for Cobb angles when evaluating the spine in the sagittal plane: a systematic review meta-analysis)

RESUMO

Objetivo: Identificar os valores de referência das curvaturas da coluna vertebral no plano sagital, utilizando o ângulo Cobb em radiografias, em indivíduos saudáveis. **Desenho:** Revisão sistemática de estudos observacionais com meta-análise. **Participantes:** Crianças, adolescentes, adultos e idosos saudáveis. **Exposição:** Ângulos Cobb das curvaturas cervical, torácica e lombar. **Desfecho:** Valores de referências das curvaturas sagitais da coluna vertebral baseados no método Cobb em radiografias. **Resultados:** Inicialmente, 45 artigos foram pré-selecionados, dos quais 23 preencheram os critérios de inclusão e outros oito foram extraídos das referências, totalizando 31 artigos. Os valores de referência encontrados (intervalo de confiança de 95%) foram: para crianças, torácica (28,7°-37,9°), lombar L1-L5 (34,5°-44,8°) e lombar L1-S1 (41,7°-54,1°); para adolescentes: torácica (31,5°-39,2°), lombar L1-L5 (39,8°-45,6°) e lombar L1-S1 (51,9°-59,1°); para adultos: torácica (33,7°-40,3°), lombar L1-L5 (38,1°-45,6°), e lombar L1-S1 (54,2°-61,7°); e para idosos: torácica (37,7°-50,4°) e lombar L1-S1 (56,6°-65,9°). Para a região cervical, foi impossível estabelecer valores de referência consistentes. **Conclusão:** Foram identificados intervalos de referência precisos para as curvaturas sagitais da coluna torácica e lombar em crianças, adolescentes, adultos e idosos saudáveis, conforme avaliado por meio do método Cobb. **Palavras-chave:** Cifose; Lordose, Radiografia, Valores de referência.

ABSTRACT

Aim: To identify the reference values of the spinal curvature in the sagittal plane, as evaluated using the Cobb angle in X-rays, in healthy individuals. **Design:** Systematic review of observational studies with meta-analysis. **Participants:** Healthy children, adolescents, adults, and elderly. **Exposure:** Cobb angles for the cervical, thoracic and lumbar curvatures. **Outcome measures:** Reference values of the sagittal curves of the spine based on the use Cobb method in X-rays. **Results:** Initially, 45 articles were pre-selected, of which 23 fulfilled the inclusion criteria, and another eight were extracted from the references, totaling 31 articles. The reference values found (confidence interval 95%) were: for the children, thoracic (28.7°-37.9°), lumbar L1-L5 (34.5°-44.8°), and lumbar L1-S1 (41.7°-54.1°); for the adolescents: thoracic (31.5°-39.2°), lumbar L1-L5 (39.8°-45.6°), and lumbar L1-S1 (51.9°-59.1°); for the adults: thoracic (33.7°-40.3°), lumbar L1-L5 (38.1°-45.6°), and lumbar L1-S1

(54.2°-61.7°); and for the elderly: thoracic (37.7°-50.4°), and lumbar L1-S1 (56.6°-65.9°). For the cervical region, it was impossible to establish consistent reference values. **Conclusion:** Precise reference intervals were identified for the sagittal curvatures of the thoracic and lumbar spine in healthy children, adolescents, adults and elderly, as evaluated by means of the Cobb method.

Keywords: Kyphosis; Lordosis; Radiograph; Reference Values

2.1 INTRODUÇÃO

Em condições fisiológicas, ou seja, em indivíduos “normais”, sem qualquer disfunção musculoesquelética, a coluna vertebral, no plano sagital, é formada por sucessivas convexidades opostas: lordose lombar, cifose torácica e lordose cervical (PERRIMAN *et al.*, 2010). As magnitudes dessas curvas variam de indivíduo para indivíduo, no entanto, a manutenção da postura ortostática deve ser resultado de um equilíbrio entre forças musculares e cargas externas (SINGH; BAILEY; LEE, 2010). Uma curvatura acentuada pode causar protusões do disco intervertebral enquanto uma coluna excessivamente retificada pode levar a uma sobrecarga nas facetas articulares (SINGH; BAILEY; LEE, 2010). Assim, é desejável que as curvaturas não sejam excessivas, tampouco retificadas, devendo estar dentro de uma faixa de normalidade. Baseada em valores que quantifiquem o desvio e sua progressão (por exemplo, um aumento excessivo das curvaturas da coluna), procedimentos quantitativos de avaliação postural são utilizados para identificar alterações sutis na curvatura da coluna vertebral ou acompanhar o tratamento (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A mensuração das curvaturas sagitais da coluna vertebral pode ser realizada por meio de diferentes metodologias invasivas e não invasivas de avaliação postural. O padrão ouro para essas avaliações no plano sagital são os exames de Raios-X látero-lateral (ZAINA *et al.*, 2012), nos quais são realizados os cálculos dos ângulos Cobb, representados pelo cruzamento de linhas que tangenciam os corpos vertebrais cranial e caudal que representam os limites da curvatura de interesse (BRIGGS *et al.*, 2007; GOH *et al.*, 2000).

No que se refere aos limites de normalidade, a literatura é bastante divergente. Por exemplo, na coluna lombar, a faixa considerada de normalidade pode ir de 26° a 58° de ângulo Cobb (PROSPST-PROCTOR; BLAC, 1983), ou de 13° a 78° de ângulo Cobb (BERNHARDT; BRIDWELL, 1989). Assim, o diagnóstico das curvaturas dos indivíduos apresenta uma grande faixa de valores que classificam a normalidade das curvaturas, podendo chegar a mais de 60° de variação (BRIGGS *et al.*, 2007; CHAISE *et al.*, 2011; GOH *et al.*,

2000; OLIVEIRA *et al.*, 2012; ZAINA *et al.*, 2012). Este amplo espectro pode dificultar um diagnóstico seguro e objetivo (ZUBOVIC *et al.*, 2008).

Cabe salientar que este amplo espectro dos valores da curvatura é fruto da variabilidade do ser humano, sendo ainda dependente, por exemplo, da faixa etária e dos corpos vertebrais levados em consideração para o cálculo da curvatura. Ao nosso conhecimento, nenhuma tentativa de agrupar valores de normalidade, oriundos de diversos estudos separados, foi localizada. Neste sentido uma meta-análise poderia ajudar a sintetizar de forma objetiva resultados dispersos existentes na literatura. Portanto, com base em uma revisão sistemática com meta-análise, o objetivo desse estudo foi identificar os valores de referência das curvaturas da coluna vertebral no plano sagital, utilizando o ângulo Cobb em radiografias, em indivíduos saudáveis.

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS ESTUDOS

O estudo consistiu em uma revisão sistemática com meta-análise de estudos observacionais que apresentassem valores de referência da normalidade das curvaturas sagitais da coluna vertebral, com a utilização do método Cobb em radiografias. A metodologia desta revisão sistemática seguiu as recomendações propostas pelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)* (MOHER *et al.*, 2009). O Projeto foi registrado no PROSPERO do *Centre for Reviews and Dissemination* da *University of York* (<http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>), sob o número CRD42015025691.

Foi realizada por dois avaliadores independentes e de forma duplicada uma busca sistemática de artigos científicos nas bases de dados MEDLINE (acessadas pelo Pub MED) Scopus, Science e LILACS (acessada pelo Bireme) no mês de agosto de 2015. A Tabela 1 ilustra a estratégia completa de busca realizada na base de dados PubMed. Não foi feita restrição de ano de publicação na busca em nenhuma das bases de dados.

Os critérios de inclusão foram estabelecidos pelo modelo PICO, sendo definido o “P” (*Patient, Population, or Problem*) como crianças e adultos; o “I” (*Intervention, Prognostic Factor, or Exposure*) como avaliação das curvaturas sagitais com base no método Cobb em radiografias; o “C” (*Comparison or Intervention*) não se adequa a essa revisão; e o “O”

(*Outcome*) como valores de normalidade das curvaturas sagitais da coluna vertebral cervical, torácica e lombar.

Assim, os critérios de inclusão foram artigos que: 1) avaliaram a coluna vertebral utilizando o método Cobb de duas ou quatro linhas; 2) avaliaram as curvaturas sagitais da coluna vertebral (cervical, torácica e lombar); e 3) apresentaram valores de referência dessas curvaturas. Os critérios de exclusão foram artigos que: 1) realizaram revisões de literatura; e 2) avaliaram populações não saudáveis, com patologias específicas. Ainda como critério de elegibilidade os artigos selecionados foram escritos nos idiomas inglês, espanhol e português.

Tabela 1 - Estratégia de busca utilizada no PubMed*.

#1	<i>"Lordosis"[Mesh] OR "Kyphosis"[Mesh] OR "Kyphoses" OR "Spinal Curvatures" OR "Sagittal Curvatures" OR "Spine Curvatures" OR "Cervical" OR "Thoracic" OR "Lumbar"</i>
#2	<i>"Radiography"[Mesh] OR "Radiology, Diagnostic X Ray" OR "Radiology, Diagnostic X-Ray" OR "Diagnostic X Ray Radiology" OR "Diagnostic X-Ray Radiology" OR "X Ray Radiology, Diagnostic" OR "X-Ray Radiology, Diagnostic" OR "Roentgenography" OR "X Ray, Diagnostic" OR "X-Ray, Diagnostic" OR "X-Rays, Diagnostic" OR "Diagnostic X-Rays" OR "Diagnostic X Ray" OR "Diagnostic X-Ray" OR "X rays" OR "X ray" OR "X-ray" OR "X-rays" OR "Radiologic" OR "Radiographs" OR "Radiographic" OR "Cobb"</i>
#3	<i>"Reference Values"[Mesh] OR "Reference Value" OR "Values, Reference" OR "Value, Reference" OR "Range, Reference" OR "Reference Ranges" OR "Values, Normal" OR "Value, Normal" OR "Normal Value" OR "Normal Values" OR "Ranges, Normal" OR "Range, Normal" OR "Normal Ranges" OR "Normal Range"</i>
#4	<i>#1 AND #2 AND #3</i>

*A busca foi realizada através do título/resumo/palavras-chave dos estudos.

Os títulos e resumos dos artigos identificados pela estratégia de busca foram avaliados de forma independente e duplicada por dois investigadores (T.S.F e J.A.S). Os artigos em que os resumos não continham informações suficientes sobre os critérios de inclusão e exclusão foram selecionados para avaliação completa do artigo. Na segunda etapa, os mesmos investigadores, de maneira independente e duplicada, avaliaram os artigos completos e fizeram a seleção de acordo com os critérios de elegibilidade. Desacordos entre os investigadores foram resolvidos por consenso, e, em casos de persistência do desacordo, a avaliação era feita por um terceiro investigador (C.T.C.). Além disso, buscaram-se as referências de estudos publicados com o objetivo de encontrar artigos não localizados na busca eletrônica.

2.2.2 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS

Dois investigadores (T.S.F. e J.A.S.) conduziram, de forma independente e duplicada, a extração dos dados referente às características metodológicas e resultados dos estudos e a avaliação do risco de viés; as discordâncias foram resolvidas por consenso ou por um terceiro investigador (C.T.C.). Os seguintes dados foram extraídos utilizando um formulário padrão: região da coluna vertebral avaliada, nível vertebral utilizado para cálculo do ângulo Cobb, população avaliada e resultados dos valores de normalidade das curvaturas.

Os estudos que preencheram os critérios de inclusão foram avaliados em relação ao risco de viés utilizando a *Guidelines for Critically Appraising Studies*, que consiste em uma lista de verificação de oito critérios que podem ser respondidos "sim", "não" ou "impossível de determinar" (LONEY *et al.*, 1998). Esta lista de verificação foi desenvolvida e validada para avaliar criticamente os artigos que estimam a prevalência ou a incidência de uma doença ou problema de saúde (LONEY *et al.*, 1998). Os critérios investigam três áreas principais: (1) validade interna (desenho, quadro de amostragem, tamanho da amostra, medidas de resultado, medição e taxa de resposta), (2) interpretação dos resultados e (3) aplicabilidade dos achados. O risco de viés dos artigos é apresentado de acordo com o número total de critérios classificados como "sim" em cada artigo. Cada critério recebeu um ponto e cada estudo marcado um total de oito (DAVOREN *et al.*, 2016).

2.2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Para a melhor organização dos dados extraídos, visando a meta-análise, os estudos foram agrupados de acordo com a população avaliada: crianças (menos de 12 anos), adolescentes (entre 12 e 17 anos), adultos (entre 18 e 59 anos) e idosos (60 anos ou mais). Além disso, na curvatura lombar, os estudos foram agrupados de acordo com o nível vertebral utilizado na avaliação do ângulo Cobb: entre as vértebras L1-L5 e entre as vértebras L1-S1. Essa divisão por níveis vertebrais na coluna lombar ocorreu pois os ângulos Cobb calculados com base em uma vértebra sacral apresentam uma discrepância muito grande daqueles calculados com base apenas em vértebras lombares. A grande inclinação do sacro em relação às vertebbras lombares é a principal responsável por esta discrepância (MARTY *et al.*, 2002). Assim, os grupos foram: 1) Cervical Crianças, 2) Cervical Adolescentes, 3) Cervical Adultos, 4) Cervical Idosos, 5) Torácica Crianças, 6) Torácica Adolescentes, 7) Torácica Adultos, 8)

Torácica Idosos, 9) Lombar Crianças L1-L5, 10) Lombar Crianças L1-S1, 11) Lombar Adolescentes L1-L5, 12) Lombar Adolescentes L1-S1, 13) Lombar Adultos L1-L5, 14) Lombar Adultos L1-S1, 15) Lombar Idosos L1-L5 e 16) Lombar Idosos L1-S1.

A meta-análise foi realizada utilizando o *software* comercial *Comprehensive Meta-Analysis* (CMA, www.metaanalysis.com). Os estudos foram agrupados de acordo com a população avaliada e, na curvatura lombar, de acordo com os níveis vertebrais utilizados para a avaliação dos valores de Cobb das curvaturas sagitais da coluna vertebral. As médias e os intervalos de confiança de 95% (IC) foram calculados para os ângulos das curvaturas cervical, torácica e lombar com modelos de efeito aleatório para as diferentes populações. O teste Z foi utilizado para testar a significância estatística da média e do intervalo de confiança para as curvaturas analisadas. O valor de significância adotado foi 0,05.

A heterogeneidade estatística das médias das curvaturas entre os estudos foi avaliada pelo teste Q de Cochran e teste de inconsistência I^2 . Interpretativamente, um valor de I^2 próximo a 0% indica não heterogeneidade entre os estudos, próximo a 25% indica baixa heterogeneidade, próximo a 50% indica heterogeneidade moderada e próximo a 75% indica alta heterogeneidade entre os estudos (HIGGINS; THOMPSON, 2002; HIGGINS *et al.*, 2003).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 FLUXOGRAMA DOS ESTUDOS

Das 1785 citações potencialmente relevantes recuperadas das bases de dados eletrônicas e buscas nas listas de referência, 31 atendiam os critérios de inclusão (Figura 1).

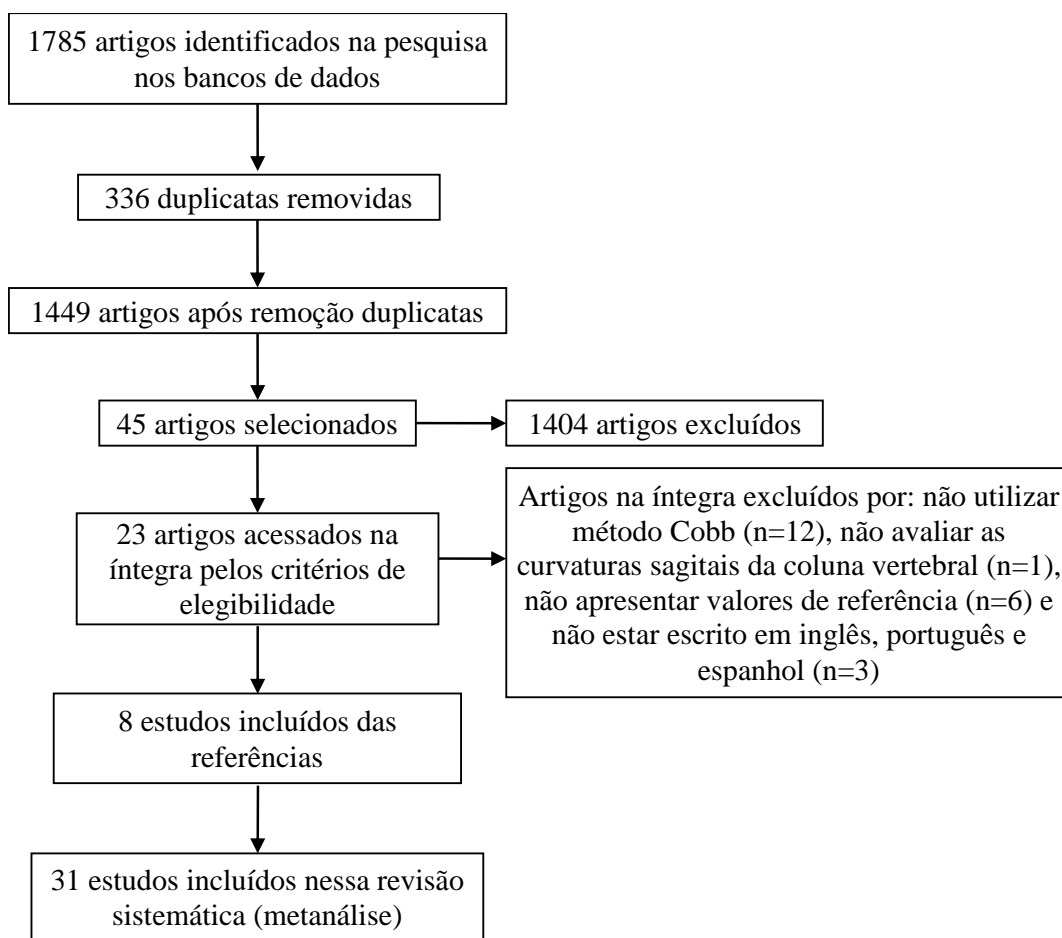


Figura 1 - Fluxograma dos estudos incluídos.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS

A Tabela 2 resume as principais características dos estudos incluídos: idade, número de indivíduos e protocolos para o exame de raios-X e o cálculo do ângulo Cobb. Em relação à idade, a maioria dos estudos avaliaram adultos jovens, enquanto que a população menos avaliada foi a de idosos. A boa reprodutibilidade método Cobb duas e quatro linhas foi confirmada na maioria dos estudos analisados.

Tabela 2 - Características dos estudos incluídos: idade, número de indivíduos e protocolos para o exame de Raios-X e cálculo do ângulo Cobb.

Primeiro autor (ano)	Idade* (anos)	Nº sujeitos	Raios-X	Ângulo Cobb
Le Huec (2015)	38,0 (18-76)	106	Ortostase, olhando para a frente e as pontas dos dedos nas clavículas	Digital, dois avaliadores, excelente reprodutibilidade
Zhu (2013)	34,3±12,6	260	Ortostase, braços na horizontal e apoiado em um suporte	Digital, excelente reprodutibilidade
Endo (2012)	31,5±7,4	50	Ortostase, mão na frente do tronco	Digital, dois avaliadores, excelente reprodutibilidade
Lee (2012)	11,7±4,4	181	Ortostase, braços a 90°	Digital, boa reprodutibilidade
Yukawa (2012)	20-70	1230	Ortostase, olhando para frente	Digital, avaliador experiente
Chanplakorn (2011)	33,3±6,8	100	Ortostase, mãos atrás do pescoço	Manual, dois avaliadores, excelente reprodutibilidade
Lee (2011)	28,19	86	Ortostase, braços na horizontal e apoiado em um suporte	Manual (transportador e régua), dois avaliadores, boa reprodutibilidade
Janssen (2009)	26,5	60	Ortostase, olhando para frente, braços a 45°	Automático após a reconstrução digital 3D das vértebras, excelente reprodutibilidade
Gonçalves (2008)	15,8±1,4	22	Ortostase, olhando para frente	Manual
Champaign (2006)	43±10,5	60	Não explicado	Digital, dois avaliadores, boa reprodutibilidade
Damasceno (2006)	29,0±8,24	350	Ortostase, braços apoiados em um suporte	Manual, dois avaliadores, boa reprodutibilidade
Cil (2005)	3-15	151	Ortostase, braços a 30°	Digital, mesmo avaliador, boa reprodutibilidade
Vialle (2005)	35,4±12	300	Ortostase, ombros fletido a 45° e apoiado em um suporte	Digital, três avaliadores
Hammerberg (2003)	76,3±4,1	50	Ortostase, braços na horizontal e apoiado em um suporte	Baixo erro inter-avaliador
Boseker (2000)	5-19	121	Ortostase, braços na horizontal e apoiado em um suporte	Avaliador experiente
Korovessis (1999)	20-79	120	Ortostase, braços na horizontal e apoiado em um suporte	Dois avaliadores, excelente reprodutibilidade
Chernukha (1998)	1-30	199	Posição supinada horizontal	Três avaliadores, boa reprodutibilidade
Jackson (1998)	39,4±9,45	50	Ortostase, braços abaixo do nível do peito a apoiados em um suporte	Digital, dois avaliadores, boa reprodutibilidade
Korovessis (1998)	52,7±15	99	Ortostase, braços na horizontal e apoiado em um suporte	Dois avaliadores, forte concordância
Vedantam (1998)	13±8	88	Ortostase, braços a 60°	Dois avaliadores, baixo erro entre as avaliações
Hardacker (1997)	38,5±9,3	100	Ortostase, olhando para frente, flexão de ombros e apoio em um suporte	Único avaliador
Troyanovich (1997)	27,1±8	50	Ortostase, mãos em cima da cabeça	Manual, boa reprodutibilidade
Kasai (1996)	1-18	360	Não explicado	Não explicado
Gelb (1995)	57±11	100	Ortostase, braços na horizontal	Um ou dois avaliadores, baixo erro entre as avaliações
Lin (1992)	50	149	Posição reclinada com quadril em 45° de flexão	Único avaliador
Wright (1991)	12	112	Ortostase	Único avaliador
Singer (1990)	15-93	286	Ortostase	Manual e digital
Bernhardt (1989)	12,8	102	Ortostase, braços na horizontal e apoiado em um suporte	Não explicado
Voutsinas (1986)	5-20	670	Ortostase, flexão de ombros e apoio em um suporte	Único avaliador, boa reprodutibilidade
Propst-Proctor (1983)	2-19	104	Ortostase, braços a 90°	Manual
Fon (1980)	30,63 (6-75)	316	Ortostase, braços na horizontal	Manual, boa reprodutibilidade

*Idade está descrita como apresentada nos estudos: média; média ± desvio padrão; média (mínimo-máximo); ou mínimo-máximo.

A Tabela 3 mostra os valores de referência (em graus Cobb) das curvaturas sagitais da coluna vertebral. Poucos estudos avaliaram a curvatura cervical, sendo que na população de crianças e adolescentes apenas um estudo foi incluído (KASAI *et al.*, 1996), portanto, não foi considerado na meta-análise. A curvatura lombar da população de idosos foi avaliada apenas

utilizando os níveis vertebrais de L1-S1, portanto, o nível vertebral de L1-L5 em idosos não foi utilizado na meta-análise. Em geral os ângulos Cobb calculados com base em uma vértebra sacral (L1-S1) são maiores que aqueles calculados com base apenas em vértebras lombares (L1-L5). Esta questão é evidenciada nos estudos de Champain *et al.* (2006) e Damasceno *et al.* (2006) que analisaram a mesma amostra com ambos os níveis vertebrais (Tabela 3).

2.3.3 RISCO DE VIÉS NOS ESTUDOS INCLUÍDOS

Na avaliação do risco de viés (Tabela 4), os critérios que envolvem as questões sobre medição (critério 4) e intervalos de confiança (critério 7) foram contemplados por todos os estudos incluídos. Em 28 estudos (90,3%) a taxa de resposta foi adequada (critério 6); em 26 estudos (83,9%) não houve avaliadores imparciais (critério 5); e 25 estudos (80,6%) apresentaram descrição detalhada dos sujeitos (critério 8). Apenas 13 estudos (40,3%) apresentou quadro de amostragem imparcial (critério 2) e apenas dois estudos (6,4%) apresentaram amostra aleatória (critério 1). Nenhum estudo pontuou no terceiro critério da escala (tamanho amostral), por não apresentar cálculo amostral ou justificativa para a amostra.

Tabela 4 - Avaliação do risco de viés utilizando os critérios da *Guidelines for Critically Appraising Studies*.

Primeiro autor (ano)	Critérios da <i>Guidelines for Critically Appraising Studies</i>								Total (Nº de ✓)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Le Huec (2015)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Zhu (2013)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Endo (2012)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Lee (2012)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Yukawa (2012)	X	X	X	✓	?	✓	✓	✓	4
Chanplakorn (2011)	X	X	X	✓	✓	?	✓	✓	4
Lee (2011)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Janssen (2009)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Gonçalves (2008)	X	X	X	✓	?	✓	✓	✓	4
Champain (2006)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X	4
Damasceno (2006)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Cil (2005)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Vialle (2005)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Hammerberg (2003)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Boseker (2000)	X	✓	X	✓	?	✓	✓	✓	5
Korovessis (1999)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Chernukha (1998)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Jackson (1998)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Korovessis (1998)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Vedantam (1998)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Hardacker (1997)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Troyanovich (1997)	X	?	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Kasai (1996)	✓	X	X	✓	✓	?	✓	X	4
Gelb (1995)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	5
Lin (1992)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Wright (1991)	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X	4
Singer (1990)	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	6
Bernhardt (1989)	X	✓	X	✓	?	?	✓	?	3
Voutsinas (1986)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6
Propst-Proctor (1983)	X	✓	X	✓	?	✓	✓	X	4
Fon (1980)	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	6

Crêterios: 1) O desenho do estudo e amostra são adequados para o problema de pesquisa? 2) A amostra   adequada? 3) O tamanho da amostra   adequado? 4) Os cr terios para a avalia o dos resultados de saúde são objetivos, adequados e padronizados? 5) O resultado de saúde avaliado foi de forma imparcial? 6) A taxa de resposta   adequada? Foram descritos os excluídos? 7) As estimativas de prevalência ou incidência foram dadas com intervalos de confiança e em detalhe por subgrupo, se for o caso? 8) Os sujeitos do estudo e o cenário descrito em detalhes são semelhantes aos de seu interesse? Respostas:  =Sim; X=N o;?=Imposs vel determinar.

2.3.4 META-ANÁLISE

A meta-análise da popula o de crianças forneceu o resultado da média da literatura referente ao valor de Cobb das curvaturas torácica e lombar e os IC de 95% (Tabela 5). Todas as meta-análises realizadas para as curvaturas sagitais não apresentaram heterogeneidade. Na coluna torácica, o valor z encontrado foi 14,182 ($p<0,001$), enquanto que para coluna lombar, os valores z foram 15,068 ($p<0,001$) e 15,237 ($p<0,001$), demonstrando que as médias e os intervalos de confiança dos valores de referência de normalidade para ambas as curvaturas tem significância estatística na popula o de crianças.

Tabela 5 - Meta-análise para os valores de referência das curvaturas torácica e lombar na popula o de crianças.

