

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

**IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLIOSE A PARTIR DE PARÂMETROS DA  
SUPERFÍCIE CORPORAL**

**Isis Juliene Rodrigues Leite Navarro**

**PORTO ALEGRE**

**2018**

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

**IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLIOSE A PARTIR DE PARÂMETROS DA  
SUPERFÍCIE CORPORAL**

**Isis Juliene Rodrigues Leite Navarro**

Dissertação de mestrado submetida 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

**ORIENTADORA  
PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. CLÁUDIA TARRAGÔ CANDOTTI**

**PORTO ALEGRE**

**2018**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar agradecendo a **Deus** por ter me guiado e capacitado durante essa trajetória de crescimento intelectual, profissional e pessoal. Os planos dele para mim são muito maiores que os meus.

Agradeço imensamente à minha orientadora **Cláudia Tarragô Candotti**, por me acompanhar, ensinar e incentivar, mas principalmente por ter efetivamente me mostrado com tanta propriedade o incrível mundo da pesquisa. Fostes a responsável pelo despertar da minha paixão em ser pesquisadora. Obrigada pela tua dedicação a mim e aos meus sonhos, pela tua amizade, pelas tuas palavras, pelo teu carinho com a minha pequena e por todas as oportunidades que me mostraste.

Agradeço e dedico esse trabalho aos meus **pais**, pelo apoio incondicional que sempre me deram e seguem dando. Grande parte dos meus gestos em busca de crescimento são alicerçados por vocês. **Mãe**, serei eternamente grata ao teu amor inesgotável, saber que sempre posso contar contigo é a melhor sensação do mundo, obrigada! És meu porto seguro.

Nem nos meus melhores sonhos poderia imaginar um companheiro para essa vida como tu **Danilo Navarro**. Ter a honrosa oportunidade de dividir minhas felicidades e angústias com alguém tão brilhante, atencioso, amoroso e engraçado como tu é, de fato, um privilégio. Obrigada por lutar ao meu lado todas as batalhas que a vida oferece. Agradeço por teres me dado o maior presente do mundo, nossa filha **Helena Navarro**, que de forma muito paciente e observadora acompanhou a mamãe ao longo da escrita de cada artigo.

Agradeço a empresa **Miotec** que se manteve aberta ao diálogo para ajustes e melhorias do sistema Vert 3D e ao **Helton Moraes** pela disposição no desenvolvimento dos algoritmos que geraram os parâmetros da topografia.

Agradeço ao **Dr. Erasmo de Abreu Zardo**, diretor do Instituto de Cirurgia da Coluna Vertebral, pela confiança e pela oportunidade. Tua disponibilidade viabilizou a captação de parte da amostra dessa pesquisa. Agradeço por aceitares contribuir com meu crescimento intelectual e por todas as

rápidas conversas que tivemos durante as manhãs corridas de quinta-feira, no ambulatório do Hospital São Lucas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

Agradeço a todos os **pacientes** que generosamente aceitaram participar dessa pesquisa. Sem vocês a condução deste trabalho não seria possível.

Gratidão pela ajuda e pela atenção de toda a equipe da secretaria do Lapex, em especial à **Marli** e ao **Luciano**, que acompanharam de perto cada coleta e torceram junto comigo a cada novo paciente incluído.

Agradeço de coração ao **Grupo Biomec**, onde sempre estão todos dispostos a ajudar e a colaborar com a construção de novas ideias e de conhecimento. Nosso grupo foi essencial no trilhar dessa jornada. As tardes de terça-feira ficarão marcadas na memória de todos nós. Obrigada por toda ajuda, por toda doação e por todas as trocas que fizemos ao longo do nosso tempo juntos. Destaco a importante colaboração da **Maiane Amaral**, bolsista de iniciação científica e futura fisioterapeuta brilhante, que me acompanhou apaixonadamente durante todo o período de coleta. Em especial agradeço ao meu grande amigo **Edgar Wagner**, pela tua incansável disponibilidade em ajudar não só a mim, mas a todos que te procuram. Pelas ajudas com a estatística, pela grande ajuda com o inglês e pelo teu carinho comigo e minha família.

Agradeço aos meus **amigos**, que compreenderam minhas ausências e me motivaram a seguir em frente em busca dos meus sonhos. Obrigada pelas palavras, pelos abraços, pelos olhares, pelos whats, enfim pela parceria.

Por fim agradeço à CNPq pelo período de auxílio financeiro.

## RESUMO

A escoliose idiopática (EI) é uma das deformidades mais comuns da coluna vertebral, sendo definida como uma deformidade tridimensional da coluna vertebral e do tronco. Na última década os esforços em busca da consolidação de um olhar multidimensional para avaliação e acompanhamento da EI aumentaram, indo além do exame radiológico. A topografia de superfície é um exame de imagem livre de radiação que fornece informações relevantes na avaliação do paciente com EI, entretanto sua utilização não é realizada de forma padronizada, o que limita sua aplicabilidade. A presente dissertação de mestrado teve por objetivo verificar a capacidade de identificação da EI através da topografia de superfície, usando a técnica de rasterestereografia, correlacionando seus achados com uma avaliação clínica baseada na fotogrametria e no escoliômetro. Para contemplar esse objetivo foram realizados dois estudos. O **Estudo 1** consistiu numa revisão sistemática com metanálise que objetivou (a) identificar quais são os marcadores anatômicos de referência utilizados pela topografia de superfície; (b) identificar quais são os parâmetros utilizados pela topografia de superfície; e (c) conduzir uma metanálise através dos coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e intraclasse (ICC), a fim de estabelecer confiabilidade da topografia de superfície na identificação da escoliose idiopática do adolescente (EIA). A avaliação da qualidade metodológica foi realizada seguindo Brink & Louw. Foram incluídos 23 artigos para síntese qualitativa e 11 para metanálise. Os valores de  $r$  para correlação, nos planos frontal, sagital e transversal, variaram de 0,55 a 0,84. Os valores de ICC para reprodutibilidade, no plano frontal e sagital, foram de 0,84 a 0,97. Foi possível determinar que: (a) apenas quatro marcadores anatômicos de referência são suficientes na avaliação topográfica; (b) a avaliação do paciente com EIA pode ser feita através da extração de nove parâmetros; e (c) a topografia de superfície apresenta uma correlação forte e significativa com as radiografias na avaliação da EIA através do ângulo de inclinação da coluna (análogo ao Cobb), no plano frontal e para os ângulos de cifose e lordose, no plano sagital, sendo reprodutível na análise interavaliadores e intra-avaliadores no plano sagital e na análise intra-avaliadores no plano frontal. O **Estudo 2** visou contribuir com a sistematização da avaliação da coluna vertebral e do dorso para identificação da EI, através da topografia de superfície, buscando (1) identificar quais parâmetros extraídos da topografia de superfície, através da técnica de rasterestereografia, são preditores para identificação da EI e (2) identificar a capacidade da técnica de rasterestereografia em determinar a severidade da EI. Foram avaliados 77 participantes com idades entre sete e 18 anos, de ambos os sexos. A avaliação consistiu em três exames, sendo eles a topografia de superfície (Vert 3D), a fotogrametria e o escoliômetro. A ordem dos exames foi definida através de sorteio no momento inicial da avaliação. O protocolo de avaliação da topografia

de superfície contou com a utilização de apenas quatro marcadores nos seguintes pontos anatômicos: processo espinhoso da sétima vértebra cervical (C7), espinhas ilíacas pósterosuperiores (EIPS) e processo espinhoso da primeira vértebra sacral (S1). Para análise topográfica, foram utilizados 13 parâmetros da topografia de superfície, sendo eles: cifose torácica, lordose lombar, rotação das EIPS, inclinação das EIPS, ângulo da maior curva à direita (plano frontal), ângulo da maior curva à esquerda (plano frontal), rotação do tronco à esquerda, rotação do tronco à direita, distância C7-S1 (plano frontal), deslocamento C7-S1 (plano sagital), ápice da curva à direita (plano frontal), ápice da curva à esquerda (plano frontal) e comprimento do tronco. Na análise estatística, foi utilizada uma regressão linear múltipla para verificar quais parâmetros da topografia de superfície são necessários para identificar a presença de EI. A fim de determinar a capacidade diagnóstica da topografia foi utilizada a Receiver Operating Characteristic Curve (curva ROC). Para região torácica a análise resultou num modelo, com o ângulo de rotação do tronco (ART) como variável dependente, que atingiu um  $R^2$  ajustado de 0,73, incluindo as seguintes variáveis independentes (parâmetros da topografia de superfície): Cifose torácica, Rotação das EIPS, Ápice da curva à esquerda, Deslocamento C7-S1 (sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (frontal), Rotação do tronco à direita e Ápice da curva à direita. Para região lombar o melhor modelo encontrado contou com o ART (escoliómetro) como variável dependente e resultou num  $R^2$  ajustado de 0,45. Neste modelo as variáveis independentes (parâmetros da topografia de superfície) incluídas foram: Comprimento do tronco, Inclinação das EIPS, Deslocamento C7-S1 (sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (frontal) e Ápice da curva à direita. Ambos os modelos se mostraram estatisticamente significativos ( $p=0,000$ ). Ainda, o exame se mostrou capaz de identificar a severidade da EI com base em quatro parâmetros, estabelecendo seus respectivos pontos de corte através da curva ROC: para região torácica, valores de sensibilidade entre 61% e 71% e especificidade entre 66% e 93%; para a região lombar, valores de sensibilidade entre 58% e 75% e especificidade entre 47% e 82%. Baseado nos valores de área sob a curva, que chegaram a 84% na região torácica e 78% na região lombar, entende-se que é adequada a capacidade diagnóstica do exame de topografia de superfície (Vert3D) na identificação da EI.

**Palavras-chave:** escoliose, saúde da criança, avaliação postural, topografia de superfície.

## ABSTRACT

Idiopathic scoliosis (IS) is one of the most common deformities of the vertebrae, being defined as a tridimensional deformity of the vertebrae and of the back. In the last decade the efforts to seek out for a consolidation of a multidimensional eye to evaluate and monitor IS increased, going beyond radiological exams. The surface topography is an image exam free of radiation that provides information relevant to the IS patient's evaluation, however its use is not performed in a standardized way, which limits its applicability. This master's thesis has as goal to verify the capability of identification of scoliosis through surface topography, using raster stereography technique, comparing its findings with a clinical evaluation based on photogrammetry and scoliometer. Three studies were used to contemplate this goal. **Study 1** consisted on a systematic revision with meta-analysis aiming (a) identify which are the anatomical markers used as references by the surface topography; (b) identify which are the parameters used by the surface topography; and (c) conduct a meta-analysis by the use of the Pearson's correlation coefficients ( $r$ ) and intraclass (ICC), to establish the validity and reproducibility of the surface topography on the identification of adolescent idiopathic scoliosis (AIS). The evaluation of the methodological quality was performed following Brink & Louw. It was included 18 articles for qualitative synthesis and nine for meta-analysis. The values of  $r$  for correlation, on the frontal, sagittal and axial planes, vary from 0.55 to 0.84. The ICC values for reproducibility, on the sagittal and frontal planes, were between 0.84 and 0.97. It was possible to determine that: (a) only four anatomical markers of reference are sufficient for the topographic evaluation; (b) the evaluation of the patient with AIS can be done by the extraction of nine parameters; and (c) the surface topography showed a strong and significant correlation with radiography on the evaluation of AIS is through the use of the spinal inclination angle (analogous to Cobb), in the frontal plane and for the kyphosis and lordosis angles, in the sagittal plane, being reproducible in the inter-rater and intra-rater analysis in the sagittal plane and in the intra-rater analysis in the frontal plane. **Study 2** aimed to contribute with the systematization for the evaluation of the vertebrae and back to identify scoliosis, through surface topography, searching (1) Identify which parameters extracted from surface topography, through rastereography are predictors to IS identification and (2) identify the capability of surface topography to determine the severity of IS. 77 participants were evaluated with ages ranging between seven and 18 years old, of both genders. The evaluation consisted of three exams, surface topography (Vert 3D), photogrammetry and the scoliometer. The order of the exams was defined randomly on the initial moment of the evaluation. The evaluation protocol of the surface topography consisted on the use of only four markers on the following anatomical points: spinous process of the seventh cervical vertebrae (C7), poster superior iliac spine (EIPS) and spinous process of the first sacral vertebrae (S1). For the topographic analysis, thirteen parameters of the surface topography

were used: thoracic kyphosis, lumbar lordosis, EIPS rotation, EIPS inclination, angle of the largest curve to the right (frontal plane), angle of the largest curve to the left (frontal plane), rotation of the torso to the left, rotation of the torso to the right, C7-S1 distance (frontal plane), C7-S1 displacement (sagittal plane), apex of the curve to the right (frontal plane), apex of the curve to the left (frontal plane), and length of the torso. On the statistical analysis, it was used a multiple linear regression to verify which parameters of the surface topography are necessary to identify the presence of scoliosis. To determine the capability to diagnose of the topography it was used the Receiver Operating Characteristic Curve (ROC curve). For the thoracic region the analysis resulted on a model, with the rotation angle of the torso (ART) as a dependent variable, that reached an adjusted R<sup>2</sup> of 0,73, including the following independent variables (surface topography parameters): thoracic Kyphosis, EIPS rotation, apex of the curve to the left, C7-S1 displacement (sagittal), rotation of the torso to the left, C7-S1 distance (frontal), rotation of the torso to the right and apex of the curve to the right. For the lumbar region the best model found counted with ART (scoliometer) as a dependent variable and resulted on an adjusted R<sup>2</sup> of 0.45. On this model the independent variables (surface topography parameters) included were: length of the torso, EIPS inclination, C7-S1 displacement (sagittal plane), rotation of the torso to the left, C7-S1 distance (frontal plane) and apex of the curve to the right. Both models showed statistically significant (p=0,000). And, the exam was showed to be capable to identify the severity of IS based on four parameters, stablishing their respective cutoffs through the use of the ROC curve: for the thoracic region, sensibility values between 61% and 71% and specificity between 66% and 93%; for the lumbar region, sensibility values between 58% and 75% and specificity between 47% and 82%. Based on the values of the area under the curve, that reached 84% on the thoracic region and 78% on the lumbar region, it is understood that the diagnosis capability of the surface topography exam (Vert3D) is adequate for the identification of scoliosis.

**Key-words:** scoliosis, children health, postural evaluation, surface topography.



## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	10
GLOSSÁRIO .....	11
INTRODUÇÃO .....	12
1 CAPÍTULO 1 – Marcadores anatômicos, parâmetros de avaliação e confiabilidade da topografia de superfície para identificação da escoliose idiopática do adolescente: uma revisão sistemática com metanálise .....	15
RESUMO .....	15
ABSTRACT .....	16
INTRODUCTION.....	17
METHODS .....	17
RESULTS .....	20
DISCUSSION.....	29
CONCLUSION .....	32
REFERÊNCIAS.....	33
2 CAPÍTULO 2 – Determinação dos parâmetros da topografia de superfície preditores na identificação da escoliose .....	37
RESUMO .....	37
ABSTRACT .....	38
INTRODUÇÃO .....	39
METODOLOGIA .....	39
RESULTADOS.....	46
DISCUSSÃO .....	52
CONCLUSÃO .....	58
REFERÊNCIAS.....	60
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	39
4 LIMITAÇÕES e DIFICULDADES DO ESTUDO .....	66
5 PERSPECTIVAS .....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS REFERENTES À INTRODUÇÃO .....	69
APÊNDICE .....	71

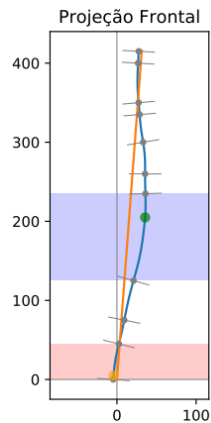
## APRESENTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado foi realizada na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança (ESEFID) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com objetivo de elucidar o funcionamento, utilização e aplicabilidade da topografia de superfície na avaliação da EI. Os dados fornecidos por esse exame foram explorados e analisados em comparação a outros parâmetros da superfície corporal, oriundos da fotogrametria e do escoliômetro, que aqui serão usados como referência. O equipamento de topografia de superfície utilizado chama-se Vert3D, fabricado e desenvolvido no Brasil, pela empresa Miotec, e conta com a técnica de rasterestereografia. Nesse exame é possível extrair uma imagem tridimensional das costas do participante avaliado e parâmetros quantitativos lineares e angulares. Apesar de se mostrar uma ferramenta útil para avaliação da coluna vertebral e do dorso, o protocolo de utilização e os parâmetros da topografia de superfície ainda não são utilizados de forma sistemática, o que limita sua aplicabilidade. Assim, este estudo se propõe a contribuir com a sistematização da avaliação da coluna vertebral e do dorso, através da topografia de superfície na identificação da EI.

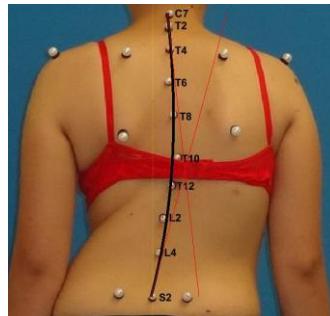
Com base nos dados investigados na literatura, na coleta, exploração e na análise dos dados obtidos, esta dissertação de mestrado está apresentada da seguinte forma: Introdução; 1. Capítulo 1 – Artigo de revisão Sistemática intitulado “Marcadores anatômicos, parâmetros de avaliação e validade da topografia de superfície para identificação da escoliose idiopática do adolescente: uma revisão sistemática com metanálise” submetida à revista *Gait & Posture*, em abril de 2018; 2. Capítulo 2 – Artigo Intitulado “Determinação dos parâmetros da topografia de superfície preditores na identificação da escoliose” que consiste na análise de regressão linear múltipla e curva ROC dos dados obtidos com o equipamento Vert3D para identificação da escoliose idiopática, em relação à fotogrametria e ao escoliômetro. Esse artigo será submetido à revista *Scoliosis and Spinal Disorders*; 3. Considerações finais; 4. Dificuldades e limitações do estudo; 5. Perspectivas; Referências bibliográficas referentes à introdução; APÊNDICE – Artigo original intitulado “Validação de um procedimento matemático para cálculo do ângulo Cobb através da fotogrametria” submetido à revista *Journal of Chiropractic Medicine*, em maio de 2018.

## GLOSSÁRIO

**Ângulo da maior curva à direita ou à esquerda:** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como ângulo entre as perpendiculares à curva de interesse nos pontos de inflexão adjacentes a essa curva, no plano frontal. Ângulo mensurado na região em destacada em azul na imagem.



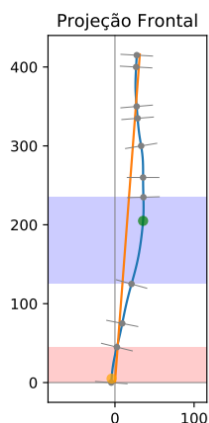
**Ângulo de inclinação da coluna vertebral (Â DIPA) torácico e lombar:** Parâmetro extraído da fotogrametria, definido como ângulo obtido através do método das tangentes com base nos pontos anatômicos (níveis vertebrais) selecionados pelo examinador.



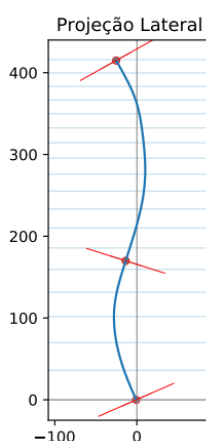
**Ângulo de rotação do tronco (ART):** Parâmetro obtido com o escoliômetro definido como ângulo mensurado entre o ponto mais proeminente do tronco, na região posterior com a horizontal, medido de 1 em 1 grau.



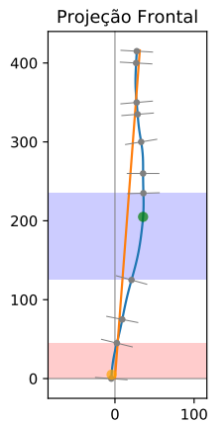
**Ápice da curva à direita ou à esquerda:** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como valor da coordenada X do ponto da curva, entre os pontos de inflexão adjacentes, onde ocorre a tangência com o eixo vertical formado pela união de C7 e S1, correspondendo ao ponto com a maior "flecha". Na imagem o ponto verde representa a maior flecha à direita e o ponto laranja a maior flecha à esquerda.



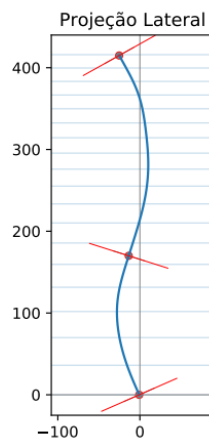
**Cifose torácica e Lordose Lombar:** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como ângulo entre as perpendiculares à curva de interesse nos pontos de inflexão adjacentes a essa curva, no plano sagital. Na imagem ângulo mensurado entre as linhas vermelhas.