Curvatura	Primeiro autor (ano)	Amostra	Estatística para cada estudo						Valor z	Valor p
			Média	Desvio Padrão	Variância	Limite inferior	Limite superior			
Torácica	Lee (2012)	99	31,7	9	0,818	29,9	33,5	35,046	<0,001	
	Cil (2005)	120	46	10,8	0,972	44,1	47,9	46,658	<0,001	
	Boseker (2000)	121	33	10,6	0,929	31,1	34,9	34,245	<0,001	
	Bernhardt (1989)	102	36	10	0,980	34,1	37,9	36,358	<0,001	
	Voutsinas (1986)	670	37,1	7,5	0,084	36,5	37,7	128,041	<0,001	
	Propst-Proctor (1983)	104	27	10,6	1,080	25,0	29,0	25,976	<0,001	
	Fon (1980)	49	22,3	7,8	1,242	20,1	24,5	20,013	<0,001	
			33,3	2,4	5,522	28,7	37,9	14,182	<0,001	
Heterogeneidade: $Tau^2=0,000$; $Q=2,075$, $df=6$ ($p=0,557$); $I^2=0,000\%$										
Lombar (L1-L5)	Wright (1991)	112	35	10	0,893	33,1	36,9	37,041	<0,001	
	Bernhardt (1989)	102	44	12	1,412	41,7	46,3	37,032	<0,001	
	Propst-Proctor (1983)	104	40	11	1,163	37,9	42,1	37,084	<0,001	
			39,6	2,6	6,917	34,5	44,8	15,068	<0,001	
Heterogeneidade: $Tau^2=0,000$; $Q=0,661$, $df=2$ ($p=0,882$); $I^2=0,000\%$										
Lombar (L1-S1)	Lee (2012)	99	48	10,5	1,114	45,9	50,1	45,485	<0,001	
	Cil (2005)	120	50,1	10,8	0,972	48,2	52,0	50,816	<0,001	
	Chernukha (1998)	51	39	8,6	1,450	36,6	41,4	32,386	<0,001	
	Voutsinas (1986)	670	54,2	10,2	0,155	53,4	55,0	137,542	<0,001	
			47,9	3,1	9,9	41,7	54,1	15,237	<0,001	
Heterogeneidade: $Tau^2=0,000$; $Q=2,155$, $df=3$ ($p=0,827$); $I^2=0,000\%$										

A meta-análise da popula o de adolescentes forneceu o resultado da média da literatura referente ao valor de Cobb das curvaturas torácica e lombar e os IC de 95% (Tabela 6). Nenhuma das meta-análises realizadas para as curvaturas apresentaram heterogeneidade. Na coluna torácica, o valor z encontrado foi 18,132 ($p<0,001$), enquanto que para coluna lombar, os valores z foram 28,820 ($p<0,001$) e 30,318 ($p<0,001$), demonstrando que as

médias e os intervalos de confiança dos valores de referência de normalidade para ambas as curvaturas tem significância estatística na população de adolescentes.

Tabela 6 - Meta-análise para os valores de referência das curvaturas torácica e lombar na população de adolescentes.

Curvatura	Primeiro autor (ano)	Amostra	Estatística para cada estudo						Valor z	Valor p
			Média	Desvio Padrão	Variância	Limite inferior	Limite superior			
Torácica	Lee (2012)	82	34,9	9,4	1,078	32,9	36,9	33,621	<0,001	
	Cil (2005)	31	53,3	9,1	2,671	50,1	56,5	32,611	<0,001	
	Boseker (2000)	121	33	10,6	0,929	31,1	34,9	34,245	<0,001	
	Vedantam (1998)	88	38	10	1,136	35,9	40,1	35,647	<0,001	
	Singer (1990)	13	33,2	6,8	3,557	29,5	36,9	17,604	<0,001	
	Bernhardt (1989)	102	36	10	0,980	34,1	37,9	36,358	<0,001	
	Voutsinas (1986)	670	38	8,1	0,098	37,4	38,7	121,433	<0,001	
	Propst-Proctor (1983)	104	27	10,6	1,080	25,0	29,0	25,976	<0,001	
	Fon (1980)	49	25,5	7,8	1,217	23,3	27,7	23,117	<0,001	
			35,4	1,9	3,806	31,5	39,2	18,132	<0,001	
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=3,678, df=8 (p=0,349); I ² =0,000%										
Lombar (L1-L5)	Gonçalves (2008)	22	44,4	6,9	2,164	41,5	47,3	30,182	<0,001	
	Bernhardt (1989)	102	44	12	1,412	41,7	46,3	37,032	<0,001	
	Propst-Proctor (1983)	104	40	11	1,163	37,9	42,1	37,084	<0,001	
			42,7	1,5	2,196	39,8	45,6	28,820	<0,001	
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=4,786, df=2 (p=0,912); I ² =0,000%										
Lombar (L1-S1)	Lee (2012)	82	49,6	9,9	1,195	47,5	51,7	45,368	<0,001	
	Gonçalves (2008)	22	57,5	6,1	1,691	51,9	59,1	44,213	<0,001	
	Cil (2005)	31	54,6	9,8	3,098	51,2	58,1	31,020	<0,001	
	Chernukha (1998)	108	51,1	8,8	0,717	49,4	52,8	60,346	<0,001	
	Voutsinas (1986)	670	56,4	8,7	0,113	55,7	57,1	167,802	<0,001	
	Vedantam (1998)	88	64	10	1,136	61,9	66,1	60,037	<0,001	
			55,5	1,8	3,355	51,9	59,1	30,318	<0,001	
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=2,212, df=5 (p=0,697); I ² =0,000%										

A meta-análise da população de adultos forneceu o resultado da média da literatura referente ao valor de Cobb das curvaturas cervical, torácica e lombar e os IC de 95% (Tabela 7). Nenhuma das meta-análises apresentaram heterogeneidade. Na curvatura cervical, o valor z foi 2,519 (p=0,012) e na coluna torácica, o valor z encontrado foi 22,144 (p<0,001). Enquanto que para coluna lombar, os valores z foram 21,842 (p<0,001) e 30,230 (p<0,001), demonstrando que as médias e os intervalos de confiança dos valores de referência de normalidade para as curvaturas tem significância estatística na população de adultos.

Tabela 7 - Meta-análise para os valores de referência das curvaturas cervical, torácica e lombar na população de adultos.

Curvatura	Primeiro autor (ano)	Amostra	Estatística para cada estudo					Valor z	Valor p
			Média	Desvio Padrão	Variância	Limite inferior	Limite superior		
Cervical	Le Huec (2015)	106	4,9	12,8	1,546	2,5	7,3	3,941	<0,001
	Yukawa (2012)	1230	11,5	11,3	0,104	10,9	12,1	35,692	<0,001
			8,3	3,3	10,878	1,9	14,8	2,519	0,012
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=0,257, df=1 (p=0,612); I ² =0,000%									
Torácica	Zhu (2013)	260	27,8	11,4	0,500	26,4	29,2	39,321	<0,001
	Lee (2011)	86	32	9,2	0,984	30,1	33,9	32,256	<0,001
	Janssen (2009)	60	36	8,9	1,320	33,7	38,3	31,332	<0,001
	Champaign (2006)	60	42,5	18,4	5,643	37,8	47,2	17,891	<0,001
	Vialle (2005)	300	40,6	10	0,333	39,5	41,7	70,321	<0,001
	Korovessis (1999)	80	36,5	9	1,013	34,5	38,5	36,274	<0,001
	Jackson (1998)	50	47	9,7	1,882	44,3	49,7	34,262	<0,001
	Korovessis (1998)	99	41,8	13	1,707	39,2	44,4	31,993	<0,001
	Vedantam (1998)	100	34	10	1,000	32,0	36,0	34,000	<0,001
	Hardacker (1997)	100	49,4	10,9	1,188	47,3	51,6	45,321	<0,001
	Gelb (1995)	100	34	11	1,210	31,8	36,2	30,909	<0,001
	Singer (1990)	147	31,6	11,4	0,884	29,8	33,4	33,608	<0,001
	Bernhardt (1989)	102	36	10	0,980	34,1	37,9	36,358	<0,001
	Fon (1980)	316	28,9	8,3	0,317	29,0	31,2	53,472	<0,001
			37,0	1,7	2,794	33,7	40,3	22,144	<0,001
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=4,726, df=13 (p=0,579); I ² =0,000%									
Lombar (L1-L5)	Endo (2012)	50	33,3	11,2	2,554	30,2	36,4	20,838	<0,001
	Champaign (2006)	60	49	18	5,400	44,4	53,6	21,086	<0,001
	Damasceno (2006)	350	45,1	10,8	0,333	44,0	46,2	78,124	<0,001
	Vialle (2005)	300	43	11,2	0,418	41,7	44,3	66,498	<0,001
	Korovessis (1998)	99	45,7	12	1,455	43,3	48,1	37,892	<0,001
	Lin (1992)	149	33,2	12,1	0,983	31,3	35,1	33,492	<0,001
	Bernhardt (1989)	102	44	12	1,412	41,7	46,3	37,032	<0,001
			41,8	1,9	3,666	38,1	45,6	21,842	<0,001
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=1,466, df=6 (p=0,962); I ² =0,000%									
Lombar (L1-S1)	Zhu (2013)	260	48,2	9,6	0,354	47,0	49,4	80,959	<0,001
	Chanplakorn (2011)	100	54,7	9,9	0,980	52,8	56,6	55,253	<0,001
	Lee (2011)	86	49,6	9,6	1,072	47,6	51,6	47,914	<0,001
	Janssen (2009)	60	58,5	9,6	1,536	56,1	60,9	47,202	<0,001
	Champaign (2006)	60	57	22	8,067	51,4	62,6	20,069	<0,001
	Damasceno (2006)	350	60,9	10,7	0,327	59,8	62,0	106,480	<0,001
	Korovessis (1999)	80	62,5	13	2,113	59,7	65,3	43,001	<0,001
	Chernukha (1998)	40	52,6	11,6	3,364	49,0	56,2	28,679	<0,001
	Jackson (1998)	50	62,1	10,8	2,333	59,1	65,1	40,659	<0,001
	Hardacker (1997)	100	60,1	12,1	1,464	57,7	62,5	49,669	<0,001
	Troyanovich (1997)	50	65	10,6	2,247	62,1	67,9	43,360	<0,001
Gelb (1995)	100	64	10	1,000	62,0	66,0	64,000	<0,001	
			57,9	1,9	3,671	54,2	61,7	30,230	<0,001
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=6,550, df=11 (p=0,924); I ² =0,000%									

A meta-análise da população de idosos forneceu o resultado da média da literatura referente ao valor de Cobb das curvaturas e os IC de 95% (Tabela 8). Nenhuma das meta-análises apresentou heterogeneidade. Na coluna torácica, o valor z encontrado foi 13,597 (p<0,001), enquanto que para coluna lombar, o valor z foi 25,639 (p<0,001), demonstrando que as médias e os intervalos de confiança dos valores de referência de normalidade para ambas as curvaturas tem significância estatística na população de idosos. Em contraste, na curvatura cervical, o valor z foi 1,718 (p=0,086), o qual demonstra que a média e o intervalo de confiança dos valores de normalidade não foram estatisticamente significativos.

Tabela 8 - Meta-análise para os valores de referência das curvaturas cervical, torácica e lombar na população de idosos.

Curvatura	Primeiro autor (ano)	Amostra	Estatística para cada estudo						Valor z	Valor p
			Média	Desvio Padrão	Variância	Limite inferior	Limite superior			
Cervical	Le Huec (2015)	106	4,9	12,8	1,546	2,5	7,3	3,941	<0,001	
	Yukawa (2012)	1230	18,7	11,2	0,102	18,1	19,3	58,557	<0,001	
			11,9	6,9	47,607	-1,7	25,4	1,718	0,086	
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=0,257, df=1 (p=0,612); I ² =0,000%										
Torácica	Hammerberg (2003)	50	52,5	12,2	2,977	49,1	55,9	30,429	<0,001	
	Korovessis (1999)	40	49	13,9	4,830	44,7	53,3	22,295	<0,001	
	Gelb (1995)	100	34	11	1,210	31,8	36,2	30,909	<0,001	
	Singer (1990)	126	45,3	10,2	0,826	43,5	47,1	49,852	<0,001	
	Fon (1980)	25	39,9	7,4	2,190	37,0	42,8	26,959	<0,001	
			44,0	3,2	10,488	37,7	50,4	13,597	<0,001	
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=2,765 df=4 (p=0,554); I ² =0,000%										
Lombar (L1-S1)	Hammerberg (2003)	50	57,4	13,7	3,754	53,6	61,2	29,626	<0,001	
	Korovessis (1999)	40	62,0	20,9	10,920	55,5	68,5	18,762	<0,001	
	Gelb (1995)	100	64	10	1,000	62,0	66,0	64,000	<0,001	
			61,2	2,4	5,705	56,6	65,9	25,639	<0,001	
Heterogeneidade: Tau ² =0,000; Q=3,450, df=2 (p=0,835); I ² =0,000%										

2.4 DISCUSSÃO

Uma grande contribuição deste estudo, além da sistematização dos resultados apresentados na literatura, é a apresentação dos intervalos de normalidade respectivamente apresentados de acordo com a idade dos indivíduos avaliados para cada região da coluna. A curvatura lombar foi a mais investigada pelos estudos, seguida da curvatura torácica. Poucos estudos (LE HUEC; DEMEZON; AUNOBLE, 2015; YUKAWA *et al.*, 2012; KASAI *et al.*, 1996) realizaram a avaliação da coluna cervical, apresentando resultados inconsistentes.

A literatura relata que a curvatura torácica normal apresenta em média 40° (HARRISON *et al.*, 2000), enquanto que a curvatura lombar varia de 45° a 50° (DAMASCENO *et al.*, 2006), podendo variar de acordo com a população investigada. No entanto, em geral, os estudos apresentam alta variabilidade de resultados, com amplos intervalos de confiança (Tabela 3), dificultando o processo de classificação. Pode-se observar que a maioria dos estudos apresentam desvios padrões superiores a 10°, o que resulta em um IC (95%) alto, com variabilidade de 40°. Um resultado positivo desta meta-análise para as curvaturas torácica e lombar está associado justamente a um intervalo de confiança mais restrito, em torno de 10° de variabilidade, nos diferentes níveis vertebrais e populações (Tabelas 5-8).

Os resultados da meta-análise mostraram um aumento das médias das curvaturas torácica e lombar com o aumento da idade, alcançando as maiores médias na população idosa

(44° na curvatura torácica e 61° na curvatura lombar). Esses achados corroboram com a literatura que mostra uma tendência à postura de flexão em idosos, com um consequente aumento das magnitudes das curvaturas sagitais da coluna vertebral, devido ao aumento da degeneração dos discos intervertebrais (BENEDETTI *et al.*, 2008).

Em relação à curvatura cervical, o resultado da meta-análise foi inconsistente. Nos idosos, os resultados não foram estatisticamente significativos e o intervalo de normalidade abrange uma faixa que varia desde uma cifose cervical, indicada pelo sinal negativo (-1,7°), até uma lordose cervical, indicada pelo sinal positivo (25,4°). Em adultos, apesar dos resultados terem sido significativos, o intervalo foi um pouco mais restrito (1,9°-14,8°) e o sinal sempre positivo, mesmo assim indicando uma grande variabilidade da magnitude da curvatura.

Fisiologicamente a coluna cervical apresenta uma curva lordótica (HARRISON *et al.*, 1996) e o alinhamento normal da lordose cervical é um dos fatores mais importantes para o movimento e função dessa região (MIYAZAKI *et al.*, 2008). Ainda nesse sentido, a perda da lordose normal pode induzir mudanças patológicas e acelerar a degeneração na coluna cervical (MIYAZAKI *et al.*, 2008), bem como causar dores de cabeça (NAGASAWA; SAKAKIBARA; TAKAHASHI, 1993) e cervicália (HARRISON *et al.*, 2004; MIYAZAKI *et al.*, 2008). Portanto, considerando a natureza morfológica da curvatura lordótica cervical, os valores de normalidade apontados pela meta-análise em adultos e idosos não parecem representar adequadamente esta região da coluna. Por isso, sugere-se que sejam realizados mais estudos com o objetivo de identificar um intervalo de referência de normalidade indicado para a curvatura cervical nas diferentes populações.

Do ponto de vista clínico, conhecer as magnitudes das curvaturas da coluna é importante na construção de um diagnóstico, influenciando o tratamento recomendado ao paciente. Do ponto de vista da pesquisa, por exemplo, em estudos de prevalência, o diagnóstico das curvaturas, fornecido por suas magnitudes, é útil como indicador do posicionamento postural e da morfologia da coluna vertebral.

Contudo, ao analisar nossos achados, algumas limitações devem ser levadas em consideração. Uma limitação é inerente à metodologia adotada na busca sistemática, baseada apenas em bases de dados eletrônicas e nos idiomas inglês, espanhol e português, o que talvez não tenha identificado estudos possivelmente elegíveis. Também é importante chamar a atenção que, embora os estudos incluídos tenham atendido a grande maioria dos critérios utilizados para avaliação do risco de viés, o critério 3 (tamanho da amostra) não foi atendido por nenhum dos estudos, e o critério 1 (amostra aleatória) foi atendido apenas por dois

estudos. Considerando a variabilidade intrínseca das curvaturas da coluna, talvez a falta de atendimento destes critérios seja uma possível justificativa para que, os estudos de forma isolada, apresentem um alto intervalo de normalidade. Assim, ao reunirmos os resultados destes estudos de forma sistematizada, compilando os resultados de acordo com as metodologias utilizadas, foi possível atingir resultados significativos, reduzindo o intervalo de normalidade.

É importante salientar que existem importantes diferenças metodológicas entre os estudos incluídos, por exemplo: a maioria dos estudos envolvendo avaliação da região torácica relata um posicionamento do ombro próximo à 90° de flexão. No entanto, há estudos que se referem a ombros posicionados a 60° (VEDANTAM *et al.*, 1998) e entre 30° e 45° (CIL *et al.*, 2005; JACKSON *et al.*, 1998; KOROVISSIS; STAMATAKIS; BAIKOUSIS, 1998; VIALLE *et al.*, 2005), enquanto que alguns não mencionam a posição dos ombros (BOSEKER *et al.*, 2000; CHAMPAIN *et al.*, 2006; GELB *et al.*, 1995, KOROVISSIS *et al.*, 1998, SINGER; JONES; BREIDAHL, 1990, VOUTSINAS; MACEWEN, 1986). Acredita-se que este posicionamento, bem como o apoio ou não dos braços em algum suporte, pode alterar o ângulo de cifose torácica, levando a variação nos resultados.

Ao se referir às avaliações da região lombar, diferenças importantes também são encontradas, sendo que a maioria dos estudos realizou os exames de Raios-X com o paciente na posição ortostática. No entanto, algumas radiografias foram realizadas com os pacientes em decúbito ventral (CHERNUKHA; DAFFNER; REIGEL, 1998) e em decúbito dorsal (LIN; JOU; YU, 1992), além de estudos que não relataram a posição do paciente (CHAMPAIN *et al.*, 2006). Nesse sentido, quando o objetivo da radiografia for avaliar a curvatura da coluna vertebral, recomenda-se colocar o sujeito na posição ortostática para minimizar a variabilidade inerente ao exame clínico.

Por fim, considerando a grande variabilidade dos valores de referência descritos nos estudos nesta área, esta revisão sistemática com meta-análise, baseada em estudos de adequada qualidade metodológica, permite a adoção de uma faixa de valores mais restrita, contribuindo para que profissionais, tanto da área clínica quanto da pesquisa, utilizem resultados baseados em evidência científica na condução de suas avaliações.

2.5 CONCLUSÃO

Assim, conclui-se que, a partir da presente revisão sistemática com meta-análise, foi possível identificar valores de referência concisos para as curvaturas torácica e lombar da

coluna vertebral de crianças, adolescentes, adultos e idoso saudáveis, avaliados por meio do método Cobb em radiografias. Os valores de referência encontrados (intervalo de confiança de 95%) foram: para crianças, torácica (28,7°-37,9°), lombar L1-L5 (34,5°-44,8°) e lombar L1-S1 (41,7°-54,1°); para adolescentes: torácica (31,5°-39,2°), lombar L1-L5 (39,8°-45,6°) e lombar L1-S1 (51,9°-59,1°); para adultos: torácica (33,7°-40,3°), lombar L1-L5 (38,1°-45,6°), e lombar L1-S1 (54,2°-61,7°); e para idosos: torácica (37,7°-50,4°) e lombar L1-S1 (56,6°-65,9°). Para a região cervical, ainda não se pôde estabelecer valores de referência consistentes com a fisiologia da curvatura.

REFERÊNCIAS

- BENEDETTI, M. G.; BERTI L.; PRESTI, C.; FRIZZIERO, A.; GIANNINI, S. Effects of an adapted physical activity program in a group of elderly subjects with flexed posture: clinical and instrumental assessment. **J Neuroeng Rehabil.** v. 5, n. 3, p. 1-11, 2008.
- BERNHARDT, M.; BRIDWELL, K. H. Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines. **Spine.** v. 14, n. 7, p. 717-721, 1989.
- BOSEKER, E. H.; MOE, J. H.; WINTER, R. B.; KOOP, S. E. Determination of “normal” thoracic kyphosis: a roentgenographic study of 121 “normal” children. **Journal of Pediatric Orthopaedics.** v. 20, n. 6, p. 796-798, 2000
- BRIGGS, A. M.; WRIGLEY, T. V.; TULLY, E. A.; ADAMS, P.E.; GREIG, A. M.; BENNEL, K. L. Radiographic measures of thoracic kyphosis in osteoporosis: Cobb and vertebral centroid angles. **Skeletal Radiology.** v. 36, n. 8, p. 761-767, 2007.
- CHAISE, F. O.; CANDOTTI, C. T.; LA TORRE, M.; FURLANETTO, T. S.; PELINSON, P. P.; LOSS, J. F. Validation, repeatability and reproducibility of a noninvasive instrument for measuring thoracic and lumbar curvature of the spine in the sagittal plane. **Brazilian Journal of Physical Therapy.** v. 15, n. 6, p. 511-517, 2011.
- CHAMPAIN, S.; BENCHIKH, K.; NOGIER, A.; MAZEL, C.; GUISE, J. D.; SKALLI, W. Validation of new clinical quantitative analysis software applicable in spine orthopaedic studies. **European Spine Journal.** v. 15, n. 6, p. 982-991, 2006.
- CHANPLAKORN, P.; WONGSAK, S.; WORATANARAT, P.; WAJANAVISIT, W.; LAOHACHAROENSOMBAT, W. Lumbopelvic alignment on standing lateral radiograph of adult volunteers and the classification in the sagittal alignment of lumbar spine. **European Spine Journal.** v. 20, n. 5, p. 706-712, 2011.
- CHERNUKHA, K. V.; DAFFNER, R. H.; REIGEL, D. H. Lumbar lordosis measurement. A new method versus Cobb technique. **Spine.** v. 23, n. 1, p. 74-79, 1998.
- CIL, A.; YAZICI, M.; UZUMCUGIL, A.; KANDEMIR, U.; ALANAY, A.; ALANAY, Y.; ACAROGLU, E.; SURAT, A. The evolution of sagittal segmental alignment of the spine

during childhood. **Spine**. v. 30, n. 1, p. 93-100, 2005.

DAMASCENO, L. H. F.; CATARIN, S. R. G.; CAMPOS, A. D.; DEFINO, H. L. A. Lumbar Lordosis: a study of angle values and of vertebral bodies and intervertebral discs role. **Acta Ortopédica Brasileira**. v. 14, n. 4, p. 193-198, 2006.

DAVOREN, M. P.; DEMANT, J.; SHIELY, F.; PERRY, I. J. Alcohol consumption among university students in Ireland and the United Kingdom from 2002 to 2014: a systematic review. **BMC Public Health**. v. 16, n. 173, 2016.

ENDO, K.; SUZUKI, H.; NISHIMURA, H.; TANAKA, H.; SHISHIDO, T.; YAMAMOTO, K. Sagittal lumbar and pelvic alignment in the standing and sitting positions. **Journal of Orthopaedic Science**. v. 17, n. 6, p. 682-686, 2012.

FON, G.; PITT, M. J.; THIES Jr, A. C. Thoracic kyphosis: range in normal subjects. **American Journal of Roentgenology**. v. 134, n. 5, p. 979-983, 1980.

GELB, D. E.; LENKE, L. G.; BRIDWELL, K. H.; BLANKE, K.; MCENERY, K. W. An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. **Spine**. v. 20, n. 12, p. 1351-1358, 1995.

GOH, S.; PRICE, R. I.; LEEDMAN, P. J.; SINGER, K. P. A comparison of three methods for measuring thoracic kyphosis: implications for clinical studies. **Rheumatology**. v. 39, n. 3, p. 310-315, 2000.

GONÇALVES, G. B.; PEREIRA, J. S. Radiological assessment of the angular values of back-lumbar and sacral-lumbar curvature in adolescents. **Acta Fisiátrica**. v. 15, n. 2, p. 92-95, 2008.

HAMMERBERG, E. M.; WOOD, K. B. Sagittal profile of the elderly. **Journal of Spinal Disorders & Techniques**. v. 16, n. 1, p. 44-50, 2003.

HARDACKER, J. W.; SHUFORD, R. F.; CAPICOTTO, P. N.; PRYOR, P. W. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. **Spine**. v. 22, n. 13, p. 1472-1480, 1997.

HARRISON, D. D.; JANIK, T. J.; TROYANOVICH, S. J.; HOLLAND, B. Comparisons of lordotic cervical spine curvatures to a theoretical ideal model of the static sagittal cervical spine. **Spine**. v. 21, n. 6, p. 667-675, 1996.

HARRISON, D. D.; HARRISON, D. E.; JANIK, T. J.; CAILLIET, R.; HAAS, J. W.; FERRANTELLI, J. L. Modeling of the sagittal cervical spine as a method to discriminate hypo-lordosis: results of elliptical and circular modeling in 72 asymptomatic subjects, 52 acute neck pain subjects, and 70 chronic neck pain subjects. **Spine**. v. 29, n. 22, p. 2485-2492, 2004.

HARRISON, D. E.; HARRISON, D. D.; TROYANOVICH, S.J.; HARMON, S. A normal spinal position: It's time to accept the evidence. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**. v. 23, n. 9, p. 623-644, 2000.

HIGGINS, J. P. T.; THOMPSON, S. G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. **Statistics in Medicine**. v. 21, n. 11, p. 1539-1558, 2002.

HIGGINS, J. P. T.; THOMPSON, S. G.; DEEKS, J. J.; ALTMAN, D. G. Measuring inconsistency in meta-analyses. **BMJ**. v. 327, n. 7414, p. 557-560, 2003.

JACKSON, R. P.; PETERSON, M. D.; MCMANUS, A. C.; & HALES, C. Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients. **Spine**. v. 23, n. 16, p. 1750-1767, 1998.

JANSSEN, M. M.; DREVELLE, X.; HUMBERT, L.; SKALLI, W.; CASTELEIN, R. M. Differences in male and female spino-pelvic alignment in asymptomatic young adults: a three-dimensional analysis using upright low-dose digital biplanar X-rays. **Spine**. v. 34, n. 23, p. E826-E832, 2009

KASAI, T.; IKATA, T.; KATOH, S.; MIYAKE, R.; TSUBO, M. Growth of the cervical spine with special reference to its lordosis and mobility. **Spine**. v. 21, n. 18, p. 2067-2073, 1996.

KOROVESSIS, P. G.; STAMATAKIS, M. V.; BAIKOUSIS, A. G. Reciprocal angulation of vertebral bodies in the sagittal plane in an asymptomatic greek population. **Spine**. v. 23, n. 6, p. 700-705, 1998.

KOROVESSIS, P.; STAMATAKIS, M.; BAIKOUSIS, A. Segmental roentgenographic analysis of vertebral inclination on sagittal plane in asymptomatic versus chronic low back pain patients. **Journal of Spinal Disorders**. v. 12, n. 2, p. 131-137, 1999.

LE HUEC, J. C.; DEMEZON, H.; AUNOBLE, S. Sagittal parameters of global cervical balance using EOS imaging: normative values from a prospective cohort of asymptomatic volunteers. **European Spine Journal**. v. 24, n. 1, p. 63-71, 2015.

LEE, C. S.; CHUNG, S. S.; KANG, K. C.; PARK, S. J.; SHIN, S. K. Normal patterns of sagittal alignment of the spine in young adults radiological analysis in a Korean population. **Spine**. v. 36, n. 25, p. E1648-E1654, 2011.

LEE, C. S.; NOH, H.; LEE, D.H.; HWANG, C. J.; KIM, H.; CHO, S. K. Analysis of sagittal spinal alignment in 181 asymptomatic children. **Journal of Spinal Disorders & Techniques**. v. 25, n. 8, p. E259-E263, 2012.

LIN, R. M.; JOU, I. M.; YU, C. Y. Lumbar lordosis: normal adults. **Journal of the Formosan Medical Association**. v. 91, n. 3, p. 329-333, 1992.

LONEY, P. L.; CHAMBERS, L. W.; BENNETT, K. J.; ROBERTS, J. G.; STRATFORD, P. W. Critical appraisal of the health research literature: prevalence or incidence of a health problem. **Chronic Diseases in Canada**. v. 19, n. 4, p. 170-176, 1998.

MARTY, C.; BOISAUBERT, B.; DESCAMPS, H.; MONTIGNY, J.; HECQUET, J.; LEGAYE, J.; DUVAL-BEAUPÈRE, G. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. **Eur Spine J**. v. 11, n. 2, p. 119-125, 2002.

MIYAZAKI, M., HYMANSON, H., MORISHITA, Y., HE, W., ZHANG, H., WU, G., KONG, M. H.; TSUMURA, H.; WANG, J. C. (2008). Kinematic analysis of the relationship between sagittal alignment and disc degeneration in the cervical spine. **Spine**. v. 33, n. 23, p. E870-E876, 2008.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. The PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement. **Annals of Internal Medicine**. v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

NAGASAWA, A.; SAKAKIBARA, T.; TAKAHASHI, A. Roentgenographic findings of the cervical spine in tension-type headache. **Headache**. v. 33, n. 2, p. 90-95, 1993.

OLIVEIRA, T. S.; CANDOTTI, C. T.; LA TORRE, M.; PELINSON, P. P. T.; FURLANETTO, T. S.; KUTCHAK, F. M.; LOSS, J. F. Validity and reproducibility of the measurements obtained using the flexicurve instrument to evaluate the angles of thoracic and lumbar curvatures of the spine in the sagittal plane. **Rehabilitation Research and Practice**. p. 1-9, 2012.

OSHIRO, V. A.; FERREIRA, P. G.; DA COSTA, R. F. Alterações posturais em escolares: uma revisão da literatura. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**. v. 3, n. 13, p. 15-22, 2007.

PERRIMAN, D. M.; SCARVELL, J. M.; HUGHES, A. R.; ASHMAN, B.; LUECK, C. J.; SMITH, P. N. Validation of the flexible electrogoniometer for measuring thoracic kyphosis. **Spine**. v. 35, n. 14, p. E633-E640, 2010.

PROPST-PROCTOR, S. L.; BLECK, E. E. Radiographic determination of lordosis and kyphosis in normal and scoliotic children. **Journal of Pediatric Orthopaedics**. v. 3, n. 3, p. 344-346, 1983.

SINGER, K. P., JONES, T. J., & BREIDAHL, P. D. A comparison of radiographic and computer-assisted measurements of thoracic and thoracolumbar sagittal curvature. **Skeletal Radiology**. v. 19, n. 1, p. 21-26, 1990.

SINGH, D. K.; BAILEY, M.; LEE, R. Biplanar measurement of thoracolumbar curvature in older adults using an electromagnetic tracking device. **Arch Phys Med Rehabil**. v. 91, p. 137-142, 2010.

TROYANOVICH, S. J.; CAILLIET, R.; JANTK, T. J.; HARRISON, D. D.; HARRISON, D. E. Radiographic mensuration characteristics of the sagittal lumbar spine from a normal population with a method to synthesize prior studies of lordosis. **Journal of Spinal Disorders**. v. 10, n. 5, p. 380-386, 1997.

VEDANTAM, R.; LENKE, L. G.; KEENEY, J. A.; BRIDWELL, K. H. Comparison of standing sagittal spinal alignment in asymptomatic adolescents and adults. **Spine**. v. 23, n. 2, p. 211-215, 1998.

VIALLE, R.; LEVASSOR, N.; RILLARDON, L.; TEMPLIER, A.; SKALLI, W.; GUIGUI, P. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. **The Journal of Bone and Joint Surgery-American**. v. 87, n. 2, p. 260-267, 2005.

WRIGHT, J. G.; BELL, D. Lumbosacral joint angles in children. **Journal of Pediatric Orthopedics**. v. 11, n. 6, p. 748-751, 1991.

VOUTSINAS, S. A.; MACEWEN, G. D. Sagittal profiles of the spine. **Clinical Orthopaedics and Related Research**. v. 210, p. 235-242, 1986.

YUKAWA, Y.; KATO, F.; SUDA, K.; YAMAGATA, M.; UETA, T. Age-related changes in osseous anatomy, alignment, and range of motion of the cervical spine. Part I: Radiographic data from over 1,200 asymptomatic subjects. **European Spine Journal**. v. 21, n. 8, p. 1492-1498, 2012.

ZAINA, F.; DONZELLI, S.; LUSINI, M.; NEGRINI, S. How to measure kyphosis in everyday clinical practice: a reliability study on different methods. **Studies in Health Technology and Informatics**. v. 176, p. 264-267, 2012.

ZHU, Z.; XU, L.; ZHU, F.; JIANG, L.; WANG, Z.; LIU, Z.; QUIAN, B. P.; QIU, Y. Sagittal alignment of spine and pelvis in asymptomatic adults: norms in Chinese populations. **Spine**. v. 39, n. 1, p. E1-E6, 2013.

ZUBOVIĆ, A.; DAVIES, N.; BERRYMAN, F.; PYNSENT, P.; QURAIISHI, N.; LAVY, C.; BOWDEN, G.; WILSON-MACDONALD, J.; FAIRBANK, J. New method of scoliosis deformity assessment: ISIS2 system. **Studies in Health Technology and Informatics**. v. 140, p. 157-160, 2008.

CAPÍTULO 3

ARTIGO ORIGINAL

Desenvolvimento e validação de equações de predição dos ângulos das curvaturas internas da coluna vertebral, de crianças e adultos, a partir da superfície da pele
(Developing and validating prediction equations for the spinal internal curve angles based on the skin surface of the children and adults)

RESUMO

Objetivo: desenvolver, avaliar a reprodutibilidade e validar uma equação de predição para estimar as curvaturas internas sagitais da coluna vertebral a partir da superfície da pele. **Métodos:** foram utilizadas 40 radiografias de crianças e 25 de adultos para desenvolver as equações de predição e outras 59 radiografias de crianças e 43 de adultos para avaliar a reprodutibilidade e validar as equações. Para a avaliação das curvaturas torácica e lombar da coluna vertebral nas imagens radiográficas, foram marcados pontos anatômicos de referência no corpo vertebral, processo espinhoso e superfície da pele nas vértebras C6, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2. Foram obtidos três polinômios de 3º grau, estimados com o método dos mínimos quadrados: curva interna a partir do baricentro dos corpos vertebrais e do ápice dos processos espinhosos e curva externa a partir da superfície da pele. A magnitude das curvaturas foi estimada com base no ângulo entre as linhas tangentes em vários níveis vertebrais. As equações de predição foram obtidas (Regressão Linear Simples) para os níveis vertebrais que apresentaram a melhor correlação entre as curvas interna e da superfície. A validação das equações de predição foi confirmada usando a correlação de Pearson (r), teste t de Student e erro RMS. A reprodutibilidade do método foi confirmada usando ICC, SEM e MDC. $\alpha=0,05$. **Resultados:** as melhores correlações foram obtidas entre os níveis T4-T12 (torácica) e T10-S2 (lombar) para amostra de crianças e entre os níveis T2-T12 (torácica) e T10-S2 (lombar) ($r>0,8$) para amostra de adultos. Para a reprodutibilidade intra e inter-avaliador, a correlação foi superior a 0,965 e 0,896, respectivamente. Houve uma correlação forte e significativa entre os valores estimados e verdadeiros para as curvaturas torácica e lombar, que foram confirmados pelos resultados do teste t e pelo baixo erro RMS. **Conclusão:** as equações de predição permitem estimar com precisão e acurácia os ângulos das curvaturas sagitais internas da coluna vertebral a partir da superfície da pele de crianças e adultos.

Palavras-chave: equações de predição, curvatura interna, curvatura externa

ABSTRACT

Aim: To develop, assess the reliability and validate prediction equations to estimate the internal sagittal curves of the spine from the skin surface. **Methods:** 40 radiographs of children and 25 of adults were used to develop the prediction and a further 59 radiographs of children and 43 of adults to assess the reliability and validate the equations. For the evaluation of the thoracic and lumbar curves of the spine on radiographic images, anatomical

reference points were marked on the vertebral body, spinous process and skin surface at the C6, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 and S2 vertebrae. Three 3rd degree polynomials were obtained, estimated with the method of the least squares: inner curve from the centroid of the vertebral bodies and from the apex of the spinous processes and external curve from the skin surface. The magnitude of the curves of each region was estimated based on the angle between tangent lines at several vertebral levels. Prediction equations were obtained (Simple Linear Regression) for the vertebral levels that showed the best correlation between the inner and surface curves. The validation of the prediction equations was confirmed using Pearson's correlation (r), Student's t test and RMS error. The reliability of the method was confirmed using ICC, SEM and MDC. $\alpha=0.05$. **Results:** The best correlations were obtained between the T4-T12 (thoracic) and T10-S2 (lumbar) levels for the children, and between the T2-T12 (thoracic) and T10-S2 (lumbar) levels for the adults ($r>0.8$). For the intra-rater and inter-rater reliability, the correlation was higher than 0.965 and 0.896, respectively. There was a significant and strong correlation between estimated and actual values for the thoracic and lumbar curves, which were confirmed by the t test results and by the low RMS error. **Conclusion:** Prediction equations can precisely and accurately estimate the angles of internal sagittal curves of the spine from the skin surface for children and adults. **Key-words:** prediction equations, inner curve, external curve

3.1 INTRODUÇÃO

A manutenção das curvaturas fisiológicas anteroposteriores da coluna vertebral é importante para o suporte estrutural, proporcionando proteção adequada para a medula espinhal e mobilidade dos segmentos da coluna vertebral (CZAPROWSKI *et al.*, 2012). A avaliação dessas curvaturas pode ser feita através do método padrão ouro, os exames de Raios-X, ou através de procedimentos não invasivos, utilizados como uma opção para evitar os problemas decorrentes das exposições à radiação (ALLEN *et al.*, 2008; GSTOETTNER *et al.*, 2007; TAYYAB *et al.*, 2007). Um exemplo de uma ferramenta de avaliação postural não invasiva é o software *Digital Image-based Postural Assessment* (DIPA[®]), que utiliza a fotogrametria para quantificar as alterações da coluna vertebral (FURLANETTO *et al.*, 2011; FURLANETTO *et al.*, 2012; FURLANETTO *et al.*, 2017).

Uma importante diferença metodológica da avaliação da coluna vertebral por radiografia ou pela fotogrametria reside nas estruturas anatômicas avaliadas, uma vez que a radiografia permite uma avaliação interna e a fotogrametria uma avaliação a partir da superfície do corpo. Enquanto nas radiografias a magnitude das curvaturas é calculada a partir dos corpos vertebrais (GOH *et al.*, 2000; HARRISON *et al.*, 2001), na fotogrametria parte-se da identificação dos processos espinhosos junto à superfície da pele (HARLICK; MILOSAVLJEVIC; MILBURN, 2007).

O cálculo da magnitude das curvaturas a partir dos pontos anatômicos superficiais gera uma diferença em relação aquele obtido a partir das estruturas mais internas. Considerando que as estruturas anatômicas estão intimamente relacionadas, é esperado uma relação entre o resultado da magnitude calculada pelos diferentes caminhos. Neste sentido, uma estimativa da curvatura interna a partir da curvatura externa seria possível de ser obtida de forma acurada. Assim, o presente estudo pretende desenvolver, avaliar a reprodutibilidade e validar uma equação de predição para estimar as curvaturas internas sagitais da coluna vertebral a partir da superfície da pele. Entende-se que a confirmação da validade concorrente da equação de predição permitirá seu uso na qualificação de métodos não invasivos, como do *software* DIPA[®].

3.2 METODOLOGIA

O objetivo do estudo foi alcançado a partir de dois grupos amostrais de radiografias: (1) 99 radiografias panorâmicas digitais, relativas a crianças e jovens com idades entre 6 e 18 anos (FURLANETTO *et al.*, *in press*); (2) 68 radiografias digitais da coluna torácica e lombar, realizadas separadamente, relativas a adultos com idades entre 18 e 71 anos. As radiografias foram divididas em dois conjuntos de dados: (1) 40 e 25 radiografias utilizadas para o desenvolvimento das equações de predição de crianças e adultos, respectivamente; (2) 59 e 43 radiografias utilizadas na validação das equações de predição de crianças e adultos, respectivamente.

Os raios-X panorâmicos da coluna vertebral de crianças foram obtidos a partir do banco de dados pertencente ao Grupo de Pesquisa. O uso de um banco de dados radiográfico, evitando a exposição desnecessária à radiação, é preferível para novos estudos. Os raios-X da coluna torácica e lombar de adultos foram coletados em duas clínicas de radiografias da região metropolitana de Porto Alegre. Todos os sujeitos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido e o estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CAEE: 34174014.1.0000.5347). A partir do conjunto amostral de radiografias de crianças, 15 radiografias foram selecionadas aleatoriamente para avaliar a reprodutibilidade do método.

3.2.1 DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO

Usando o GPower 3.1.7, o tamanho da amostra foi calculado com base em testes F, assumindo: um tamanho de efeito de 0,35; 95% do poder; um nível de significância de 95%; e um preditor. Assim, um mínimo de 40 radiografias foram necessárias para desenvolver as equações de predição para a amostra de crianças. Levando em conta que a amostra total de adultos era menor que a de crianças, um percentual de sujeitos parecido (em torno de 40%) com a amostra de crianças foi selecionado para cumprir com o propósito de desenvolver as equações de predição para essa amostra, totalizando 25 indivíduos.

As avaliações das curvaturas torácica e lombar da coluna vertebral foram realizadas pelo mesmo avaliador nas 65 radiografias utilizando rotinas programadas em ambiente Matlab® (Mathworks, versão 7.5). Foram marcados nas imagens radiográficas os seguintes pontos anatômicos de referência: quatro vértices do corpo vertebral (superior anterior, superior posterior, inferior anterior e inferior posterior), ápice do processo espinhoso e ponto da superfície da pele referente à localização do processo espinhoso (Figura 1a). Todos esses pontos foram digitalizados para as seguintes vértebras: C6, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2 (Figura 1a) (FURLANETTO *et al.*, *in press*).

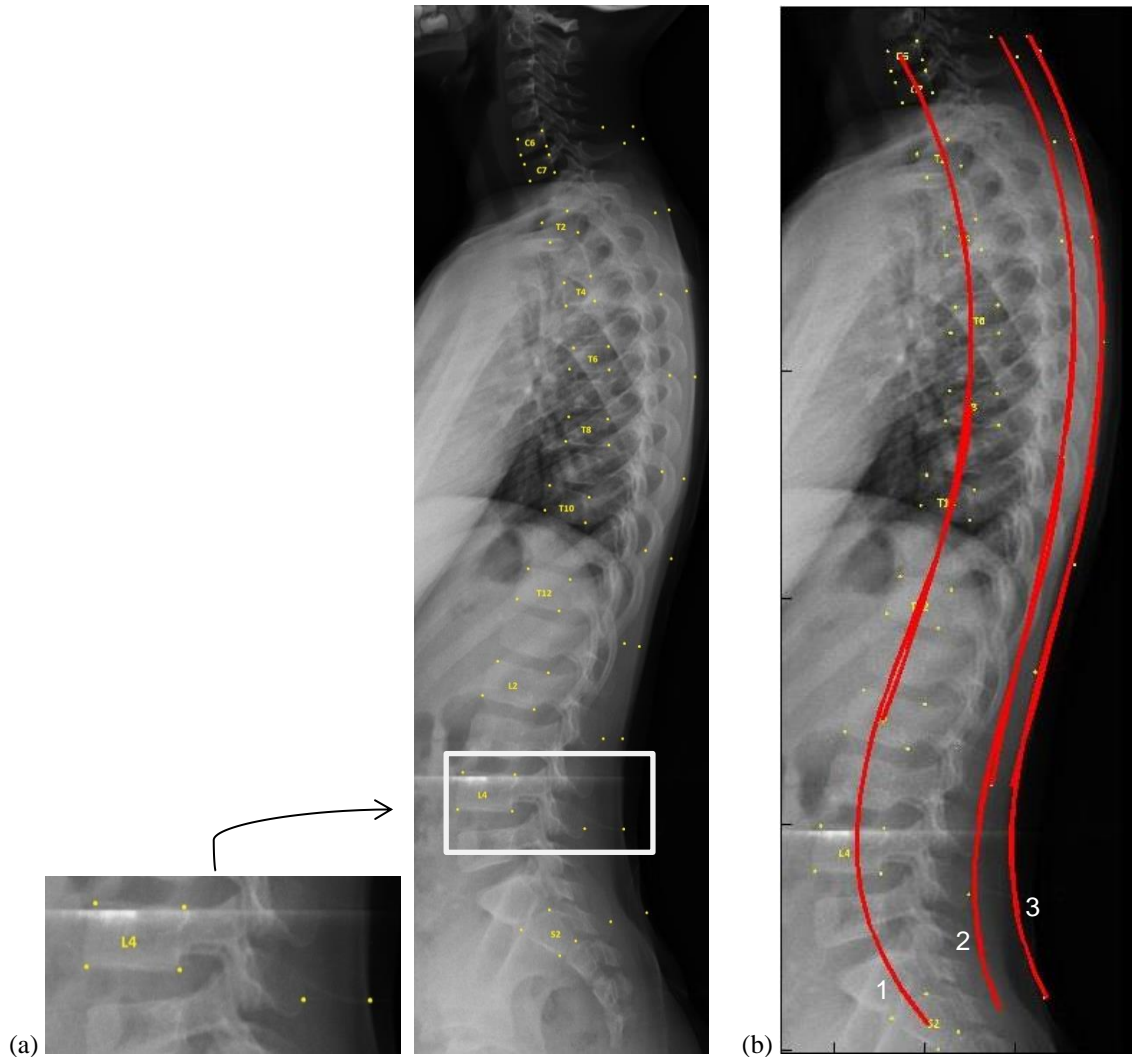


Figura 1 - (a) Pontos anatômicos de referência marcados nas imagens radiográficas, no detalhe, os seis pontos marcados em cada vértebra. (b) Curvaturas obtidas para a cifose torácica e lordose lombar: 1 - curvatura interna a partir do baricentro dos corpos vertebrais; 2 - curvatura interna a partir do ápice dos processos espinhosos; 3 - curvatura externa a partir da superfície da pele (FURLANETTO *et al.*, *in press*).

A partir dos pontos marcados foram obtidas três curvas representantes das curvaturas da coluna vertebral: (1) curva interna a partir do baricentro dos corpos vertebrais; (2) curva interna a partir do ápice dos processos espinhosos; e (3) curva externa a partir da superfície da pele (Figura 1b).

Estas curvas foram aproximadas a partir de polinômios de 3^a ordem, estimados pelo método dos mínimos quadrados. Este procedimento foi realizado tanto para a coluna torácica quanto para a coluna lombar, totalizando 6 polinômios. Para o polinômio da curvatura torácica foram utilizados os pontos compreendidos entre C6 e L2 e para o polinômio da curvatura lombar foram utilizados os pontos entre T8 e S2. Os pontos em comum entre as duas curvas representam a continuidade entre ambas as curvas.

A magnitude da curvatura vertebral foi estimada com base no ângulo entre duas retas tangentes em cada polinômio (Figura 2). Diversas combinações de tangentes foram testadas. Para as curvaturas torácicas, foram calculadas as tangentes em C7, T2, T4, T10 e T12. Para as curvaturas lombares foram calculadas as tangentes em T10, T12, L4 e S2. Os ângulos foram então calculados a partir das combinações de tangentes dos seguintes níveis vertebrais: C7-T12, C7-T10, T2-T12, T2-T10, T4-T12 e T4-T10, para as curvaturas torácicas; e T10-S2, T10-L4, T12-S2 e T12-L4, para as curvaturas lombares.

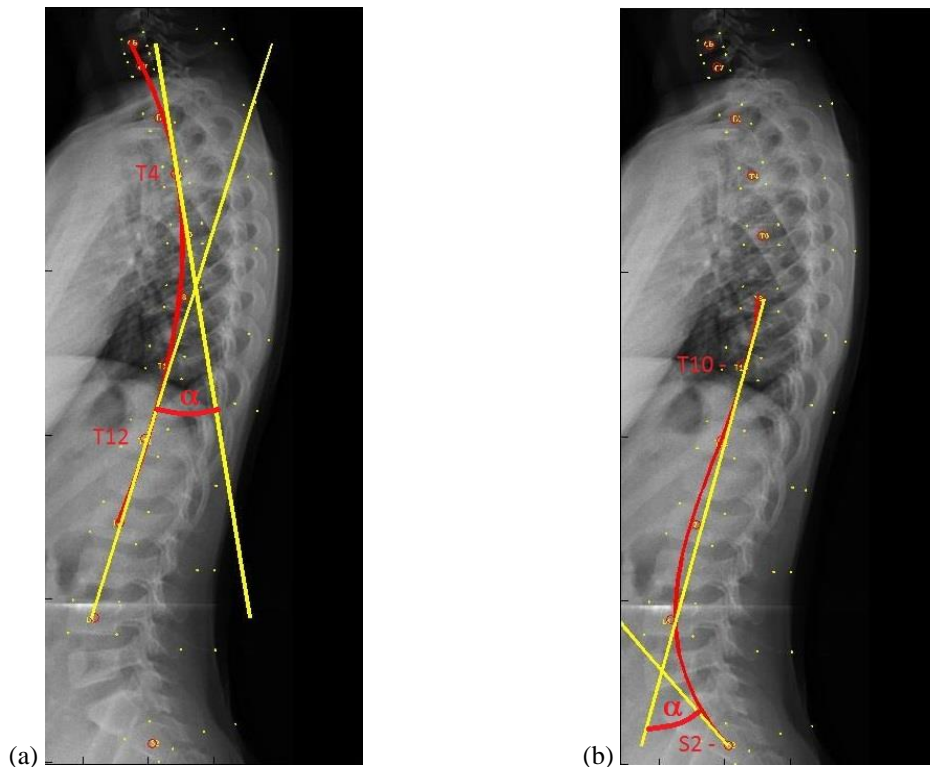


Figura 2 - Exemplo do cálculo do ângulo (α) da curva interna, obtido a partir do baricentro dos corpos vertebrais. (a) Tangentes relativas à curvatura torácica ao nível vertebral T4-T12. (b) Tangentes relativas à curvatura lombar ao nível vertebral T10-S2 (FURLANETTO *et al.*, *in press*)

Os ângulos obtidos a partir das diferentes combinações de tangentes foram correlacionados, com base no Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson. Para calcular a equação de predição foram selecionados os níveis vertebrais que apresentassem as melhores correlações entre as curvas internas e da superfície. Os ângulos de ambas as curvaturas (torácica e lombar) foram plotados em um diagrama de dispersão, a partir do qual foram obtidas equações de predição. As equações de predição foram obtidas por regressão linear simples. De posse dessas equações, os ângulos das curvas internas (baricentro e

processo espinhoso) podem ser estimados a partir dos ângulos da curva externa (superfície da pele).

3.2.2 REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO

O tamanho da amostra utilizado para estabelecer a reprodutibilidade foi calculado assumindo que (WALTER; ELIAS; DONNER, 1998) o valor da hipótese nula para o Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) foi de 0,40 (isto é, que qualquer valor inferior a 0,40 seria considerado inaceitável); 80% do poder; duas medidas repetidas (duas vezes com o mesmo avaliador e uma vez com cada avaliador); e um nível de significância de 95% para detectar o valor do ICC de 0.8806. Assim, a amostra mínima precisaria consistir em 15 radiografias. A reprodutibilidade do método foi avaliada com base na magnitude da coluna vertebral (ângulos calculados para curvaturas torácicas e lombares) para as duas curvas internas e a curva da superfície da pele. Dois avaliadores (R1 e R2) repetiram os procedimentos de forma independente para avaliar a reprodutibilidade inter-avaliador. A reprodutibilidade intra-avaliador foi avaliada por um único avaliador (R3), que repetiu os procedimentos em dois dias diferentes.

O Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC_{1,2}), o erro padrão da medida (*SEM - standart error measurement*) e o mínimo erro detectável (*MDC - minimum detectable change*) foram utilizados para avaliar a reprodutibilidade inter e intra-avaliador (DENEGAR; DONALD, 1993; KREBS, 1986). O escore ICC foi classificado de acordo com a literatura (FLEISS, 1986) como fraco (ICC <0,40), moderado (ICC entre 0,40 e 0,75) e excelente (ICC > 0,75). O SEM foi estimado usando a fórmula: $SEM = DP \sqrt{1 - ICC}$, onde DP é o desvio padrão das medidas. O MDC foi estimado com base em um intervalo de confiança de 95%, em que $MDC = 1,96 \times SEM$. O nível de significância adotado foi de 0,05.

3.2.3 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO

Usando o GPower 3.1.7, o tamanho da amostra foi calculado assumindo: o valor da hipótese nula de r deveria ser 0,40 (por exemplo, com base em que qualquer valor inferior a 0,40 pode ser considerado clinicamente "inaceitável"); 95% do poder; nível de significância de 95% para detectar um valor r de 0,80. Consequentemente, um mínimo de 59 e 43 radiografias foi necessário para a validação das equações de predição de crianças e adultos,

respectivamente. Todas as radiografias usadas neste conjunto de dados foram diferentes das utilizadas para o desenvolvimento das equações. Utilizando as mesmas rotinas matemáticas, um segundo avaliador realizou a digitalização dos pontos em todas as radiografias. A partir das equações de predição, os ângulos das curvas internas (baricentro e processo espinhoso) foram estimados com base nos ângulos das curvas externas (superfície da pele).

A validação concorrente das equações de predição foi confirmada utilizando: (1) Coeficiente de Correlação Produto-Momento de Pearson; (2) erro RMS; e (3) Coeficiente de Correlação de Morgan-Pitman. O Coeficiente de Correlação de Pearson foi classificado em fraco (entre 0,10 e 0,29), moderado (entre 0,30 e 0,49) e excelente (entre 0,50 e 1) (COHEN, 1988). O Coeficiente de Morgan-Pitman avalia a correlação entre a média dos valores oriundos das duas medidas (valor verdadeiro e valor estimado) e a diferença entre estas medidas. Um Coeficiente de Morgan-Pitman baixo aponta para aleatoriedade do erro das medidas, e a não-significância do coeficiente indica a similaridade entre as variâncias das médias e das diferenças das medidas (JONES *et al.*, 2009). Todos os testes foram realizados entre o valor estimado do ângulo e o valor verdadeiro obtido diretamente da respectiva curva interna, sendo o nível de significância adotado de 0.05.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO

Para a população de crianças, os ângulos obtidos a partir dos processos espinhos são em média menores do que aqueles obtidos a partir dos corpos vertebrais, tanto para a curvatura torácica quanto lombar. Já os ângulos obtidos a partir da superfície da pele são, na maioria das vezes, maiores que aqueles obtidos a partir dos processos espinhos e menores que aqueles obtidos a partir do baricentro do corpo vertebral (Tabela 1).

Tabela 1 - Média e desvio padrão dos ângulos, expressos em graus, obtidos nos diferentes níveis vertebrais avaliados para a curvatura torácica e curvatura lombar (n=40) de crianças.

	Nível Vertebral	Ângulo interno – Corpo Vertebral	Ângulo interno – Processo Espinhoso	Ângulo externo – Superfície da pele
Curvatura Torácica	C7-T12	51,5±9,5	46,1±9,1	47,7±7,0
	C7-T10	44,9±8,4	43,1±8,0	45,6±7,2
	T2-T12	43,6±9,4	37,6±9,6	38,5±7,0
	T2-T10	37,1±7,9	34,6±7,6	36,4±6,6
	T4-T12	34,7±8,8	27,3±9,8	27,6±6,5
	T4-T10	28,2±7,0	24,6±6,7	25,5±5,1
Curvatura Lombar	T10-S2	62±11,9	28,8±16,8	41,3±14,8
	T10-L4	20,3±11,5	12,1±8,8	21,8±10,7
	T12-S2	69,4±10,4	32,1±16,4	42,3±12,9
	T12-L4	27,8±9,5	14,5±8,4	22,6±8,8

Na população de adultos, a maioria dos ângulos obtidos a partir dos processos espinhosos é em média menor do que aqueles obtidos a partir dos corpos vertebrais para ambas as curvaturas. Já os ângulos obtidos a partir da superfície da pele na curvatura torácica são menores que aqueles obtidos a partir dos processos espinhosos e do baricentro do corpo vertebral. Na curvatura lombar, os ângulos obtidos a partir da superfície da pele não seguem nenhuma tendência em relação aos obtidos a partir dos processos espinhosos e corpo vertebral (Tabela 2).

Tabela 2 - Média e desvio padrão dos ângulos, expressos em graus, obtidos nos diferentes níveis vertebrais avaliados para a curvatura torácica e curvatura lombar (n=40) de adultos.