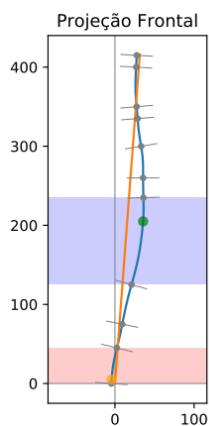
**Comprimento do tronco:** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como somatório dos comprimentos dos segmentos da Linha de Simetria entre os pontos S1 e C7. Na imagem somatório dos comprimentos da linha destacada em azul.



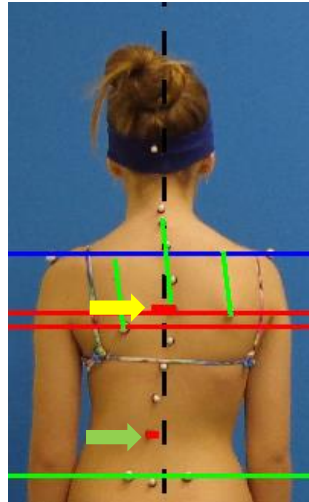
**Deslocamento C7-S1 no (plano sagital):** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como diferença entre o valor das coordenadas Z (anteroposterior) dos pontos C7 e S1, no plano sagital. Na imagem diferença entre o ponto em vermelho mais inferior (S1) e ponto vermelho mais superior (C7).



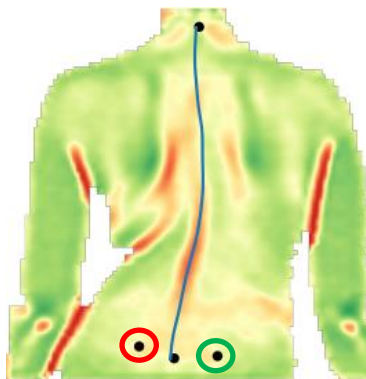
**Distância C7-S1 no (plano frontal):** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como diferença entre o valor das coordenadas X (laterolateral) dos pontos C7 e S1.



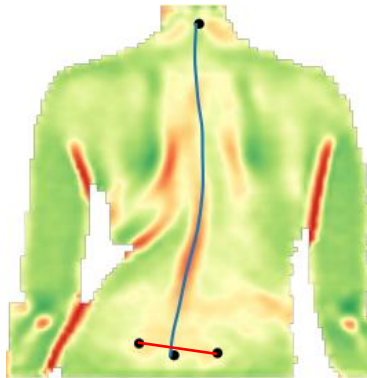
**Flecha escoliótica torácica e lombar:** Parâmetro extraído da fotogrametria definido como maior distância linear (em cm) obtida na linha de referência do processo espinhoso da vértebra ápice da curva escoliótica a reta traçada de C7 a S2. Na imagem a seta amarela indica a flecha escoliótica torácica e a seta verde indica a flecha escoliótica lombar.



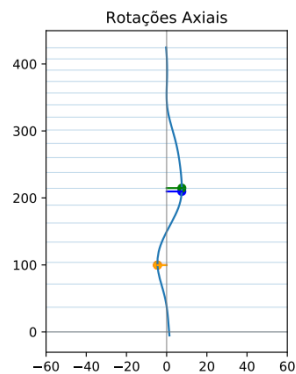
**Inclinação das EIPS:** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como diferença entre o valor das coordenadas Y (superoinferior) da EIPS Direita (destacada na imagem pelo círculo verde) e da EIPS Esquerda (destacada na imagem pelo círculo vermelho).



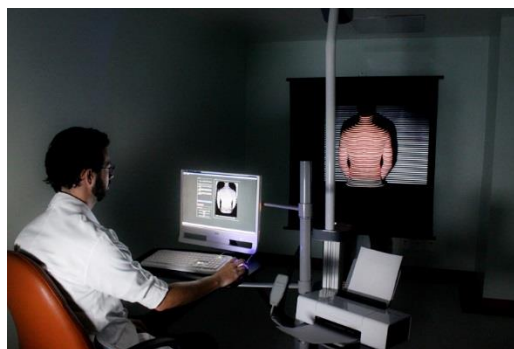
**Rotação das EIPS:** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como valor do ângulo entre o vetor que une as EIPS Direita e Esquerda (linha vermelha) e o plano frontal.



**Rotação do tronco à direita ou à esquerda:** Parâmetro extraído da topografia de superfície definido como valor da rotação axial na altura do ápice da curva de interesse. Na imagem ângulo mensurado no ponto azul (para rotação à direita) e no ponto laranja (para rotação à esquerda).



**Vert 3D:** Equipamento de topografia de superfície fabricado e desenvolvido no Brasil, utilizado nesta pesquisa para aquisição e processamento das imagens.



## INTRODUÇÃO

A escoliose idiopática (EI) é definida como uma deformidade tridimensional da coluna vertebral e do tronco (MONTICONE et al., 2014), com prevalência de 85%, dentre os outros tipos de escoliose, e 2-3% na população. A identificação precoce favorece o prognóstico do tratamento conservador, uma vez que cerca de 25% dos casos podem evoluir para tratamento cirúrgico (NEGRINI et al., 2014).

Na última década os esforços em busca da consolidação de um olhar multidimensional para avaliação e acompanhamento da deformidade aumentaram, visando compreender todos os aspectos da EI (NEGRINI et al., 2006). Tanto o diagnóstico, quanto o acompanhamento da progressão da deformidade, devem ser conduzidos de modo que fatores biomecânicos, estruturais, funcionais, estéticos e de qualidade de vida sejam abordados (CHESHIRE et al., 2017; GOLDBERG et al., 2001; KEENAN et al., 2015; MATAMALAS et al., 2016).

Na radiografia ortostática da coluna vertebral é possível mensurar o ângulo Cobb, que possibilita quantificar a magnitude da inclinação das vértebras, classificando a severidade da deformidade (HUI et al., 2016). De acordo com Knott et. al.,(2014) o aumento da exposição à radiação ionizante pode elevar o risco de desenvolvimento de câncer, e, quanto mais cedo for o contato com a radiação, mais prejudicial será para os tecidos. Esse fator enfatiza a importância de se adotar outras formas de identificação precoce da EI (KNOTT et al., 2014).

Dentre as ferramentas disponíveis para investigação, a avaliação clínica e sua gama de testes e instrumentos não invasivos são a prioridade em recomendação pelos experts na área, seguida da avaliação radiológica. Isso porque o exame de Raios-x analisado de forma isolada não é suficiente para compreender todas as características envolvidas na tridimensionalidade da EI (ASHER et al., 2003; GOLDBERG et al., 2001; HUI et al., 2016; KOTWICKI et al., 2009; MATAMALAS et al., 2016).

Perdriolle (1979), elucidou o comportamento tridimensional não só da coluna, mas também do tronco na deformidade escoliótica (PERDRIOLLE, 1979). Considerando que a medida do ângulo Cobb permite quantificar somente um plano da deformidade (STOKES, 1994), pode-se afirmar que o ângulo Cobb sozinho não aborda completamente a deformidade da superfície (GOLDBERG et al., 2001). Neste aspecto, a utilização de



ferramentas não radiológicas para detecção e acompanhamento da escoliose, pode viabilizar um olhar tridimensional para avaliação, favorecendo a análise musculoesquelética dos segmentos afetados pela deformidade, que ocasionam modificações na forma do tronco.

Na avaliação clínica, um instrumento muito utilizado é a fotogrametria, que possibilita quantificar variáveis posturais envolvidas nas deformidades da coluna vertebral. A técnica funciona através da captura e processamento de imagens, mediante protocolo padronizado (FURLANETTO et al., 2012). A ausência de uma classificação da postura corporal, e ainda, a inconsistência na reprodutibilidade e repetibilidade das medidas, são algumas das limitações que alguns protocolos apresentam (DOS SANTOS; FANTINATI, 2011).

Por outro lado, é possível encontrar protocolos de utilização da fotogrametria, que possuem validade e reprodutibilidade para avaliação da postura corporal (FURLANETTO et al., 2012). Pesquisas vêm sendo elaboradas para contribuir com o aperfeiçoamento e desenvolvimento da ferramenta, a fim de garantir sua aplicabilidade e relevância clínica na avaliação do paciente com EI (PENHA et al., 2017). A técnica ainda apresenta vantagens como ausência de radiação, baixo custo, manuseio acessível e facilidade de utilização (FURLANETTO et al., 2012).

Outro dispositivo bastante utilizado na clínica para avaliação da EI não invasiva é o escoliômetro, que mensura o ângulo de rotação do tronco, possibilitando a quantificação da deformidade no plano transversal, em graus (AMENDT et al., 1990; BONAGAMBA; COELHO; OLIVEIRA, 2010; FERREIRA; DEFINO, 2001). A combinação do Teste de Adams e sua mensuração através do escoliômetro apresenta alta concordância, onde a sensibilidade e especificidade variam de acordo com a região avaliada e o ponto de corte escolhido (CÔTÉ et al., 1998; GROSSMAN; MAZUR; CUMMINGS, 1995). Embora, segundo Labelle et al., (LABELLE et al., 2013) o uso do escoliômetro associado ao teste de Adams seja atualmente uma importante ferramenta para triagem da EI, os autores apontam que ao acrescentar o uso da topografia de superfície na avaliação, há um aumento da sensibilidade no diagnóstico (LABELLE et al., 2013).

A topografia de superfície vem sendo utilizada desde a década de 60, também como uma ferramenta alternativa para avaliação da escoliose (TAKASAKI, 1970). A tecnologia baseada, na técnica da raster estereografia (DRERUP; HIERHOLZER, 1994), deu origem a diversos equipamentos como InSpeck, ISIS, Quantec, Formetric e Vert3D. Todos

eles objetivam reproduzir tridimensionalmente a forma do dorso e, a partir daí, extrair parâmetros capazes de identificar alterações posturais ou deformidades (PATIAS et al., 2010; SEDREZ et al., 2016, 2017).

Os parâmetros recomendados para interpretação das imagens obtidas na topografia de superfície foram abordados pela *International Scientific Society on Scoliosis Orthopaedic and Rehabilitation Treatment* – SOSORT no 6º encontro (KOTWICKI et al., 2009). Dentre eles, alguns parâmetros fornecem informações lineares e outros angulares sobre a topografia da superfície do dorso. Os autores destacam a falta de experiência na utilização e interpretação do exame de topografia de superfície dentre os profissionais e apontam como principal motivo a falta de padronização e/ou ausência de um protocolo.

De fato, apesar da topografia de superfície se mostrar uma ferramenta muito útil para avaliação da coluna vertebral e do dorso, sua utilização ainda não é feita de forma padronizada, o que dificulta a sistematização da realização do exame e interpretação dos resultados, além de interferir na comunicação entre os profissionais. Assim, esta pesquisa se propõe a contribuir com a sistematização da avaliação da coluna vertebral e do dorso na identificação da EI, através da topografia de superfície, buscando sua correlação com parâmetros clínicos oriundos da fotogrametria e do escoliômetro.

# 1 CAPÍTULO 1 – MARCADORES ANATÔMICOS, PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO E CONFIABILIDADE DA TOPOGRAFIA DE SUPERFÍCIE PARA IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLIOSE IDIOPÁTICA DO ADOLESCENTE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM METANÁLISE

Artigo de Revisão Sistemática

Submetido à Revista *Gait & Posture* em abril 2018

**Marcadores anatômicos, parâmetros de avaliação e confiabilidade da topografia de superfície para identificação da escoliose idiopática do adolescente: uma revisão sistemática com metanálise**

## RESUMO

**Introdução:** A topografia de superfície é um exame livre de radiação que fornece informações relevantes na avaliação do paciente com escoliose idiopática do adolescente (EIA), entretanto sua utilização não é realizada de forma padronizada, o que limita sua aplicabilidade. **Questão de pesquisa:** (a) identificar quais são os marcadores anatômicos de referência utilizados na topografia de superfície; (b) identificar quais são os parâmetros utilizados pela topografia de superfície; e (c) conduzir uma metanálise através dos coeficientes de correlação de Pearson e intraclasse. **Métodos:** Foram conduzidas buscas sistemáticas seguindo as recomendações da MOOSE (Metanálise de Estudos Observacionais em epidemiologia). A avaliação da qualidade metodológica foi realizada seguindo Brink & Louw. **Resultados:** Foram incluídos 23 artigos para síntese qualitativa. Os marcadores mais utilizados foram: a vértebra proeminente (C7 ou T1), a espinha íliaca pósterio-superior (EIPS) e o sacro (S1). Os parâmetros para avaliação da EIA pela topografia de superfície são: o ângulo de inclinação (Cobb), gibosidade, ângulo de cifose torácica, ângulo de lordose lombar, obliquidade pélvica, comprimento da coluna, ápice da curva, distância de C7-S1 (plano frontal) e deslocamento C7-S1 (plano sagital). Os dados de 11 artigos foram metanalisados, evidenciando a correlação da topografia de superfície em relação ao exame de Raios-X e a reprodutibilidade da topografia de superfície nos planos sagital e frontal. **Significância:** Os achados deste estudo recomendam a utilização de um protocolo para utilização do equipamento. Os estudos analisados preveem a utilização de apenas quatro marcadores anatômicos de referência. A avaliação do paciente com EIA pode ser feita através da extração de nove parâmetros. A topografia de superfície na avaliação da EIA, através do ângulo de inclinação (análogo ao Cobb), no plano frontal e para os ângulos de cifose e lordose, no plano sagital, se correlaciona com os achados radiográficos. Ainda, a topografia de superfície apresenta reprodutibilidade intra e interavaliador no plano sagital e reprodutibilidade intra-avaliador no plano frontal.

**Palavras-chave:** escoliose, topografia, confiabilidade, reprodutibilidade.

## ABSTRACT

**Background:** Surface topography is a radiation-free examination that provides relevant information for the evaluation of patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS). However, its usage is not standardized, which restricts the applicability of this instrument. **Research questions:** (a) To identify the anatomical reference markers used on surface topography; (b) to identify the parameters used on surface topography; and (c) to conduct meta-analyses using Pearson's and Intraclass Correlation Coefficients. **Methods:** Systematic searches were conducted following MOOSE (Meta-analysis of Observational Studies in Epidemiology) guidelines. The methodological quality was assessed according to Brink & Louw appraisal tool. **Results:** Twenty-three studies were included for the qualitative synthesis. The most commonly used anatomical reference markers were: the prominent vertebra (C7 or T1), the posterior superior iliac spines (PSISs) and the sacrum (S1). The parameters for the evaluation of the AIS by surface topography are: spinal inclination angle (analogous to Cobb), gibbosity, thoracic kyphosis angle, lumbar lordosis angle, pelvic obliquity, spine length, apex of the curve, C7-S1 distance (frontal plane), and C7-S1 displacement (sagittal plane). Data from eleven studies were meta-analyzed and evidenced the correlation of the surface topography with X-ray exams and the reproducibility of the surface topography in the sagittal and frontal planes. **Significance:** The findings of this study recommend the use of a protocol for the application of the equipment. The analyzed studies predict the use of only four markers for anatomical reference. The evaluation of the AIS can be carried out observing nine parameters. Surface topography correlates with radiography when the spinal inclination angle (Cobb angle), thoracic kyphosis angle and lumbar lordosis angle are compared. Also, surface topography presents inter and intra-rater reproducibility in the sagittal plane and intra-rater reproducibility in the frontal plane.

**Key-words:** scoliosis, topography, reliability, reproducibility.

## INTRODUCTION

Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS) is a three-dimensional deformity of the spine and trunk, with prevalence of 2-3% in the general population [1], that implicates on esthetical detriments of the body shape of the affected subjects [2]. Diagnostic investigation and curve progression follow-up can be carried out using non-radiological methods[1]. In this sense, many researchers have been working to develop new instruments and to improve new techniques and tools [3,4].

Surface topography is a quick and practical exam that can be used in the investigation and follow-up of AIS. This technology, based on the rasterstereography, originated a diverse number of equipments like InSpeck, ISIS, Vert3D, Quantec and Formetic. They all have the purpose of three-dimensionally reproducing the back surface of the evaluated individuals. The different mathematical processing of the images provides parameters for the identification and quantification of postural changes and deformities [5].

Although the surface topography is a useful tool for the AIS evaluation, there is no established protocol of evaluation that explicitly shows which are the anatomical markers to be used, neither a standardized interpretation of results through predetermined parameters. These limitations lead to distinct procedures in the use of the equipment and in the interpretation of results, which do not stimulate health professionals to use the equipment [6].

In this context, this systematic review with meta-analysis aims (a) to identify the anatomical reference markers used on surface topography; (b) to identify the parameters measured by surface topography; and (c) to conduct meta-analyses using Pearson's correlation coefficient and the Intraclass Correlation Coefficient (ICC) for verifying the reliability of the included studies.

## METHODS

### Type of study

The present study is a systematic review with meta-analysis, registered on PROSPERO ([http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO\\_](http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/) REBRANDING /display\_record.asp?ID=CRD42016047556).

## Search strategies

Systematic searches were conducted in July, 2018, on the PubMed, Embase, SciELO, Cochrane and Scopus databases, following MOOSE (Meta-analysis of Observational Studies in Epidemiology) guidelines [7].

The terms and Boolean operators used on the systematic search were: Scoliosis [MeSH] OR scoliosis OR scolioses OR “adolescent idiopathic scoliosis” OR “idiopathic scoliosis” OR “spinal curvatures” AND rasterstereography OR rasterstereographic OR “surface topography”. The search strategy used on PubMed can be observed on Table 1. In addition, there was no restriction for language or publication date. Also, manual searches were performed on the references of the included studies and on the database of the Brazilian Federal Agency for Support and Assessment of Post-graduate Education (CAPES).

**Table 1** - Search Strategy of PubMed

#3	Search (#1 AND #2 AND)
#2	Search (“rasterstereography” OR “rasterstereographic” OR “surface topography”)
#1	Search (“Scoliosis” [Mesh] OR scoliosis OR scolioses OR “adolescent idiopathic scoliosis” OR “idiopathic scoliosis” OR “spinal curvature”)

## Eligibility criteria

The eligible studies filled the following criteria: (1) patients diagnosed with AIS, (2) the use of surface topography examination, (3) the description of the anatomical reference markers adopted on surface topography for AIS identification, and (4) validity and/or reliability study.

## Study selection and data extraction

The bibliographic details of all retrieved articles were stored in an EndNote file. Two independent reviewers selected potentially relevant studies, according to their titles and abstracts. When a study did not provide enough information to be excluded, the text was integrally read.

In the next step, the reviewers have read the studies integrally and selected them according to the eligibility criteria. Studies that comprised patients over age 18, and/or patients with any diagnosable cause of scoliosis, and/or patients submitted to physical

therapy, brace or spinal surgical intervention were excluded. Discordant cases were solved by consensus or by a third reviewer.

Only the included studies were submitted to data extraction and methodological quality evaluation. The informations were extracted to a standardized form that included: author, year of publication, age, sample size, type of topography and the gold standard used. The outcomes were: (1) anatomical reference markers; (2) parameters for identifying the scoliosis; and (3) Pearson's correlation coefficient (r) and/or Intraclass Correlation Coefficient (ICC).

### **Quality assessment**

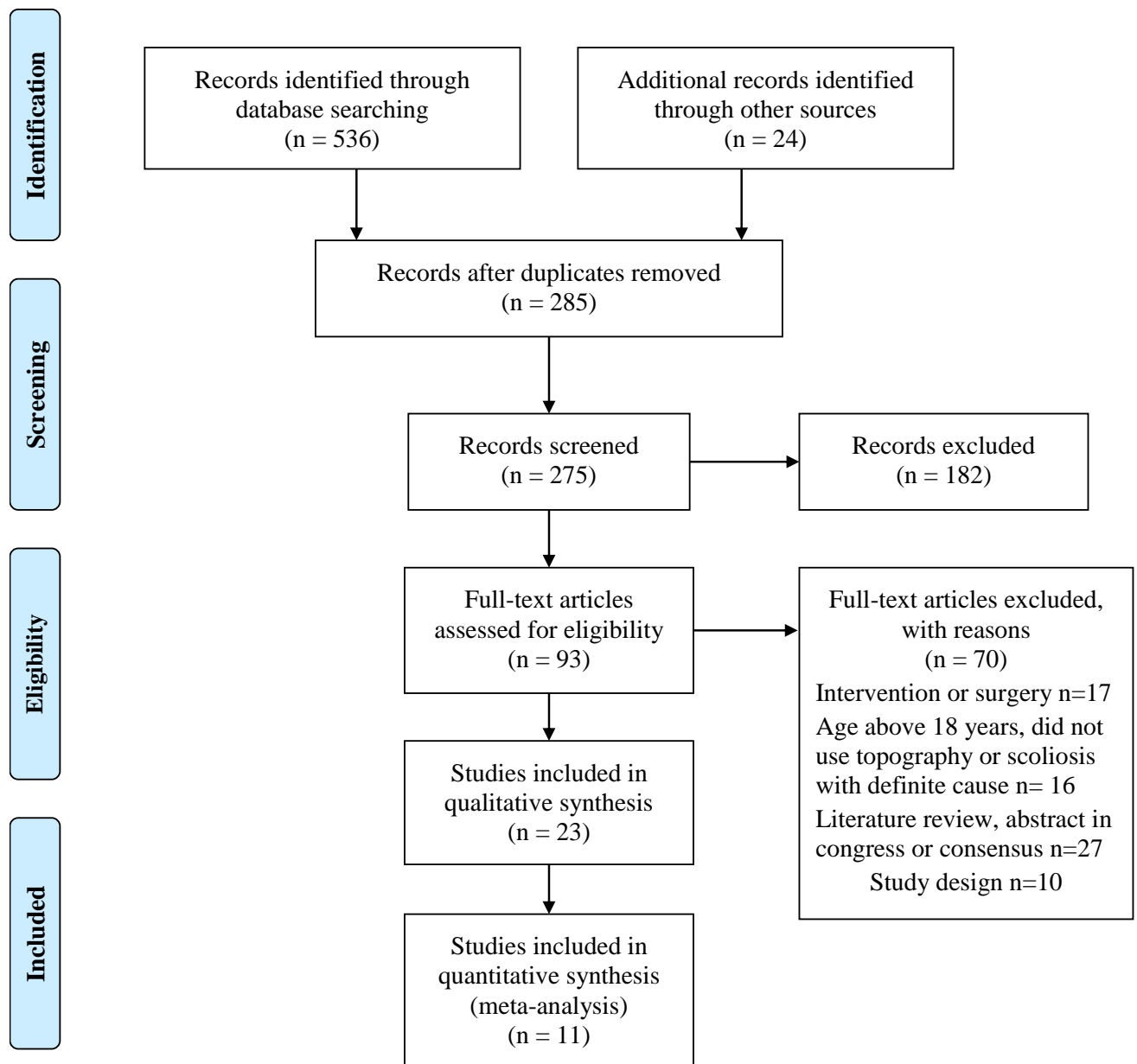
The assessment of the methodological quality and the risk of bias was performed using a critical appraisal tool, proposed by Brink & Louw[8], for assessing validity and reproducibility of results from studies. The scale consists of 13 items, of which five items relate to both validity and reliability studies, four items to validity studies only and four items to reliability studies. The scale was used by the same independent reviewers. The included studies were considered as high methodological quality if reached the score of  $\geq 60\%$ , as proposed by previous studies [9].

### **Statistical analysis**

The data was metanalyzed on the Comprehensive Meta-Analysis V3 software. The studies were grouped according to the correlation coefficient (r or ICC) and the anatomical plane of analysis (frontal or sagittal). In the frontal plane analysis, the data was divided in two groups: (1) Thoracic Cobb angle and (2) Lumbar Cobb angle. In the sagittal plane analysis, the data was also divided in two groups: (1) kyphosis angle and (2) lordosis angle. The random-effect model was selected for the analysis. The statistical data originated from Pearson's coefficient or ICC were interpreted as follows:  $\leq .25$  very low correlation,  $.26-.49$  low correlation,  $.50-.69$  moderate correlation,  $.70-.89$  high correlation and  $\geq .90$  very high correlation. Heterogeneity was verified by the Higgins Inconsistence test ( $I^2$ ).

## RESULTS

Initially, 536 studies were identified on the systematic searches; 467 were excluded, resting 93 for the full-text reading. So, based on the eligibility criteria, 70 studies were excluded, resting 23 studies for the qualitative analysis and 11 for the quantitative analysis. Figure 1 shows the flowchart [10]. of the included studies Table 2 summarizes the characteristics and the outcomes of the studies included in the qualitative analysis.



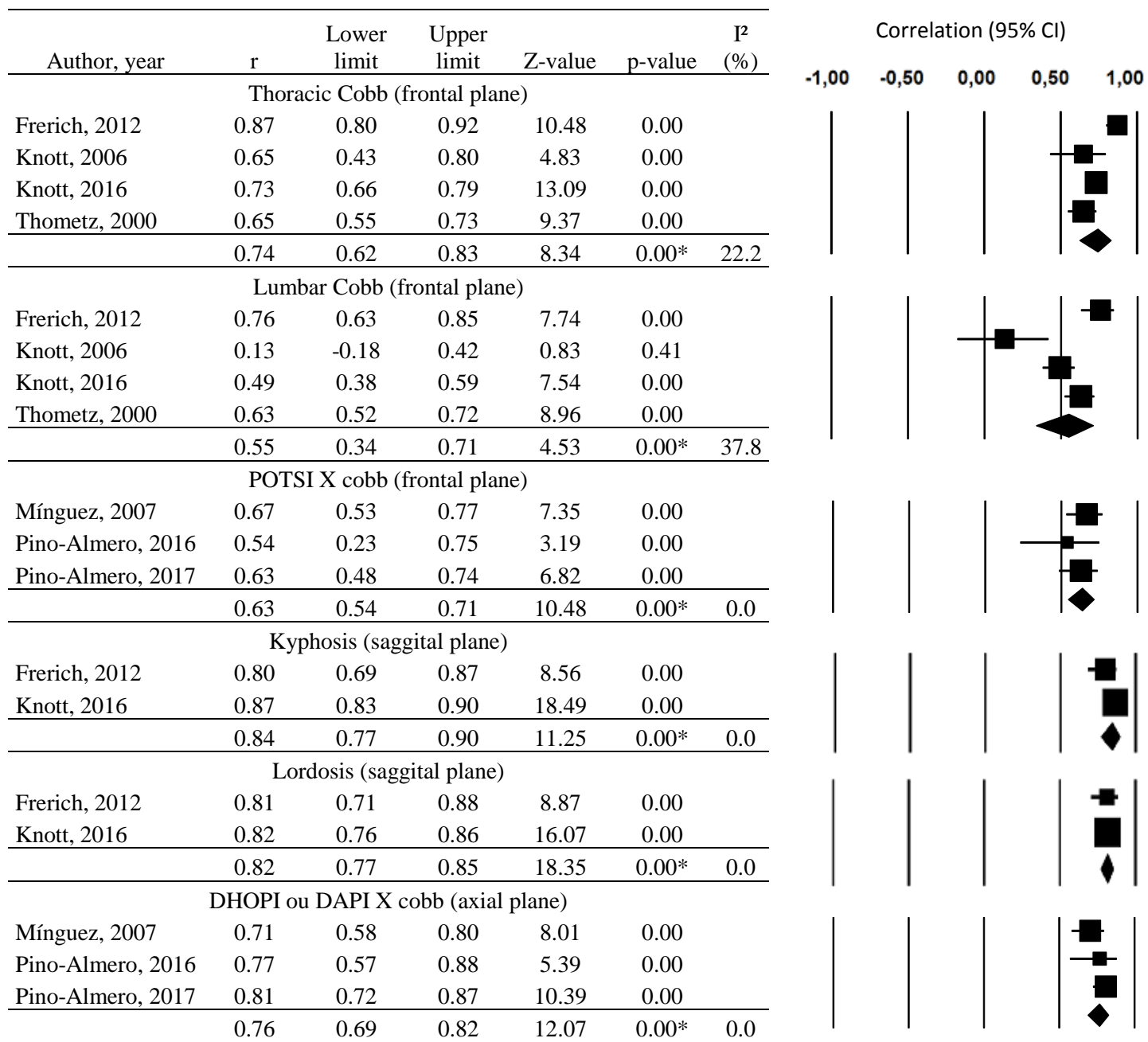
**Figure 1.** Flowchart of included studies according to PRISMA [10].



The number of anatomical reference markers used on surface topography examination ranged from 0 to 28. The reference markers most commonly used were: the spinous process of the prominent vertebra (C7 or T1) (n=15) [11–25], the PSISs (n=11) [12–17,19,20,22–24] and the sacrum (S1) (n=8) [11–16,18,24]. Seven studies did not use reference markers. [26–32].

The spinal inclination angle, analogous to the Cobb angle on radiography, was the most commonly used parameter (14 of 23 studies) [11,12,14–18,20,22–24,26,28,33]. Also, the following parameters were extracted from surface topography: gibbosity (measured in cm or degrees) (n=13) [12–16,18,19,22–24,26,28,29]; thoracic kyphosis angle and lumbar lordosis angle (n=8) [14,18–20,22,24,26,33]; pelvic obliquity (cm or degrees) (n=6) [14,19,22,24,26,33]; spine length (n=5) [16,19,20,22,26]; apex of the curve (n=6) [14–16,24,26,28]; C7-S1 distance (frontal plane) (n=5) [14,15,19,20,24]; C7-S1 displacement (sagittal plane) (n=4) [14,19,20,24]. The POTSI (Posterior Trunk Symmetry Index) and DAPI (Deformity in the Axial Plane Index) or DHOPI (Deformity in the Horizontal Plane Index) parameters were found in five studies [20,21,30–32].

About the outcomes of the meta-analyses (Figure 2), it was possible to extract the coefficients from 11 studies. Seven studies presented Pearson correlations [18,21,23,26,30,31,33] and five studies presented ICCs [14,20,22,24,33]. The correlation between topography and X-ray examinations in the frontal plane was high and significant for thoracic curves and moderate for lumbar curves ( $I^2=22.2\%$  and  $I^2=37.8\%$ , respectively). In the sagittal plane, the correlation between topography and X-ray examinations was high and significant, with very low heterogeneity ( $I^2=0\%$ ) for thoracic kyphosis and lumbar lordosis.

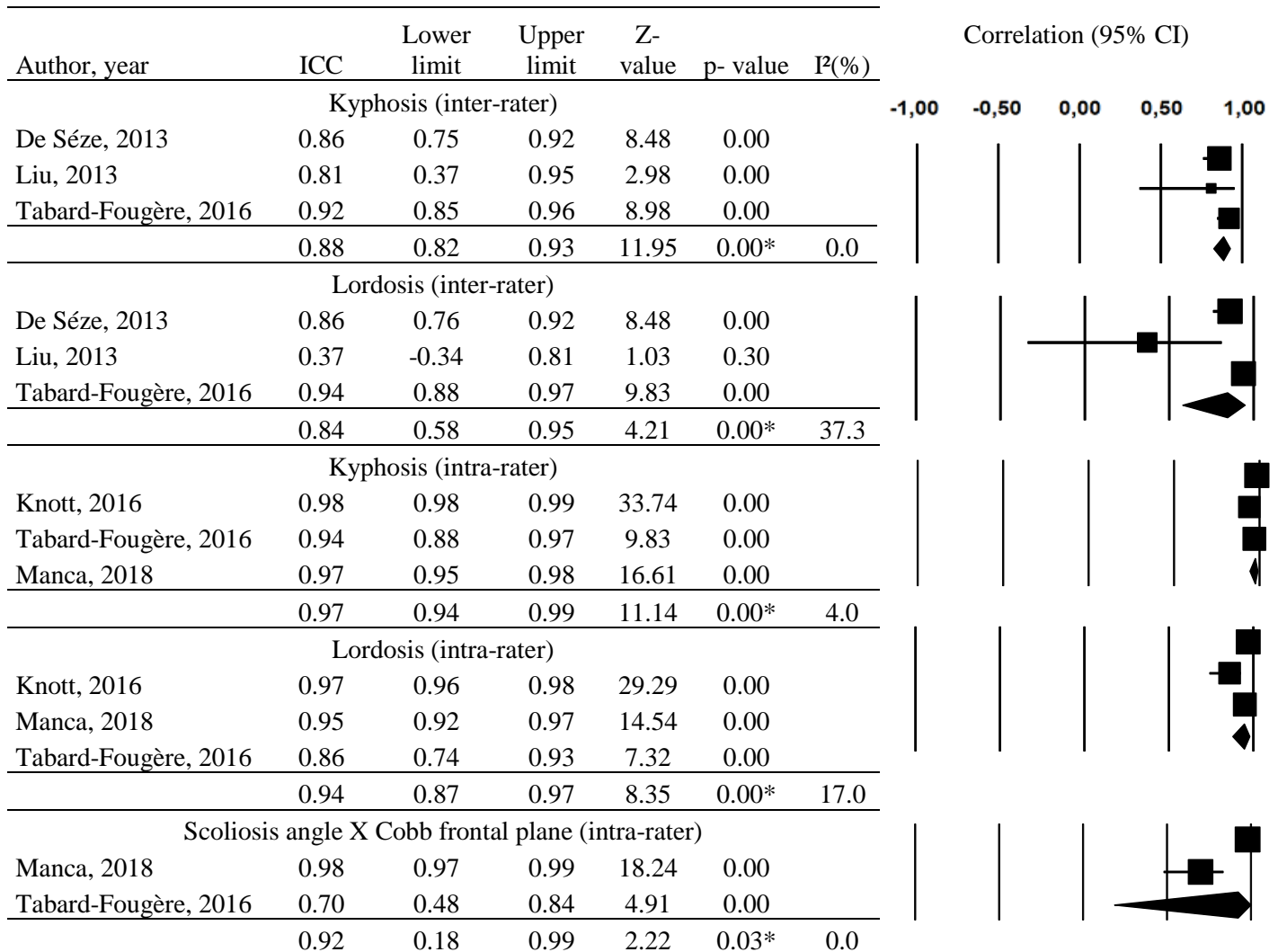


(r) Pearson correlation coefficient, \*Statistical significance, CI - Confidence Interval, squares and/or rectangles - r values from each study, horizontal lines - lower and upper limits, diamond - metanalized r value

**Figure 2.** Meta-analysis of the reliability (r values) of surface topography, in the frontal, sagittal and axial planes, in relation to the X-ray examination

For the reproducibility meta-analyses (Figure 3), three studies provided ICC for kyphosis angle and lordosis angle for the inter-rater [14,20,22] and intra-rater analyses [22,24,33]. In the intra-rater and inter-rater analyses of the thoracic kyphosis and lumbar lordosis, the ICCs ranged from high to very high and significant, and the heterogeneity (I<sup>2</sup>) ranged from 0% to 37.3%. In the frontal plane, two studies [22,24] provided ICCs for intra-

rater reproducibility analysis of the spinal inclination angle, analogous to the Cobb angle. The ICCs were very high and significant, and the heterogeneity was equal to 0%. This analysis considered only a single spinal inclination angle, regardless the region of the spine (thoracic or lumbar) where it occurred.



(ICC) Intraclass Correlation Coefficient, \*Statistical significance, CI - Confidence Interval, squares and/or rectangles - ICC values from each study, horizontal lines - lower and upper limits, diamond - meta-analyzed ICC value

**Figure 3.** Meta-analysis of the inter and intra-rater reproducibility (ICC values) of surface topography in the frontal and sagittal planes.

**Table 2**  
Characteristics of the studies, reference markers and parameters used.

Author and Year	Age and (n)	Type of Topography	Used Markers	Parameters Evaluated	Medidas de precisão e acurácia
Adankon, 2013* [13]	between 10 and 18 years n=58	optical surface digitalizing system (Creaform Inc., L'évis, QC, Canada)	PSIS, suprasternal notch, xiphoid process, SP C7-T1, point between PSIS, iliac crest R and L laterally, lower thoracic cage limit R and L	Cobb	no
Berryman, 2008** [14]	n=60	ISIS2	PSIS, C7 or T1 and sacrum	Cobb and gibbosity height	Average difference (gibbosity -0,08mm±4,18mm)
Chowanska, 2012*** [15]	11±1years n= 996	CQ Electronic System (Poland)	SP from C7 to S1 and EIPS	Surface trunk rotation	intra-observer error (surface trunk rotation 1.9°) inter-observer error (surface trunk rotation 0.8°)
De Séze, 2013** [16]	n=46	BIOMOD™ L system (AXS MEDICAL SAS, Mérignac, France)	SP from C7 to the intergluteal fold and PSIS	Frontal pelvic balance (in degrees), lateral deviation of C7, sinuous column angle (cobb), arrow of C7 plumb line, thoracic arrow, lumbar arrow, kyphosis angle, lordosis angle, inflection point height and gibbosis .	TEM (kyphosis angle 4,3° lordosis angle 2,7°)
Drerup, 1994* [17]	n=113	rasterstereography	prominent vertebra, PSIS and sacrum	midline deviation of the column (frontal projection in mm), rotation deviation, lateral curve amplitude, rotation amplitude, apex height and estimated Cobb	no
Drerup, 1996* [18]	n=114	Formetric	C7, PSIS and medium point between PSIS (sacrum)	Apex height, Cobb and column length	no
Frerich, 2012* [28]	between 9 and 17 years n= 64	Formetric 4D system by Diers Medical Systems (Germany)	No markers	Trunk lenght, trunk imbalance, pelvic inclination, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, maximum trunk rotation at R, maximal trunk rotation at L, maximum apical deviation at R, maximum apical deviation at L, and scoliosis angle (cobb).	Validity: Average Difference (Lumbar Curve 9,4°, Thoracic Curve 7°, Thoracic Kyphosis 10,6°, Lumbar Lordosis 8°) Reproducibility: Average Standard Deviation
Klos, 2007* [19]	single curve group age 12,22±2,2 n= 105 double curve group age 12,89±2,3 n= 62	Quantec Spinal Imaging System, Leigh, UK	SP of T1 to L5, PSIS, tip of the upper side of the scapula	Quantec Angle (cobb)	no
Knott, 2006* [20]	n=42	Ortelius 800 by Orthoscan Technologies, Inc.	SP of C7 to S1	Thoracic rotation, thoracolumbar rotation, lumbar rotation, lumbar curve (cobb), thoracic curve (cobb) and kyphosis	no

**Table 2**

Characteristics of the studies, reference markers and parameters used. (Continued)

Author and Year	Age and (n)	Type of Topography	Used Markers	Parameters Evaluated	Medidas de precisão e acurácia
Knott, 2016* [35]	13,25 years n= 199	DIERS Formetric (Diers Medical Systems, Chicago, IL)	PSIS only in obese patients	Kyphosis angle, lordosis angle, vertical coronal axis, vertical sagittal axis, pelvic obliquity angle and angle of scoliosis (Cobb)	Validity: Average difference (thoracic curve 5,8°, lumbar curve 8,8°, Thoracic kyphosis 9,3°, Lumbar lordosis 9,7°) Reproducibility intra-rater: Average Standard Deviation (thoracic curve 2,5°, lumbar curve 2,6°, Thoracic kyphosis 2,1°, Lumbar lordosis 2,1°)
Komeili, 2014* [29]	between 10 and 18 years n=46	four VIVID 910 3D laser scanners (Konica Minolta Sensing Inc., Ramsey, NJ, USA)	No markers	Better symmetry plane, symmetry contour map	no
Komeili, 2015* [30]	between 10 and 18 years n= 100	four VIVID 910 3D laser scanners (Konica Minolta Sensing Inc., Ramsey, NJ, USA)	No markers	number, direction and curves location, height of the apex of the curve and magnitude of the curve (cobb)	no
Liu, 2001* [21]	11,8 anos n= 119 single curve n= 129 double curve	Quantec Spinal Image System (QSI, Leigh, UK)	SP of T1 to L5, PSIS and tip of the upper side of the scapula	T1-S1 angle, T1-S1 deviation, T1-GC angle, T1-GC deviation, angle of difference between the maximum angles of inclination on each side of the curve, trunk length, angle of inclination of the pelvis, angle of rotation, % volume R and L, Suzuki, kyphosis, lordosis and trunk asymmetry	no
Liu, 2013** [22]	13,4 years n= 10	Milwaukee Topographic System (MTS)	SP of T1 to L5, acromioclavicular joint, PSIS, more prominent scapula, deeper lumbar SP	T1-GC angle, T1-S1 angle, T1-S1 deviation, Kifose, Lordosis, POTSI, Suzuki, trunk length, Cobb curve, axial maximum surface rotation from T1 to L5, right and left trunk, right and trunk volume in% and right trunk volume and trunk in mL	no

Author and Year	Age and (n)	Type of Topography	Used Markers	Parameters Evaluated	Medidas de precisão e acurácia
Manca, 2018* [26]	between 10 and 17 years n=66	Formetric (DIERS Medical Systems, Chicago, IL)	prominent vertebra, PSIS and sacrum	Trunk inclination (frontal plane), trunk imbalance (sagittal plane), pelvis imbalance, pelvis torsion, pelvis tilt, kyphosis angle, lordosis angle, surface rotation (rms), surface rotation (amp), side deviation (rms), side deviation (amp), scoliosis angle (cobb)	no
Mangone, 2013* [31]	14±3 years n=25	Formetric 4D	automatic location	Spinal angle rotation	no
Mínguez, 2007* [23]	control group 17,16±5,15 yrs n= 56 scoliosis group 4,88±5,91 yrs n=30	Experimental device based on structured light projection	C7, GC, left shoulder, shoulder R, armpit L, armpit R, waist L, waist R, most prominent point of scapula L, most prominent point of scapula R, least prominent point of waist line L, least prominent point of waist line R, most prominent point of the gluteus L and most prominent point of the gluteus R	DAPI (transversal plane) and POTSI (coronal plane)	no
Pino-Almero, 2017* [33]	13,15±1,96 years n=88	Surface topographic method	No markers	POTSI (frontal plane) DHOPI (axial plane) e PC (sagittal plane)	no
Pino-Almero, 2016* [32]	between 7 e 17 years n=31	Surface topographic method	No markers	POTSI (frontal plane) DHOPI (axial plane) e PC (sagittal plane)	no
Pino-Almero, 2017* [34]	13,3 years n=155	Surface topographic method	No markers	POTSI (frontal plane) DHOPI (axial plane) e PC (sagittal plane)	no
Tabard-Fougère, 2016* [24]	13,1±2 years n= 35	Formetric 4D (Diers, International GmbH, Schlangenbad, Germany)	C7 or T1 , PSIS, apical vertebrae of the patients obviously with Scoliosis	Lordosis, pelvic obliquity, vertebral rotation amplitude, maximum vertebral rotation, rms of vertebral rotation, angle of scoliosis (Cobb), kyphosis and trunk length	SEM (Thoracic kyphosis 6,1 ° , Lumbar lordosis 4,6°) MDC (Thoracic kyphosis 16,8 ° , Lumbar lordosis 12,7°)
Terheyden, 2018* [27]	15,9 years n=40	Diers International, Wiesbaden, Germany	SP of C7 and acromioclavicular joint bilaterally	Outer shoulder height difference, inner shoulder height difference, acromion angle, axillary angle and trapezius angle	SEM

Author and Year	Age and (n)	Type of Topography	Used Markers	Parameters Evaluated	Medidas de precisão e acurácia
Thometz, 2000* [25]	12,3 years n= 149	Quantec Inc., Lancashire, England)	SP of T1 to L5, PSIS, lower angle of the upper side of the scapula	Q Angle (cobb) and axial surface rotation	Average Difference (Thoracic Curve 5,7±9,1°, Lumbar Curve 4,9±7,4°)

PSIS – posterior superior iliac spine; SP – spinous process; GC – gluteal cleft; R – right; L – left; TEM – typical error of measurement; SEM – standard error of measurement; MDC – minimal detectable change; Gold-standard: \*X-ray, \*\*not applicable, \*\*\*scoliometer

In the evaluation of the methodological quality and the risk of bias, 14 studies ranked high quality (score  $\geq 60\%$ ). The average score of the methodological quality appraisal was 62% (Table 3). The main methodological weaknesses found in the validity and reproducibility studies (n=10) concerned the blinding process between evaluators, the lack of randomness in the order of the evaluators or the subjects, the description of the gold standard used and the description of the sample losses.