	Nível Vertebral	Ângulo interno – Corpo Vertebral	Ângulo interno – Processo Espinhoso	Ângulo externo – Superfície da pele
Curvatura Torácica	C7-T12	52,1±17,7	50,7±17,2	48,1±13,5
	C7-T10	41,2±15,1	44,6±15,9	42±12,3
	T2-T12	47,4±17,8	44,4±16,6	41,6±12,9
	T2-T10	36,2±13,7	38,2±15,3	35,6±11,5
	T4-T12	41±17,4	35,7±15,8	33,2±11,6
	T4-T10	29,8±12,5	29,5±13,2	27,2±9,8
Curvatura Lombar	T10-S2	64,3±11,1	38,7±17	48,7±17,3
	T10-L4	18,7±11,1	17,4±8,1	27,6±11,8
	T12-S2	75,2±9	43,3±16,5	50±17,4
	T12-L4	26,6±10,1	20,6±8,3	28,9±10,5

As correlações entre as duas curvas internas e a curva externa foram todas significativas, tanto na amostra de crianças quanto na de adultos. As melhores correlações na amostra das radiografias de crianças foram obtidas entre os níveis T4-T12, para a curvatura torácica, e os níveis T10-S2 para a curvatura lombar (Tabela 3). Já na amostra das radiografias de adultos as melhores correlações foram entre os níveis T2-T12, para a curvatura torácica, mantendo-se os mesmos níveis para curvatura lombar (Tabela 4).

Tabela 3 - Correlação de Pearson (r) e nível de significância (p) encontrado entre as duas curvas internas com a curva externa (n=40) na amostra de radiografia de crianças.

	Nível vertebral	Corpo Vertebral e Superfície da pele		Processo Espinhoso e Superfície da pele	
		r	p	r	p
Curvatura Torácica	C7-T12	0,612	<0,001*	0,689	<0,001*
	C7-T10	0,435	0,005*	0,501	0,001*
	T2-T12	0,708	<0,001*	0,817	<0,001*
	T2-T10	0,512	0,001*	0,664	<0,001*
	T4-T12	0,861	<0,001*	0,867	<0,001*
	T4-T10	0,708	<0,001*	0,832	<0,001*
Curvatura Lombar	T10-S2	0,871	<0,001*	0,806	<0,001*
	T10-L4	0,683	<0,001*	0,663	<0,001*
	T12-S2	0,788	<0,001*	0,750	<0,001*
	T12-L4	0,667	<0,001*	0,714	<0,001*

*correlação significativa

Tabela 4 - Correlação de Pearson (r) e nível de significância (p) encontrado entre as duas curvas internas com a curva externa (n=25) na amostra de radiografia de adultos.

	Nível vertebral	Corpo Vertebral e Superfície da pele		Processo Espinhoso e Superfície da pele	
		r	p	r	p
Curvatura Torácica	C7-T12	0,952	<0,001*	0,941	<0,001*
	C7-T10	0,892	<0,001*	0,910	<0,001*
	T2-T12	0,960	<0,001*	0,941	<0,001*
	T2-T10	0,950	<0,001*	0,939	<0,001*
	T4-T12	0,929	<0,001*	0,905	<0,001*
	T4-T10	0,956	<0,001*	0,932	<0,001*
Curvatura Lombar	T10-S2	0,908	<0,001*	0,823	<0,001*
	T10-L4	0,553	0,004*	0,698	<0,001*
	T12-S2	0,789	<0,001*	0,679	<0,001*
	T12-L4	0,661	<0,001*	0,746	<0,001*

*correlação significativa

Na amostra de radiografias de crianças, as equações de predição apresentaram coeficientes de correlação excelentes, tanto para as curvaturas torácicas, obtidas a partir dos níveis T4- T12, quanto para as curvaturas lombares, obtidas a partir dos níveis T10-S2 (Figura 3). Resultados semelhantes foram encontrados na amostra de radiografias de adultos, obtidas a partir dos níveis T2- T12 e T10-S2 (Figura 4).

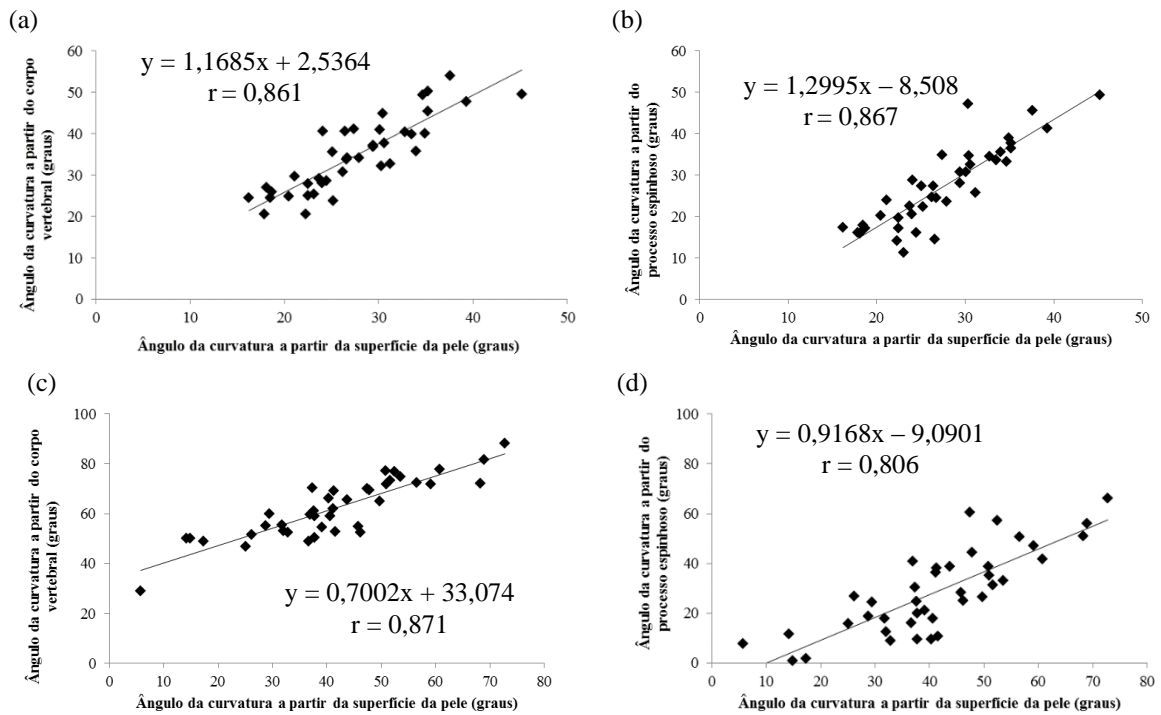


Figura 3 - Diagramas de dispersão da amostra de crianças (n=40) entre: (a) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura torácica; (b) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura torácica; (c) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura lombar; (d) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura lombar.

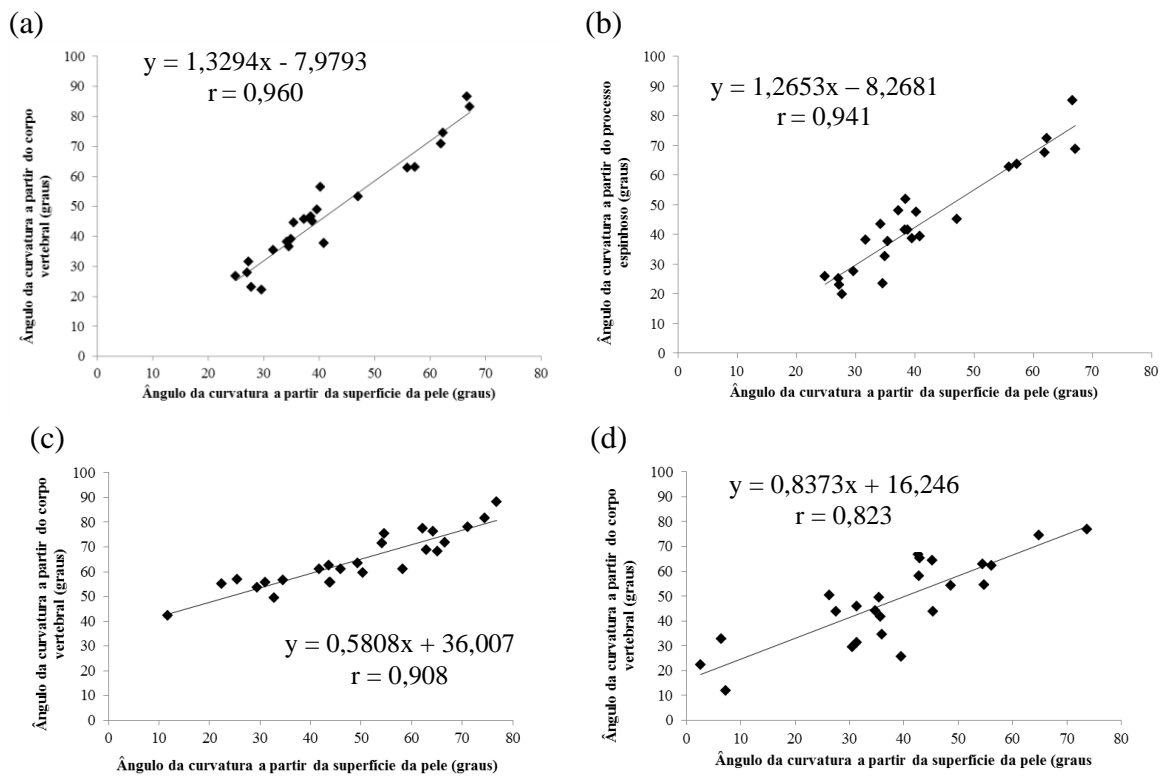


Figura 4 - Diagramas de dispersão da amostra de adultos (n=25) entre: (a) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura torácica; (b) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura torácica; (c) o corpo vertebral e a superfície da pele na curvatura lombar; (d) o processo espinhoso e a superfície da pele na curvatura lombar.

3.3.2 REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO

Os resultados para a reprodutibilidade inter e intra-avaliador mostram que todas as correlações para as curvaturas torácicas e lombares são excelentes (Tabela 5). Os valores de SEM e MDC foram baixos, indicando um baixo erro de medição entre os avaliadores (inter-avaliador) e em dias diferentes (intra-avaliador).

Tabela 5 - Reprodutibilidade inter-avaliador dos resultados fornecidos pelos ângulos (graus) obtidos para as curvaturas torácica e lombar (n = 15) por dois avaliadores (R1 e R2) e reprodutibilidade intra-avaliador dos resultados fornecidos por um avaliador (R3) em dois dias diferentes.

		Reprodutibilidade Inter-avaliador					
		R1	R2	ICC (IC 95%)	p	SEM	MDC
Curvatura Torácica	Corpo Vertebral	36,4±6,9	36,0±7,1	0,974 (0,925-0,961)	<0,001*	1,1	2,2
	Processo Espinhoso	28,6±7	28,9±7,2	0,996 (0,989-0,999)	<0,001*	0,4	0,9
	Superfície da pele	28,4±5,6	29,6±6,3	0,896 (0,718-0,964)	<0,001*	1,9	3,7
Curvatura Lombar	Corpo Vertebral	60,4±14,1	60,3±14,3	0,999 (0,998-1,000)	<0,001*	0,4	0,9
	Processo Espinhoso	29,9±17,6	29,9±17,8	0,998 (0,994-0,999)	<0,001*	0,8	1,5
	Superfície da pele	36,8±17,1	37,0±15,8	0,983 (0,951-0,994)	<0,001*	2,1	4,1
		Reprodutibilidade Intra-avaliador					
		1º dia	2º dia	ICC (IC 95%)	p	SEM	MDC
Curvatura Torácica	Corpo Vertebral	29,7±7,6	29,7±7,8	0,999 (0,996-0,999)	<0,001*	0,2	0,5
	Processo Espinhoso	23,7±10,8	23,8±10,7	0,999 (0,996-1,000)	<0,001*	0,3	0,7
	Superfície da pele	24,9±5,4	24,9±5,6	0,965 (0,900-0,988)	<0,001*	1,0	2,0
Curvatura Lombar	Corpo Vertebral	67,3±6,6	67,4±6,8	0,993 (0,978-0,998)	<0,001*	0,6	1,1
	Processo Espinhoso	30,5±13,2	30,3±13,7	0,995 (0,984-0,9998)	<0,001*	0,9	1,8
	Superfície da pele	42,2±8,1	41,8±8,4	0,979 (0,939-0,993)	<0,001*	1,2	2,3

*correlação significativa

3.3.3 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO

Para a amostra de radiografias de crianças, tanto para as curvaturas torácicas quanto lombares, houve correlação significativa e grande concordância entre os valores estimados e os valores verdadeiros, confirmados pelo baixo valor RMS (inferior a 1°). Esses resultados são reforçados pelo Coeficiente de Morgan-Pitman que aponta para um erro aleatório e igualdade de variância entre as avaliações (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultados da validação concorrente para a amostra de crianças, com base no valor estimado e no valor verdadeiro do ângulo obtido diretamente da respectiva curva interna (n=59).

		Verdadeiro (graus)	Estimado (graus)	r	p	RMS	Morgan-Pitman	p
Curvatura torácica	Corpo Vertebral	34,2±6,5	33,5±5,9	0,788	<0,001*	0,7	0,145	0,150
	Processo espinhoso	26,6±6,9	25,9±6,6	0,730	<0,001*	0,7	0,063	0,078
Curvatura Lombar	Corpo Vertebral	64,6±8,8	63,7±8,1	0,730	<0,001*	0,9	0,126	0,165
	Processo espinhoso	31,8±14,3	31,1±10,6	0,582	<0,001*	0,7	0,347	0,613

*correlação significativa

Para a amostra de radiografias de adultos, as correlações entre os valores estimados e os valores verdadeiros foram excelentes e significativas. Os valores de erro RMS foram superiores aos da amostra de crianças, porém ainda considerados baixos. O Coeficiente de Morgan-Pitman apontou, igualmente, um erro aleatório e igualdade de variância entre as avaliações (Tabela 7).

Tabela 7 - Resultados da validação concorrente para a amostra de adultos, com base no valor estimado e no valor verdadeiro do ângulo obtido diretamente da respectiva curva interna (n=43).

		Verdadeiro (graus)	Estimado (graus)	R	P	RMS	Morgan- Pitman	P
Curvatura torácica	Corpo Vertebral	48,6±11,7	48,2±11,4	0,775	<0,001*	5,1	0,067	0,988
	Processo espinhoso	43,8±10,5	45,2±10,9	0,855	<0,001*	5,9	0,057	0,998
Curvatura Lombar	Corpo Vertebral	64,8±12,3	61,7±6,7	0,740	<0,001*	6,2	0,340	0,531
	Processo espinhoso	40,5±15,1	53,3±9,6	0,694	<0,001*	6,7	0,544	0,614

*correlação significativa

3.4 DISCUSSÃO

Os resultados demonstram a íntima relação entre as duas curvas internas e a curva da superfície da pele em crianças e adultos. Tradicionalmente a avaliação angular das curvaturas da coluna vertebral considera as estruturas anatômicas internas. O padrão-ouro desta avaliação, o ângulo de Cobb (GOH *et al.*, 2000; HARRISSON *et al.*, 2001), leva em consideração a posição dos corpos vertebrais. Já os métodos não invasivos levam em consideração a superfície da pele (HARLICK; MILOSAVLJEVIC; MILBURN, 2007). Um dos métodos mais utilizados, a fotogrametria (FURLANETTO *et al.*, 2016), leva em consideração as saliências ósseas representativas dos processos espinhosos junto à pele. As diferentes distribuições geométricas destas estruturas anatômicas levam a resultados angulares distintos, o que dificulta a validação concorrente dos métodos baseados na superfície corporal.

Estas diferenças existem quando comparamos as angulações oriundas do corpo vertebral, do processo espinhoso ou da superfície da pele (comparação entre as colunas da Tabela 1 e 2 na mesma linha) e, quando comparamos os diferentes níveis vertebrais da mesma curva (comparação entre as linhas da Tabela 1 e 2 na mesma coluna). Isso pode ser explicado porque os processos espinhosos apresentam angulações distintas relativas ao corpo vertebral de acordo com o nível vertebral (GILAD; NISSAN, 1985). Nos níveis vertebrais lombares que utilizam uma vértebra sacral na medida, essa discrepância é ainda maior devido à grande inclinação do sacro em relação às vertebrais lombares (MARTY *et al.*, 2002).

Neste sentido, em crianças, a identificação dos níveis vertebrais T4-T12 para a curvatura torácica e níveis T10-S2 para a curvatura lombar, como os de maior correlação representam a melhor opção entre os diferentes níveis (Tabela 3). Já em adultos, os níveis vertebrais T2-T12 para a curvatura torácica e níveis T10-S2 para a curvatura lombar obtiveram maiores correlações entre os diferentes níveis (Tabela 4). Esses resultados para a região torácica podem ser explicados pela melhor visualização destas vértebras nas radiografias, uma vez que vértebras mais superiores à T2 podem estar sobrepostas ao úmero (LEROUX *et al.*, 2000). A região lombar tem um comprimento menor quando comparada à torácica, por isso metodologias que se limitam à avaliação somente das vértebras lombares podem encontrar correlações menores (D'OSUALDO; SCHIERANO; IANNIS, 1997). A utilização de níveis vertebrais superiores e inferiores às vertebrae lombares (T10-S2), que sinalizam o comportamento da curvatura para além da região lombar, poderiam explicar os bons resultados de correlação para essa região.

O comportamento linear da dispersão dos ângulos das curvas calculados a partir dos corpos vertebrais e processos espinhosos versus a superfície da pele é refletido nos excelentes coeficientes de correlação (Figura 3 e 4). Desta forma, as equações de predição apontam para uma possibilidade de estimativa acurada dos valores angulares internos. Como forma de avaliar a qualidade desta estimativa, assumimos como “valor verdadeiro” aqueles ângulos calculados a partir das estruturas internas. Assim, as estimativas dos ângulos internos, obtidas a partir das equações de predição, se mostraram muito próximas ao valor verdadeiro (Tabela 6 e 7). Estes resultados atestam para a validade concorrente das equações de predição.

Ainda nesse sentido, os baixos valores de erro RMS encontrados na comparação entre o valor verdadeiro e o valor estimado na amostra de crianças (abaixo de 1°) e na amostra de adultos (em torno de 6°) demonstraram a capacidade de estimativa dos valores angulares internos. A diferença entre os erros nas duas amostras pode ser explicada pela qualidade das radiografias da amostra de adultos, a qual foi realizada em local diferente, onde não havia a possibilidade de realização de exames panorâmicos, além da qualidade da imagem inferior. Mesmo assim, um erro RMS de 6° ainda é considerado baixo, visto que representa um erro absoluto das medições.

A reprodutibilidade do método, confirmada pelos excelentes resultados inter e intra-avaliadores, permite que o método seja utilizado pelo mesmo avaliador em diferentes ocasiões, bem como por avaliadores diferentes (Tabela 5). É importante conhecer a precisão do método, por exemplo, quando um paciente é acompanhado pelos mesmos ou diferentes profissionais de saúde.

Muitos instrumentos não invasivos se propõem a avaliar a coluna superficialmente, sem preocupação em estabelecer uma relação com as estruturas internas da coluna vertebral. Neste contexto, a fotogrametria como instrumento de avaliação da coluna, tem sido explorada para desenhar o contorno do tronco, uma vez que fornece informações diferentes daquelas obtida através de um exame de Raios-X (SAAD *et al.*, 2011). Entretanto, as equações de predição apresentadas no presente estudo permitem extrapolar de forma acurada os ângulos internos a partir de estruturas externas.

Softwares que quantificam as curvaturas da coluna vertebral com base na digitalização de fotografias, tal como o *software* DIPA[®] (FURLANETTO *et al.*, 2011; FURLANETTO *et al.*, 2012; FURLANETTO *et al.*, 2017), podem se beneficiar dos resultados deste estudo para fornecer avaliações com evidências mais robustas e representativas das curvaturas internas da coluna. Nesta perspectiva, exames não-invasivos poderão ser utilizados com mais segurança da representatividade dos valores angulares calculados.

No entanto, é importante enfatizar que a identificação da localização correta dos processos espinhosos é um pré-requisito essencial para garantir a reprodutibilidade do método proposto neste estudo, bem como para a avaliação postural com fotogrametria. Os erros de palpação são uma possível limitação desses instrumentos não-invasivos, bem como do presente estudo. No entanto, deve-se notar que, embora alguns estudos tenham relatado falta de confiabilidade ao identificar os níveis vertebrais lombares por meio da palpação (MIERITZ; KAWCHUK, 2016), também há evidências de que a experiência do avaliador minimiza a possibilidade de ocorrência desses erros (FURLANETTO *et al.*, 2012).

3.5 CONCLUSÃO

As excelentes correlações e a concordância entre os valores estimados e os valores verdadeiros dos ângulos das curvaturas torácica e lombar demonstram que as equações de predição permitem estimar com precisão e acurácia os ângulos das curvaturas sagitais internas da coluna vertebral a partir da superfície da pele de crianças e adultos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, S.; PARENT, E.; KHORASANI, M.; HILL, D. L.; LOU, E.; RASO, J. V. Validity and reliability of active shape models for the estimation of cobb angle in patients with adolescent idiopathic scoliosis. **Journal of Digital Imaging**. v. 21, n. 2, p. 208-218, 2008.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum. 1988.

CZAPROWSKI, D.; PAWŁOWSKA, P.; GĘBICKA, A.; SITARSKI, D.; KOTWICKI, T. Intra- and interobserver repeatability of the assessment of anteroposterior curvatures of the spine using saunders digital inclinometer. **Ortop Traumatol Rehabil.** v. 2, n. 6, p. 145-153, 2012.

DENEGAR, C. R.; DONALD, W. B. Assessing reliability and precision of measurement: an introduction to Intraclass and Standart Error of Measurement. **J Sport Rehabil.** v. 2, p. 35-42, 1993.

D'OSUALDO, F.; SCHIERANO, S.; IANNIS, M. Validation of clinical measurement of kyphosis with a simple instrument, the arcometer. **Spine.** v. 22, p. 408-422, 1997.

FLEISS, J. L. **The design of clinical experiments**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; COMERLATO, T.; LOSS, J. F. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. **Comput Methods Programs Biomed.** v. 108, p. 203-212, 2012.

FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; SEDREZ, J. A.; NOLL, M.; LOSS, J. F. Evaluation of the precision and accuracy of the DIPA *software* postural assessment protocol. **European Journal of Physiotherapy.** 2017. DOI: 10.1080/21679169.2017.1312516.

FURLANETTO, T. S.; CHAISE, F. O.; CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. Fidedignidade de um protocolo de avaliação postural. **Revista da Educação Física/UEM.** v. 22, n. 3, p. 411-419, 2011.

FURLANETTO, T. S.; OLIVEIRA, E. B. C.; CANDOTTI, C. T.; VIEIRA, A.; MESQUITA, P. V.; NAVARRO, I. J. R. L.; LOSS, J. F. Developing and validating prediction equations for the spinal internal curve angles based on the skin surfasse. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.** *In press*, 2017.

FURLANETTO, T. S.; SEDREZ, J. A.; CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review. **World Journal of Orthopedics.** v. 7, n. 2, p. 136-148, 2016.

GILAD, I.; NISSAN, M. Sagittal evaluation of elemental geometrical dimensions of human vertebrae. **J Anat.** v. 143, p. 115-120, 1985.

GOH, S.; PRICE, R. I.; LEEDMAN, P. J.; SINGER, K. P. A comparison of three methods for measuring thoracic kyphosis: implications for clinical studies. **Journal of Rheumatology.** v. 39, n. 3, p. 310-315, 2000.

GSTOETTNER, M.; SEKYRA, K.; WALOCHNIK, N.; WINTER, P.; WACHTER, R.; BACH, C. M. Inter- and intraobserver reliability assessment of the Cobb angle: manual versus digital measurement tools. **Eur Spine J.** v. 16, p. 1587-1592, 2007.

HARLICK, J. C.; MILOSAVLJEVIC, S.; MILBURN, P. D. Palpation identification of spinous processes in the lumbar spine. **Manual Ther.** v. 12, p. 56-62, 2007.

HARRISON, D. E.; HARRISON, D. D.; CAILLIET, R.; JANIK, T. J.; HOLLAND, B. Radiographic analysis of lumbar lordosis: centroid, Cobb, TRALL, and Harrison posterior tangent methods. **Spine.** v. 26, p. E235-42, 2001.

JONES, G.; NOBLE, A. D. L.; SCHAUER, B.; COGGER, N. Measuring the attenuation in a subject-specific random effect with paired data. **Journal of Data Science.** v. 7, p. 179-88, 2009.

KREBS, D. Declare your ICC type. **Phys Ther.** v. 66, n. 9, p. 1431, 1986.

LEROUX, M. A.; ZABJEK, K.; SIMARD, G.; BADEAUX, J.; COILLARD, C.; RIVARD, C. A noninvasive anthropometric technique for measuring kyphosis and lordosis. **Spine.** v. 25, n. 13, p. 1689-1694, 2000.

MARTY, C.; BOISAUBERT, B.; DESCAMPS, H.; MONTIGNY, J.; HECQUET, J.; LEGAYE, J.; DUVAL-BEAUPÈRE, G. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. **Eur Spine J.** v. 11, n. 2, p. 119-125, 2002.

MIERITZ, R. M.; KAWCHUK, G. N. The accuracy of locating lumbar vertebrae when using palpation versus ultrasonography. **J Manipulative Physiol Ther.** v. 39, n. 6, p. 387-92, 2016.

SAAD, K. R.; COLOMBO, A. S.; RIBEIRO, A. P.; JOÃO, S. M. Reliability of photogrammetry in the evaluation of the postural aspects of individuals with structural scoliosis. **Journal of Bodywork & Movement Therapies.** v. 16, n. 2, p. 210-216, 2011.

TAYYAB, N. A.; SAMARTZIS, D.; ALTIOK, H.; SHUFF, C. E.; LUBICKY, J. P.; HERMAN, J.; KHANNA, N. The reliability and diagnostic value of radiographic criteria in sagittal spine deformities. Comparison of the vertebral wedge ratio to the segmental Cobb angle. **Spine.** v. 32, n. 16, p. 451-9, 2007.

WALTER, S. D.; ELIASZIW, M.; DONNER, A. Sample size and optimal designs for reliability studies. **Statistics in medicine.** v. 17, p. 101-110, 1998.

CAPÍTULO 4

ARTIGO ORIGINAL

Validação do protocolo DIPA (*Digital Image-based Postural Assessment*) como metodologia de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral
(*Validation of the DIPA - Digital Image Based Postural Assessment - protocol as a methodology for measurement sagittal curvatures of the spine*)

RESUMO

Objetivo: Verificar a validade concorrente, a partir da comparação com exames de Raios-X, de uma metodologia de avaliação postural, desenvolvida no *software* DIPA[®] para identificação das magnitudes e das classificações das curvaturas sagitais da coluna vertebral de adultos. **Metodologia:** 68 adultos realizaram no mesmo dia e local duas avaliações da coluna vertebral, uma com o protocolo do *software* DIPA[®] e outra através de exames radiológicos da coluna torácica e lombar. O *software* DIPA[®] forneceu valores angulares das curvaturas torácica e lombar através de relações trigonométricas, enquanto que nos exames de Raios-X, as curvaturas foram calculadas pelo método Cobb. Para análise estatística foram realizados os seguintes testes: Correlação de Pearson e Correlação de Spearman, representação gráfica de Bland e Altman, Teste t de Student, Erro RMS e Curva ROC. $\alpha=0,05$. Os valores angulares de referência da postura padrão das curvaturas sagitais da coluna vertebral para a fotogrametria foram determinados com a Curva ROC, a partir dos ângulos Cobb. **Resultados:** A correlação entre os ângulos DIPA e Cobb para a curvatura torácica foi muito alta ($r=0,813$, $p<0,001$), enquanto que para a curvatura lombar foi moderada ($r=0,426$, $p<0,001$). O erro entre as medidas foi de 8° para a curvatura torácica e 10° para a curvatura lombar, sem diferença estatística entre as medidas. As magnitudes fornecidas pelo *software* DIPA[®] apresentam boa concordância com o método Cobb, segundo Bland e Altman, apenas para a curvatura torácica. A curva ROC indicou acurácia boa e excelente para avaliar a hipercifose e a retificação da torácica e da lombar, porém indicou acurácia pobre para avaliar a hiperlordose lombar. Ainda, a partir da curva ROC foi possível determinar os valores de referência para a postura padrão da coluna vertebral, em avaliação da superfície como a fotogrametria, os quais são entre: $33,9^\circ$ e $39,9^\circ$ (para curvatura torácica) e $45,6^\circ$ e $47,2^\circ$ (para curvatura lombar). **Conclusão:** A metodologia de avaliação postural, desenvolvida no *software* DIPA[®] apresenta validade na identificação das magnitudes das curvaturas sagitais da coluna vertebral de adultos, além de fornecer classificação diagnóstica da postura da coluna torácica e lombar. Mesmo assim, recomenda-se cautela quanto à utilização do *software* DIPA[®] para diagnosticar especificamente a hiperlordose lombar. **Palavras-chave:** lordose lombar, cifose torácica, confiabilidade dos dados, fotogrametria

ABSTRACT

Aim: To verify the concurrent validity, based on comparison with X-rays, of a postural assessment methodology developed for the DIPA© software, for the identification of magnitudes and classification of adults sagittal spinal curvatures. **Methods:** 68 adults underwent two assessments of the spine on the same day and place, one with the DIPA© software protocol and another through radiological examinations of the thoracic and lumbar spine. The DIPA© software provided angular values of the thoracic and lumbar curvatures through trigonometric ratios, whereas the curvatures in the X-rays examinations were calculated using the Cobb method. For statistical analysis, the following tests were performed: Pearson correlation and Spearman correlation, Bland and Altman plot, Student test, RMS error and ROC Curve, $\alpha = 0.05$. The angular reference values of the standard posture of the sagittal spine curvatures for photogrammetry were determined by the ROC Curve based on the Cobb angles. **Results:** The correlation between the DIPA and Cobb angles for the thoracic curvature was very high ($r=0.813$, $p<0.001$), whereas for the lumbar curvature it was moderate ($r=0.426$, $p<0.001$). The error between measures was 8° for thoracic curvature and 10° for lumbar curvature, without statistical difference between measures. The magnitudes provided by the DIPA software presented good agreement with the Cobb Method, according to Bland and Altman, only for thoracic curvature. The ROC Curve indicated good and excellent accuracy for assessing hyperkyphosis and rectification of the thoracic and lumbar regions, but indicated poor accuracy to assess lumbar hyperlordosis. Also, from the ROC Curve it was possible to determine reference values for the standard posture of the spine in a surface evaluation such as the photogrammetry: between 33.9° - 39.9° for thoracic curvature and 45.6° - 47.2° for lumbar curvature. **Conclusion:** The postural evaluation methodology developed for the DIPA© software presents validity in the identification of the magnitudes of adult sagittal spinal curvatures, besides providing diagnostic classification for the posture of the thoracic and lumbar spine. Even so, caution is advised when using the DIPA© software to specifically diagnose lumbar hyperlordosis. **Keywords:** lumbar lordosis, thoracic kyphosis, data accuracy, photogrammetry

4.1 INTRODUÇÃO

A fotogrametria é um procedimento de avaliação postural quantitativo, o qual tem sido utilizado por profissionais e pesquisadores da área da saúde com intuito de identificar alterações posturais ou acompanhar a evolução de um tratamento (FURLANETTO *et al.*, 2016). Quando utilizada para avaliar a coluna vertebral, é capaz de fornecer informações numéricas das curvaturas sagitais da coluna vertebral (EDMONDSTON *et al.*, 2012; LETAFATKAR *et al.*, 2011), além de ser uma opção para evitar os problemas decorrentes das exposições à radiação (BARRETT; McCREESH; LEWIS, 2014).

Uma recente revisão sistemática a cerca dos métodos não-invasivos de avaliação sagital da coluna vertebral (SEDREZ *et al.*, 2016) mostrou que estudos utilizando a fotogrametria apresentam protocolos semelhantes de coleta de dados, entretanto diferem muito em relação aos procedimentos de análise de dados, pois os protocolos utilizam

diferentes *softwares* e procedimentos matemáticos para calcular as curvaturas sagitais. Assim, os autores sugerem que cada novo método proposto deva ser submetido aos procedimentos de validação adequados.

Dentre as metodologias que utilizam a fotogrametria associada a técnicas computadorizadas, foram desenvolvidos o protocolo e o *software* DIPA[®] (Digital Image-based Postural Assessment), os quais, em conjunto, permitem a avaliação de diferentes segmentos corporais no plano sagital e frontal, fornecendo um diagnóstico clínico da postura dos indivíduos (FURLANETTO *et al.*, 2011; CANDOTTI; FURLANETTO; LOSS, 2017). Os parâmetros de reprodutibilidade e validade do *software* DIPA[®] foram confirmados para algumas das variáveis posturais em estudos anteriores (FURLANETTO *et al.*, 2012; FURLANETTO *et al.*, 2017), carecendo ainda a validação dos valores angulares e do diagnóstico clínico das curvaturas sagitais da coluna vertebral. Assim, o objetivo do presente estudo foi verificar a validade concorrente, a partir da comparação com exames de Raios-X, de uma metodologia de avaliação postural, desenvolvida no *software* DIPA[®] para identificação das magnitudes e das classificações das curvaturas sagitais da coluna vertebral de adultos.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 AMOSTRA

Fizeram parte desse estudo indivíduos adultos voluntários, de ambos os sexos. Todos os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido e o estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob o número CAAE 34174014.1.0000.5347.

O tamanho da amostra foi calculado no *software* Gpower (versão 3.1.7), com base na família de testes z (Correlação de Pearson para amostras dependentes), admitindo um teste unicaudal, valor da hipótese nula de $r=0,50$, uma expectativa de correlação moderada ($r=0,7$), um $\alpha=0,05$ e um poder de 95%, resultando em uma amostra mínima de 60 participantes. Prevendo-se perdas e desistências em torno de 20% do n amostral, foram convidados a participar 72 indivíduos.

Os critérios de inclusão foram: manifestação de interesse em participar da pesquisa e apresentar requisição para realização de exame de Raios-X da coluna vertebral. Os critérios de exclusão foram: presença de espinha bífida, de seis vértebras lombares, doenças ou

deficiências que impeçam o ortostatismo; indivíduos que durante o período de avaliações estiverem em período gestacional; a existência de qualquer intervenção cirúrgica prévia na coluna vertebral; má visualização dos exames radiográficos; e indivíduos que optarem em desistir de participar do estudo.

4.2.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS

Cada indivíduo realizou no mesmo dia e local duas avaliações da coluna vertebral, uma com o protocolo DIPA e outra através de exames radiológicos. Para ambas as avaliações, os indivíduos estavam vestindo traje apropriado como biquíni, top, sutiã, short ou sunga. Em posição ortostática foram palpados e identificados no corpo dos indivíduos os seguintes pontos anatômicos de referência: processos espinhosos das vértebras C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2 (Figura 1a). Nesses pontos de referência foram colocados marcadores reflexivos para identificação na fotogrametria.

Posterior à marcação dos pontos anatômicos, o indivíduo foi posicionado para um único registro fotográfico, no plano sagital, estando com os membros inferiores unidos, respeitando o padrão postural de valgo ou varo de cada indivíduo, joelhos estendidos, ombros e cotovelos flexionados (Figura 1a). Para este registro, foram realizadas as orientações do protocolo de coleta descritas em estudos anteriores (FURLANETTO *et al.*, 2011; FURLANETTO *et al.*, 2017; CANDOTTI; FURLANETTO; LOSS, 2017).

Imediatamente após o registro fotográfico, na mesma sala, foram realizados dois exames de Raios-X, um da coluna torácica (Figura 1b) e outro da coluna lombar (Figura 1c), separadamente. A realização do exame de Raios-X ocorreu por um profissional responsável, no plano sagital, permanecendo o indivíduo na mesma posição estabelecida para a fotogrametria.

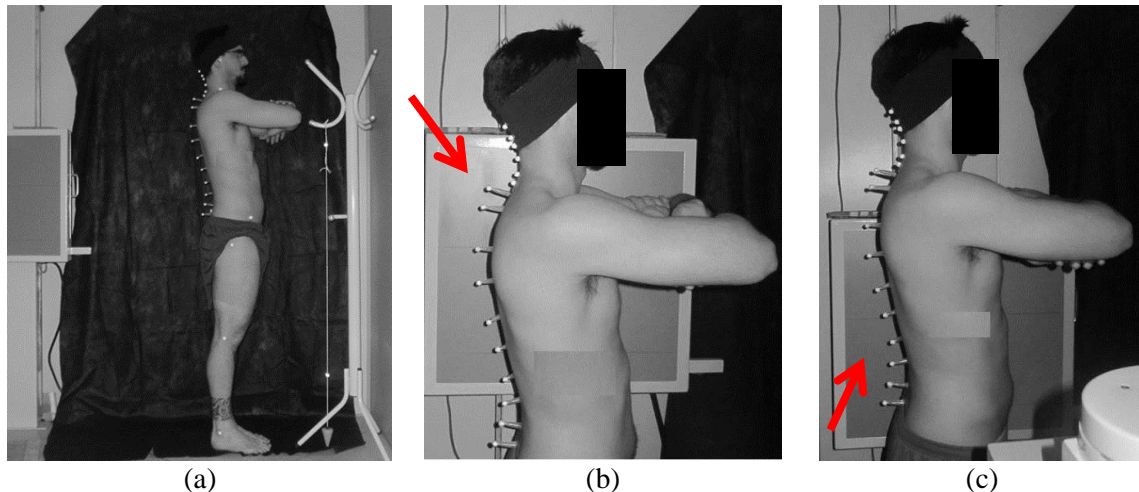


Figura 1 - Posicionamento do indivíduo em posição ortostática para o registro fotográfico (a) e realização dos exames de Raios-X da coluna torácica – o detalhe mostra a plataforma posicionada na região da torácica (b) e da coluna lombar – o detalhe mostra a plataforma posicionada na região da lombar (c), com os pontos anatômicos de referência palpados e identificados na superfície da pele.

4.2.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS

Em posse dos registros fotográficos, as imagens foram transferidas para um microcomputador e analisadas pelo *software* DIPA[®] 3.4, o qual forneceu informações quantitativas (valores angulares) das curvaturas sagitais da coluna vertebral.

Para o cálculo dos valores angulares das curvaturas sagitais, para cada um dos pontos anatômicos foi estabelecido um sistema de coordenadas bidimensional, no qual o eixo x representa a direção super-inferior e o eixo y a direção ântero-posterior. A partir dos pares ordenados foram criados dois conjuntos de pares ordenados, um para cada curvatura (torácica e lombar). De posse dos pares ordenados que representam as curvaturas torácica e lombar, separadamente, os mesmos foram introduzidos em um algoritmo desenvolvido pelo método dos mínimos quadrados no *software* IDL, que, através de um polinômio de 3^o grau estimou o contorno das curvaturas da coluna. Uma vez estabelecido o contorno da coluna vertebral, utilizando relações trigonométricas, o *software* forneceu o ângulo calculado entre duas retas tangentes à curvatura. Os ângulos foram calculados entre os pontos: processo espinhoso de T2 e T12 para a curvatura torácica (Figura 2a) e processo espinhoso de T10 e S2 para a curvatura lombar (Figura 2b) (FURLANETTO *et al.*, *in press*).

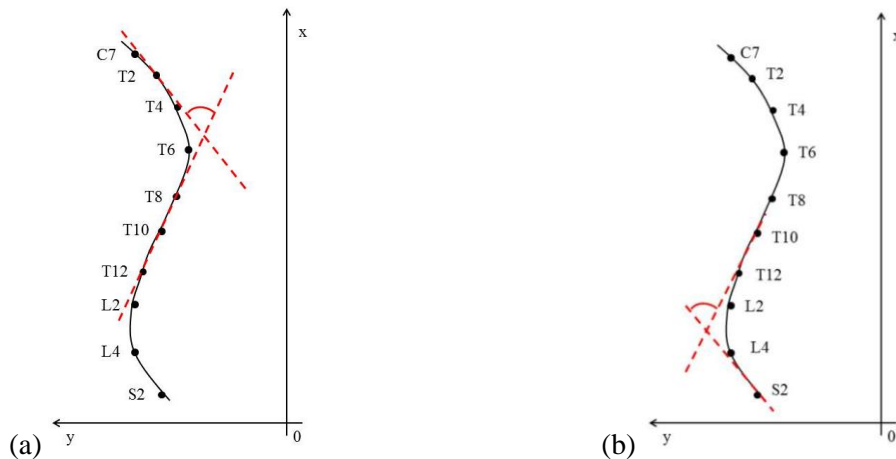


Figura 2 - Cálculo dos ângulos da curvatura torácica (a) e da curvatura lombar (b) fornecido pelo *software* DIPA[®].

Para a obtenção dos valores angulares das curvaturas torácica e lombar, nos exames de Raios-X, foi utilizado o método Cobb duas linhas (GOH *et al.*, 2000; MAC-THIONG *et al.*, 2007). O cálculo do método Cobb foi calculado por meio de uma rotina matemática no *software* MATLAB[®] 7.9. Para o cálculo do ângulo da cifose torácica e lordose lombar, retas foram traçadas, uma seguindo a borda superior da vértebra craniana e a outra seguindo a borda inferior da vértebra caudal, que juntas representam os limites da curvatura de interesse. A união destas duas retas forma o assim chamado ângulo de Cobb da curvatura torácica e da curvatura lombar (GOH *et al.*, 2000; MAC-THIONG *et al.*, 2007). Para a curvatura torácica o cálculo do ângulo Cobb foi realizado entre as vértebras T5-T12 (Figura 3a) e para a curvatura lombar o cálculo do ângulo Cobb foi realizado entre as vértebras L1-L5 (Figura 3b).

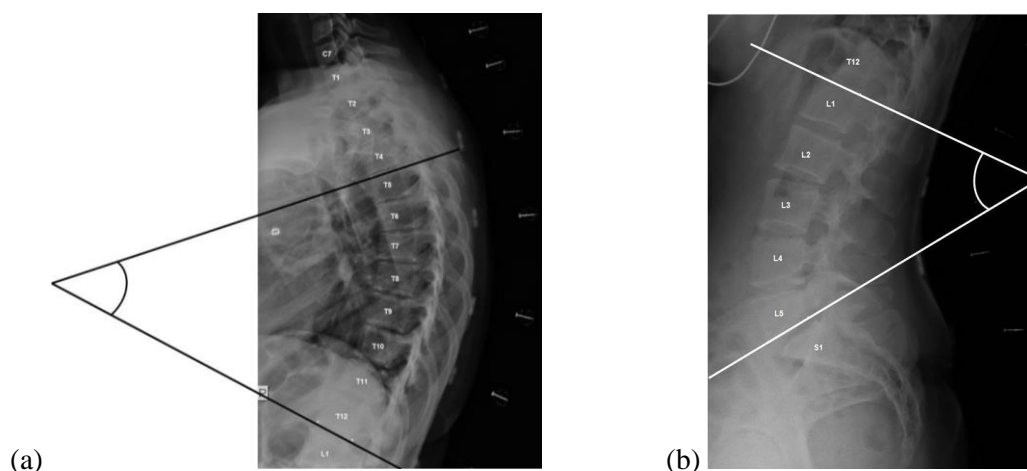


Figura 3 - Cálculo dos ângulos das curvaturas torácica (a) e lombar (b) realizado nos exames de Raios-X a partir do método Cobb duas linhas.

Ainda, a partir do conhecimento do ângulo Cobb, as curvaturas torácica e lombar, nos exames de Raios-X, foram classificadas segundo os valores de referência da postura padrão da coluna vertebral, determinada para os exames de Raios-X¹. Portanto, a amostra desse estudo pôde ser classificada em três diferentes grupos para cada curvatura. Para a coluna torácica, os indivíduos foram classificados como (1) cifose normal: Cobb entre 33,7° a 40,3°, (2) cifose aumentada: Cobb>40,3° e (3) cifose diminuída: Cobb<33,7°. Para a coluna lombar, os indivíduos foram classificados como (1) lordose normal: Cobb entre 38,1° a 45,6°, (2) lordose aumentada: Cobb>45,6° e (3) diminuída: Cobb<38,1°.

4.2.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para o tratamento estatístico foi utilizado o *software* SPSS versão 20, onde foi realizada análise descritiva e inferencial dos dados. A análise descritiva foi apresentada através de média e desvio padrão dos valores angulares obtidos pelo *software* DIPA[®] e radiografias. Para a análise inferencial, foi, primeiramente, verificada a normalidade dos dados utilizando o Teste Kolmogorov-Smirnov. O nível de significância adotado em todos os testes foi de 0,05.

Para identificar a validade concorrente do *software* DIPA[®] das magnitudes angulares das curvaturas sagitais da coluna vertebral, seus resultados foram comparados com o padrão ouro, ou seja, com os exames de Raios-X. Nesse sentido, os seguintes procedimentos estatísticos foram realizados: (1) Regressão Linear Simples, para prever os valores corrigidos dos ângulos DIPA, a partir dos ângulos Cobb; (2) Teste de Correlação Produto Momento de Pearson para verificar a correlação entre os métodos; (3) Representação gráfica proposta por Bland e Altman (1986) para verificar a concordância entre os métodos; (4) Teste t de Student para verificar as diferenças entre os métodos; e (5) Cálculo do Erro RMS (*Root Mean Square*) para verificar o erro entre os métodos.

Para identificar a validade concorrente das classificações de postura das curvaturas, fornecidas por ambos os métodos (*software* DIPA[®] e exames de Raios-X), foram utilizados: (1) Curva ROC (*Receiver Operator Characteristics*) para verificar a acurácia no diagnóstico das alterações das curvaturas torácica e lombar, onde foi calculada a área sob a curva, os pontos de corte, a sensibilidade e a especificidade do *software* DIPA[®]. Nessa análise, para a curvatura torácica, o teste de acurácia foi dividido em: (a) capacidade de diagnosticar

¹ Os valores de referência foram estabelecidos por meta-análise (Capítulo 2 dessa tese de doutorado).

retificação torácica e (b) capacidade de diagnosticar hipercifose torácica. Para a curvatura lombar, o teste de acurácia foi dividido em: (a) capacidade de diagnosticar retificação lombar e (b) capacidade de diagnosticar hiperlordose lombar; e (2) Teste de Correlação de Spearman para verificar a correlação entre os resultados da classificação da postura fornecida pelos dois métodos, sendo que a classificação do *software* DIPA[®] dada a partir dos pontos de corte definidos na Curva ROC.

Os valores r e ρ foram classificados em correlação muito baixa (entre 0,0 e 0,1), baixa (entre 0,1 e 0,3), moderada (entre 0,30 e 0,5), alta (entre 0,5 e 0,7), muito alta (entre 0,7 e 0,9) e praticamente perfeita (entre 0,9 e 1,00), conforme Hopkins (2000). A área sob a curva ROC, que determina a acurácia no diagnóstico de alterações das curvaturas torácica e lombar, foi classificada em excelente ($>0,9$), bom (0,8 a 0,89), regular (0,7 a 0,79), ruim (0,6 a 0,69) e reprovado (0,5 a 0,59), de acordo com Câmara (2009).

4.3 RESULTADOS

Do total de indivíduos convidados a participar do estudo, 68 indivíduos aceitaram participar da pesquisa. Porém, dois indivíduos tiveram suas radiografias da região torácica excluídas, devido à péssima qualidade da imagem. A média de idade, massa corporal e estatura foram $36,5 \pm 15,9$ anos, $69,7 \pm 14,1$ kg e $1,7 \pm 0,1$ m, respectivamente.

4.3.1 VALORES ANGULARES DAS CURVATURAS SAGITAIS

Os valores absolutos dos ângulos DIPA são superiores aos valores dos ângulos mensurados nas radiografias, em ambas as curvaturas (Tabela 1). A correlação entre os ângulos DIPA e os ângulos Cobb para a curvatura torácica foi muito alta e significativa, enquanto que para a curvatura lombar foi moderada e significativa (Tabela 1, Figura 4). As equações de predição (Figura 4) que permitiram prever os valores angulares do *software* DIPA[®], resultaram em valores corrigidos dos ângulos DIPA similares aos dos ângulos Cobb (Tabela 1). No que se refere ao ângulo DIPA absoluto, o erro absoluto entre as medidas, dos dois métodos, foi de $12,9^\circ$ para a curvatura torácica e 11° para a curvatura lombar, existindo diferença significativa entre as avaliações. No entanto, após a correção dos valores angulares do DIPA, o erro absoluto entre as medidas foi de 8° para a curvatura torácica e 10° para a curvatura lombar, sem diferença estatística entre as medidas (Tabela 1).

Tabela 1 - Média e desvio padrão (DP) dos ângulos (°) DIPA e Cobb nas curvaturas torácica e lombar; coeficiente de correlação de Pearson; Teste t de *Student* e erro RMS da comparação entre as medidas.

		Média° ± DP°	r	p	t	p	RMS
Torácica (n=66)	DIPA absoluto	45,2 ± 14,2					
	Cobb	35,7 ± 14,1	0,815	p<0,001*	-8,940	p<0,001*	12,9°
	DIPA corrigido	35,7 ± 11,6					
	Cobb	35,7 ± 14,1	0,813	p<0,001*	0,055	0,956	8,2°
Lombar (n=68)	DIPA absoluto	51,2 ± 6,2					
	Cobb	47,0 ± 11,4	0,426	p<0,001*	-3,351	0,001*	11°
	DIPA corrigido	47,0 ± 4,8					
	Cobb	47,0 ± 11,4	0,426	p<0,001*	0,008	0,993	10,2°

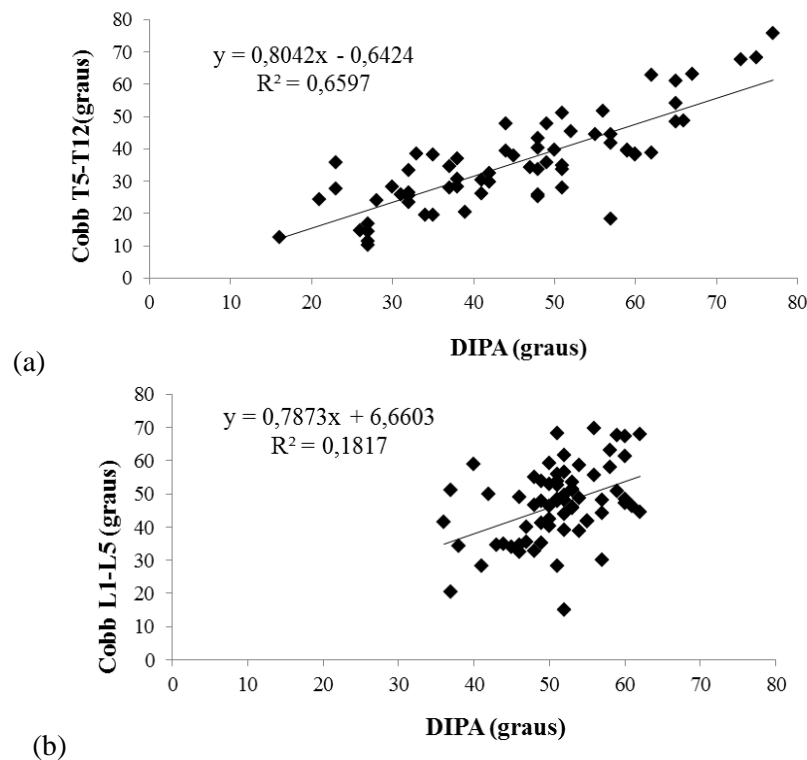


Figura 4 - Diagrama de dispersão entre as medidas obtidas com o *software* DIPA[®] e com o exame de Raios-X para a curvatura torácica (a) e lombar (b).

O método gráfico de Bland e Altman demonstra a concordância entre os ângulos Cobb e o os ângulos DIPA corrigidos (Figura 5). Observa-se que a diferença média entre os ângulos (Cobb-DIPA) foi de 0°, tanto para a região torácica quanto para a lombar. O desvio-padrão (+2 DP) da média das diferenças foi de +16,7° na curvatura torácica e de +20,6° na curvatura lombar. Percebe-se que a grande maioria dos indivíduos está predominantemente dentro dos limites de concordância. Entretanto, na curvatura lombar observa-se uma tendência crescente da diferença entre as medidas à medida que a média entre elas aumenta, devendo-se ter cautela ao afirmar a concordância das medidas na região lombar, especialmente em curvaturas mais acentuadas.

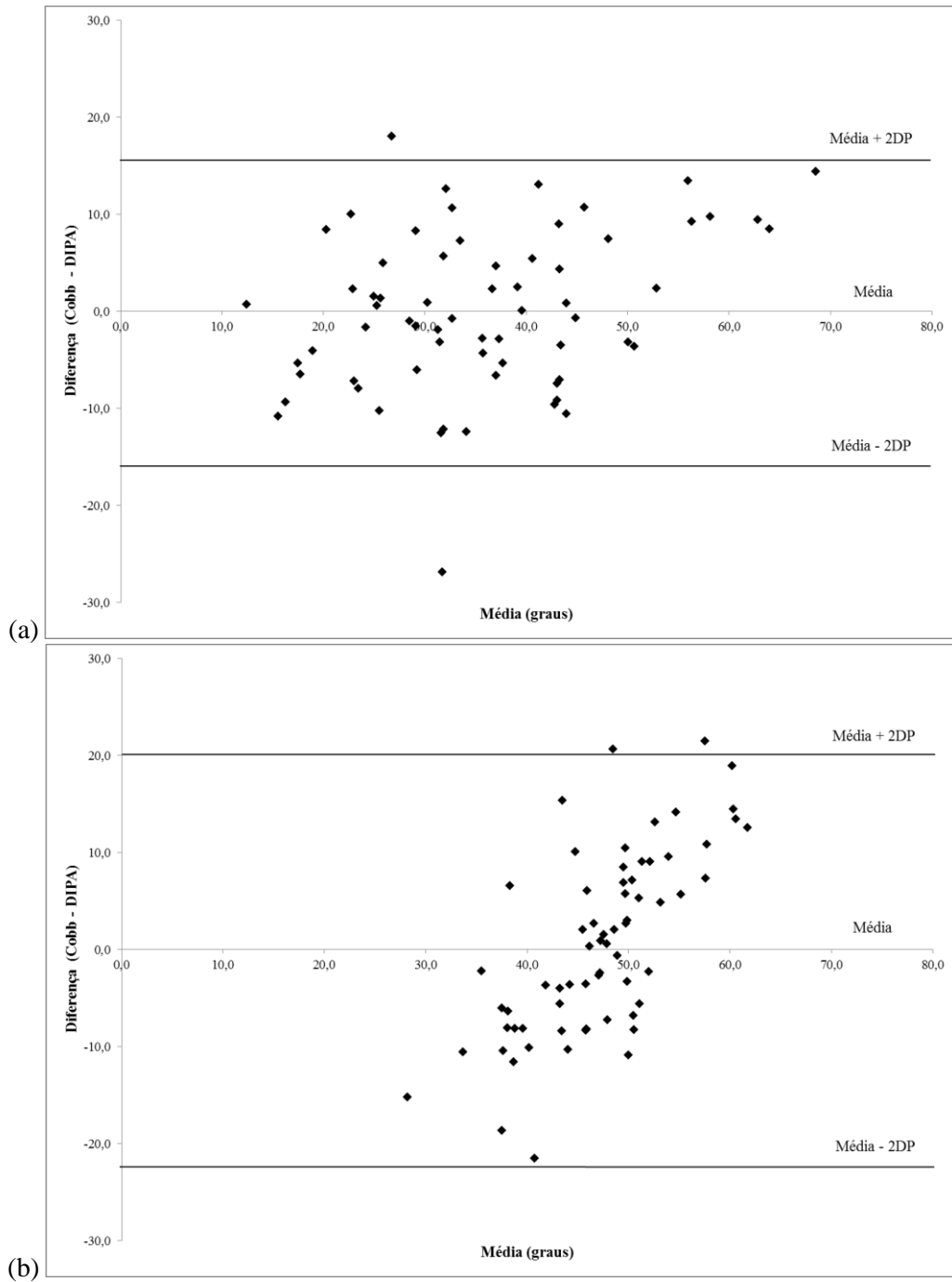


Figura 5 - Método gráfico de Bland e Altman: concordância entre os ângulos DIPA corrigidos e Cobb para a curvatura torácica (a) e lombar (b).

4.3.2 CLASSIFICAÇÕES DAS CURVATURAS SAGITAIS

A avaliação da acurácia do *software* DIPA[®] em diagnosticar o aumento e a diminuição das curvaturas, torácica e lombar, foi realizada pela análise da curva ROC (Figura 6). A área sob a curva ROC para o diagnóstico de hipercifose torácica (Figura 6a) foi de 0,900 ($p < 0,000$), o que indica uma acurácia excelente, apresenta sensibilidade de 78,9% e especificidade de 80,9%, ao utilizar o ponto de corte de 39,9°. A área sob a curva ROC para o diagnóstico de retificação torácica (Figura 6b) foi de 0,888 ($p < 0,000$), indicando uma boa acurácia, com sensibilidade de 86,1% e especificidade de 83,3%, ao utilizar o ponto de corte de 33,9°.