**Table 3**

Quality assessment through the critical evaluation tool proposed by Brink & Louw.

Study	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	%
Adankon, 2013	y	n	y	n/a	n/a	n/a	n	n/a	y	y	n	y	n	56
Berryman, 2008	n	n	n/a	n/a	n	n	n/a	y	n/a	y	n/a	n	y	33
Chowanska, 2012	y	n	y	n	n	n	y	y	y	y	y	y	n	62
De Séze, 2013	y	n	n/a	n	n/a	n	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	56
Drerup, 1994	n	n	y	n/a	n/a	n/a	y	n/a	y	y	y	y	n	67
Drerup, 1996	n	n	y	n/a	n/a	n/a	n	n/a	y	y	n	n	n	33
Frerich, 2012	y	y	y	n/a	n	n	y	y	y	n	n	n	y	54
Klos, 2007	y	n	y	n/a	n/a	n/a	y	n/a	y	y	n	n	y	44
Knott, 2006	n	y	y	n	n/a	n	y	y	y	y	n	n	y	54
Knott, 2016	y	n	y	n/a	n	n	y	y	y	y	y	n	y	62
Komeili, 2014	y	y	y	n	y	n	n	y	y	y	n	y	y	69
Komeili, 2015	y	n	y	n/a	n/a	n/a	y	n/a	y	y	n	n	y	67
Liu, 2001	y	n	y	n/a	n/a	n/a	y	n/a	y	y	n	n	y	67
Liu, 2013	y	n	n/a	y	n	n	n/a	y	n/a	y	n/a	n	y	56
Manca, 2018	y	n	n/a	n/a	n	n	n/a	y	n/a	y	n/a	y	y	56
Mangone, 2013	y	n	y	n/a	n/a	n/a	y	n/a	y	y	y	y	y	89
Mínguez, 2007	y	y	y	y	n	n	n	y	y	y	n	n	y	62
Pino-Almero, 2016	y	y	y	n	n	n	n	n	y	y	y	y	y	62
Pino-Almero, 2017	y	n	y	n/a	n/a	n/a	n	n/a	y	y	y	y	y	78
Pino-Almero, 2017	y	n	y	n	n	y	n	n	y	y	y	y	y	62
Tabard-Fougère, 2016	y	y	y	y	y	n	y	y	y	y	n	y	y	85
Terheyden, 2018	y	n	y	n/a	y	n	y	y	y	y	y	y	y	77
Thometz, 2000	y	y	y	n/a	n/a	n/a	y	n/a	y	y	n	y	y	89

1. Description of the sample; 2. Evaluators Characterization; 3. Use of gold standard for comparison; 4. Inter-evaluators blindness; 5. Intra-evaluators blindness; 6. Randomization of evaluators or subjects; 7. Period of time between the test collection; 8. Time interval between repeated measures; 9. The studied test is not part of the gold standard; 10. Description of the collection procedures from experimental test; 11. Description of the gold standard collection procedures; 12. Description of cases of sample loss; 13. Adequacy of the statistical method. y = yes; n = no; n / a = not applicable; % = final score reached by the study.



## DISCUSSION

The surface topography examination is a useful tool for the identification and the follow-up of vertebral deformities. With this tool, it is possible to quantify the magnitude of certain parameters and explore the three-dimensional surface of the back, pointing the progression rate of the spinal deformity under different aspects [33]. For an adequate use of the exam, it is important to define which are the anatomical markers that will guide the analysis of the parameters [6]. The objective of this study was exactly to identify the anatomical reference markers, the parameters used by the surface topography for the identification of AIS and to conduct meta-analyses to examine the correlation between the topographical exam and the X-rays.

In the qualitative analysis, we got information about which and how many anatomical reference markers were used by distinct equipments. The number of markers varied from zero [26–32] to 28 [20]. Komeilli et al. [27] defend that the use of markers generates errors, which would be related to palpation and fixation of the markers on patients. However, we emphasize that taking into consideration the three-dimensional nature of the exam, the markers will serve as a local system of coordinates and they will facilitate the retrieval of the 3D coordinates from the body surface. So, caution is suggested when adopting a protocol without markers. The number of markers must be sufficient for running an analysis, but it should maintain the practicality of the exam and ensure the accuracy of its parameters. The results found in relation to the anatomical markers evidence the lack of standardization for the use of surface topography when evaluating the AIS. To avoid compromising the data extraction, we suggest the use of four markers because it is easier to palpate and mark a small number of structures, it will take less time for the performing of the examination and it will reduce the bias derived from palpation [34].

According to the consensus established in 2009 by the Scoliosis Orthopaedic Rehabilitation and Treatment (SOSORT), the following surface topography parameters must be observed in the evaluation of patients with AIS: spine length, C7-S1 distance (frontal plane), C7-S1 displacement (sagittal plane), measures of the main curve, measures of the compensatory curve, apex of the curve, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, trunk rotation main curve, trunk rotation compensatory curves, PSIS height and PSIS depth [6]. From this review, we can observe that nine

of 12 parameters recommended by SOSORT were found in the studies. Among them, the spinal inclination angle was the most frequent.

Based on the data obtained through the meta-analyses, the correlation indexes ( $r$ ) varied from moderate to high in the comparison of the spinal inclination angle (frontal plane) between surface topography and X-ray exams. This analysis indicates that the surface topography is strongly correlated with the X-ray exams. Nonetheless, we highlight that this statistical procedure is not enough to determine the validity of topography in relation to X-rays [35].

Still, in the frontal plane, we found a moderate correlation of the POTSI parameter in relation to the Cobb angle on X-rays. In the axial plane, the analyzed parameter was only the DHOPI or DAPI and it presented high correlation. Although they are named differently, DHOPI and DAPI are the same parameter according to the mathematical definition provided by the authors. Anyway, these parameters (POTSI and DHOPI) are not recommended by SOSORT.

We highlight the correlation found between the POTSI and DHOPI (DAPI) parameters performed in the comparison between the surface topography and the X-rays was reported by three studies. These parameters were evaluated by the same researchers. Although they presented high methodological quality, the authors did not clearly describe the equipment of surface topography they used. Mínguez et al. (2007) [21] described the use of an experimental device based on the projection of structured light, while Pino-Almero (2016 and 2017) [30,31] reported the use of a method of surface topography. Still, these parameters for surface topography were found in five studies, and four of them were written by the same researchers.

Among the studies included in the reliability meta-analysis in the frontal plane, only two out of seven studies presented low methodological quality. Knott et al. [20] used the Orthoscan (surface topography) and found very low correlation of the lumbar Cobb angle, while Frerich et al. [28] used the Formetic 4D and found a high correlation for this parameter. In all cases, regardless the equipment used, the thoracic region presented the best correlations.

Once more, we emphasize the lack of standardization in the use of the exam, which in fact, can interfere in the results, culminating in divergent outcomes. Another

important aspect, that could explain the results for the thoracic region, is related to the anatomical differences between the regions of the spine (thoracic and lumbar) like the number of vertebrae and the presence of the shoulder blades on the rib cage. The deformity of the ribs in the transversal plane, mostly can contribute to the higher correlation of the thoracic region, since the rasterstereography is designed to evaluate the shape of the back surface [2].

For the meta-analysis of reliability in the sagittal plane, the results also presented a high correlation ( $r$ ) and low heterogeneity among the studies, indicating that the surface topography strongly correlates to X-ray exams. This analysis included data from only two studies; one study scored low and the other scored high methodological quality.

With respect to reproducibility, the best results were found for the intra-rater analysis. In the frontal plane, the spinal inclination angle presented very high and significant correlations. However, the analysis included data from two studies only. Still, the methodology for the calculation of the spinal inclination angle proposed by Manca (2018) and Tabard-Fougère (2016) provides a single angle in the frontal plane, regardless the region (thoracic or lumbar) where it occurred. In this way, it is not possible to compare the thoracic region with the lumbar region in the analysis of reliability. So, we suggest caution when assuming reproducibility of the spinal inclination angle in surface topography, based on this meta-analysis.

The concordance and reproducibility of the evaluation methods are key indicators and should be taken under consideration before the selection of an instrument. A method to determine the concordance between measures originated from two distinct tools is the Bland & Altman plot analysis. However, none of the studies included in the meta-analysis carried out that analysis. Thus, it was not possible to determine the validity of the exam. This also hindered the interpretation of results, since the statistical procedures were limited to correlation analyses only.

Residual analysis, precise measures and accuracy are important indicators concerning the performance of an instrument. None of the included studies presented the root mean square (RMS) error. This statistical procedure identifies measurement differences of a variable assessed by a new proposed instrument in comparison to the gold standard method. In the studies included for validity analysis,

Frerich (2012), Knott (2016) and Thometz (2000) presented the mean difference between instruments [23,26,33]. In the studies included for the reproducibility De Sèze (2013) presented the TEM (Typical Error of Measurement) [14], Knott (2016) presented the mean standard deviation, while Tabard-Fougère (2016) presented the SEM (Standard Error of Measurement) and the MDC (Minimal Detectable Change) [22]. Statistical procedures for appraising precision and accuracy must be properly performed to determine validity and/or reproducibility of new evaluation instruments.

Two limitations of this review must be emphasized. Firstly, we have only meta-analyzed correlation coefficient to identify the validation of topography. Despite the high correlation between topography and X-rays, other statistical procedures are necessary for the determination of validity of surface topography. The second limitation concerns the lack of standardization in the use of surface topography among the studies. It is important to highlight two fundamental facts about this limitation: (1) the lack of standardization in the execution and interpretation of surface topography justifies this review and it is the main purpose of this study; and (2) even though all the studies included in the meta-analysis applied the same technique (rasterstereography) for surface topography, it should be mentioned that the inclusion of data from different equipments and protocols may have affected the results.

Finally, the use of surface topography can contribute for the diagnosis and follow-up of the AIS. However, we recommend the application of a standardized protocol for the use of surface topography, from the proceeding of the examination to the analyses of results. Due to the three-dimensional nature of the AIS, it is noticeable the limitation of radiography (a two-dimensional exam), which in general, is used isolatedly in the diagnosis or follow-up of the AIS patients.

## **CONCLUSION**

We suggest the use of the spinous process of the prominent vertebrae (C7 or T1), the PSISs and the sacrum (S1) as anatomical reference markers. These markers were the most frequently used among the studies. Also, we suggest the following parameters for the evaluation of the AIS: spinal inclination angle

(analogous to Cobb), gibbosity, thoracic kyphosis angle, lumbar lordosis angle, pelvic obliquity, spine length, apex of the curve, C7-S1 distance (frontal plane) and C7-S1 displacement (sagittal plane). All these parameters are recommended by SOSORT.

The spinal inclination angle (frontal plane), thoracic kyphosis and lumbar lordosis (sagittal plane) parameters were metanalyzed. They indicated that surface topography strongly and significantly correlates with radiography. Furthermore, it could be identified that the surface topography presents inter and intra-rater reproducibility in the sagittal plane, and intra-rater reproducibility in the frontal plane. The best results of all analyses derived from the thoracic region.

## REFERÊNCIAS

- [1] S. Negrini, S. Donzelli, A.G. Aulisa, D. Czaprowski, S. Schreiber, J.C. de Mauroy, H. Diers, T.B. Grivas, P. Knott, T. Kotwicki, 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth, *Scoliosis Spinal Disord.* 13 (2018) 3.
- [2] M. Monticone, E. Ambrosini, D. Cazzaniga, B. Rocca, S. Ferrante, Active self-correction and task-oriented exercises reduce spinal deformity and improve quality of life in subjects with mild adolescent idiopathic scoliosis. Results of a randomised controlled trial, *Eur. Spine J.* 23 (2014) 1204–1214.
- [3] G.H. Bonagamba, D.M. Coelho, A.S. de Oliveira, Confiabilidade interavaliadores e intra-avaliador do escoliômetro, *Rev Bras Fisioter.* 14 (2010) 432–7.
- [4] T.S. Furlanetto, C.T. Candotti, T. Comerlato, J.F. Loss, Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software, *Comput. Methods Programs Biomed.* 108 (2012) 203–212.
- [5] X.C. Liu, J.G. Thometz, J.C. Tassone, L.C. Paulsen, R.M. Lyon, Historical review and experience with the use of surface topographic systems in children with idiopathic scoliosis, *ISIS.* 2 (2013) 8.
- [6] T. Kotwicki, S. Negrini, T.B. Grivas, M. Rigo, T. Maruyama, J. Durmala, F. Zaina, Methodology of evaluation of morphology of the spine and the trunk in idiopathic scoliosis and other spinal deformities-6 th SOSORT consensus paper, *Scoliosis.* 4 (2009) 1.
- [7] D.F. Stroup, J.A. Berlin, S.C. Morton, I. Olkin, G.D. Williamson, D. Rennie, D. Moher, B.J. Becker, T.A. Sipe, S.B. Thacker, others, Meta-analysis of observational studies in epidemiology: a proposal for reporting, *Jama.* 283 (2000) 2008–2012.
- [8] Y. Brink, Q.A. Louw, Clinical instruments: reliability and validity critical appraisal, *J. Eval. Clin. Pract.* 18 (2012) 1126–1132.

- [9] E. Pappas, K. Refshauge, L. Cohen, M. Simic, S. Dennis, S. Kobayashi, Non-radiographic methods of measuring global sagittal balance: a systematic review, *Scoliosis Spinal Disord.* 12 (2017) 30.
- [10] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D.G. Altman, P. Group, Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement, *PLoS Med.* 6 (2009) e1000097.
- [11] M.M. Adankon, N. Chihab, J. Dansereau, H. Labelle, F. Cheriet, Scoliosis follow-up using noninvasive trunk surface acquisition, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 60 (2013) 2262–2270.
- [12] F. Berryman, P. Pynsent, J. Fairbank, Measuring the rib hump in scoliosis with ISIS2., *Stud. Health Technol. Inform.* 140 (2008) 65–67.
- [13] J. Chowanska, T. Kotwicki, K. Rosadzinski, Z. Sliwinski, School screening for scoliosis: can surface topography replace examination with scoliometer?, *Scoliosis.* 7 (2012) 9. doi:10.1186/1748-7161-7-9.
- [14] M. de Seze, T. Randriaminahisoa, A. Gaunelle, G. de Korvin, J.-M. Mazaux, Inter-observer reproducibility of back surface topography parameters allowing assessment of scoliotic thoracic gibbosity and comparison with two standard postures., *Ann. Phys. Rehabil. Med.* 56 (2013) 599–612. doi:10.1016/j.rehab.2013.10.003.
- [15] B. Drerup, E. Hierholzer, Back shape measurement using video rasterstereography and three-dimensional reconstruction of spinal shape, *Clin. Biomech.* 9 (1994) 28–36.
- [16] B. Drerup, E. Hierholzer, Assessment of scoliotic deformity from back shape asymmetry using an improved mathematical model., *Clin. Biomech. Bristol Avon.* 11 (1996) 376–383.
- [17] S.S. Klos, X.-C. Liu, R.M. Lyon, J.C. Tassone, J.G. Thometz, Reliability of a functional classification system in the monitoring of patients with idiopathic scoliosis, *Spine.* 32 (2007) 1662–1666.
- [18] P. Knott, S. Mardjetko, D. Nance, M. Dunn, Electromagnetic topographical technique of curve evaluation for adolescent idiopathic scoliosis, *Spine.* 31 (2006) E911–E915.
- [19] X.C. Liu, J.G. Thometz, R.M. Lyon, J. Klein, Functional classification of patients with idiopathic scoliosis assessed by the Quantec system: a discriminant functional analysis to determine patient curve magnitude, *Spine.* 26 (2001) 1274–1279.
- [20] X.-C. Liu, J.C. Tassone, J.G. Thometz, L.C. Paulsen, R.M. Lyon, C. Marquez-Barrientos, S. Tarima, P.R. Johnson, Development of a 3-dimensional back contour imaging system for monitoring scoliosis progression in children, *Spine Deform.* 1 (2013) 102–107.

- [21] M.F. Mínguez, M. Buendía, R.M. Cibrián, R. Salvador, M. Laguía, A. Martín, F. Gomar, Quantifier variables of the back surface deformity obtained with a noninvasive structured light method: Evaluation of their usefulness in idiopathic scoliosis diagnosis, *Eur. Spine J.* 16 (2007) 73–82.
- [22] A. Tabard-Fougere, A. Bonnefoy-Mazure, S. Hanquinet, P. Lascombes, S. Armand, R. Dayer, Validity and Reliability of Spine Rasterstereography in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis., *Spine*. Volume 42 (2016) pp.98-105. doi:10.1097/BRS.0000000000001679.
- [23] J.G. Thometz, R. Lamdan, X.C. Liu, R. Lyon, Relationship between Quantec measurement and Cobb angle in patients with idiopathic scoliosis, *J. Pediatr. Orthop.* 20 (2000) 512–516.
- [24] A. Manca, M. Monticone, L. Cugusi, C. Doria, P. Tranquilli-Leali, F. Deriu, Back surface measurements by rasterstereography for adolescent idiopathic scoliosis: from reproducibility to data reduction analyses, *Eur. Spine J.* (2018) 1–9.
- [25] J.H. Terheyden, M. Wetterkamp, G. Gosheger, T. Lange, A. Schulze Bövingloh, T.L. Schulte, Rasterstereography versus radiography for assessing shoulder balance in idiopathic scoliosis: A validation study relative to patients' self-image, *J. Back Musculoskelet. Rehabil.* (2018) 1–9.
- [26] J.M. Frerich, K. Hertzler, P. Knott, S. Mardjetko, Comparison of radiographic and surface topography measurements in adolescents with idiopathic scoliosis., *Open Orthop. J.* 6 (2012) 261–265. doi:10.2174/1874325001206010261.
- [27] A. Komeili, L.M. Westover, E.C. Parent, M. Moreau, M. El-Rich, S. Adeeb, Surface topography asymmetry maps categorizing external deformity in scoliosis., *Spine J. Off. J. North Am. Spine Soc.* 14 (2014) 973-983.e2. doi:10.1016/j.spinee.2013.09.032.
- [28] A. Komeili, L. Westover, E.C. Parent, M. El-Rich, S. Adeeb, Monitoring for idiopathic scoliosis curve progression using surface topography asymmetry analysis of the torso in adolescents., *Spine J. Off. J. North Am. Spine Soc.* 15 (2015) 743–751. doi:10.1016/j.spinee.2015.01.018.
- [29] M. Mangone, P. Raimondi, M. Paoloni, S. Pellanera, A. Di Michele, S. Di Renzo, M. Vanadia, M. Dimaggio, M. Murgia, V. Santilli, Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: Correlation between the Raimondi method and rasterstereography, *Eur. Spine J.* 22 (2013) 367–371.
- [30] L. Pino-Almero, M.F. Mínguez-Rey, S. Sentamans-Segarra, M.R. Salvador-Palmer, R.M.C.-O. de Anda, Quantification of topographic changes in the surface of back of young patients monitored for idiopathic scoliosis: correlation with radiographic variables, *J. Biomed. Opt.* 21 (2016) 116001.
- [31] L. Pino-Almero, M.F. Mínguez-Rey, R.M. Cibrián-Ortiz de Anda, M.R. Salvador-Palmer, S. Sentamans-Segarra, Correlation between Topographic Parameters Obtained by Back Surface Topography Based on Structured Light and

Radiographic Variables in the Assessment of Back Morphology in Young Patients with Idiopathic Scoliosis, *Asian Spine J.* 11 (2017) 219–229.

[32] L. Pino-Almero, M.F. Mínguez-Rey, D. Rodríguez-Martínez, R.M. Cibrián-Ortiz de Anda, M.R. Salvador-Palmer, S. Sentamans-Segarra, Clinical application of back surface topography by means of structured light in the screening of idiopathic scoliosis, *J. Pediatr. Orthop. B.* 26 (2017) 64–72.

[33] P. Knott, P. Sturm, B. Lonner, P. Cahill, M. Betsch, R. McCarthy, M. Kelly, L. Lenke, R. Betz, Multicenter Comparison of 3D Spinal Measurements Using Surface Topography with Those from Conventional Radiography, *Spine Deform.* 4 (2016) 98–103.

[34] B. Drerup, Rasterstereographic measurement of scoliotic deformity., *Scoliosis.* 9 (2014) 22. doi:10.1186/s13013-014-0022-7.

[35] J.M. Bland, D. Altman, Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement, *The Lancet.* 327 (1986) 307–310.



## 2 CAPÍTULO 2 – DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA TOPOGRAFIA DE SUPERFÍCIE PREDITORES NA IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLIOSE

Artigo original

Será submetido à Revista *Scoliosis and Spinal Disorders*

### **Determinação dos parâmetros da topografia de superfície preditores na identificação da escoliose**

#### **RESUMO**

**Introdução:** A avaliação clínica tem um importante papel no diagnóstico dos pacientes com escoliose idiopática (EI). A topografia de superfície é um exame rápido e prático, livre de radiação, que permite a avaliação tridimensional da EI.

**Objetivos:** (1) identificar quais parâmetros extraídos da topografia de superfície, através da técnica de rasterestereografia, são preditores para identificação da EI e (2) identificar a capacidade da topografia de superfície em determinar a severidade da EI.

**Metodologia:** Foram incluídos nesta pesquisa 77 participantes de ambos os sexos, com idades entre sete e 18 anos. Cada participante foi avaliado por três exames consecutivos, com ordem determinada por sorteio, sendo eles: topografia de superfície, fotogrametria e escoliômetro. Para estatística foi realizada uma análise de Regressão Linear Múltipla e a Receiver Operating Characteristic Curve (curva ROC), com  $\alpha=0,05$ . **Resultados:** A análise resultou em modelos estatisticamente significativos, onde são necessárias de seis a oito variáveis da topografia de superfície para prever a presença de escoliose. Os valores  $R^2$  para região torácica foram os mais altos, ficando entre 0,66 e 0,73, enquanto que para região lombar permanecerem entre 0,40 e 0,45. A área sob a curva ROC demonstrou que a capacidade diagnóstica é adequada, chegando a 84% na região torácica e 74% na lombar. **Conclusão:** A topografia de superfície é capaz de identificar a presença de EI, tanto na região torácica quanto na região lombar, sendo mais acurada para a região torácica. O exame se mostrou capaz de identificar a severidade da EI, com valores de sensibilidade e especificidade de até 71% e 93% para região torácica, respectivamente, bem como de 75% e 82% para região lombar, respectivamente.

**Palavras-chave:** topografia de superfície, fotogrametria, análise de regressão, escoliose.

## ABSTRACT

**Introduction:** The clinical evaluation has an important role on the diagnosis of patient with idiopathic scoliosis (IS). Surface topography is a quick and practical exam, free of radiation, that allows three-dimensional evaluation of IS. **Objectives:** (1) Identify which parameters extracted from surface topography, through rastereography are predictors to IS identification and (2) identify the capability of surface topography to determine the severity of IS. **Methodology:** 77 participants of both genders were included on this research, with ages ranging between seven and 18 years old. Each participant was evaluated by three consecutive exams, with the order randomly chosen, the exams were: surface topography, photogrammetry and scoliometer. For statistical purposes it was made a multiple linear regression analysis, with  $\alpha=0,05$  and Receiver Operating Characteristic Curve (ROC curve). **Results:** The analysis resulted on statistically significant models, where six to eight surface topography variables are necessary to predict the presence of scoliosis. The  $R^2$  values for the thoracic region were the highest, ranging from 0,66 to 0,73, while for the lumbar region they remained between 0.40 and 0.45. The area under the ROC curve showed diagnostic ability to be adequate, reaching 84% for the thoracic region and 74% for the lumbar. **Conclusion:** The surface topography is capable to identify the presence of scoliosis, both for the thoracic region as for the lumbar, Being more accurate for the thoracic region. The exam was proved capable to identify IS severity, with sensibility and specificity values up to 71% and 93% for the thoracic region, respectively, as well as 75% and 82% for the lumbar region, respectively.

**Key-words:** surface topography, photogrammetry, regression analysis, scoliosis.

## INTRODUÇÃO

A avaliação clínica é fundamental no diagnóstico ou acompanhamento do paciente com escoliose idiopática (EI) [1]. Dentre as possibilidades da avaliação clínica, técnicas e instrumentos como a fotogrametria e o escoliômetro tornaram-se opções práticas e confiáveis [2,3]. A fotogrametria aborda a avaliação no plano frontal e sagital, convertendo informações qualitativas em quantitativas. As variáveis mensuradas a partir da análise por fotogrametria são relevantes para avaliação e acompanhamento da EI, bem como para o âmbito científico [4,5].

O escoliômetro é um instrumento que objetiva quantificar o ângulo de rotação do tronco (ART) [6], determinando a magnitude da deformidade no plano transversal (gibosidade) [3,7,8]. Ambos, instrumentos possuem adequada validade e reprodutibilidade e fornecem informações relevantes, fazendo com que seu uso na prática clínica, de investigação ou acompanhamento dos pacientes com escoliose, seja frequente [2,9].

A topografia de superfície é um exame rápido e prático que pode ser utilizado na investigação e acompanhamento da EI. A partir de uma reconstrução tridimensional das costas do avaliado [10], o exame fornece parâmetros que possibilitam quantificar aspectos da deformidade nos três planos, através de uma única captura [11,12]. Apesar de se mostrar útil na avaliação do paciente com EI, seu uso não é feito de forma padronizada, o que dificulta sua utilização e fragiliza a interpretação dos seus resultados.

Considerando a importância da avaliação clínica para os pacientes com escoliose e as limitações na utilização da topografia de superfície até o momento, esta pesquisa objetiva: (1) identificar quais parâmetros extraídos da topografia de superfície, através da técnica de rasterestereografia, são preditores para avaliação da EI e (2) verificar a capacidade da técnica de rasterestereografia em determinar a severidade da EI.

## METODOLOGIA

O tamanho da amostra foi determinado utilizando para cálculo o *software* G\*Power 3.1.9.2 adotando um poder de 90%, tamanho de efeito de 0,4 e erro probabilístico de 5%, resultando num n estimado de 75 sujeitos, sendo 25 em cada grupo. A divisão da amostra em três grupos foi realizada a partir do ângulo

de rotação do tronco (ART) mensurado pelo escoliômetro. Grupo 1: sem escoliose (ATR entre 0°- 4°); Grupo 2: escoliose leve a moderada (ATR entre 5°- 8°); e Grupo 3: escoliose moderada a severa (ATR acima de 9°) [13].

Foram incluídos nesta pesquisa 77 participantes de ambos os sexos, com idades entre sete e 18 anos. Os critérios de exclusão consistiram em histórico de procedimentos cirúrgicos na coluna vertebral, doenças neurológicas, discrepância de membros inferiores maior que 2cm ou índice de massa corporal (IMC) acima de 29 Kg/m<sup>2</sup>.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, sob número CAAE 66785817.4.0000.5347. Somente após os pais assinarem o Termo Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e os participantes assentirem sua participação, os mesmos foram incluídos no estudo.

### **Procedimentos de coleta dos dados**

Foram coletados dados de identificação, antropométricos e mensurado o comprimento dos membros inferiores com fita métrica. Essa última medida, em cm, foi realizada com o indivíduo em decúbito dorsal, da espinha ilíaca anterossuperior (EIAS) até o maléolo medial. Em seguida foi realizado um sorteio da ordem em que os exames seriam feitos. Cada participante foi avaliado por três exames clínicos consecutivos: topografia de superfície, fotogrametria e escoliômetro. Todos os exames foram realizados sempre pelo mesmo avaliador, mas para a topografia de superfície, um segundo avaliador foi requisitado para realizar a seleção dos exames que constituiriam a análise estatística, garantindo o cegamento da avaliação.

### ***Topografia de superfície***

Para realização deste exame foi utilizado o equipamento Vert 3D (Miotec Ltda., Brasil). Foi solicitado aos sujeitos que permanecessem com o tronco despido até que a prega interglútea fosse visualizada. Foram palpados e marcados, com

adesivos cutâneos na cor verde, 4 pontos anatômicos, sendo eles: processos espinhosos das vértebras C7 e S1 e Espinha Ilíaca Pósterio Superior (EIPS) direita e esquerda (Figura 1a).

Na sequência, o sujeito era posicionado de costas para o equipamento, com os pés afastados de maneira autorreferida, ou seja, na posição de pés em que ele se sentisse mais confortável e com os membros superiores relaxados ao longo do corpo. A distância do sujeito até a máquina não foi padronizada, pois o sistema possui uma calibração que permite a variação do posicionamento do indivíduo sem que haja comprometimento dos dados obtidos.

O avaliado permaneceu em postura ortostática, de maneira semiestática, durante a projeção de luz estruturada em suas costas para realização do exame, cerca de dois minutos (Figura 1b). Foram realizadas 3 aquisições, com intervalo de tempo determinado pelo tempo de processamento do sistema (15-30 segundos), mas somente um dos exames foi selecionado para compor análise estatística (Figura 1c). Essa seleção foi realizada de forma cegada pelo segundo avaliador, o qual não esteve presente durante as coletas, mas possui ampla experiência em topografia de superfície. O critério adotado por ele, para essa seleção, foi a qualidade técnica do exame (luminosidade, definição, ausência de artefatos, entre outros).

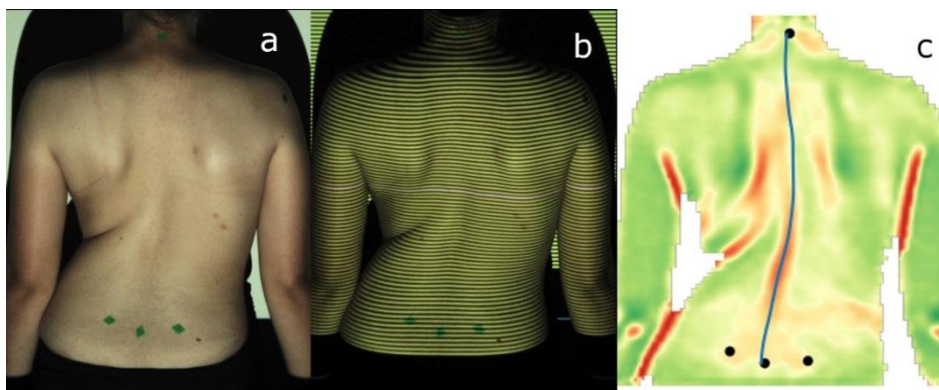


Figura 1- a) Imagem da marcação dos pontos anatômicos (C7, S1 e EIPS) para aquisição da topografia de superfície b) Projeção da luz estruturada no dorso do avaliado durante a realização do exame c) Mapa de curvatura imagem tridimensional obtida após processamento.

O Vert3D possui um software próprio para captura e análise das imagens, fornecendo automaticamente os parâmetros, baseados em algoritmos próprios. Os 13 parâmetros utilizados nesta pesquisa foram determinados com base nas recomendações da SOSORT, no 6º consenso [4].

Após a captura das imagens do dorso do examinado, o sistema usa a triangulação geométrica para a extração de uma nuvem de pontos tridimensional que representa o relevo do dorso. Essa nuvem de pontos não-estruturada é em seguida interpolada para a geração de uma malha retangular estruturada, chamada mapa de relevo, sobre o qual é calculado o mapa de curvatura, e a partir deste, o mapa de assimetria.

Sobre o mapa de assimetria é calculada a sequência de pontos que constitui a Linha de Simetria, que divide o dorso em duas partes e tende a coincidir com a linha dos processos espinhosos. As rotações axiais são calculadas a partir de seções em diferentes alturas do mapa de relevo no plano transversal, onde cada seção é dividida em duas metades pela linha de simetria, é identificado o vetor que liga os baricentros de cada metade, e calculado o ângulo entre esse vetor e o eixo X. Por fim, são calculadas as posições tridimensionais correspondentes aos marcadores adesivos colados no dorso, os quais são identificados pelo operador na imagem capturada. Para calcular as informações tridimensionais, o Vert3D utiliza o seguinte sistema de coordenadas: (a) Origem na posição do ponto S1; (b) Eixo X paralelo com o fundo da sala, horizontal, com sentido positivo para a direita; (c) Eixo Y paralelo com a vertical, com sentido positivo para cima; e (d) Eixo Z perpendicular ao plano XY, com sentido positivo em direção ao observador. A partir desse sistema são obtidos os parâmetros descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Descrição dos procedimentos matemáticos para obtenção dos parâmetros da topografia de superfície do Vert 3D.

<b>Parâmetro</b>	<b>Definição matemática operacional</b>
Comprimento do tronco	Somatório dos comprimentos dos segmentos da Linha de Simetria entre os pontos S1 e C7
Distância C7-S1 (frontal)	Diferença entre o valor das coordenadas X dos pontos C7 e S1
Deslocamento C7-S1 (sagital)	Diferença entre o valor das coordenadas Z dos pontos C7 e S1
Cifose torácica e lordose lombar	Ângulo entre as perpendiculares à curva de interesse nos pontos de inflexão adjacentes a essa curva, no plano sagital
Inclinação das EIPS	Diferença entre o valor das coordenadas Y da EIPS Direita e da EIPS Esquerda
Rotação das EIPS	Valor do ângulo entre o vetor que une as EIPS Direita e Esquerda, e o plano frontal
Ângulo da maior curva (direita ou esquerda)	Ângulo entre as perpendiculares à curva de interesse nos pontos de inflexão adjacentes a essa curva, no plano frontal
Ápice da curva (direita ou esquerda)	Valor da coordenada X do ponto da curva, entre os pontos de inflexão adjacentes, onde ocorre a tangência com o eixo vertical, formado pela união de C7 e S1, correspondendo ao ponto com a maior "flecha"
Rotação do tronco (direita ou esquerda)	Valor da Rotação Axial na altura do ápice da curva de interesse

C7: processo espinhoso da sétima vértebra cervical; S1: processo espinhoso da primeira vértebra sacral; EIPS: espinha ilíaca pósterio superior.

### **Fotogrametria**

Foi utilizado o protocolo de avaliação postural do *Software Digital Image-based Postural Assessment* (DIPA<sup>®</sup>) descrito por Furlanetto et al. [2]. Para o registro fotográfico foi utilizada uma câmera digital Sony (modelo Cyber-shot DSC-S40, 4.1 megapixels, 3x optical zoom) acoplada a um tripé, com altura de 0,95m e distante horizontalmente 3,0m do indivíduo. Um fio de prumo foi posicionado dentro do campo de visão do registro fotográfico, a uma distância da câmera correspondente à linha média do corpo.

O registro fotográfico foi realizado com o sujeito em ortostase no plano frontal (de costas), onde foram marcados pontos anatômicos (PA) bilateralmente, sendo eles: processos espinhosos das vértebras C0, C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12,

L2, L4 e S2, acrômios, ângulos inferiores das escápulas, *trigonum spinae* das escápulas, EIPS e centro dos tuberosidade dos calcâneos (Figura 2a).

Após a obtenção das imagens foi realizada a digitalização dos PA no software de avaliação postural DIPA<sup>®</sup>, o qual forneceu um laudo com informações quantitativas (Figura 2b). A partir daí foram extraídas as seguintes variáveis: (1) Flecha escoliótica torácica e lombar: maior distância linear (em cm) obtida na linha de referência do processo espinhoso da vértebra ápice da curva escoliótica a reta traçada de C7 a S2; e (2) Ângulo de inclinação da coluna vertebral (Â DIPA) torácico e lombar<sup>1</sup>: ângulo obtido através do método das tangentes com base nos PA (níveis vertebrais) selecionados pelo examinador (Figura 2c).

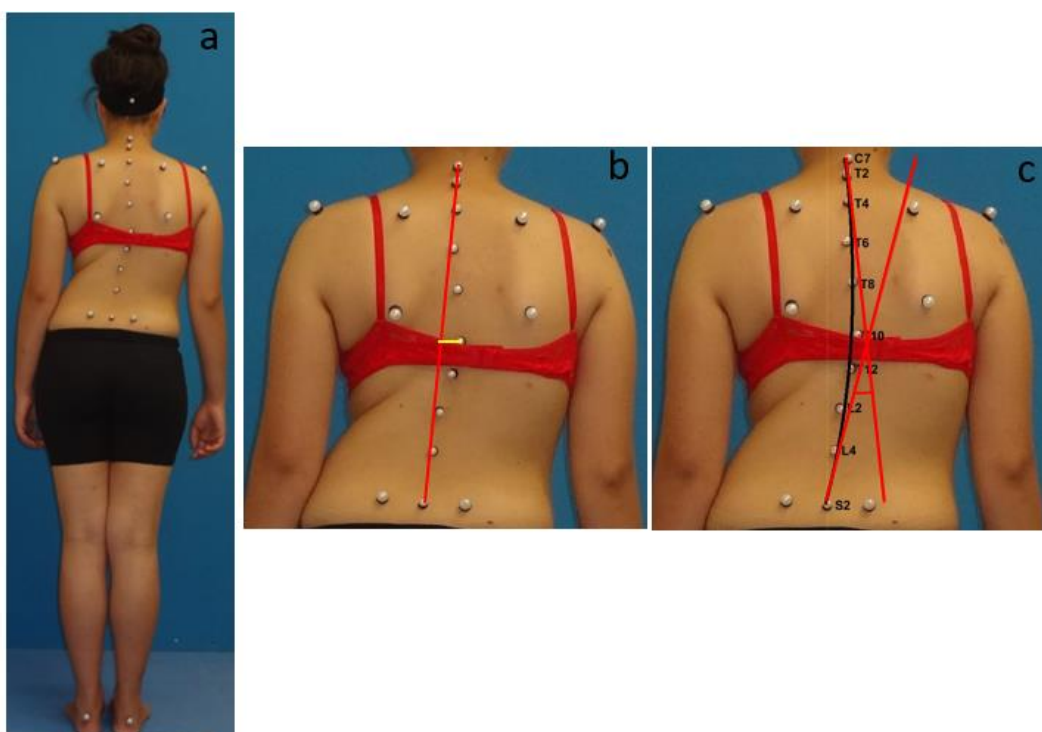


Figura 2 - a) Marcação dos pontos anatômicos (PA) de referência utilizados para análise da postura no plano frontal seguindo protocolo DIPA<sup>®</sup>; b) Imagem obtida após processamento pelo software DIPA<sup>®</sup> no plano frontal, indicando a flecha escoliótica (linha amarela); c) Imagem obtida após processamento pelo software DIPA<sup>®</sup> no plano frontal, indicando o ângulo DIPA.