Na curvatura lombar, a área sob a curva ROC para o diagnóstico de hiperlordose (Figura 6c) foi de 0,686 ($p = 0,010$), o que indica uma acurácia ruim, com sensibilidade de 60% e especificidade de 64,3%, ao utilizar o ponto de corte de 47,2°. A área sob a curva ROC para o diagnóstico de retificação lombar (Figura 6d) foi de 0,821 ($p < 0,000$), indicando uma boa acurácia, com sensibilidade de 79,6% e especificidade de 78,6%, ao utilizar o ponto de corte de 45,6°.

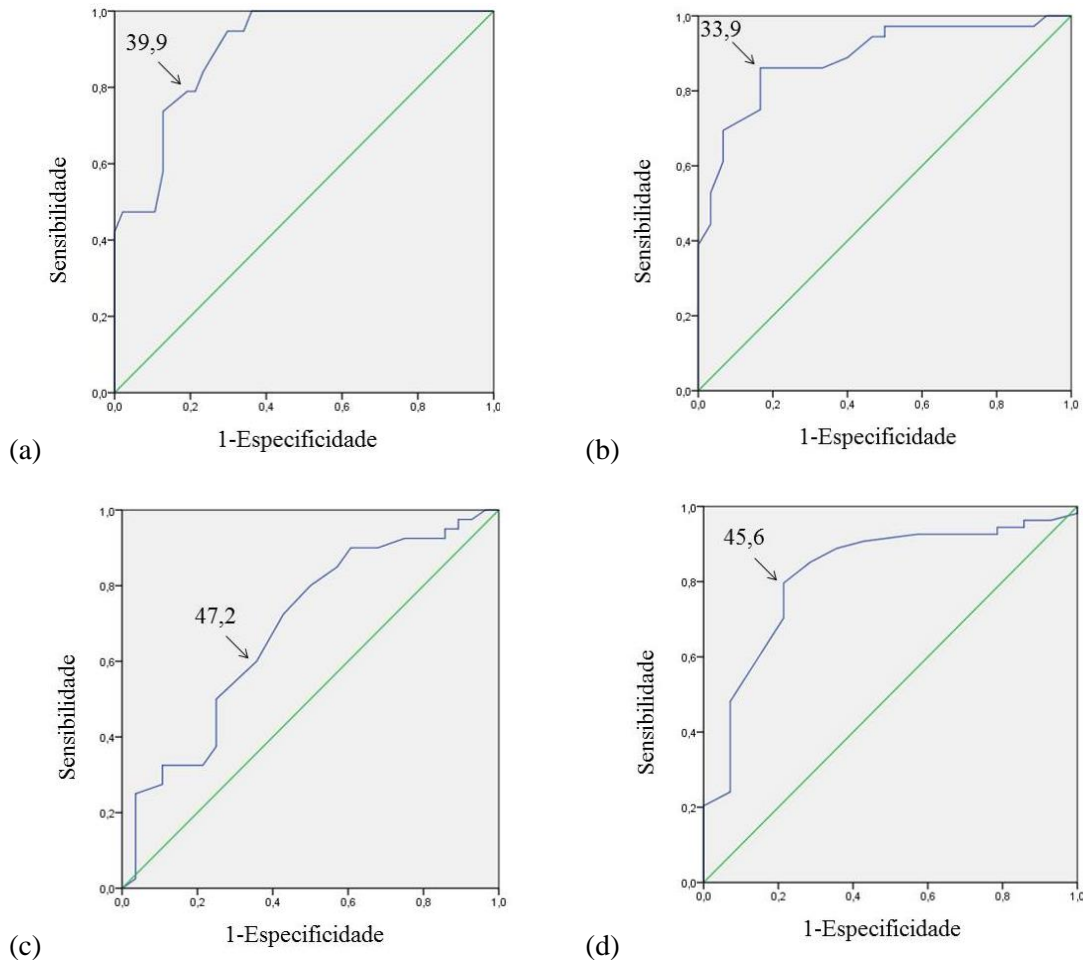


Figura 6 - Curva ROC para diagnóstico de (a) hiper cifose torácica, (b) retificação torácica, (c) hiperlordose lombar e (d) retificação lombar, a partir dos ângulos DIPA corrigidos de cifose torácica e lordose lombar.

A partir de cada curva ROC foi possível determinar os valores de referência da postura padrão para os ângulos fornecidos pelo *software* DIPA[®] na avaliação das curvaturas torácica e lombar. A Tabela 2 sumariza os valores de referência de normalidade tanto para os ângulos Cobb, quanto para os ângulos DIPA corrigidos.

Tabela 2 - Valores de referência da normalidade do *software* DIPA[®] e dos exames de Raios-X para as curvaturas torácica e lombar da coluna vertebral.

	Ângulo DIPA corrigido	Ângulo Cobb*
Torácica	33,9° - 39,9°	33,7° - 40,3°
Lombar	45,6° - 47,2°	Ângulo Cobb (L1-L5)* 38,1° - 45,6°

*Valores fornecidos a partir da meta-análise (Capítulo 2 dessa tese de doutorado)

A correlação entre as classificações do *software* DIPA[®] e dos exames de Raios-X para a curvatura torácica foi alta e significativa ($\rho=0,660$; $p<0,001$), enquanto que para a curvatura lombar foi baixa e significativa ($\rho=0,287$; $p=0,018$).

4.4 DISCUSSÃO

O *software* DIPA[®] apresenta validade na identificação das magnitudes das curvaturas torácica e lombar da coluna vertebral de adultos. Além disso, apresenta validade em fornecer classificações da curvatura torácica, carecendo de mais estudos para a capacidade em fornecer um diagnóstico de hiperlordose lombar.

As correlações encontradas em relação ao padrão ouro e o pequeno erro RMS demonstram uma alta capacidade do *software* DIPA[®] em avaliar a curvatura torácica e lombar da coluna vertebral. Considerando que na avaliação do método Cobb pode ocorrer um erro de $\pm 5^\circ$, devido à variabilidade inerente ao exame e ao avaliador (VRTOVEC; PERNUS; LIKAR, 2009), os erros de 8° e 10° , encontrados para as curvaturas torácica e lombar, respectivamente, demonstram que o erro aleatório na comparação entre as medidas é satisfatório, considerando que podem variar 4° e 5° para mais ou para menos.

Apesar desses achados, a curvatura lombar forneceu resultados de correlação mais baixos quando comparados com a curvatura torácica. Isso pode ser explicado porque a curvatura lombar é menor em relação à curvatura torácica, e quanto menor a distância entre os níveis vertebrais avaliados, menor a representativa da curva, podendo ser encontrado grandes variações angulares quando avaliadas (LEROUX *et al.*, 2000).

Ainda nesse sentido, os resultados do Bland Altman demonstraram menor concordância entre os resultados das avaliações na curvatura lombar, mostrando uma tendência a um aumento da diferença entre os instrumentos quanto maior a média entre eles. Assim, é preciso ter cautela na avaliação da curvatura lombar com o *software* DIPA[®], pois, apesar de haver correlação do seu resultado com as radiografias, os resultados não necessariamente concordam em todo o espectro mensurado. Não obstante, a variabilidade (Tabela 1, Figura 5) da avaliação da coluna lombar nas radiografias (desvio padrão de $11,4^\circ$) é maior que na fotogrametria (desvio padrão de $6,2^\circ$). Isso demonstra que a avaliação da fotogrametria fornece resultados de magnitude da curvatura lombar mais próximos da média, enquanto que o método Cobb consegue avaliar melhor as menores e maiores magnitude da curvatura.

A fotogrametria utiliza a representação dos processos espinhosos na superfície da pele em sua avaliação, enquanto que o método Cobb utiliza os corpos vertebrais para calcular a magnitude das curvaturas. Anatomicamente, os processos espinhosos apresentam um ângulo de inclinação em relação ao corpo vertebral (GILAD; NISSAN, 1985). Ao mesmo tempo em que a fotogrametria tem sido utilizada para desenhar o contorno do tronco, podendo fornecer informações diferentes daquelas obtida através de um exame de Raios-X (SAAD *et al.*, 2011). Ainda, quando se compara as curvaturas a partir da superfície da pele e do processo espinhoso é possível especular, qualitativamente, no exame de Raios-X que a massa adiposa de cada indivíduo pode influenciar negativamente na localização dos processos espinhosos, além de fornecer uma discrepância nos resultados entre as curvas internas e o contorno dessas curvas externamente. Mesmo com as rotinas de cálculos² do *software* DIPA[®], os achados da coluna lombar ainda podem estar sendo afetados pelo maior índice de massa muscular e adiposa presentes sobre as vértebras lombares, o qual pode modificar a curvatura quando avaliada pela superfície.

Essa especulação pode ser confirmada, ainda, pelos resultados de um estudo ainda não publicado³, que mostram maior distância entre as vértebras lombares e a superfície (em torno de 4cm), quando comparada à distancia entre as vértebras torácicas e superfície (em torno de 1,7cm). Na Figura 7 pode se observar a maior diferença entre o contorno da curva interna e externa da coluna, quando o indivíduo tem maior tecido adiposo (Figura 7b) em relação ao indivíduo com menor tecido adiposo nessa região (Figura 7a).

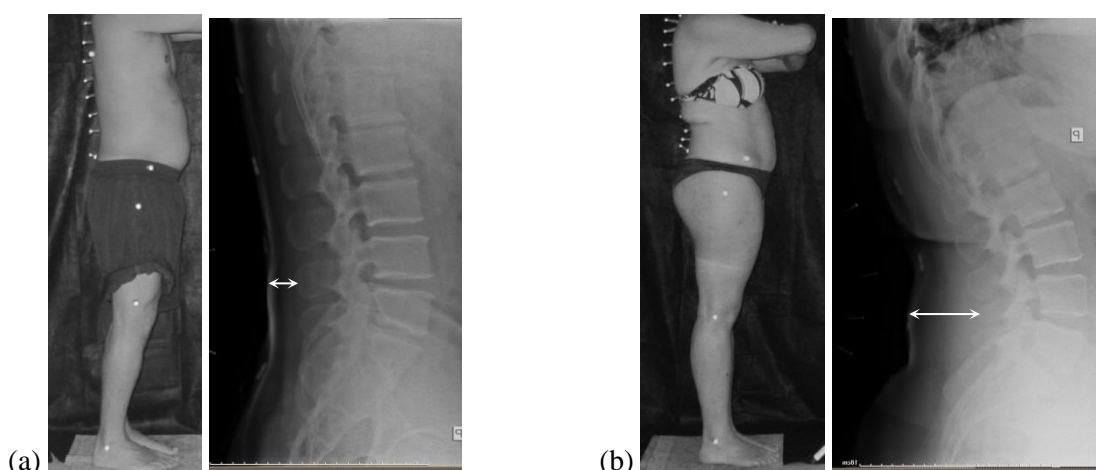


Figura 7 - Exemplos de radiografias de indivíduos com menor tecido adiposo (a) e com maior tecido adiposo na região lombar (b). Pode-se observar uma diferença maior entre a curvatura interna e externa nos indivíduos com maior tecido adiposo.

² Equações de predição permitem estimar com precisão e acurácia os ângulos das curvaturas sagitais internas da coluna vertebral a partir da superfície da pele de adultos (Capítulo 3 dessa tese de doutorado).

³ Capítulo 5 dessa tese de doutorado.

Outro fator que pode explicar os maiores erros entre as medidas na curvatura lombar é a grande inclinação de algumas vértebras em relação a outras, como por exemplo, as vértebras sacrais (MARTY *et al.*, 2002). Essa inclinação acentuada tende a ser refletida também no contorno da superfície das costas, sendo facilmente visualizada nos marcadores utilizados nas vértebras palpadas no *software* DIPA[®], os quais não conseguem representar essa inclinação. Os marcadores são representativos de apenas um ponto referente ao processo espinhoso da vértebra, e com apenas um ponto não se consegue definir uma linha de inclinação (Figura 8). Ao realizar a digitalização desses pontos no *software* DIPA[®], o mesmo é simplesmente projetado rente à superfície da pele, descontando o tamanho do marcador utilizado. Porém, essa representação não considera a inclinação existente entre o marcador e a pele, projetando o ponto em uma linha reta (Figura 8a). Nota-se que, caso o *software* DIPA[®] fosse programado para contabilizar essa inclinação, quando fosse projetar o marcador na pele, representaria essa angulação (Figura 8b), o que resultaria, possivelmente, em uma magnitude maior da curvatura lombar. Assim, essa pode ser considerada uma limitação do presente estudo, podendo ser diminuída pela digitalização de pontos no marcador utilizado pelo *software*.

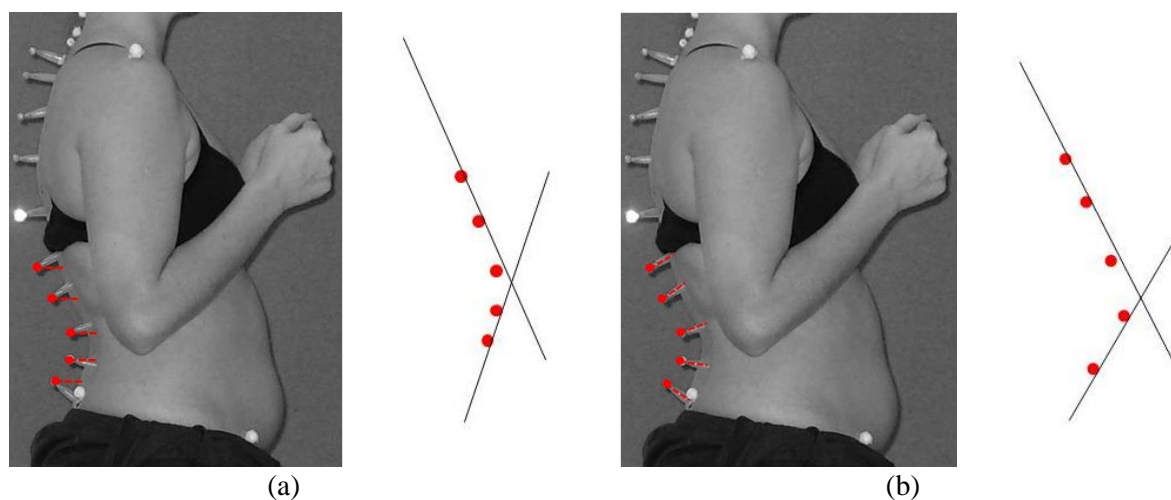


Figura 8 - Exemplo da projeção na superfície da pele do marcador utilizado pelo *software* DIPA[®] (a) e sugestão da projeção na superfície da pele levando em conta a inclinação do marcador (b).

Outros estudos utilizando a fotogrametria também já validaram suas metodologias fornecendo um resultado acurado na avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral (EDMONDSTON *et al.*, 2012; LETAFATKAR *et al.*, 2011; FORTIN *et al.*, 2010; VAN NIEKERK *et al.*, 2008). Entretanto, dois deles avaliaram somente a curvatura torácica (EDMONDSTON *et al.*, 2012; VAN NIEKERK *et al.*, 2008).

O grande diferencial do *software* DIPA[®], quando comparado às metodologias que utilizam a fotogrametria para avaliar as curvaturas sagitais da coluna vertebral, é ser um *software* disponibilizado livremente e que fornece informações sobre a metodologia de cálculos que subsidia os resultados da avaliação. Aliado a isso, tem-se ainda, a capacidade diagnóstica da metodologia, fornecendo uma classificação da postura da coluna vertebral dos indivíduos. Por exemplo, alguns softwares, como o PAS/SAPO (FERREIRA *et al.*, 2010) e o ALCimagem[®]-2000 (IUNES *et al.*, 2008; IUNES *et al.*, 2009; IUNES *et al.*, 2010) estão facilmente disponíveis aos usuários, entretanto suas análises não permitem ao usuário identificar o significado clínico da avaliação.

Em relação à classificação da postura das curvaturas, os resultados para a curvatura torácica também foram melhores que a curvatura lombar. A capacidade diagnóstica do *software* DIPA[®] em identificar o aumento ou a diminuição da magnitude da curvatura torácica é excelente, fornecendo um espectro adequado de valores de referência da normalidade da curvatura. Entretanto, na curvatura lombar, o espectro de valores foi muito reduzido, com os valores máximo e mínimo próximos da média, dificultando a capacidade do *software* DIPA[®] em reconhecer indivíduos com alterações posturais, principalmente em relação ao aumento da curvatura. Assim, cabe ressaltar que o limite de normalidade superior do *software* DIPA[®] para a coluna lombar talvez não seja o mais confiável, carecendo de mais estudos para defini-lo melhor.

Ainda, outra possível limitação do presente estudo foi a realização da coleta de dados com radiografias segmentadas da coluna vertebral. Na prática, a aplicação da radiação é maior na aquisição das imagens radiológicas da coluna lombar, devido à maior massa presente nessa região, o que facilita a visualização dos corpos vertebrais e processos espinhosos. Em contrapartida, na coluna torácica encontrou-se baixa resolução de algumas imagens, o que acabou gerando algumas exclusões. A radiografia panorâmica poderia fornecer um contorno contínuo das curvaturas sagitais, assim como são realizados os cálculos no *software* DIPA[®] e talvez uma melhor visualização da postura da coluna vertebral total do indivíduo.

Finalizando, além do *software* DIPA[®] consistir em uma ferramenta reproduzível (FURLANETTO *et al.*, 2017), agora, a partir dos resultados do presente estudo, é também válida para identificar as magnitudes das curvaturas sagitais da coluna vertebral de adultos, além de fornecer classificação diagnóstica da postura da coluna torácica e lombar. No entanto, estudos futuros devem ser conduzidos com o objetivo de melhorar o cálculo das magnitudes da curvatura lombar, possibilitando um diagnóstico clínico mais exato. Mesmo assim, acredita-se que os fisioterapeutas, quiropraxistas, educadores físicos e muitos estudantes e

professores da área da postura corporal, ao utilizarem o *software* DIPA[®], estarão sendo beneficiados na prática clínica, em avaliações esportivas e escolares e nas pesquisas científicas, pois podem contar com um instrumento de avaliação, de fácil uso e gratuito e que fornece resultados precisos, exatos, quantitativos e descritivos/classificatórios da coluna vertebral dos indivíduos.

4.5 CONCLUSÃO

A metodologia de avaliação postural, desenvolvida no *software* DIPA[®] apresenta validade na identificação das magnitudes das curvaturas sagitais da coluna vertebral de adultos, além de fornecer classificação diagnóstica da postura da coluna torácica e lombar. Mesmo assim, recomenda-se cautela quanto à utilização do *software* DIPA[®] para diagnosticar especificamente a hiperlordose lombar.

REFERÊNCIAS

- BARRETT, E.; MCCREESH, K.; LEWIS, J. Reliability and validity of non-radiographic methods of thoracic kyphosis measurement: A systematic review. **Manual Therapy**. v. 19, p. 10-17, 2014.
- BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, v. 327, n. 8476, p. 307-10, 1986.
- CÂMARA FP. Psiquiatria e estatística V: Validação de procedimentos diagnóstica pela curva R.O.C. **Psychiatry on line Brasil**, v.14, n.4, 2009.
- CANDOTTI, C. T.; FURLANETTO, T. S.; LOSS, J. F. **Manual de utilização do DIPA[®] v.3.3: software para avaliação da postura corporal estática**. Porto Alegre: Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento, Escola de Educação Física/UFRGS, 2017. 36 p.: il.
- EDMONDSTON, S. J.; CHRISTENSEN, M. M.; KELLER, S.; STEIGEN, L. B.; BARCLAY, L. Functional radiographic analysis of thoracic spine extension motion in asymptomatic men. **J Manipulative Physiol Ther**. v. 35, n. 3, p. 203-208, 2012.
- FORTIN, C.; FELDMAN, D. E.; CHERIET, F.; LABELLE, H. Validity of a quantitative clinical measurement tool of trunk posture in idiopathic scoliosis. **Spine**. v. 35, n. 19, p. E988-E994, 2010.
- FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; COMERLATO, T.; LOSS, J. F. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. **Comput Methods Programs Biomed**. v. 108, p. 203-212, 2012.

FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; SEDREZ, J. A.; NOLL, M.; LOSS, J. F. Evaluation of the precision and accuracy of the DIPA *software* postural assessment protocol. **European Journal of Physiotherapy**. 2017. DOI: 10.1080/21679169.2017.1312516.

FURLANETTO, T. S.; CHAISE, F. O.; CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. Fidedignidade de um protocolo de avaliação postural. **Revista da Educação Física/UEM**. v. 22, n. 3, p. 411-419, 2011.

FURLANETTO, T. S.; OLIVEIRA, E. B. C.; CANDOTTI, C. T.; VIEIRA, A.; MESQUITA, P. V.; NAVARRO, I. J. R. L.; LOSS, J. F. Developing and validating prediction equations for the spinal internal curve angles based on the skin surface. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**. *In press*.

FURLANETTO, T. S.; SEDREZ, J. A.; CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review. **World Journal of Orthopedics**. v. 7, n. 2, p. 136-148, 2016.

GOH, S.; PRICE, R. I.; LEEDMAN, P. J.; SINGER, K. P. A comparison of three methods for measuring thoracic kyphosis: implications for clinical studies. **Journal of Rheumatology**. v. 39, n. 3, p. 310-315, 2000.

HOPKINS, W. G. **A New View of Statistics**: A scale of magnitudes for effect statistics. Internet Society for Sport Science: <http://www.sportsci.org/resource/stats/>, 2000.

IUNES, D. H.; BEVILAQUA-GROSSI, D.; OLIVEIRA, A. S.; CASTRO, F. A.; SALGADO, H. S. Comparative analysis between visual and computerized photogrammetry postural assessment. **Braz J Phys Ther**. v. 13, n. 4, p. 308-15, 2009.

IUNES, D. H.; CECÍLIO, M. B. B.; DOZZA, M. A.; ALMEIDA, P. R. Quantitative photogrammetric analysis of the Klapp method for treating idiopathic scoliosis. **Braz J Phys Ther**. v. 14, n. 2, p. 133-140, 2010.

IUNES, D. H.; MONTE-RASO, V. V.; SANTOS, C. B. A.; CASTRO, F. A.; SALGADO, H. S. Postural influence of high heels among adult women: analysis by computerized photogrammetry. **Braz J Phys Ther**. v. 12, n. 6, p. 454-459, 2008.

LETAFATKAR, A.; AMIRSASAN, R.; ABDOLVAHABI, Z.; HADADNEZHAD, M. Reliability and validity of the AutoCAD software method in lumbar lordosis measurement. **J Chiropr Med**. v. 10, p. 240-247, 2011.

MAC-THIONG, J. M.; PINEL-GIROUX, F. M.; GUISE, J. A.; LABELLE, H. Comparison between constrained and non-constrained Cobb techniques for the assessment of thoracic kyphosis and lumbar lordosis. **Eur Spine J**. v. 16, p. 1325-1331, 2007.

MARTY, C.; BOISAUBERT, B.; DESCAMPS, H.; MONTIGNY, J.; HECQUET, J.; LEGAYE, J.; DUVAL-BEAUPÈRE, G. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. **Eur Spine J**. v. 11, n. 2, p. 119-125, 2002.

OLIVEIRA, T. S.; CANDOTTI, C. T.; LA TORRE, M.; PELINSON, P. P. T.; FURLANETTO, T. S.; KUTCHAK, F. M.; LOSS, J. F. Validity and reproducibility of

the measurements obtained using the Flexicurve instrument to evaluate the angles of thoracic and lumbar curvatures of the spine in the sagittal plane. **Rehabil Res Pract.** 2012

SAAD, K. R.; COLOMBO, A. S.; RIBEIRO, A. P.; JOÃO, S. M. Reliability of photogrammetry in the evaluation of the postural aspects of individuals with structural scoliosis. **Journal of Bodywork & Movement Therapies.** v. 16, n. 2, p. 210-216, 2011.

SEDREZ, J. A.; CANDOTTI, C. T.; FURLANETTO, T. S.; LOSS, J. F. Non-invasive postural assessment of the spine in the sagittal plane: a systematic review. Motricidade[©] Edições Desafio Singular. v. 12, n. 2, p. 40-154, 2016.

VAN NIEKERK, S.; LOUW, Q.; VAUGHAN, C.; GRIMMER-SOMERS, K.; SCHREVE, K. Photographic measurement of upper-body sitting posture of high school students: A reliability and validity study. **BMC Musculoskelet Disord.** v. 9, n. 113, p. 1-11, 2008.

VRTOVEC, T.; PERNUS, F.; LIKAR, B. A review of methods for quantitative evaluation of spinal curvature. **Euro spine J.** v. 18, n. 5, p. 593-607, 2009.

CAPÍTULO 5

ARTIGO ORIGINAL

Quantificação da geometria vertebral e análise da concordância da palpação dos processos espinhosos da coluna vertebral em radiografias sagitais

(Quantification of vertebral geometry and analysis of concordance of spinal processes palpation in sagittal radiographs)

RESUMO

Objetivos: quantificar radiograficamente a altura e a largura das vértebras, o ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral, as distâncias entre o corpo vertebral e o processo espinhoso, e entre o processo espinhoso e a superfície da pele; e avaliar o percentual de concordância da palpação dos processos espinhosos com a sua localização real. **Metodologia:** Foram avaliadas 68 radiografias digitais da coluna torácica e lombar pertencentes a um banco de dados. Os processos espinhosos das vértebras C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2 apresentavam marcadores metálicos para identificação nos exames de Raios-X. Para análise da geometria vertebral, foram analisadas: (1) altura anterior do corpo vertebral, (2) altura posterior do corpo vertebral, (3) largura superior do corpo vertebral, (4) largura inferior do corpo vertebral, (5) ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral, (6) distância entre o corpo vertebral e o processo espinhoso, e (7) distância entre o processo espinhoso e a superfície da pele. Para avaliar o percentual de concordância da palpação dos processos espinhosos, duas linhas foram traçadas sobre dois pontos do marcador. O encontro dessas linhas com o processo espinhoso fornecia o percentual de concordância da palpação. Foi realizada uma análise descritiva das variáveis, através de média e desvio padrão e frequência de acertos da palpação dos processos espinhosos. **Resultados:** Em relação às alturas e larguras dos corpos vertebrais, as vértebras lombares são as mais altas e largas. A inclinação foi positiva para as vértebras cervicais e torácicas, diminuindo consideravelmente na última vértebra torácica e nas vértebras lombares. A distância entre o processo espinhoso e a pele mostra um acúmulo maior de tecido presentes nas regiões de lordose cervical e lombar. **Conclusão:** A partir do presente estudo foi possível quantificar em radiografias a altura e a largura das vértebras, o ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral, as distâncias entre o corpo vertebral e o processo espinhoso, e entre o processo espinhoso e a superfície da pele nas vértebras C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L1, L2, L4, L5 e S2. Além disso, em relação ao processo de palpação, quando se aceita que o marcador abranja um quarto do processo espinhoso (25%), garante-se que o marcador está corretamente localizado pelo avaliador em mais de 50% da amostra válida das vértebras.

Palavras-chave: geometria das vértebras, palpação, radiografia

ABSTRACT

Objectives: To quantify radiographically the height and width of the vertebrae, the inclination angle of the spinal process in relation to the vertebral body, the distances between the vertebral body and the spinal process, and between the spinous process and the surface of the skin; and to evaluate the percentage of concordance between the palpation of the spinous processes and their real location. **Methods:** 68 digital radiographs of the thoracic and lumbar spine belonging to a database were evaluated. The spinous processes of the vertebrae C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 and S2 presented metallic markers for its identification in the X-rays examinations. From the vertebral geometry were analyzed: (1) anterior height of the vertebral body, (2) posterior height of the vertebral body, (3) upper vertebral body width, (4) lower vertebral body width, (5) inclination angle of the spinous process in relation to the vertebral body (6) distance between the vertebral body and the spinous process, and (7) distance between the spinous process and the surface of the skin. To evaluate the percentage of concordance of the spinous processes' palpation, two parallel lines were drawn on two points of the marker. The junction of these lines with the points that delimited the spinal process identified the percentage of palpation concordance. A descriptive analysis of the variables was performed through mean and standard deviation and frequency of correct palpation of the spinous processes. **Results:** In relation to the heights and widths of the vertebral bodies, the lumbar vertebrae are the highest and broadest. The inclination was positive for the cervical and thoracic vertebrae, decreasing considerably in the last thoracic vertebra and in the lumbar vertebrae. The distance between the spinous process and the skin shows greater accumulation of tissue present in the regions of cervical and lumbar lordosis. **Conclusion:** From the present study it was possible to quantify in radiographs the height and width of the vertebrae, the inclination angle of the spinous process in relation to the vertebral body, the distances between the vertebral body and the spinous process, and between the spinous process and the surface of the skin in the vertebrae C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L1, L2, L4, L5 and S2. In addition, regarding the palpation process, when it is accepted that the marker covers a quarter of the spinous process (25%), it is ensured that the marker is correctly positioned by the evaluator in more than 50% of the valid sample of the vertebrae. **Keywords:** geometry of the vertebrae, palpation, radiography

5.1 INTRODUÇÃO

As alterações sagitais na coluna vertebral, que podem trazer prejuízos para a funcionalidade, amplitude de movimento e qualidade de vida (GREENDALE *et al.*, 2011; IMAGAMA *et al.*, 2011), podem ser examinadas por radiografia (GSTOETTNER *et al.*, 2007) ou por procedimentos não invasivos, utilizados como uma opção para evitar os problemas que surgem da exposição à radiação, como a fotogrametria (SEDREZ *et al.*, 2016; FURLANETTO *et al.*, 2012; FURLANETTO *et al.*, 2017).