<sup>1</sup> No Apêndice dessa dissertação é possível obter informações detalhadas sobre o método de obtenção do Â DIPA.



## **Escoliómetro**

Para mensuração do ângulo de rotação do tronco (ART) com escoliómetro, o sujeito foi posicionado em ortostase, de costas para o examinador com pés afastados de maneira autorreferida e membros superiores relaxados ao longo do corpo. Foi solicitado que o sujeito realizasse uma flexão anterior do tronco, expondo visivelmente as assimetrias da superfície das costas, conforme realizado no Teste de Adams [7,14–16].

Durante a realização da flexão anterior do tronco, o examinador deslizou o escoliómetro sobre o dorso do avaliado, no sentido craniocaudal, registrando a maior medida encontrada sobre a proeminência posterior das costelas, na região torácica. O sujeito então seguiu flexionando o tronco para frente, expondo a assimetria na região lombar, quando havia (Figura 3). O examinador registrou novamente a maior medida encontrada nesta região. O resultado foi fornecido em graus, com medidas de 1º em 1º. O exame foi repetido três vezes, o participante retornou à posição inicial entre cada repetição. Considerando a aleatoriedade foi a utilizada a média das três medidas.

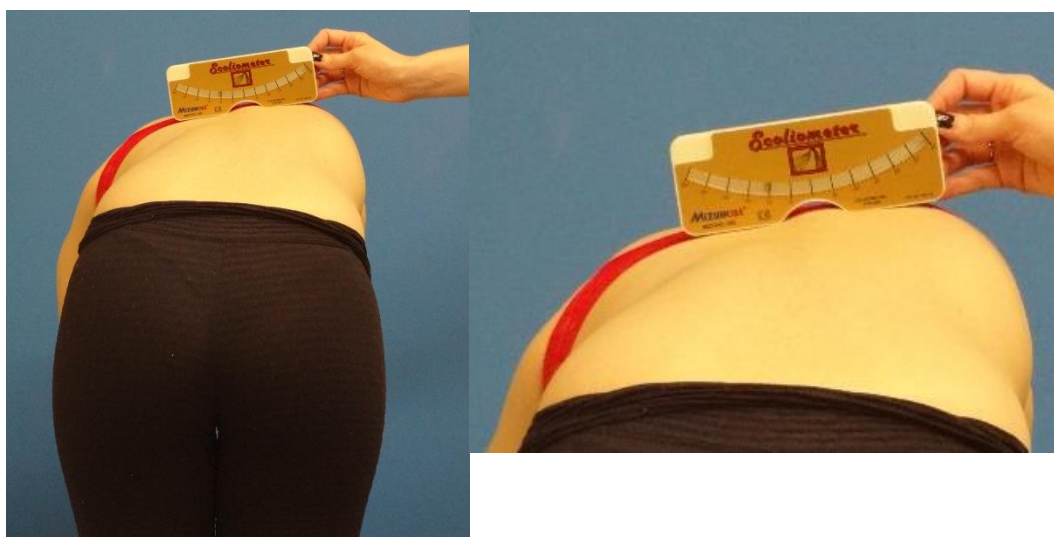


Figura 3. Imagem ilustrativa da mensuração do ângulo de rotação de tronco através do escoliómetro.

## **Análise estatística**

Os dados foram analisados no *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 21.0 e no *MedCalc Statistical Software* versão 18.5. Inicialmente foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, seguido da análise descritiva dos dados, com medidas de tendência central e dispersão. Foi realizada uma análise de Regressão Linear Múltipla para determinar quais parâmetros da topografia de superfície são necessários para identificar a presença de escoliose. Para análise da capacidade diagnóstica da topografia foi utilizada a Receiver Operating Characteristic Curve (curva ROC), cuja área sob a curva resume o desempenho global do teste, variando de 0 a 1, onde os valores mais próximos de 1 indicam os melhores resultados. A classificação da área sob a curva foi definida conforme Hanley e McNeil [17], sendo excelente  $\geq 0,90$ , bom entre 0,80 e 0,89, regular entre 0,70 e 0,79 e ruim de 0,60 a 0,69. O nível de significância adotado foi de  $\alpha=0,05$ .

## **RESULTADOS**

A amostra foi composta por 77 sujeitos, sendo distribuídos nos grupos G1 (n=25), G2 (n=26) e G3 (n=26). Composto esta amostra 60% (n=46) eram meninas e 40% (n=31) meninos, a idade média foi  $13\pm 3,3$  anos, a massa corporal  $46\pm 15,6$ kg e a estatura  $157\pm 15,2$ cm.

No grupo G2, a média do ângulo de inclinação da coluna vertebral, dado pela fotogrametria, na região torácica foi de  $15^\circ$  ( $2^\circ - 43^\circ$ ), sendo 55% das curvas a direita e 45% a esquerda. O ART foi de  $6^\circ$  ( $3^\circ - 7^\circ$ ), sendo que 70% apresentaram escolioses torácicas a direita e 30% a esquerda. Na região lombar, a média do ângulo de inclinação da coluna vertebral foi de  $11^\circ$  ( $0^\circ - 46^\circ$ ), sendo 25% das curvas a direita e 75% a esquerda. O ART médio foi  $5^\circ$  ( $3^\circ - 8^\circ$ ) onde 43% eram escolioses lombares a direita e 57% a esquerda.

No grupo G3, a média do ângulo de inclinação, dado pela fotogrametria foi de  $40^\circ$  ( $4^\circ - 124^\circ$ ) na região torácica, sendo 79% das curvas a direita e 21% a esquerda e na região lombar foi de  $26^\circ$  ( $0^\circ - 85^\circ$ ), sendo 25% das curvas a direita e 75% a esquerda. O ART foi de  $16^\circ$  ( $9^\circ - 30^\circ$ ) e  $13^\circ$  ( $9^\circ - 25^\circ$ ), na região torácica e

lombar, respectivamente. Neste grupo 84% apresentaram escolioses torácicas a direita, 16% a esquerda e 27% escolioses lombares a direita e 73% a esquerda.

Foi utilizada uma Regressão Linear Múltipla para verificar quais parâmetros da topografia de superfície são capazes de prever a presença de escoliose. A análise contou com modelos gerados a partir das três variáveis dependentes: Flecha (fotogrametria),  $\hat{A}$  DIPA (fotogrametria) e ART (escoliómetro), todas relativas a região torácica e lombar, separadamente. Composto as variáveis independentes (preditoras), 13 parâmetros da topografia de superfície foram inseridos nos modelos pelo método matemático (retroceder).

A análise resultou em seis modelos de regressão estatisticamente significativos, onde todas as variáveis da topografia de superfície são preditoras da presença de escoliose, através de diferentes combinações dentre os modelos gerados. De acordo com os modelos, para região torácica são necessários até nove parâmetros, enquanto que para região lombar são necessários de quatro a seis. Os resultados estatísticos de cada modelo estão descritos na Tabela 1 e o peso das variáveis (coeficiente padronizado  $\beta$ ) de cada modelo está descrito nas Tabelas 2 e 3. Desses seis modelos para predição da escoliose, os melhores modelos, a partir da fotogrametria e do escoliómetro, estão descritos nas Equações 1 e 2, para região torácica e 3 e 4 para região lombar (Quadro 2).

Tabela 1. Descrição das análises estatísticas dos modelos de melhor ajuste para as variáveis incluídas em cada regressão, para região torácica e lombar.

Variável Dependente	Graus de liberdade	F	p	R <sup>2</sup>
<b>Torácica</b>				
ART (Modelo 1)	8-68	26,026	0,000	0,73
Flecha (Modelo 2)	9-67	21,288	0,000	0,71
$\hat{A}$ DIPA (Modelo 3)	8-68	19,558	0,000	0,66
<b>Lombar</b>				
ART (Modelo 4)	6-70	11,222	0,000	0,45
Flecha (Modelo 5)	4-72	13,434	0,000	0,40
$\hat{A}$ DIPA (Modelo 6)	5-71	12,795	0,000	0,44

ART: ângulo de rotação do tronco;  $\hat{A}$  DIPA: ângulo de inclinação da coluna vertebral no plano frontal obtido através da fotogrametria com software DIPA.

Tabela 2. Descrição dos coeficientes padronizados ( $\beta$ ) em cada modelo de regressão na análise da região torácica.

TORÁCICA				
		( $\beta$ )		
Variáveis independentes		Coeficiente padronizado	t	p
Modelo 1	Rotação do tronco à direita	0,562	5,951	0,00
	Rotação das EIPS	0,347	5,067	0,00
	Ápice da curva à direita	0,338	3,284	0,00
	Distância C7-S1 (frontal)	-0,192	-2,634	0,01
	Cifose torácica	-0,097	-1,534	0,13
	Rotação do tronco à esquerda	-0,084	-1,163	0,25
	Deslocamento C7-S1 (sagital)	-0,078	-1,170	0,25
	Ápice da curva à esquerda	-0,004	-0,05	0,96
Modelo 2	Ápice da curva à direita	0,440	4,084	0,00
	Rotação do tronco à direita	0,358	3,592	0,00
	Rotação do tronco à esquerda	-0,176	-2,376	0,02
	Comprimento do tronco	-0,164	-2,412	0,02
	Rotação das EIPS	0,136	1,940	0,06
	Deslocamento C7-S1 (sagital)	-0,110	-1,537	0,13
	Inclinação das EIPS	0,104	1,459	0,15
	Cifose torácica	-0,066	-1,008	0,32
Modelo 3	Ápice da curva à esquerda	0,055	0,701	0,49
	Ápice da curva à direita	0,413	4,164	0,00
	Rotação do tronco à direita	0,348	3,454	0,00
	Rotação do tronco à esquerda	-0,279	-3,538	0,00
	Deslocamento C7-S1 (sagital)	-0,169	-1,995	0,05
	Rotação das EIPS	0,119	1,632	0,11
	Comprimento do tronco	-0,108	-1,538	0,13
	Lordose lombar	0,107	1,399	0,17
Inclinação das EIPS	0,080	1,059	0,29	

C7: sétima vértebra cervical; S1: primeira vértebra sacral; EIPS: espinha íliaca anterossuperior

Tabela 3. Descrição dos coeficientes padronizados ( $\beta$ ) em cada modelo de regressão na análise da região lombar.

LÓMBAR				
	Variáveis independentes	( $\beta$ ) Coeficiente padronizado	t	p
Modelo 4	Rotação do tronco à esquerda	0,560	5,970	0,00
	Distância C7-S1 (frontal)	0,277	2,531	0,01
	Ápice da curva à direita	-0,243	-2,452	0,02
	Deslocamento C7-S1 (sagital)	0,198	2,108	0,04
	Inclinação das EIPS	-0,179	-1,669	0,10
	Comprimento do tronco	0,122	1,384	0,17
Modelo 5	Rotação do tronco à esquerda	0,370	3,837	0,00
	Distância C7-S1 (frontal)	0,339	3,574	0,00
	Â da maior curva à esquerda	0,222	2,469	0,02
	Cifose torácica	0,098	1,071	0,29
Modelo 6	Rotação do tronco à direita	-0,444	-3,707	0,00
	Rotação do tronco à esquerda	0,414	4,065	0,00
	Distância C7-S1 (frontal)	0,223	2,281	0,03
	Rotação das EIPS	-0,190	-1,998	0,05
	Â da maior curva à direita	-0,144	-1,248	0,22

C7: sétima vértebra cervical; S1: primeira vértebra sacral; Â: ângulo; EIPS: espinha íliaca anterossuperior

Quadro 2. Descrição das equações obtidas através das análises de Regressão Linear Múltipla, de acordo com a fotogrametria e escoliômetro, para região torácica e lombar.

Região	Modelo	Variável preditora	Equações de Predição
Torácica	Modelo 1	ART (escoliômetro)	1 = 1,990 - 0,072 (cifose torácica) + 0,638 (rotação das EIPS) - 0,005 (ápice da curva à esquerda) - 0,265 (deslocamento C7S1) - 0,153 (rotação do tronco à esquerda) - 1,181 (distância C7S1) + 0,755 (rotação do tronco à direita) + 0,232 (ápice da curva à direita)
	Modelo 2	Flecha (fotogrametria)	2 = 2,019 - 0,008 (cifose torácica) + 0,051 (ápice da curva à direita) + 0,042 (rotação das EIPS) - 0,044 (comprimento do tronco) + 0,043 (inclinação das EIPS) - 0,063 (deslocamento C7S1) - 0,054 (rotação do tronco à esquerda) + 0,011 (ápice da curva à esquerda) + 0,082 (rotação do tronco à direita)
Lombar	Modelo 4	ART (escoliômetro)	3 = -6,514 + 0,153 (comprimento do tronco) - 0,345 (inclinação das EIPS) + 0,527 (deslocamento C7S1) + 0,798 (rotação do tronco à esquerda) + 1,338 (distância C7S1) - 0,131 (ápice da curva à direita)
	Modelo 6	Â DIPA (fotogrametria)	4 = -0,105 - 0,261 (Â da maior curva à direita) - 0,908 (rotação das EIPS) + 1,955 (rotação do tronco à esquerda) + 3,565 (distância C7S1) - 1,548 (rotação do tronco à direita)

ART: ângulo de rotação do tronco; EIPS: espinhas íliacas pósteros superiores; C7: processo espinhos da sétima vértebra cervical; S1: processo espinhoso da primeira vértebra sacral.

A fim de determinar a capacidade diagnóstica da topografia de superfície e estabelecer os pontos de corte para alguns parâmetros, foi realizada uma curva ROC. A escolha dos parâmetros que compuseram a análise da curva da ROC foi baseada no  $\beta$  (coeficiente padronizado) dos modelos de melhor ajuste, ou seja, maior  $R^2$  ajustado.

Os parâmetros da topografia de superfície selecionados para análise da Curva ROC na região torácica foram (1) Rotação do tronco à direita com  $\beta=0,562$  no modelo 1 e (2) ápice à direita, com  $\beta=0,440$  no modelo 2. Para região lombar os parâmetros escolhidos foram (1) Rotação do tronco à esquerda com  $\beta=0,560$  e (2) Distância C7-S1 (plano frontal) com  $\beta=0,277$ , ambos no modelo 4. O padrão-ouro de referência foi o ART (torácico e lombar) obtido através do escoliômetro.

Tabela 4. Dados óbitos através da construção da *Receiver Operating Characteristic Curve* (curva ROC) para análise da região torácica.

TORÁCICA						
ART	Topografia de superfície	Ponto de corte	Sensibilidade	Especificidade	Área sob a curva	p
≤4°		4,0	67%	66%	0,71	0,001*
5°	Ápice da curva à direita (mm)	4,4	72%	67%	0,76	0,000**
6°		4,4	82%	69%	0,81	0,000**
7°		6,6	76%	77%	0,84	0,000**
>8°		9,4	71%	85%	0,84	0,000*
≤4°		0,7	61%	57%	0,65	0,031*
5°	Rotação do tronco à direita (°)	1,5	64%	69%	0,68	0,023*
6°		1,5	68%	69%	0,71	0,011*
7°		4,8	65%	93%	0,73	0,018*
>8°		4,8	65%	93%	0,73	0,018*

ART: ângulo de rotação do tronco; \*p≤0,05; \*\*p≤0,01

Tabela 5. Dados óbitos através da construção da *Receiver Operating Characteristic Curve* (curva ROC) para análise da região lombar.

LOMBAR						
ART	Topografia de superfície	Ponto de corte	Sensibilidade	Especificidade	Área sob a curva	p
≤4°		0,0	75%	67%	0,74	0,001*
5°	Rotação do tronco à esquerda (°)	-0,4	65%	80%	0,75	0,001*
6°		-0,7	68%	83%	0,78	0,000*
7°		-1,4	65%	87%	0,76	0,002*
>8°		-1,4	58%	82%	0,69	0,086
≤4°		0,7	71%	47%	0,67	0,008*
5°	Distância C7S1 (cm)	0,7	70%	59%	0,73	0,000*
6°		0,9	74%	71%	0,78	0,000*
7°		0,9	71%	68%	0,75	0,000*
>8°		0,9	67%	65%	0,70	0,009*

ART: ângulo de rotação do tronco; \*p≤0,05; \*\*p≤0,01

## DISCUSSÃO

A avaliação clínica do paciente com escoliose é a prioridade em recomendação dentre os experts da área [4]. Utilizando-se das diferentes ferramentas disponíveis para diagnóstico e acompanhamento é possível expandir o olhar para a deformidade escoliótica, contemplando sua natureza tridimensional. Além de se propor a avaliar os aspectos estéticos, resultantes da forma do tronco deflagrados pela escoliose, o exame de topografia de superfície também se coloca como uma forma de reduzir a necessidade de exposição repetida à radiação ionizante [18].

Embora as recomendações da SOSORT, no 6º consenso, definam a necessidade de avaliar a EI a partir de 13 parâmetros, oriundos da topografia de superfície [4], nossos resultados demonstram que são necessários de seis (modelo 4) a oito (modelo 1) parâmetros da topografia de superfície para predizer a presença de escoliose, tomando como referência o ART obtido através do escoliômetro. Esses resultados (Tabelas 1, 2 e 3) demonstram que o exame é robusto na identificação e acompanhamento dos pacientes com escoliose, viabilizando diminuir a quantidade de exames radiográficos.

Knott et al. [19] utilizaram para avaliação dos pacientes com escoliose o equipamento DIERS Formetric. Os autores determinaram a extração de seis parâmetros da topografia de superfície e encontraram alta reprodutibilidade destes. Eles apresentaram ainda valores de correlação com a radiografia de  $r=0,7$  e  $r=0,5$  na análise do ângulo de escoliose (Cobb), da região torácica e lombar, respectivamente. Dentre os seis parâmetros utilizados pelos autores (ângulo de cifose, ângulo de lordose, eixo coronal vertical, eixo sagital vertical, ângulo de obliquidade pélvica e ângulo Cobb de escoliose), todos estavam presentes em pelo menos um dos modelos de regressão do presente estudo, sendo eles aqui definidos como cifose torácica, lordose lombar, distância C7-S1 (plano frontal), deslocamento C7-S1 (plano sagital), inclinação das EIPS e ângulo da maior curva.

Baseado nos parâmetros escolhidos pelos autores [19] é possível observar que a avaliação foi restrita a dois planos: frontal e sagital. De acordo com os modelos obtidos em nosso estudo, a inclusão de variáveis que compreendem o plano transversal, como a rotação do tronco (direita e esquerda) e rotação das EIPS, assegura mais robustez na identificação da escoliose através da topografia



de superfície. Ou seja, nossos achados sustentam a importância da abordagem tridimensional na avaliação da deformidade.

Hackenberg et al. [20] investigou a rotação axial da superfície do dorso, através da rasterestereografia, em 91 pacientes com EI, buscando sua relação com o plano frontal (a partir dos exames de Raios-X) e transversal (a partir dos resultados do escoliómetro) da deformidade. Os autores extraíram três parâmetros do exame de topografia: amplitude da rotação (diferença entre a máxima rotação a direita e a esquerda), ângulo de inclinação vertebral (plano frontal) e o nível vertebral do ápice da curva (plano frontal). Dentre os parâmetros utilizados pelos autores apenas um (ângulo da maior curva) foi extraído em nosso estudo e compôs dois dos seis modelos de regressão apresentados. Os demais parâmetros utilizados por Hackenberg [20] não foram obtidos, em nossa pesquisa, a partir das mesmas definições matemáticas. Destacamos novamente a análise dos autores realizada em apenas dois planos, frontal e transversal, o que subestima a capacidade do exame de rasterestereografia, tendo em vista os resultados encontrados em nosso estudo.

Muitos pesquisadores buscaram a relação da topografia de superfície com o exame de Raios-X, em estudos de validação através do ângulo Cobb, com a intenção de substituir a radiografia por um exame não invasivo [21,22]. Neste tipo de análise alguns resultados foram satisfatórios, como encontrado por Cukovic et al. [23], com  $r=0,7$  na análise das curvas torácicas no plano frontal e outros apresentaram inconsistências, como visto por Sedrez [24], com  $r$  de 0,3 a 0,6 somente para correlação do ângulo Cobb com as flechas escolióticas encontradas à esquerda. Sobretudo, existe uma inevitável limitação em restringir o olhar para a avaliação da deformidade, através da topografia de superfície, a apenas um plano.

Em nossa pesquisa, dentre os modelos gerados a partir da análise de regressão linear múltipla da região torácica, o modelo 1 foi o que apresentou o melhor  $R^2$  ajustado (0,73). Neste modelo foram incluídos oito parâmetros da topografia de superfície, que mensuram a deformidade nos três planos, sendo eles: Cifose torácica, Rotação das EIPS, Ápice da curva à esquerda, Deslocamento C7-S1 (plano sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (plano frontal), Rotação do tronco à direita e Ápice da curva à direita. Estes dados apontam a relevância do exame na avaliação do paciente com escoliose, tendo em vista as

características tridimensionais de ambos. Na análise da região lombar, o modelo 4 obteve o melhor  $R^2$  ajustado (0,45). Dentre as variáveis que compuseram este modelo também encontramos parâmetros que compreendem os três planos, sendo eles: Comprimento do tronco, Inclinação das EIPS, Deslocamento C7-S1 (plano sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (plano frontal) e Ápice da curva à direita.

Com base na robustez dos modelos gerados e apoiando-se nos melhores coeficientes padronizados ( $\beta$ ) foi realizada a curva ROC. Observando as Tabelas 4 e 5, notamos um desempenho global do teste de ruim a bom (de 0,65 a 0,84) na região torácica e de ruim a regular (de 0,67 a 0,74) na região lombar, conforme classificação proposta por Hanley e McNeil [17]. Negrini et al. [25] encontraram uma área sob a curva de 83% ao utilizar a topografia de superfície (DIERS Formetric) para diagnóstico da cifose juncional. Baseado nos valores de área sob a curva, que chegaram a 84% em nossa pesquisa, entende-se que a capacidade diagnóstica do exame de topografia de superfície (Vert 3D) na identificação da escoliose é adequada.

Ainda na análise da curva ROC, foi possível estabelecer pontos de corte para os seguintes parâmetros da topografia de superfície: ápice da curva (direita), rotação do tronco (direita e esquerda) e distância C7-S1 (plano frontal), determinando assim, a severidade das curvas escolióticas, através da topografia. Nesta análise foram incluídos parâmetros que compreendem o plano frontal e transversal, e apesar de muitos autores se basearem unicamente no ângulo da maior curva no plano frontal (análogo ao Cobb) como parâmetro da topografia de superfície na avaliação do paciente com escoliose [26,27], nossos resultados sugerem que é necessário explorar melhor as possibilidades de desfechos fornecidos pelo exame.

Os pontos de corte para indicar a severidade da escoliose foram determinados com base no padrão-ouro ART obtido através do escoliômetro. A escolha de um ponto de corte ideal resulta no equilíbrio dos valores de sensibilidade e especificidade, onde idealmente ambos devem se manter altos [28]. Na análise da região torácica, o ápice da curva à direita, apresentou valores de sensibilidade variando entre 67% e 71% e especificidade variando entre 66% e 85%. Foi possível estabelecer os seguintes pontos de corte:  $\leq 4$ mm sem escoliose e  $\geq 9,4$ mm escoliose

de moderada a severa, onde os valores de ponto de corte intermediários representam as escolioses de leve a moderada. Os pontos de corte com valores mais baixos estão associados a uma maior sensibilidade, enquanto que valores mais altos estão associados a uma maior especificidade, conforme demonstrado por Martinez e colaboradores [29]. Zheng et al [30], encontraram os melhores valores de sensibilidade e especificidade nos pontos de corte mais baixos (4° e 5°) ao determinar a progressão das curvas escolióticas através do método de imagem de ultrassom em comparação ao exame de Raios-X.

Segundo Chowanska et al. [31], a variedade de técnicas de topografia de superfície e o grande número de parâmetros extraídos, associados principalmente a falta de valores de corte específicos, são as maiores razões pelas quais o exame permanece sendo pouco utilizado. Os autores compararam o ART com a topografia de superfície, adotando um valor de ART  $\geq 7^\circ$  para indicar um teste positivo. Os autores encontraram no ponto de corte da rotação do tronco dada pela topografia de superfície ( $\geq 4^\circ$ ) os melhores valores de sensibilidade e especificidade. Em nosso estudo, o parâmetro rotação do tronco à direita apresentou valores de sensibilidade que variaram de 61% a 65% e de especificidade de 57% a 93%. Os pontos de corte para este parâmetro foram  $\leq 0,7^\circ$  sem escoliose e  $\geq 4,8^\circ$  escoliose de moderada a severa, onde os valores de ponto de corte intermediários representam as escolioses de leve a moderada. Ao observar o ponto de corte da topografia de superfície dado pelo ART em  $7^\circ$ , nossos resultados diferem dos de Chowanska et al. [31]. Nossos dados apresentaram uma menor sensibilidade (65%) e uma maior especificidade (93%), em comparação aos autores, que encontraram 77% e 71%, respectivamente, para o mesmo ponto de corte.

Destaca-se o fato de que os autores realizaram o exame de topografia de superfície com os pacientes sentados e na posição de flexão anterior do tronco. Ainda, cabe salientar que eles realizaram uma única análise para rotação do tronco, diferente da metodologia proposta em nosso estudo, onde os parâmetros foram dados para lado direito e esquerdo separadamente. O parâmetro rotação do tronco à esquerda foi analisado na região lombar, assim como os demais parâmetros que serão abordados a seguir. Os valores de sensibilidade e especificidade para rotação do tronco à esquerda variaram de 58% a 75% e de 67% a 82%, respectivamente. Nesse parâmetro os pontos de corte foram diferentes dos valores

encontrados à direita, sendo  $0^\circ$  sem escoliose e  $\leq -1,4^\circ$  escoliose de moderada a severa. Podemos observar uma redução no valor dos pontos de corte em comparação ao mesmo parâmetro à direita. Possivelmente essa diminuição está relacionada a própria magnitude das curvas lombares, que foram menores tanto na medida encontrada no plano frontal, através do  $\hat{A}$  DIPA, como no plano transversal através do ART.

Para o parâmetro distância C7-S1 (plano frontal) os valores de sensibilidade e especificidade se mantiveram entre 67% e 74% e entre 47% e 71%, respectivamente. Os pontos de corte foram  $\leq 6,5\text{mm}$  sem escoliose e  $\geq 9,2\text{mm}$  escoliose de moderada a severa, onde os valores intermediários representam as escolioses de leve a moderada. O equilíbrio coronal do tronco é um parâmetro frequentemente avaliado nos pacientes com escoliose. Sua medida pode ser feita clinicamente e/ou radiograficamente e ambas retratam o equilíbrio do tronco dado pela distância entre C7 e a linha sacral vertical central que passa por S1. Sekiya et al. [32], encontraram  $-9 \pm 13,5\text{mm}$  na avaliação do equilíbrio coronal mensurado na radiografia. Os autores examinaram 82 pacientes, onde todos possuíam o diagnóstico de escoliose ( $>10^\circ$  Cobb). Apesar de terem sido mensuradas por instrumentos diferentes (topografia e Raios-X), a medida encontrada pelos autores é semelhante aos pontos de corte determinados em nosso estudo.

Romano et al. [33], utilizaram a topografia de superfície (DIERS Formetric) para mensurar a distância entre C7 e S1, no plano frontal, em 27 voluntários com escoliose ou hipercifose. Os autores encontraram valores de  $7,08 \pm 6,79\text{mm}$  para desequilíbrios à direita e  $12,13 \pm 8,58$  para desequilíbrios à esquerda. Em ambos os lados a medida foi superior ao ponto de corte estabelecido em nosso estudo para os sujeitos com escoliose.

Em nossa pesquisa, apresentamos os pontos de corte de quatro parâmetros, oriundos da topografia de superfície, para determinação da severidade das curvas escolióticas e ressaltamos que nenhum deles diz respeito a medidas similares ao ângulo Cobb na radiografia. Ainda, os desfechos de sensibilidade e especificidade que determinaram os pontos de corte apresentados em nosso estudo foram escolhidos procurando o equilíbrio entre ambos os, porém quando não foi possível se privilegiou a sensibilidade. Embora a taxa de falso positivo seja maior ao se privilegiar a sensibilidade, entendemos que dada a importância da

identificação precoce da escoliose, e dada a natureza não invasiva da topografia de superfície, esse é um risco que se pode assumir sem prejuízo ao paciente. Isso porque a característica não-invasiva da topografia permite a realização de vários exames, em curtos períodos de tempo, para confirmar ou não o diagnóstico inicial, antes de encaminhar o paciente ao serviço de radiologia.

Em todas as análises estatísticas, os melhores resultados foram observados na região torácica, corroborando com os achados de outros pesquisadores [19,34,35]. A deformidade das costelas no plano transversal, principalmente, pode contribuir para este desfecho, uma vez que a técnica (rasterestereografia) se propõe a avaliar a forma da superfície do dorso [10]. As condições anatômicas das diferentes regiões da coluna vertebral (torácica e lombar) como a quantidade de vértebras e a presença das escápulas no gradil costal, também implicam em diferentes resultados. Além disso, o tipo mais frequente de escoliose idiopática apresenta dupla curvatura, sendo a curva principal convexa à direita, na região torácica e a curva compensatória convexa à esquerda, na região lombar [36,37].

Em nossa amostra 70% dos sujeitos no grupo 2 (escoliose de leve a moderada) e 84% no grupo 3 (escoliose moderada a severa), apresentaram curvas torácicas convexas à direita, indicando que nossos achados estão de acordo com a literatura [38]. Uma das limitações encontradas em nossa pesquisa, foi na análise das curvas toracolombares. Inicialmente a análise seria feita separando os sujeitos (grupo 2 e 3) em três regiões de curva escoliótica, entretanto na exploração inicial dos dados ficou evidente o número pequeno de sujeitos com curvas toracolombares, o que implicou em resultados muito pobres. Nestes casos, os sujeitos foram realocados juntamente com a análise torácica ou lombar de acordo com o nível da flecha escoliótica, para fotogrametria ou nível vertebral de mensuração do ART para o escoliômetro. Sugerimos novos estudos buscando elucidar o desempenho da topografia de superfície na identificação da escoliose em pacientes com curvas toracolombares.

Outra limitação do nosso estudo está relacionada a reprodutibilidade da metodologia proposta. Embora o cálculo dos parâmetros seja fornecido pelo software do próprio sistema Vert 3D, os procedimentos de palpação e marcação dos pontos anatômicos de referência são passíveis de erros, uma vez que podem

sofrer oscilações entre os exames realizados em dias diferentes ou por avaliadores distintos. Sedrez et al. [39] apresentou resultados excelentes de repetibilidade e reprodutibilidade ao utilizar o sistema (Vert 3D) para avaliar as curvas sagitais de 115 crianças. Knott et al. [40] e Frerich et al. [34] também encontraram boa reprodutibilidade ao analisar 10 parâmetros da topografia de superfície através do DIERS Formetric. Os autores destacaram ainda a pequena amplitude de variação nas medidas encontradas [34,40]. Por outro lado, Sedrez et al. [24] encontrou reprodutibilidade de fraca a moderada ao utilizar o Vert 3D na avaliação do plano frontal, através de medidas lineares, de crianças em diferentes perfis nutricionais. Contudo, a reprodutibilidade dos desfechos encontrados, com base na metodologia descrita no presente estudo, ainda necessita ser testada.

Muitos autores sugerem a implementação da utilização da topografia de superfície na prática clínica, porque acreditam que ela aumenta a sensibilidade na avaliação e acompanhamento dos pacientes com escoliose idiopática [9,18,41]. Yang et al. [41] argumenta ainda, que não utilizou o exame em sua pesquisa devido à falta de padronização na realização do mesmo. A topografia de superfície é um exame útil e acurado na avaliação e principalmente no acompanhamento do paciente com escoliose e seu uso permite reduzir a exposição à radiação ionizante. Os parâmetros oriundos da topografia são de grande valor na avaliação da escoliose, ressaltando sua abrangência tridimensional. De acordo com os achados deste estudo, a topografia de superfície deve ser utilizada de forma padronizada onde, a coleta do exame conta com a utilização de quatro marcadores anatômicos e permite a extração de 13 parâmetros. Dentre os parâmetros extraídos, são necessários de seis a oito para identificação da escoliose em comparação ao escoliômetro, aqui assumido como referência.

## **CONCLUSÃO**

Os resultados indicam que o exame de topografia de superfície é capaz de identificar a presença de EI, tanto na região torácica quanto lombar, sendo mais acurado para região torácica. Os modelos de regressão múltipla apresentaram  $R^2$  ajustado de 0,73 para região torácica e 0,45 para região lombar, ambos estatisticamente significativos. Na região torácica, são suficientes nove parâmetros extraídos do exame podendo prever a presença de escoliose, sendo eles: Cifose torácica, Rotação das EIPS, Ápice da curva à esquerda, Deslocamento C7-S1

(sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (frontal), Rotação do tronco à direita, Ápice da curva à direita. Enquanto que na região lombar, são suficientes seis parâmetros: Comprimento do tronco, Inclinação das EIPS, Deslocamento C7-S1 (sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (frontal) e Ápice da curva à direita.

Ainda, o exame se mostrou capaz de identificar a severidade da EI com base em quatro parâmetros, estabelecendo seus respectivos pontos de corte através da curva ROC. Os pontos de corte determinados apresentam, para região torácica, valores de sensibilidade entre 61% e 71% e especificidade entre 66% e 93%. Já para a região lombar, os valores de sensibilidade ficaram entre 58% e 75% e especificidade entre 47% e 82%. Baseado nos valores da área sob a curva, que chegaram a 84% na região torácica e 74% na região lombar, entende-se que a capacidade diagnóstica do exame de topografia de superfície (Vert 3D) na identificação da EI é adequada.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. Don, P. Capodaglio, V. Cimolin, M.G. Benedetti, F. D’Osualdo, C. Frigo, L. Vismara, S. Negrini, Instrumental measures of spinal function: is it worth? A state-of-the-art from a clinical perspective, *Eur J Phys Rehabil Med.* 48 (2012) 255–273.
- [2] T.S. Furlanetto, C.T. Candotti, T. Comerlato, J.F. Loss, Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software, *Comput. Methods Programs Biomed.* 108 (2012) 203–212.
- [3] L.E. Amendt, K.L. Ause-Ellias, J.L. Eybers, C.T. Wadsworth, D.H. Nielsen, S.L. Weinstein, Validity and reliability testing of the Scoliometer®, *Phys. Ther.* 70 (1990) 108–117.
- [4] T. Kotwicki, S. Negrini, T.B. Grivas, M. Rigo, T. Maruyama, J. Durmala, F. Zaina, Methodology of evaluation of morphology of the spine and the trunk in idiopathic scoliosis and other spinal deformities-6 th SOSORT consensus paper, *Scoliosis.* 4 (2009) 1.
- [5] S. Negrini, T.B. Grivas, T. Kotwicki, T. Maruyama, M. Rigo, H.R. Weiss, Why do we treat adolescent idiopathic scoliosis? What we want to obtain and to avoid for our patients. SOSORT 2005 Consensus paper, *Scoliosis.* 1 (2006) 4.
- [6] W.P. Bunnell, An objective criterion for scoliosis screening., *J Bone Jt. Surg Am.* 66 (1984) 1381–1387.
- [7] G.H. Bonagamba, D.M. Coelho, A.S. de Oliveira, Confiabilidade interavaliadores e intra-avaliador do escoliômetro, *Rev Bras Fisioter.* 14 (2010) 432–7.
- [8] D.M.A. Ferreira, H.L.A. Defino, Avaliação quantitativa da escoliose idiopática: concordância das mensurações da gibosidade e correlações com medidas radiológicas, *Rev Bras Fisioter.* 5 (2001) 73–86.
- [9] H. Labelle, S.B. Richards, M. De Kleuver, T.B. Grivas, K.D. Luk, H.K. Wong, J. Thometz, M. Beauséjour, I. Turgeon, D.Y. Fong, Screening for adolescent idiopathic scoliosis: an information statement by the scoliosis research society international task force, *Scoliosis.* 8 (2013) 1.
- [10] B. Drerup, Rasterstereographic measurement of scoliotic deformity., *Scoliosis.* 9 (2014) 22. doi:10.1186/s13013-014-0022-7.
- [11] X.C. Liu, J.G. Thometz, J.C. Tassone, L.C. Paulsen, R.M. Lyon, Historical review and experience with the use of surface topographic systems in children with idiopathic scoliosis, *ISIS.* 2 (2013) 8.
- [12] J.A. Sedrez, Validação de um sistema de escaneamento 3d para avaliação das curvaturas da coluna vertebral de crianças em diferentes perfis nutricionais, (2013). <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/93383> (accessed June 1, 2016).
- [13] L. Samuelsson, L. Noren, Trunk rotation in scoliosis the influence of curve type and direction in 150 children, *Acta Orthop. Scand.* 68 (1997) 273–276.



- [14] D.M. Coelho, G.H. Bonagamba, A.S. Oliveira, Scoliometer measurements of patients with idiopathic scoliosis, *Braz. J. Phys. Ther.* 17 (2013) 179–184.
- [15] P. Côté, B.G. Kreitz, J.D. Cassidy, A.K. Dzus, J. Martel, A study of the diagnostic accuracy and reliability of the Scoliometer and Adam's forward bend test, *Spine.* 23 (1998) 796–802.
- [16] A. Santos, *Diagnostico Clinico Postural Um Guia Pratico*, Summus Editorial, 2001.
- [17] J.A. Hanley, B.J. McNeil, The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve., *Radiology.* 143 (1982) 29–36.
- [18] S. Negrini, S. Donzelli, A.G. Aulisa, D. Czaprowski, S. Schreiber, J.C. de Mauroy, H. Diers, T.B. Grivas, P. Knott, T. Kotwicki, 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth, *Scoliosis Spinal Disord.* 13 (2018) 3.
- [19] P. Knott, P. Sturm, B. Lonner, P. Cahill, M. Betsch, R. McCarthy, M. Kelly, L. Lenke, R. Betz, Multicenter Comparison of 3D Spinal Measurements Using Surface Topography with Those from Conventional Radiography, *Spine Deform.* 4 (2016) 98–103.
- [20] L. Hackenberg, E. Hierholzer, V. Bullmann, U. Liljenqvist, C. Götze, Rasterstereographic analysis of axial back surface rotation in standing versus forward bending posture in idiopathic scoliosis, *Eur. Spine J.* 15 (2006) 1144–1149.
- [21] M. Mohokum, S. Schülein, A. Skwara, The validity of rasterstereography: a systematic review, *Orthop. Rev.* 7 (2015). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4592930/> (accessed June 1, 2016).
- [22] A. Tabard-Fougere, A. Bonnefoy-Mazure, S. Hanquinet, P. Lascombes, S. Armand, R. Dayer, Validity and Reliability of Spine Rasterstereography in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis., *Spine.* Volume 42 (2016) pp.98-105. doi:10.1097/BRS.0000000000001679.
- [23] S. Cukovic, V. Lukovic, K. Subburaj, W. Birkfellner, D. Milosevic, B. Ristic, G. Devedzic, Automated SOSORT-recommended angles measurement in patients with adolescent idiopathic scoliosis, in: *Bioinforma. Bioeng. BIBE 2015 IEEE 15th Int. Conf. On, IEEE, 2015: pp. 1–6.*
- [24] J.A. Sedrez, C.T. Candotti, M.I.Z. da Rosa, F. da S. Medeiros, M.T. Marques, J.F. Loss, Assessment of Vert-3D repeatability and reproducibility for evaluating the scoliosis of children with different nutritional profiles, *Fisioter. Em Mov.* 30 (2017) 715–723.
- [25] A. Negrini, S. Donzelli, L. Maserati, F. Zaina, J.H. Villafañe, S. Negrini, Junctional kyphosis: how can we detect and monitor it during growth?, *Scoliosis Spinal Disord.* 11 (2016) 38.