Avaliações da coluna vertebral a partir de ambos os métodos, radiografia ou fotogrametria, apresentam uma importante diferença metodológica quanto às estruturas anatômicas avaliadas. Enquanto que a radiografia permite uma avaliação interna do

posicionamento do corpo vertebral (GOH *et al.*, 2000), a fotogrametria faz uma avaliação da superfície da pele, utilizando a palpação dos processos espinhosos das vértebras (HARLICK; MILOSAVLJEVIC; MILBURN, 2007).

Esta é uma das razões pelas quais os dispositivos de superfície da pele podem falhar quando comparados ao padrão ouro para verificar o grau de veracidade das medições, ou seja, quando testada a validade do instrumento (BARRETT; McCREESH; LEWIS, 2014). Outra razão para uma possível divergência nos resultados é a distribuição variável do tecido adiposo sobre a coluna vertebral, que pode dificultar a correta palpação dos processos espinhosos utilizados como referência (BARRETT; McCREESH; LEWIS, 2014). De fato, especialistas tem relatado dificuldade em identificar o segmento vertebral pela palpação da superfície da pele (HARLICK; MILOSAVLJEVIC; MILBURN, 2007), e os erros decorrentes dessa dificuldade podem modificar completamente o resultado da avaliação, prejudicando o diagnóstico clínico não invasivo. Nesse contexto, um dos cuidados indispensáveis para minimizar essa dificuldade é a experiência do avaliador (FURLANETTO *et al.*, 2012).

Apenas um estudo anterior (GILAD; NISSAN, 1985) realizou uma pesquisa antropométrica para modelagem dos segmentos vertebrais em indivíduos do sexo masculino, porém nenhum resultado envolvendo as diferenças entre as estruturas internas e a superfície da pele foi relatado. E, até onde se tem conhecimento, quanto à quantificação dos erros inerentes à palpação, poucos estudos os demonstram, especialmente para algumas vértebras específicas. Por exemplo, Mieritz e Kawchuk (2016) afirmam existir um erro de 18,8 mm na palpação do processo espinhoso da vértebra L4. Furlanetto *et al.* (2012) encontraram um erro de 8 mm, porém referente a análise da localização dos processos espinhosos no plano frontal. Nesse sentido, tem sido relatado que a palpação manual tem validade limitada na identificação dos níveis da coluna vertebral, necessitando mais estudos acerca dessa problemática (KILBY; HENEGHAN; MAYBURY, 2012). Assim, as diferenças existentes entre a localização dos processos espinhosos na superfície da pele, em relação à localização espacial das estruturas internas da coluna vertebral ainda permanece sem evidências, em especial quando a análise é realizada no plano sagital.

Assim, os objetivos desse estudo foram: (1) quantificar radiograficamente a altura e a largura das vértebras, o ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral, as distâncias entre o corpo vertebral e o processo espinhoso, e entre o processo espinhoso e a superfície da pele; e (2) avaliar o percentual de concordância da palpação dos processos espinhosos com a sua localização real. Acredita-se que, a partir desse estudo, os

métodos não invasivos de avaliação da coluna vertebral, como a fotogrametria, poderão ser beneficiados, ao utilizar esses dados na implementação das suas rotinas matemáticas.

5.2 METODOLOGIA

Foram analisadas 68 radiografias digitais, tanto da coluna torácica, quanto da coluna lombar, relativas a adultos com idades entre 18 e 71 anos, pertencentes a um banco de dados⁴. Os exames de Raios-X foram coletados em duas clínicas de radiografias da região metropolitana de Porto Alegre. Todos os sujeitos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido e o estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CAEE: 34174014.1.0000.5347). Os critérios de exclusão para a seleção das radiografias foram: presença de espinha bífida ou de seis vértebras lombares, e má visualização das imagens radiográficas.

Os exames de Raios-X foram realizados na postura ereta vertical no plano sagital com os joelhos estendidos, pés paralelos, e os ombros e cotovelos flexionados. Os processos espinhosos das vértebras C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2 apresentavam marcadores que continham chumbo para identificação nos exames de Raios-X (Figura 1a).

As análises dos dados foram realizadas em ambiente Matlab® (Mathworks, versão 8.5), por um único avaliador. Para mensurar as medidas anatômicas vertebrais da coluna vertebral, foram digitalizados nas imagens radiográficas os seguintes pontos anatômicos de referência: quatro vértices do corpo vertebral (superior anterior, superior posterior, inferior anterior e inferior posterior), ápice do processo espinhoso e ponto da superfície da pele referente à localização do processo espinhoso. Todos esses pontos foram digitalizados para as seguintes vértebras: C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L1, L2, L4, L5 e S2 (Figura 1a).

A partir dos pontos digitalizados foram obtidas as seguintes medidas geométricas das vértebras: (1) altura anterior do corpo vertebral, (2) altura posterior do corpo vertebral, (3) largura superior do corpo vertebral, (4) largura inferior do corpo vertebral, (5) ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral, (6) distância entre o corpo vertebral e o processo espinhoso, e (7) distância entre o processo espinhoso e a superfície da pele (Figura 1b). As medidas lineares padrões das vértebras foram calculadas em cm.

⁴ Radiografias realizadas na coleta de dados no Capítulo 4 dessa tese de doutorado.

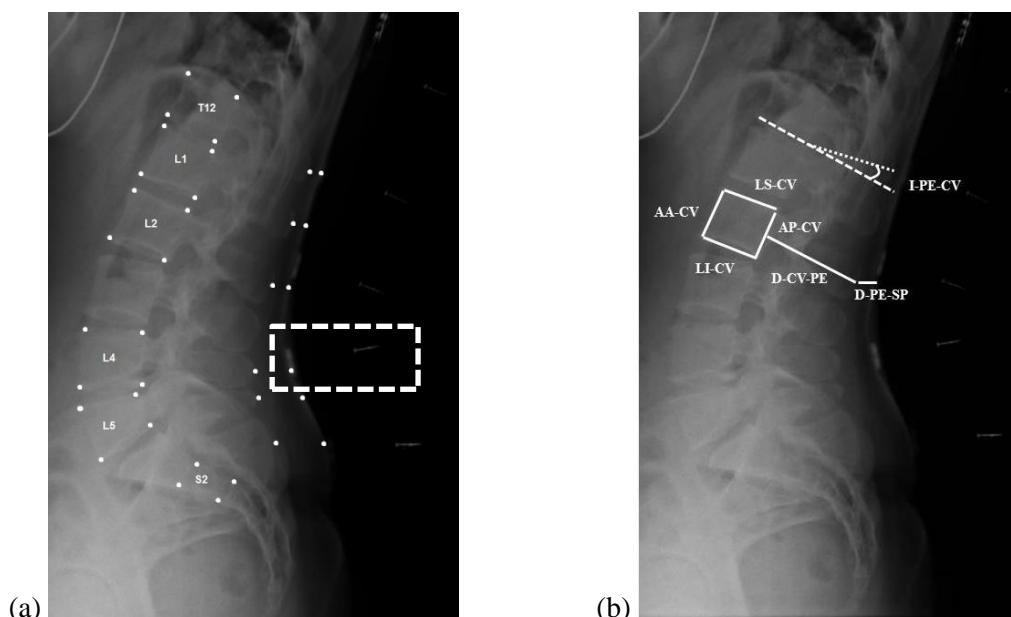


Figura 1 - Pontos anatômicos de referência marcados nas imagens radiográficas da coluna lombar (a), onde o retângulo pontilhado mostra o marcador com material metálico para visualização na radiografia; e medidas geométricas obtidas nas radiografias: altura anterior do corpo vertebral (AA-CV), altura posterior do corpo vertebral (AP-CV), largura superior do corpo vertebral (LS-CV), largura inferior do corpo vertebral (LI-CV), ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral (I-PE-CV), distância entre o corpo vertebral e o processo espinhoso (D-CV-PE) e distância entre o processo espinhoso e a superfície da pele (D-PE-SP).

A altura anterior do corpo vertebral (AA-CV) foi mensurada entre os vértices superior anterior e inferior anterior do corpo vertebral. A altura posterior do corpo vertebral (AP-CV) foi mensurada a partir dos vértices superior posterior e inferior posterior do corpo vertebral. A largura superior do corpo vertebral (LS-CV) refere-se à medida entre os vértices superior anterior e superior posterior do corpo vertebral. A largura inferior do corpo vertebral (LI-CV) refere-se à avaliação entre os vértices inferior anterior e inferior posterior do corpo vertebral (Figura 1b).

A inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral (I-PE-CV) foi identificada a partir do cálculo do ângulo entre o prolongamento de uma reta que une os dois pontos inferiores do corpo vertebral com uma reta que une o ponto no vértice inferior posterior do corpo vertebral e o ponto no ápice do processo espinhoso (GILAD; NISSAN, 1985). Inclinações positivas indicam que a localização do processo espinhoso está abaixo do corpo vertebral, enquanto que inclinações negativas indicam que o processo espinhoso está localizado acima do corpo vertebral (Figura 1b).

A distância entre o corpo vertebral e o processo espinhoso (D-CV-PE) foi mensurada a partir de uma reta que une o ponto médio entre o vértice superior posterior e inferior posterior do corpo vertebral e o ponto referente ao processo espinhoso. A distância entre o processo

espinhoso e a superfície da pele (D-PE-SP) foi avaliada pela distância entre o ponto referente ao ápice do processo espinhoso e o ponto da superfície da pele (Figura 1b).

Para avaliar o percentual de concordância da palpação dos processos espinhosos, foram digitalizados nas imagens radiográficas três pontos referentes ao processo espinhosos (borda mais superior, ápice e borda mais inferior) e dois referente à base do marcador (superior e inferior). Esses pontos podem ser visualizados em vermelho na Figura 2. A partir da digitalização desses pontos, duas linhas paralelas (identificadas em verde na figura 2) eram traçadas sobre o ponto superior e ponto inferior do marcador. O encontro de uma dessas linhas com o local de identificação do processo espinhoso mostrava o percentual de acerto da palpação de cada vértebra (Figura 2). Essa avaliação foi realizada nas vértebras: T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 e S2.

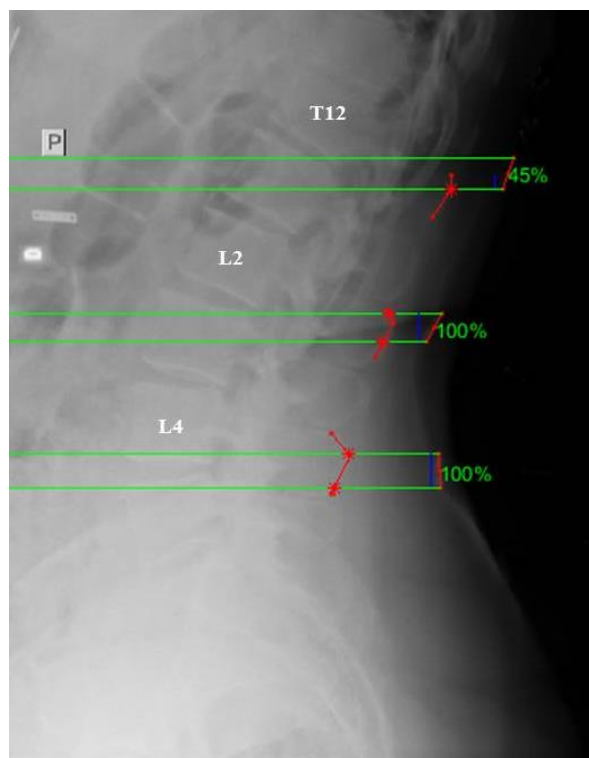


Figura 2 - Avaliação do percentual de acerto da palpação dos processos espinhosos das vértebras T12, L2 e L4 em um indivíduo.

A análise estatística dos dados foi realizada a partir de uma análise descritiva, utilizando o software SPSS versão 20.0. Para a quantificação das medidas anatômicas vertebrais da coluna vertebral, foi mensurada a média e desvio padrão de todas as medidas obtidas.

Para avaliar o percentual de concordância da palpação dos processos espinhosos, foi realizado um cálculo da frequência do percentual de acertos da palpação dos processos

espinhosos com a sua localização real. O percentual de concordância foi avaliado considerando diferentes situações: (1) quando o percentual de acerto da palpação foi superior a 5%, (2) quando o percentual de acerto da palpação foi superior a 25%, (3) quando o percentual de acerto da palpação foi superior a 50%, e (4) quando o percentual de acerto da palpação foi superior a 75%.

5.3 RESULTADOS

A Tabela 1 mostra as médias e os desvios padrões das medidas geométricas das estruturas vertebrais da coluna vertebral, mensuradas nas radiografias. Durante a análise dos dados, verificou-se que as imagens radiográficas de alguns indivíduos tiveram uma qualidade inferior ou não foi possível a visualização de algumas vértebras, portanto, o número amostral apresentado por vértebra é diferente nas análises realizadas.

Os valores de AA-CV e AP-CV são muito parecidos entre si, assim como os valores de LS-CV e LI-CV. As alturas dos corpos vertebrais tendem a aumentar de maneira crescente conforme a localização crânio-caudal das vértebras, sendo que as vértebras lombares são as mais altas e largas (Tabela 1).

A I-PE-CV foi positiva para as vértebras cervicais e torácicas, ao mesmo tempo em que tende a ser maior nas vértebras torácicas médias, diminuindo consideravelmente na última vértebra torácica e nas vértebras lombares. A inclinação acentuada e negativa da vértebra sacral avaliada demonstra uma tendência à horizontalidade do sacro dos indivíduos. A D-CV-PE foi maior nas vértebras torácicas médias e lombares, entretanto, o processo espinhoso das vértebras torácicas é mais verticalizado e o das vértebras lombares mais horizontalizado. A D-PE-SP nos mostra um acúmulo maior de tecido presentes nas regiões de lordose cervical e lombar (Tabela 1).

Tabela 1 - Média \pm desvio padrão das medidas geométricas das estruturas vertebrais da coluna vertebral, mensuradas em radiografias.

Região	Vértebra	n	Altura anterior CV (cm)	Altura posterior CV (cm)	Largura superior CV (cm)	Largura inferior CV (cm)	Inclinação PE-CV(°)	Distância CV-PE (cm)	Distância PE-SP (cm)
Torácica	C7	39	1,7 \pm 0,2	1,6 \pm 0,3	2 \pm 0,4	2,1 \pm 0,4	17,6 \pm 12	5,5 \pm 0,7	2,6 \pm 0,9
	T1	59	1,9 \pm 0,3	1,8 \pm 0,3	2 \pm 0,3	2,3 \pm 0,7	17,3 \pm 13,1	5,7 \pm 0,9	2,9 \pm 1
	T2	58	2 \pm 0,3	2 \pm 0,3	2,3 \pm 0,4	2,3 \pm 0,4	21,1 \pm 12,6	6,1 \pm 0,8	2,7 \pm 1
	T4	63	2,1 \pm 0,3	2,2 \pm 0,2	2,7 \pm 0,4	2,7 \pm 0,3	25,8 \pm 16,2	6,4 \pm 0,9	2 \pm 0,9
	T6	63	2,2 \pm 0,3	2,4 \pm 0,3	3,1 \pm 0,4	3,2 \pm 0,5	24,1 \pm 18,1	6,4 \pm 0,9	1,7 \pm 0,7
	T8	63	2,2 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	3,4 \pm 0,4	3,4 \pm 0,4	17,1 \pm 14,4	6,2 \pm 0,7	1,7 \pm 0,8
	T10	63	2,5 \pm 0,2	2,7 \pm 0,3	3,6 \pm 0,3	3,6 \pm 0,4	11,4 \pm 8,3	5,9 \pm 0,9	1,9 \pm 1
	T12	63	2,9 \pm 0,2	3,2 \pm 0,3	3,9 \pm 0,4	3,8 \pm 0,6	-1,1 \pm 8,4	5,5 \pm 0,7	2,1 \pm 1
Lombo-sacra	L1	63	3,1 \pm 0,3	3,4 \pm 0,3	3,9 \pm 0,4	3,9 \pm 0,4	-7,3 \pm 5,7	5,9 \pm 0,4	2,1 \pm 1
	L2	63	3,3 \pm 0,3	3,4 \pm 0,3	4 \pm 0,4	4 \pm 0,4	-4,5 \pm 5	6,2 \pm 0,6	2,1 \pm 1
	L4	63	3,3 \pm 0,3	3,2 \pm 0,3	4 \pm 0,4	4 \pm 0,4	2,6 \pm 6,6	6,3 \pm 0,6	3,6 \pm 1,7
	L5	63	3,4 \pm 0,3	2,9 \pm 0,3	4 \pm 0,4	3,8 \pm 0,4	12,9 \pm 8,2	5,8 \pm 0,8	4,1 \pm 1,8
	S2	56	3,2 \pm 0,7	3,2 \pm 0,6	2,5 \pm 0,6	1,9 \pm 0,5	-23,5 \pm 19,7	2,4 \pm 0,6	4,5 \pm 2

A Tabela 2 mostra o percentual de concordância da palpação dos processos espinhosos considerando o percentual de acertos acima de 5%, 25%, 50% e 75%. É notável que o n amostral diminui muito quando aumenta o grau de exigência quanto ao percentual de **acertos** do marcador em relação ao processo espinhoso. Os maiores erros de palpação foram encontrados nas vértebras torácicas médias, enquanto que os maiores acertos foram nas vértebras torácicas superiores e vértebras lombares.

Tabela 2 - Frequência de concordância do percentual de acerto das vértebras palpadas (considerando percentual de acerto acima de 5%, 25%, 50% e 75%).

Região	Vértebra	n	Acerto palpação (5%) % (n)	Acerto palpação (25%) % (n)	Acerto palpação (50%) % (n)	Acerto palpação (75%) % (n)
Torácica	T1	55	83,6 (46)	72,7 (40)	52,7 (29)	32,7 (18)
	T2	54	85,2 (46)	72,2 (39)	46,3 (25)	16,7 (9)
	T4	52	76,9 (40)	67,3 (35)	44,2 (23)	11,5 (6)
	T6	52	55,8 (29)	53,8 (28)	28,8 (15)	15,4 (8)
	T8	55	67,3 (37)	43,6 (24)	23,6 (13)	10,9 (6)
	T10	61	68,9 (42)	52,5 (32)	27,9 (17)	9,8 (6)
	T12	63	74,6 (47)	57,1 (36)	42,9 (27)	28,6 (18)
Lombo-sacra	L2	62	79 (49)	67,7 (42)	56,5 (35)	38,7 (24)
	L4	62	80,6 (50)	61,3 (38)	45,2 (28)	19,4 (12)
	S2	62	80,6 (50)	66,1 (41)	46,8 (29)	11,3 (7)

5.4 DISCUSSÃO

Os resultados da geometria vertebral permitem entender a anatomia vertebral e localizar as diferenças entre a avaliação postural a partir das radiografias e a partir da

superfície da pele. Em relação ao processo de palpação, aceitar o percentual de acerto do marcador em um quarto do processo espinhoso (25%) permite garantir que o marcador está corretamente localizado em mais de 50% da amostra válida das vértebras.

Em estudo anterior (GILAD; NISSAN, 1985), os autores realizaram a avaliação da mesma maneira das alturas e as larguras dos corpos vertebrais da região cervical e lombar, além da inclinação do processo em relação ao corpo vertebral. No que é possível comparar, os resultados do presente achado foram semelhantes aos resultados dos autores supracitados, os quais encontraram valores de altura e largura da vértebra C7 em torno de 1,4cm e 1,6cm, respectivamente; as vértebras lombares obtiveram altura em torno de 2,7cm e largura em torno de 3,4 (GILAD; NISSAN, 1985). Em relação à inclinação do processo espinhoso, no presente estudo, a vértebra C7 apresentou maior inclinação (17°) quando comparado ao estudo de Gilad e Nissan (1985) que encontrou 7° de inclinação para a mesma vértebra. Já nas vértebras lombares o comportamento da inclinação foi semelhante entre os estudos, apresentando uma inclinação negativa para as vértebras L1 e L2 e positiva para as vértebras L4 e L5.

A principal colaboração e aprimoramento dos nossos resultados em relação aos citados (GILAD; NISSAN, 1985) é que a avaliação da geometria vertebral foi realizada também para as vértebras torácicas e para uma amostra mista (homens e mulheres). Os processos espinhosos das vértebras torácicas apresentam características semelhantes às vértebras cervicais, com uma acentuada inclinação positiva em relação ao corpo vertebral, porém essa inclinação é maior na região torácica (em torno de 25°) que na região cervical (mais ou menos 10°) (GILAD; NISSAN, 1985; PANJABI *et al.*, 1992). Além disso, ainda em relação à inclinação do processo espinhoso, é importante salientar que a vértebra T12 apresenta características semelhantes às características da região lombar. Isso é explicado porque a vértebra T12 está muito próxima à região lombar e é uma vértebra de transição, apresentando características diferentes das demais vértebras torácicas (PANJABI *et al.*, 1992).

Apesar de todas as vértebras fazerem parte da coluna vertebral, elas estão localizadas em regiões diferenciadas, com funções específicas, e suas características geométricas estão de acordo com essas funções (PANJABI *et al.*, 1992; PANJABI *et al.*, 1991). Por exemplo, o processo espinhoso mais alongado das vértebras torácicas restringe o movimento intervertebral nessa região, estando de acordo com sua importante função de proteção dos órgãos presentes dentro da caixa torácica (PANJABI *et al.*, 1991). Outro exemplo é a maior altura e largura encontradas nos corpos vertebrais da região lombar, e isso é explicado pela função específica de absorção de impacto dessa região (PANJABI *et al.*, 1992).

Uma das principais diferenças entre as avaliações da coluna vertebral que utilizam radiografias e as que utilizam a avaliação da superfície da pele, como a fotogrametria, está no contorno da curva fornecido pela avaliação superficial. O desenho do contorno das curvas podem fornecer informações diferentes daquelas obtida através de um exame de Raios-X (SAAD *et al.*, 2011). E isso pode ser explicado pela presença de tecido adiposo e muscular presente entre o processo espinhoso e a pele, principalmente nas vértebras cervicais e lombares (ROSENQUIST *et al.*, 2014). Ainda nesse sentido, e confirmando essa ideia, os resultados da D-PE-SP demonstram que a distância entre os processos espinhosos e a pele das vértebras C7, T1 e T2 são maiores que as demais vértebras torácicas, assim como é ainda maior nas vértebras L4 e L5.

Além disso, o contorno da curva na avaliação pela fotogrametria é dado pela palpação de um único ponto da vértebra (o processo espinhoso), enquanto que a avaliação das curvas na radiografia é baseada em dois pontos do corpo vertebral, o que permite dar a orientação da linha a qual irá gerar o ângulo medido (GOH *et al.*, 2000; MAC-THIONG *et al.*, 2007). Essa orientação na avaliação superficial é feita pelo contorno da curva, pois apenas um ponto não fornece essa orientação. Por isso, conhecer a inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral é uma maneira de orientar a avaliação superficial da mesma maneira na qual ela é mensurada internamente.

Em relação ao processo de palpação dos processos espinhosos das vértebras, essa é considerada a etapa mais difícil e a mais sujeita a erros na avaliação não invasiva da coluna vertebral (FURLANETTO *et al.*, 2011). No entanto, esses erros podem ser diminuídos desde que um avaliador experiente conduza a avaliação (WATSON; MACDONNCHA, 2000; BILLIS; FOSTER; WRIGHT, 2003). Em nosso estudo a palpação dos processos espinhosos foi realizada por um avaliador experiente e, mesmo assim, o acerto da palpação não ocorreu, na maioria das vezes, em 75% da área total do processo espinhoso. Quando se considera o percentual de acerto, casos que abrangem acima de 25% do processo espinhoso, o avaliador acertou mais de 50% da palpação de todas as vértebras dos indivíduos.

O ideal seria que a concordância da palpação dos processos espinhosos baseado na localização real fornecesse um valor de erro padrão para cada nível vertebral, ao invés do percentual de concordância, sendo essa uma limitação do nosso estudo. Se fosse o caso, esse erro poderia ser inserido nos cálculos matemáticos da fotogrametria, por exemplo, aumentando a confiabilidade da mensuração das magnitudes das curvaturas.

Outra possível limitação do estudo está na maneira de mensurar o percentual de acerto do marcador, a qual poderia levar em conta a inclinação do marcador na superfície da pele.

Por vezes, o percentual de acerto foi baixo por não ter sido utilizada essa orientação do marcador (Figura 3).

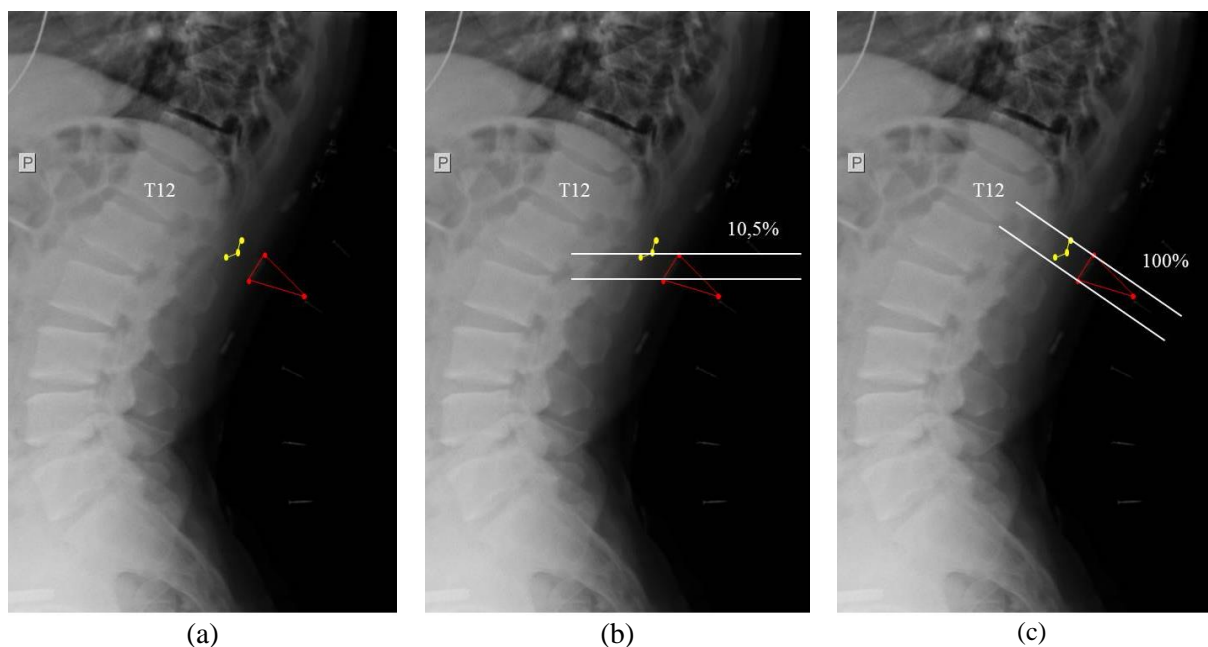


Figura 3 - Metodologia utilizada para localizar o processo espinhoso e o marcador referente à palpação (a); metodologia utilizada para verificar o percentual de acerto da palpação no presente estudo (b) e metodologia sugerida para verificar o percentual de acerto da palpação levando em conta a inclinação do marcador (c). Os pontos amarelos identificam o processo espinhoso da vértebra e os pontos vermelhos identificam o marcador.

Em suma, dados como os apresentados no presente trabalho permitem servir como base para pesquisas em ergonomia, biomecânica e anatomia. Acredita-se ainda que, a partir desse estudo, a avaliação da coluna vertebral por fotogrametria poderá ser beneficiada ao utilizar esses dados na implementação das suas rotinas matemáticas.

5.5 CONCLUSÃO

A partir do presente estudo foi possível quantificar em radiografias a altura e a largura das vértebras, o ângulo de inclinação do processo espinhoso em relação ao corpo vertebral, as distâncias entre o corpo vertebral e o processo espinhoso, e entre o processo espinhoso e a superfície da pele nas vértebras C7, T1, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L1, L2, L4, L5 e S2. As vértebras lombares são as mais altas e largas; a inclinação foi positiva para as vértebras cervicais e torácicas, aumentando nas vértebras torácicas médias e diminuindo na T12 e nas vértebras lombares; existe um acúmulo maior de tecido presentes nas regiões de lordose. Além disso, durante o processo de palpação, quando se aceita que o marcador abrange um

quarto do processo espinhoso (25%), garante-se que o marcador está corretamente localizado pelo avaliador em mais de 50% da amostra válida das vértebras.

REFERÊNCIAS

BARRETT, E.; MCCREESH, K.; LEWIS, J. Reliability and validity of non-radiographic methods of thoracic kyphosis measurement: A systematic review. **Manual Therapy**. v. 19, p. 10-17, 2014.

BILLIS, E. V.; FOSTER, N. E.; WRIGHT, C. C. Reproducibility and repeatability: errors of three groups of physiotherapists in locating spinal levels by palpation. **Manual Therapy**. v. 8, n. 4, p. 223-232, 2003.

FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; COMERLATO, T.; LOSS, J. F. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. **Comput Methods Programs Biomed**. v. 108, n. 1, p. 203-12, 2012.

FURLANETTO, T. S.; CHAISE, F. O.; CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. Fidedignidade de um protocolo de avaliação postural. **Revista da Educação Física/UEM**. v. 22, n. 3, p. 411-419, 2011.

FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; SEDREZ, J. A.; LOSS, J. F. Evaluation of the precision and accuracy of the DIPA software postural assessment protocol. **European Journal of Physiotherapy**. 2017.

GILAD, I.; NISSAN, M. Sagittal evaluation of elemental geometrical dimensions of human vertebrae. **J Anat**. v. 143, p. 115-120, 1985.

GOH, S.; PRICE, R. I.; LEEDMAN, P. J.; SINGER, K. P. A comparison of three methods for measuring thoracic kyphosis: implications for clinical studies. **J Rheumatol**. v. 39, p. 310-5, 2000.

GSTOETTNER, M.; SEKYRA, K.; WALOCHNIK, N.; WINTER, P.; WACHTER, R.; BACH, C. M. Inter- and intraobserver reliability assessment of the Cobb angle: manual versus digital measurement tools. **Eur Spine J**. v. 16, p. 1587-1592, 2007.

GREENDALE, G. A.; NILI, N. S.; HUANG, M. H.; SEEGER, L.; KARLAMANGLA, A. S. The reliability and validity of three non-radiological measures of thoracic kyphosis and their relations to the standing radiological Cobb angle. **Osteoporos Int**. v. 22, p. 1897-1905, 2011.

HARLICK, J. C.; MILOSAVLJEVIC, S.; MILBURN, P. D. Palpation identification of spinous processes in the lumbar spine. **Manual Ther**. v. 12, p. 56-62, 2007.

IMAGAMA, S.; HASEGAWA, Y.; MATSUYAMA, Y.; SAKAI, Y.; ITO, X.; HAMAJIMA, N.; ISHIGURO, N. Influence of sagittal balance and physical ability associated with exercise on quality of life in middle-aged and elderly people. **Arch Osteoporos**. v. 6, p. 13-20, 2011.

KILBY, J.; HENEGHAN, N. R.; MAYBURY, M. Manual palpation of lumbo-pelvic landmarks: A validity study. **Manual Therapy**. v. 17, p. 259-262, 2012.

MAC-THIONG, J. M.; PINEL-GIROUX, F. M.; GUISE, J. A.; LABELLE, H. Comparison between constrained and non-constrained Cobb techniques for the assessment of thoracic kyphosis and lumbar lordosis. **Eur Spine J**. v. 16, p. 1325-1331, 2007.

MIERITZ, R. M.; KAWCHUK, G. N. The accuracy of locating lumbar vertebrae when using palpation versus ultrasonography. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**. v. 39, n. 6, p. 387-392, 2016.

PANJABI, M. M.; GOEL, V.; OXLAND, T.; TAKATA, K.; DURANCEAU, J.; KRAG, M.; PRICE, M. Human lumbar vertebrae quantitative three-dimensional anatomy. **Spine**. v. 17, n. 3, p. 299-306, 1992.

PANJABI, M. M.; TAKATA, K.; GOEL, V.; FEDERICO, D.; OXLAND, T.; DURANCEAU, J.; KRAG, M. Thoracic human vertebrae quantitative three-dimensional anatomy. **Spine**. v. 16, n. 8, p. 888-901, 1991:

ROSENQUIST, K. J.; THERKELSEN, K. E.; MASSARO, J. M.; HOFFMANN, U.; FOX, C. S. Development and reproducibility of a computed tomography-based measurement for upper body subcutaneous neck fat. **Journal of the American Heart Association**. v. 3, n. 6, p. 000979, 2014.

SAAD, K. R.; COLOMBO, A. S.; RIBEIRO, A. P.; JOÃO, S. M. Reliability of photogrammetry in the evaluation of the postural aspects of individuals with structural scoliosis. **Journal of Bodywork & Movement Therapies**. v. 16, n. 2, p. 210-216, 2011.

SEDREZ, J. A.; CANDOTTI, C. T.; FURLANETTO, T. S.; LOSS, J. F. Non-invasive postural assessment of the spine in the sagittal plane: a systematic review. **Motricidade**. v. 12, n. 2, p. 40-154, 2016.

WATSON, A. W. S.; MACDONNCHA, C. A reliable technique for the assessment of posture: assessment criteria for aspects of posture. **J Sports Med Phys Fitness**. v. 40, p. 260-270, 2000.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados da primeira revisão sistemática foi possível identificar que a fotogrametria é muito utilizada na avaliação postural e ainda carece de estudos que tragam uma metodologia mais completa e que forneça um significado clínico da sua avaliação. A meta-análise permitiu identificar valores de referência concisos da radiografia para as curvaturas torácica e lombar da coluna vertebral de crianças, adolescentes, adultos e idoso saudáveis, os quais permitiram prever os valores de referência da fotogrametria.

Os resultados do primeiro artigo original possibilitaram a implementação no *software* DIPA[®] de correções matemáticas que aproximam a avaliação da coluna vertebral a partir da superfície da avaliação interna realizada com o padrão ouro. Esses dados foram implementados na versão 3.4 do *software* DIPA[®], e permitiram melhorar a acurácia das medidas do *software*. Portanto, nessa versão ainda inédita, as magnitudes e as classificações diagnósticas da metodologia de avaliação das curvaturas sagitais da coluna vertebral foram validadas, fornecendo valores de referência para a postura padrão da coluna vertebral de adultos na fotogrametria. No entanto, ainda se recomenda cautela quanto à utilização do *software* DIPA[®] para diagnosticar, especificamente, a hiperlordose lombar, até que novos estudos sejam conduzidos para melhorar essa capacidade diagnóstica em especial.

Por fim, acredita-se que o protocolo de fotogrametria do *software* DIPA[®] mostra-se adequado para avaliar as curvaturas da coluna torácica e lombar, fornecendo medições e classificações válidas dos ângulos de lordose e cifose. Assim, os fisioterapeutas e quiropraxistas serão beneficiados na sua prática clínica, os educadores físicos serão beneficiados em avaliações esportivas e escolares, e a área de estudos em postura corporal será beneficiada em suas pesquisas, pois poderão contar com um instrumento de avaliação, de fácil uso e gratuito e que fornece resultados precisos, quantitativos e classificatórios da coluna vertebral dos indivíduos.

DIFICULDADES E LIMITAÇÕES

Inicialmente, aponta-se como limitação do presente estudo a avaliação da curvatura lombar pelo *software* DIPA[®], pois ainda requer alguns ajustes. Em princípio, se a digitalização dos pontos no programa levar em consideração a inclinação do marcador, o *software* DIPA[®] deva fornecer valores de magnitude mais próximos às do padrão ouro e melhorar a capacidade diagnóstica do instrumento para a curvatura lombar. Acredita-se que por esse motivo, os indivíduos foram classificados como apresentando curvaturas normais no DIPA, quando apresentavam alteração diagnosticada pela radiografia.

Além disso, não ter conseguido encontrar um erro padrão referente ao processo de palpação e marcação dos processos espinhosos das vértebras, não permitiu gerar algum tipo de correção para erros oriundos dessa etapa. Assim, essa etapa de palpação se mantém como maior dificuldade da avaliação não invasiva da coluna, a partir da superfície.

Sobretudo, como esse estudo envolveu a realização de radiografias, teve como principal dificuldade depender da disponibilidade das clínicas para a coleta de dados, tanto para a realização dos exames, quanto para a disponibilização de um local para a realização do protocolo DIPA, que foi sempre conduzido nas próprias clínicas. Ainda, organizar a logística de sincronizar a agenda dos indivíduos da amostra com a agenda da técnica de radiografia para a realização de todo o processo foi uma das maiores dificuldades na condução do estudo.

PERSPECTIVAS

Após a finalização dessa tese, a qual cumpriu com seu objetivo de validar a metodologia de avaliação sagital da coluna vertebral do *software* DIPA[®] e predizer valores de referência de normalidade utilizando a fotogrametria, surgem inúmeras perspectivas. Primeiramente, será disponibilizada aos usuários do *software* DIPA[®] a versão 3.4, que irá conter os dados do capítulo 4, principalmente no que diz respeito aos valores de normalidade da fotogrametria que subsidiam o software para fornecer a classificação diagnóstica dos indivíduos avaliados. As informações do Capítulo 5 também deverão subsidiar o *software* DIPA[®], mas em versões futuras a 3.4.

No entanto, mais estudos devem ser conduzidos com intuito de melhorar a avaliação da curvatura lombar e, conseqüentemente, a capacidade diagnóstica do *software* DIPA[®] em fornecer a classificação dessa curvatura. Ao mesmo tempo, uma metodologia diferenciada para avaliar não somente o percentual de acerto da palpação dos processos espinhosos, mas também um erro padrão associado a esse processo, poderia ser pensada para aperfeiçoar o *software*.

E por fim, entende-se que é necessária a divulgação de todos os resultados fornecidos por essa tese de doutorado no meio científico, por meio de artigos científicos e de apresentações em congressos e em eventos relacionados à saúde, bem como às inovações tecnológicas na área da saúde, por meio de cursos, sobre o uso dessa ferramenta de avaliação postural. Esse tipo de divulgação deverá possibilitar a utilização de forma adequada do *software* DIPA[®] por profissionais da área da saúde e em futuras pesquisas científicas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, S.; PARENT, E.; KHORASANI, M.; HILL, D. L.; LOU, E.; RASO, J. V. Validity and reliability of active shape models for the estimation of cobb angle in patients with adolescent idiopathic scoliosis. **Journal of Digital Imaging**. v. 21, n. 2, p. 208-218, 2008.
- CANDOTTI, C. T.; FURLANETTO, T. S.; LOSS, J. F. **Manual de utilização do DIPA[®] v.3: software para avaliação da postura corporal estática**. Porto Alegre: Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento, Escola de Educação Física/UFRGS, 2017. 17p.:il.
- CHAISE, F. O.; CANDOTTI, C. T.; LA TORRE, M.; FURLANETTO, T. S.; PELINSON, P. P.; LOSS, J. F. Validation, repeatability and reproducibility of a noninvasive instrument for measuring thoracic and lumbar curvature of the spine in the sagittal plane. **Brazilian Journal of Physical Therapy**. v. 15, n. 6, p. 511-517, 2011.
- CHEN, Y. Vertebral centroid measurement of lumbar lordosis compared with the Cobb technique. **Spine**. v. 24, n. 17, p. 1786, 1999.
- CZAPROWSKI, D.; PAWŁOWSKA, P.; GĘBICKA, A.; SITARSKI, D.; KOTWICKI, T. Intra- and interobserver repeatability of the assessment of anteroposterior curvatures of the spine using saunders digital inclinometer. **Ortop Traumatol Rehabil**. v. 2, n. 6, p. 145-153, 2012.
- D'OSUALDO, F.; SCHIERANO, S.; CISOTTI, C. The evaluation of the spine through the surface: The role of surface measurements in the evaluation and treatment of spine diseases in young patients. **Eura Medicophys**. v. 38, n. 3, p. 147-152, 2002.
- D'OSUALDO, F.; SCHIERANO, S.; IANNIS, M. Validation of clinical measurement of kyphosis with a simple instrument, the arcometer. **Spine**. v. 22, p. 408-422, 1997.
- DUNK, N. M.; LALONDE, J.; CALLAGHAN, J. P. Implications for the use of postural analysis as a clinical diagnostic tool: reliability of quantifying upright standing spinal postures from photographic images. **J Manipulative Physiol Ther**. v. 28, n. 6, p. 386-392, 2005.
- EDMONDSTON, S. J.; CHRISTENSEN, M. M.; KELLER, S.; STEIGEN, L. B.; BARCLAY, L. Functional radiographic analysis of thoracic spine extension motion in asymptomatic men. **J Manipulative Physiol Ther**. v. 35, n. 3, p. 203-208, 2012.
- FERREIRA, M. D.; MALDONADO, E. P.; BURKE, T. N.; MARQUES, A. P.; ALVES, E. G. Postural assessment software (PAS/SAPO): validation and reliability. **Clinics**. v. 65, n. 7, p. 675-81, 2010.
- FORTIN, C.; FELDMAN, D. E.; CHERIET, F.; GRAVEL, D.; GAUTHIER, F.; LABELLE, H. Reliability of a quantitative clinical posture assessment tool among persons with idiopathic scoliosis. **Physiotherapy**. v. 98, p. 64-75, 2012.
- FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; COMERLATO, T.; LOSS, J. F. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. **Comput Methods Programs Biomed**. v. 108, p. 203-212, 2012.

FURLANETTO, T. S.; CANDOTTI, C. T.; SEDREZ, J. A.; NOLL, M.; LOSS, J. F. Evaluation of the precision and accuracy of the DIPA *software* postural assessment protocol. **European Journal of Physiotherapy**. 2017. DOI: 10.1080/21679169.2017.1312516.

FURLANETTO, T. S.; CHAISE, F. O.; CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. Fidedignidade de um protocolo de avaliação postural. **Revista da Educação Física/UEM**. v. 22, n. 3, p. 411-419, 2011.

FURLANETTO, T. S.; OLIVEIRA, E. B. C.; CANDOTTI, C. T.; VIEIRA, A.; MESQUITA, P. V.; NAVARRO, I. J. R. L.; LOSS, J. F. Developing and validating prediction equations for the spinal internal curve angles based on the skin surface. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**. *In press*, 2017.

FURLANETTO, T. S.; SEDREZ, J. A.; CANDOTTI, C. T.; LOSS, J. F. Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review. **World Journal of Orthopedics**. v. 7, n. 2, p. 136-148, 2016.

GRAVINA, A. R.; FERRARO, C.; FRIZZIERO, A.; FERRARO, M.; MASIERO, S. Goniometer evaluation of thoracic kyphosis and lumbar lordosis in subjects during growth age: a validity study. **Research into Spinal Deformities**. p. 247-251, 2012.

GREENDALE, G. A.; NILI, N. S.; HUANG, M. H.; SEEGER, L.; KARLAMANGLA, A. S. The reliability and validity of three non-radiological measures of thoracic kyphosis and their relations to the standing radiological Cobb angle. **Osteoporos Int**. v. 22, p. 1897-1905, 2011.

GRIEGEL-MORRIS, P.; LARSON, K.; MUELLER-KLAUS, K.; OATLS, C. A. Incidence of common postural abnormalities in the cervical, shoulder, and thoracic regions and their association with pain in two age groups of healthy subjects. **Phys Ther**. v. 72, p. 425-431, 1992.

GSTOETTNER, M.; SEKYRA, K.; WALOCHNIK, N.; WINTER, P.; WACHTER, R.; BACH, C. M. Inter- and intraobserver reliability assessment of the Cobb angle: manual versus digital measurement tools. **Eur Spine J**. v. 16, p. 1587-1592, 2007.

IMAGAMA, S.; HASEGAWA, Y.; MATSUYAMA, Y.; SAKAI, Y.; ITO, X.; HAMAJIMA, N.; ISHIGURO, N. Influence of sagittal balance and physical ability associated with exercise on quality of life in middle-aged and elderly people. **Arch Osteoporos**. v. 6, p. 13-20, 2011.

IUNES, D. H.; BEVILAQUA-GROSSI, D.; OLIVEIRA, A. S.; CASTRO, F. A.; SALGADO, H. S. Comparative analysis between visual and computerized photogrammetry postural assessment. **Braz J Phys Ther**. v. 13, n. 4, p. 308-15, 2009.

KOROVESSIS, P.; PETSINIS, G.; PAPAISIS, Z.; BAIKOUSIS, A. Prediction of thoracic kyphosis using the Debrunner Kyphometer. **Journal of Spinal Disorders**. v.14, n. 1, p. 67-72, 2001.

LEROUX, M. A.; ZABJEK, K.; SIMARD, G.; BADEAUX, J.; COILLARD, C.; RIVARD, C. A noninvasive anthropometric technique for measuring kyphosis and lordosis. **Spine**. v. 25, n. 13, p. 1689-1694, 2000.

LETAFATKAR, A.; AMIRSASAN, R.; ABDOLVAHABI, Z.; HADADNEZHAD, M. Reliability and validity of the AutoCAD software method in lumbar lordosis measurement. **J Chiropr Med**. v. 10, p. 240-247, 2011.

MASSO, P. D.; GORTON, G. E. Quantifying changes in standing body segment alignment following spinal instrumentation and fusion in idiopathic scoliosis using an optoelectronic measurement system. **Spine**. v. 25, n. 4, p. 457-462, 2000.

MIYAKOSHI, N.; ITOI, E.; KOBAYASHI, M.; KODAMA, H. Impact of postural deformities and spinal mobility on quality of life in postmenopausal osteoporosis. **Osteoporos Int**. v. 14, n. 12, p. 1007-1012, 2003.

OLIVEIRA, T. S.; CANDOTTI, C. T.; LA TORRE, M.; PELINSON, P. P. T.; FURLANETTO, T. S.; KUTCHAK, F. M.; LOSS, J. F. Validity and reproducibility of the measurements obtained using the Flexicurve instrument to evaluate the angles of thoracic and lumbar curvatures of the spine in the sagittal plane. **Rehabil Res Pract**. 2012

PERRIMAN, D. M.; SCARVELL, J. M.; HUGHES, A. R.; ASHMAN, B.; LUECK, C. J.; SMITH, P. N. Validation of the flexible electrogoniometer for measuring thoracic kyphosis. **Spine**. v. 35, n. 14, p. E633-E640, 2010.

RAJABI, R.; SEIDI, F.; MOHAMADI, F. Which method is accurate when using the flexible ruler to measure the lumbar curvature angle? Deep point or mid-point of arch? **World Applied Sciences Journal**. v. 4, n. 6, p. 849-852, 2008.

RANAVOLO, A.; DON, R.; DRAICCHIO, F.; BARTOLO, M.; SERRAO, M.; PADUA, L.; CIPOLLA, G.; PIERELLI, F.; IAVICOLI, S.; SANDRINI, G. Modelling the spine as a deformable body: Feasibility of reconstruction using an optoelectronic system. **Appl Ergon**. 2013; 44: 192-199.

SACCO, I. C. N.; ALIBERT, S.; QUEIROZ, B. W. C.; PRIPAS, D.; KIELING, I.; KIMURA, A. A.; SELLMER, A. E.; MALVESTIO, R. A.; SERA, M. T. Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Rev. Bras. Fisioter**. v. 11, n. 5, p. 411-417, 2007.

SINGH, D. K.; BAILEY, M.; LEE, R. Biplanar measurement of thoracolumbar curvature in older adults using an electromagnetic tracking device. **Arch Phys Med Rehabil**. v. 91, p. 137-142, 2010.

SMITH, A.; O'SULLIVAN, P.; STRAKER, L. Classification of sagittal thoraco-lumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain. **Spine**. v. 33, n. 19, p. 2101-2107, 2008.

SOUZA, F. R.; FERREIRA, F.; NARCISO, F. V.; MAKHOUL, C. M. B.; CANTO, R. S. T.; BARAUNA, M. A. Evaluation of lumbar concavity using a radiographic method and kypholordometry. **Braz J Phys Ther**. v. 13, n. 2, p. 103-109, 2009.

TAYYAB, N. A.; SAMARTZIS, D.; ALTIOK, H.; SHUFF, C. E.; LUBICKY, J. P.; HERMAN, J.; KHANNA, N. The reliability and diagnostic value of radiographic criteria in

sagittal spine deformities. Comparison of the vertebral wedge ratio to the segmental Cobb angle. **Spine**. v. 32, n. 16, p. 451-9, 2007.

VAN NIEKERK, S.; LOUW, Q.; VAUGHAN, C.; GRIMMER-SOMERS, K.; SCHREVE, K. Photographic measurement of upper-body sitting posture of high school students: A reliability and validity study. **BMC Musculoskelet Disord**. v. 9, n. 113, p. 1-11, 2008.

WATSON, A. W. S.; MACDONNCHA, C. A reliable technique for the assessment of posture: assessment criteria for aspects of posture. **J Sports Med Phys Fitness**. v. 40, p. 260-270, 2000.

ANEXO 1 - ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA (CAPÍTULO 1 DESSA TESE)



Submit a Manuscript: <http://www.wjnet.com/esps/>
 Help Desk: <http://www.wjnet.com/esps/helpdesk.aspx>
 DOI: 10.5312/wjo.v7.i2.136

World J Orthop 2016 February 18; 7(2): 136-148
 ISSN 2218-5836 (online)
 © 2016 Baishideng Publishing Group Inc. All rights reserved.

SYSTEMATIC REVIEWS

Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review

Tássia Silveira Furlanetto, Juliana Adami Sedrez, Cláudia Tarragô Candotti, Jefferson Fagundes Loss

Tássia Silveira Furlanetto, Juliana Adami Sedrez, Cláudia Tarragô Candotti, Jefferson Fagundes Loss, Exercise Research Laboratory, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre 90690-200, Brazil

Author contributions: Furlanetto TS and Sedrez JA gathered, analyzed and interpreted the data and drafted the manuscript; Candotti CT and Loss JF Study conceived and designed the study and performed the critical review.

Conflict-of-interest statement: All the authors declare that they have no competing interests.

Data sharing statement: The dataset is available from the corresponding author at jefferson.loss@ufrgs.br.

Open-Access: This article is an open-access article which was selected by an in-house editor and fully peer-reviewed by external reviewers. It is distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Correspondence to: Jefferson Fagundes Loss, PHD, Exercise Research Laboratory, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Felizardo, 750, Porto Alegre 90690-200, Brazil. jefferson.loss@ufrgs.br
 Telephone: +55-51-33085822

Received: May 4, 2015
 Peer-review started: May 5, 2015
 First decision: June 20, 2015
 Revised: July 24, 2015
 Accepted: December 3, 2015
 Article in press: December 4, 2015
 Published online: February 18, 2016

Abstract

AIM: To evaluate the use of photogrammetry and

identify the mathematical procedures applied when evaluating spinal posture.

METHODS: A systematic search using keywords was conducted in the PubMed, EMBASE, Scopus, Science and Medicine® databases. The following inclusion criteria adopted were: (1) the use of photogrammetry as a method to evaluate spinal posture; (2) evaluations of spinal curvature in the sagittal and/or frontal plane; (3) studies published within the last three decades; and (4) written entirely in English. The exclusion criteria were: (1) studies which objective involved the verification of some aspect of validation of instruments; (2) studies published as abstracts and those published in scientific events; and (3) studies using evaluation of the anteriorization of the head to determine the angular positioning of the cervical spine. The articles in this review were included and evaluated for their methodological quality, based on the Downs and Black scale, by two independent reviewers.

RESULTS: Initially, 1758 articles were found, 76 of which were included upon reading the full texts and 29 were included in accordance with the predetermined criteria. In addition, after analyzing the references in those articles, a further six articles were selected, so that 35 articles were included in this review. This systematic review revealed that the photogrammetry has been using in observational studies. Furthermore, it was also found that, although the data collection methodologies are similar across the studies, in relation to aspects of data analysis, the methodologies are very different, especially regarding the mathematical routines employed to support different postural evaluation software.

CONCLUSION: With photogrammetry, the aim of the assessment, whether it is for clinical, research or collective health purposes, must be considered when choosing which protocol to use to evaluate spinal posture.

Key words: Lordosis; Kyphosis; Spine; Photogrammetry; Scoliosis; Posture



ANEXO 2 - ARTIGO ORIGINAL
(CAPÍTULO 3 DESSA TESE - RESULTADOS DE CRIANÇAS)

Development and Validation of Prediction Equations for Spinal Curve Angles Based on Skin Surface Measurements



Tássia S. Furlanetto, MS, Eduardo B.C. de Oliveira, BPE, Cláudia T. Candotti, PhD, Adriane Vieira, PhD, Paula V. de Mesquita, MS, Isis J.R.L. Navarro, BS, and Jefferson F. Loss, PhD

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to develop, assess the reliability of, and validate prediction equations that estimate the sagittal curves of the spine from the skin surface.

Methods: Forty digital panoramic radiographs were used to develop the prediction equation, and 59 radiographs were used to assess reliability and validate the equations. For evaluation of the thoracic and lumbar curves, anatomical reference points were marked on the vertebral body, spinous process, and skin surface at the C6, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4, and S2 vertebrae. Three third-degree polynomials were obtained, estimated with the least squares method: inner curves from the centroid of the vertebral bodies and from the apex of the spinous processes and external curve from the skin surface. The magnitude of the curves of each region was estimated based on the angle between tangent lines at several vertebral levels. Prediction equations were obtained (simple linear regression) for the vertebral levels that had the best correlation between the inner and surface curves. The validation of the prediction equations was confirmed using Pearson's correlation (r), Student t test, and root mean square error. The reliability of the method was confirmed using the intraclass correlation coefficient, standard error of measurement, and minimal detectable change ($\alpha = 0.05$).

Results: The best correlations were obtained between the T4-T12 (thoracic) and T10-S2 (lumbar) levels ($r > 0.85$). For the intrarater and interrater reliability, the correlation was higher than 0.965 and higher than 0.896, respectively. There was a significant and strong correlation between estimated and actual values for the thoracic and lumbar curves, which was confirmed by the t -test results and by the root mean square error inferior to 1°.

Conclusion: Prediction equations can precisely and accurately estimate the angles of the internal sagittal curves of the spine from the skin surface. (*J Manipulative Physiol Ther* 2017;40:692-699)

Key Indexing terms: Spinal Curvatures; Kyphosis; Lordosis; Spine

INTRODUCTION

Maintaining the anteroposterior physiological curves of the spine is important for structural support, provides adequate protection to the spinal cord, and allows the mobility of the spinal segments.¹ These curves can be examined using the gold standard, the X-ray, or by noninvasive procedures, used as an option to avoid the

problems that arise from exposure to radiation.²⁻⁴ An example of a noninvasive tool for assessing posture is the Digital Image-based Postural Assessment software, which uses photogrammetry to measure changes in the spine.^{5,6}

An important methodological difference in examining the spine using radiography and photogrammetry lies in the anatomical structures that are evaluated: The X-ray allows an internal evaluation, and photogrammetry allows assessment of the surface of the body. Although with X-rays the magnitude of the curves is calculated from the vertebral bodies,^{7,8} photogrammetry identifies the spinous processes along the surface of the skin.⁹

The magnitude of the curves calculated from anatomical surface points is different from the magnitudes obtained from internal structures. Because the anatomical structures are closely related, a relationship is expected between the magnitudes calculated in different manners. Therefore, it is possible to obtain an accurate estimation of the internal curve using the external curve. Thus, this study aims to develop,

School of Physical Education, Physiotherapy and Dance, Federal University of the Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil.

Corresponding author: Jefferson F. Loss, PhD, Rua Fernando Osório, 1887, Porto Alegre, RS, Brazil. Tel.: +55 51 3308 5822. (e-mail: jefferson.loss@ufrgs.br).

Paper submitted September 7, 2016; in revised form June 20, 2017; accepted June 20, 2017.
0161-4754

Copyright © 2017 by National University of Health Sciences.
<https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2017.06.015>