- [26] M.M. Adankon, N. Chihab, J. Dansereau, H. Labelle, F. Cheriet, Scoliosis follow-up using noninvasive trunk surface acquisition, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 60 (2013) 2262–2270.
- [27] S.S. Klos, X.-C. Liu, R.M. Lyon, J.C. Tassone, J.G. Thometz, Reliability of a functional classification system in the monitoring of patients with idiopathic scoliosis, *Spine.* 32 (2007) 1662–1666.
- [28] J. Fan, S. Upadhye, A. Worster, Understanding receiver operating characteristic (ROC) curves, *Can. J. Emerg. Med.* 8 (2006) 19–20.
- [29] E.Z. Martinez, F. Louzada-Neto, B. de B. Pereira, A curva ROC para testes diagnósticos, *Cad Saúde ColetRio J.* 11 (2003) 7–31.
- [30] R. Zheng, D. Hill, D. Hedden, M. Moreau, S. Southon, E. Lou, Assessment of curve progression on children with idiopathic scoliosis using ultrasound imaging method, *Eur. Spine J.* (2018) 1–6.
- [31] J. Chowanska, T. Kotwicki, K. Rosadzinski, Z. Sliwinski, School screening for scoliosis: can surface topography replace examination with scoliometer?, *Scoliosis.* 7 (2012) 9. doi:10.1186/1748-7161-7-9.
- [32] T. Sekiya, Y. Aota, K. Yamada, K. Kaneko, M. Ide, T. Saito, Evaluation of functional and structural leg length discrepancy in patients with adolescent idiopathic scoliosis using the EOS imaging system: a prospective comparative study, *Scoliosis Spinal Disord.* 13 (2018) 7.
- [33] M. Romano, D. Luzzi, A. Negrini, S. Negrini, Coronal decompensation of the trunk by means of a set of shoe lifts Coronal decompensation of the trunk by means of a set of shoe lifts, *Scoliosis.* 8 (2013) O30.
- [34] J.M. Frerich, K. Hertzler, P. Knott, S. Mardjetko, Comparison of radiographic and surface topography measurements in adolescents with idiopathic scoliosis., *Open Orthop. J.* 6 (2012) 261–265. doi:10.2174/1874325001206010261.
- [35] M. Mangone, P. Raimondi, M. Paoloni, S. Pellanera, A. Di Michele, S. Di Renzo, M. Vanadia, M. Dimaggio, M. Murgia, V. Santilli, Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: Correlation between the Raimondi method and rasterstereography, *Eur. Spine J.* 22 (2013) 367–371.
- [36] A. Grauers, E. Einarsdottir, P. Gerdhem, Genetics and pathogenesis of idiopathic scoliosis, *Scoliosis Spinal Disord.* 11 (2016) 45.
- [37] S.L. Weinstein, D.C. Zavala, I.V. Ponseti, Idiopathic scoliosis: long-term follow-up and prognosis in untreated patients., *J Bone Jt. Surg Am.* 63 (1981) 702–712.
- [38] C. Wong, Mechanism of right thoracic adolescent idiopathic scoliosis at risk for progression; a unifying pathway of development by normal growth and imbalance, *Scoliosis.* 10 (2015) 1.

[39] J.A. Sedrez, C.T. Candotti, M.I.Z. da Rosa, F. da S. Medeiros, M.T. Marques, J.F. Loss, Validation of a topography system for evaluation spine in sagittal plane for children in different nutrient profiles, *Fisioter. E Pesqui.* 23 (2016) 163–171.

[40] P. Knott, S. Mardjetko, M. Rollet, S. Baute, M. Riemenschneider, L. Muncie, Evaluation of the reproducibility of the formetric 4D measurements for scoliosis, *Scoliosis*. 5 (2010).  
<http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L72289812>.

[41] S. Yang, S.M. Jones-Quaidoo, M. Eager, J.W. Griffin, V. Reddi, W. Novicoff, J. Shilt, E. Bersusky, H. Defino, J. Ouellet, 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.* 20 (2011) 1039–1047.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se nos resultados encontrados no capítulo 1, caracterizado como um estudo de revisão sistemática, que objetivou (a) identificar quais são os marcadores anatômicos de referência utilizados na topografia de superfície; (b) identificar quais são os parâmetros utilizados pela topografia de superfície; e (c) conduzir uma metanálise, a fim de estabelecer a validade e reprodutibilidade da topografia de superfície na identificação da EIA, foi possível determinar um protocolo de utilização da topografia de superfície. Apoiando-se nestes achados foi determinada a utilização de quatro marcadores (vértebra proeminente C7 ou T1, EIPS e sacro S1) que possibilitam a extração de nove parâmetros da topografia de superfície na avaliação dos pacientes com escoliose idiopática, sendo eles ângulo de inclinação (análogo ao Cobb), gibosidade, ângulo de cifose torácica, ângulo de lordose lombar, obliquidade pélvica, comprimento da coluna, ápice da curva, deslocamento de C7-S1 (plano frontal) e distância C7-S1 (plano sagital). Ainda, conclui-se, a partir da metanálise, que topografia de superfície na avaliação da EIA é válida através do ângulo de inclinação (análogo ao Cobb), no plano frontal e para os ângulos de cifose e lordose, no plano sagital, sendo reprodutível na análise interavaliadores apenas para o plano sagital.

No capítulo 2, caracterizado como um estudo original, que objetivou (1) identificar quais parâmetros extraídos da topografia de superfície são preditores para identificação da EI e (2) identificar a capacidade da topografia de superfície em determinar a severidade da EI, conclui-se que os seguintes parâmetros da topografia de superfície: Cifose torácica, Rotação das EIPS, Ápice da curva à esquerda, Deslocamento C7-S1 (sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (frontal), Rotação do tronco à direita e Ápice da curva à direita são preditores na identificação da EI na região torácica. Enquanto que na região lombar os parâmetros: Cifose torácica, Rotação das EIPS, Ápice da curva à esquerda, Deslocamento C7-S1 (sagital), Rotação do tronco à esquerda, Distância C7-S1 (frontal), Rotação do tronco à direita e Ápice da curva à direita são preditores na identificação da EI. Destaca-se a importância da avaliação tridimensional dada pelo exame, com base nos parâmetros extraídos. Foi possível ainda determinar pontos de corte de quatro parâmetros da topografia de superfície, sendo eles ápice da

curva (direita), rotação do tronco (direita e esquerda) e distância C7S1 (plano frontal). Os valores de sensibilidade e especificidade, de forma geral, variaram entre 61% e 75% e de 47% a 93%, respectivamente. Baseado nos valores de área sob a curva, que chegaram a 84% na região torácica e 74% na região lombar, conclui-se que a capacidade diagnóstica do exame de topografia de superfície (Vert3D) na identificação da EI é adequada. Os resultados se mantiveram melhores para as análises na região torácica, conforme descrito por outros autores.

#### 4 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES DO ESTUDO

Uma das primeiras limitações foi encontrada no Estudo 1 (Capítulo 1), artigo de revisão sistemática e relaciona-se a utilização de apenas um dos parâmetros da topografia de superfície, o ângulo de inclinação (equivalente ao Cobb), para identificar sua validação na metanálise. Considerando a EIA como uma deformidade tridimensional, se seu diagnóstico e acompanhamento for unicamente pelo ângulo Cobb, isso pode resultar em diagnósticos pobres e tratamentos com menor alcance, desprezando arbitrariamente a repercussão da deformidade nos demais tecidos e na superfície do dorso.

Ainda nesse estudo uma segunda limitação referiu-se a falta de padronização na utilização da topografia de superfície observada dentre os estudos que compuseram a metanálise. A ausência de padronização já conhecida motivou e justifica, não só o desenvolvimento do estudo 1, mas todos os aspectos envolvidos nesta dissertação. Apesar de todos os estudos incluídos na metanálise contarem com exames de topografia de superfície realizados através da mesma técnica (rasterestereografia), a análise foi composta por dados oriundos de diferentes equipamentos para coleta e diferentes protocolos para análise, os quais podem afetar a extrapolação dos resultados encontrados no estudo 1.

No estudo 2 (Capítulo 2), uma das limitações encontradas foi o pequeno número de sujeitos com curvas toracolombares (grupo 2 e 3), o que implicou em resultados muito pobres. Sugerimos novos estudos buscando elucidar o desempenho da topografia de superfície na identificação da escoliose em pacientes com curvas toracolombares.

Outra limitação do estudo 2 está relacionada a reprodutibilidade da metodologia proposta. Embora o cálculo dos parâmetros seja fornecido de forma automática, pelo software do próprio sistema Vert 3D, os procedimentos de palpação e marcação dos pontos anatômicos de referência são passíveis de erros e podem sofrer oscilações entre os exames realizados em dias diferentes ou por avaliadores distintos.

A maior dificuldade encontrada foi relacionada ao estudo 2 e diz respeito a captação da amostra. Por se tratar de uma amostra grande e com critérios de

elegibilidade muito específicos, foi realmente uma tarefa difícil completar a amostra definida pelo cálculo amostral.

## 5 PERSPECTIVAS

Inicialmente entende-se que é importante a divulgação dos avanços obtidos na utilização da topografia de superfície, especificamente para avaliação dos pacientes com escoliose, no meio científico. A partir da redação e publicação de artigos científicos e/ou da participação em congresso (nacionais e internacionais) reportando os achados deste estudo, será possível viabilizar a reprodução dos procedimentos aqui realizados em futuros estudos científicos, oportunizando a padronização do exame de topografia de superfície, tanto para as análises científicas como para a prática clínica.

É fundamental a divulgação no ambiente clínico, tendo em vista que a topografia de superfície é um exame rápido e prático que fornece informações relevantes para o diagnóstico e acompanhamento dos pacientes. A “popularização” do seu uso através de um protocolo padronizado permitirá maior confiabilidade na utilização do equipamento e na interpretação dos dados obtidos

Além disso, os resultados encontrados nessa pesquisa sustentam a possibilidade de utilização da topografia de superfície em estudos experimentais, pois a condução de uma intervenção de tratamento conservador para escoliose idiopática poderá ter seus desfechos mensurados através dos parâmetros oriundos da topografia de superfície, aqui determinados. Surge ainda a possibilidade de mensurar os efeitos do tratamento cirúrgico da escoliose idiopática, apropriando-se das características tridimensionais oferecidas pelo exame.

Por fim, visando contemplar os aspectos relativos a reprodutibilidade, levanta-se a possibilidade de realizar este tipo de análise, uma vez que não foram abordados nessa pesquisa.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS REFERENTES À INTRODUÇÃO

AMENDT, L. E. et al. Validity and reliability testing of the Scoliometer®. **Physical therapy**, v. 70, n. 2, p. 108–117, 1990.

ASHER, M. et al. The reliability and concurrent validity of the scoliosis research society-22 patient questionnaire for idiopathic scoliosis. **Spine**, v. 28, n. 1, p. 63–69, 2003.

BONAGAMBA, G. H.; COELHO, D. M.; OLIVEIRA, A. S. DE. Confiabilidade interavaliadores e intra-avaliador do escoliômetro. **Rev Bras Fisioter**, v. 14, n. 5, p. 432–7, 2010.

CHESHIRE, J. et al. Do the SRS-22 self-image and mental health domain scores reflect the degree of asymmetry of the back in adolescent idiopathic scoliosis? **Scoliosis and spinal disorders**, v. 12, n. 1, p. 37, 2017.

CÔTÉ, P. et al. A study of the diagnostic accuracy and reliability of the Scoliometer and Adam's forward bend test. **Spine**, v. 23, n. 7, p. 796–802, 1998.

DOS SANTOS, A. C. A.; FANTINATI, A. M. M. Os principais softwares utilizados na biofotogrametria computadorizada para avaliação postural: uma revisão sistemática. 2011.

DRERUP, B.; HIERHOLZER, E. Back shape measurement using video rasterstereography and three-dimensional reconstruction of spinal shape. **Clinical Biomechanics**, v. 9, n. 1, p. 28–36, 1994.

FERREIRA, D. M. A.; DEFINO, H. L. A. Avaliação quantitativa da escoliose idiopática: concordância das mensurações da gibosidade e correlações com medidas radiológicas. **Rev Bras Fisioter**, v. 5, n. 2, p. 73–86, 2001.

FURLANETTO, T. S. et al. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. **Computer methods and programs in biomedicine**, v. 108, n. 1, p. 203–212, 2012.

GOLDBERG, C. J. et al. Surface topography, Cobb angles, and cosmetic change in scoliosis. **Spine**, v. 26, n. 4, p. E55-63, 2001.

GROSSMAN, T. W.; MAZUR, J. M.; CUMMINGS, R. J. An evaluation of the Adams forward bend test and the scoliometer in a scoliosis school screening setting. **Journal of Pediatric Orthopaedics**, v. 15, n. 4, p. 535–538, 1995.

HUI, S. C. et al. Radiation dose of digital radiography (DR) versus micro-dose x-ray (EOS) on patients with adolescent idiopathic scoliosis: 2016 SOSORT-IRSSD “John Sevastic Award” Winner in Imaging Research. **Scoliosis and Spinal Disorders**, v. 11, n. 1, p. 46, 2016.

KEENAN, B. E. et al. Gravity-induced coronal plane joint moments in adolescent idiopathic scoliosis. **Scoliosis**, v. 10, n. 1, p. 35, 2015.

KNOTT, P. et al. SOSORT 2012 consensus paper: reducing x-ray exposure in pediatric patients with scoliosis. **Scoliosis**, v. 9, n. 1, p. 1, 2014.

KOTWICKI, T. et al. Methodology of evaluation of morphology of the spine and the trunk in idiopathic scoliosis and other spinal deformities-6 th SOSORT consensus paper. **Scoliosis**, v. 4, n. 1, p. 1, 2009.

LABELLE, H. et al. Screening for adolescent idiopathic scoliosis: an information statement by the scoliosis research society international task force. **Scoliosis**, v. 8, n. 1, p. 1, 2013.

MATAMALAS, A. et al. Trunk appearance perception scale for physicians (TAPS-Phy)-a valid and reliable tool to rate trunk deformity in idiopathic scoliosis. **Scoliosis and spinal disorders**, v. 11, n. 1, p. 24, 2016.

MONTICONE, M. et al. Active self-correction and task-oriented exercises reduce spinal deformity and improve quality of life in subjects with mild adolescent idiopathic scoliosis. Results of a randomised controlled trial. **European Spine Journal**, v. 23, n. 6, p. 1204–1214, 2014.

NEGRINI, S. et al. Why do we treat adolescent idiopathic scoliosis? What we want to obtain and to avoid for our patients. SOSORT 2005 Consensus paper. **Scoliosis**, v. 1, n. 1, p. 4, 2006.

NEGRINI, S. et al. Actual evidence in the medical approach to adolescents with idiopathic scoliosis. **European journal of physical and rehabilitation medicine**, v. 50, n. 1, p. 87–92, 2014.

PATIAS, P. et al. A review of the trunk surface metrics used as Scoliosis and other deformities evaluation indices. **Scoliosis**, v. 5, n. 12, p. 1748–1761, 2010.

PENHA, P. J. et al. Posture Alignment of Adolescent Idiopathic Scoliosis: Photogrammetry in Scoliosis School Screening. **Journal of Manipulative & Physiological Therapeutics**, v. 40, n. 6, p. 441–451, 2017.

PERDRIOLLE, R. **A Escoliose**. [s.l.] Summus Editorial, 1979.

SEDREZ, J. A. et al. Validation of a topography system for evaluation spine in sagittal plane for children in different nutrient profiles. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 23, n. 2, p. 163–171, 2016.

SEDREZ, J. A. et al. Assessment of Vert-3D repeatability and reproducibility for evaluating the scoliosis of children with different nutritional profiles. **Fisioterapia em Movimento**, v. 30, n. 4, p. 715–723, 2017.

STOKES, I. A. Three-Dimensional Terminology of Spinal Deformity: A Report Presented to the Scoliosis Research Society by The Scoliosis Research Society Working Group on 3-D Terminology of Spinal Deformity. **Spine**, v. 19, n. 2, p. 236–248, 1994.

TAKASAKI, H. Moiré topography. **Applied optics**, v. 9, n. 6, p. 1467–1472, 1970.

## APÊNDICE

Buscando aprimorar as ferramentas de avaliação não-invasivas para avaliação da escoliose, realizamos um estudo original com o objetivo de realizar a validação concorrente de um procedimento matemático para mensurar o ângulo de inclinação da coluna vertebral (Â DIPA), através da fotogrametria, em relação ao ângulo Cobb.

Artigo original

Submetido à Revista *Journal of Chiropractic Medicine* em maio de 2018

### **Validação de um procedimento matemático para cálculo do ângulo Cobb através da fotogrametria**

#### **RESUMO**

**Objetivo:** O objetivo deste estudo foi avaliar a validação concorrente de um procedimento matemático para mensurar o ângulo de inclinação da coluna vertebral, análogo ao ângulo Cobb, através da fotogrametria.

**Métodos:** A amostra foi composta por 61 sujeitos, de ambos os sexos, com idades entre 7 e 18 anos. Todos os sujeitos foram avaliados através do exame de Raios-x (ângulo Cobb) e da fotogrametria. O ângulo de inclinação da coluna vertebral obtido através da fotogrametria foi mensurado seguindo o protocolo do software *Digital Image-based Postural Assessment* (DIPA). A validade foi testada usando a Correlação Rho de Spearman, Coeficiente de determinação, erro RMS e análise gráfica de Bland-Altman, adotando um  $p \leq 0.05$ .

**Resultados:** As análises foram divididas pela topografia da curva escoliótica (torácica, lombar ou toracolombar). As correlações foram excelentes e significativas para todas as regiões da coluna vertebral, variando de .72 a .81. e os coeficientes de determinação variaram entre .75 e .88. O erro RMS foi de 5° a 11° e a média das diferenças foi muito próxima a zero.

**Conclusão:** O procedimento matemático apresentado é válido para calcular o ângulo de inclinação da coluna vertebral, através da fotogrametria, de forma análoga ao ângulo Cobb na radiografia.

**Palavras-chave:** escoliose, fotogrametria, postura.

## ABSTRACT

**Objective:** This study aimed to assess the concurrent validity of a mathematical procedure for the measurement of the spinal inclination angle, analogously to the Cobb angle, by means of photogrammetry.

**Methods:** Sixty-one subjects of both genders (07 to 18 y.o.) underwent x-ray (Cobb angle) and photogrammetric (DIPA angle) evaluations. The measurement of spinal inclination angle obtained through photogrammetry followed the Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software protocol. The concurrent validity was appraised using the Spearman's Rho correlation, the coefficient of determination, the RMS error and the Bland-Altman plot analysis, adopting  $p \leq 0.05$ .

**Results:** The analyses were divided according to the topography of the scoliotic curve (thoracic, lumbar or thoracolumbar). The correlations were excellent (from .72 to .81) and significant for all the regions of the spine and the determination coefficients ranged between .75 and .88. The RMS error was between 5° and 11° and the mean difference was very close to zero.

**Conclusion:** The mathematical procedure presented is valid to evaluate the spinal inclination angle in photogrammetry, analogously to the Cobb angle in radiography.

**Key words:** scoliosis, photogrammetry, posture

## **INTRODUCTION**

Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS) is a three-dimensional deformity that alters the posture of the spine and the trunk. Consensually, the Cobb angle measure obtained by radiological examination is used for the diagnosis and monitoring of the progression of the scoliotic curve<sup>1</sup>. However, the effects of ionizing radiation on the human body has been investigated and the oncogenic potential of repeated exposure to those rays is known<sup>2</sup>.

Considering the age range of the individuals diagnosed with AIS and the fact that these individuals are in growth stage, the deleterious effects of ionizing radiation become even more of concern<sup>3</sup>. Besides, the need of a radiology room and specialized professionals, which rise the cost of the exam, and sometimes the image quality are negative aspects attributed to radiography as well<sup>4</sup>.

In this way, it is important the use of alternative non-invasive method which can diagnose and monitor the AIS but reducing the exposition to x-rays. Clinical evaluation of the body posture<sup>5</sup>, surface topography<sup>6,7</sup> and photogrammetry associated with postural evaluation softwares<sup>8,9</sup> are some of these methods.

Regarding these non-invasive methods, photogrammetry presents advantages such as the absence of ionizing radiation, availability of validated and free softwares and the utilization of a basic infrastructure (tripod, camera, markers and plumb line)<sup>9</sup>. However, we highlight that not all the available softwares provide clinical information equivalent to those obtained from the x-rays.

In this sense, the objective of the present study was to assess the concurrent validity of a mathematical procedure to measure the spinal inclination angle, equivalent to the Cobb angle measurement, using photogrammetry. We hypothesized that photogrammetry is capable of estimating the spinal inclination angle in the frontal plane, analogously to the Cobb angle in radiography.

## **METHODS**

### **Subjects**

The sample size was calculated using G\*Power3.1.9.2 software adopting a power of 90% and probabilistic error of 5% with H1  $r=0.6$  e H0  $r=0.3$ , resulting on an estimated n of 61 subjects.

Anteroposterior and posteroanterior full-spine x-rays were obtained from the intentional sample composed of 61 children and adolescents of both genders. Inclusion criteria: to have a full-spine radiograph requested by a doctor, to present chronological age between seven and 18 years old, being able to maintain an upright position without help and to have not undergone surgical intervention in the spine. Subjects presenting spina bifida, sixth lumbar vertebra or less than 12 thoracic vertebrae were excluded from the sample.

This study follows the recommendation of the STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology)<sup>10</sup> and was approved by the Research Ethical Committee (66785817.4.0000.5347). The individuals were included in the study if they agreed to participate and only after their parents have signed the informed consent form prior to the assessments.

### **Data collection**

The data was collected and analyzed in two steps: (1) radiologic evaluation and (2) clinical postural evaluation using photogrammetry.

For both evaluations, the subjects wore adequate clothing, like bathing suits, tank tops and shorts. The evaluator was an experienced physiotherapist (8 years) and specialized in scoliosis assessment who performed blind and independent assessments of the radiographs and photographs. In 53% of the cases, step 1 and 2 were performed on the same day and in 47%, there was a time interval from seven to 30 days between steps 1 and 2.

### **Radiological Evaluation**

The full-spine radiographs were obtained at a hospital and performed by an experienced radiologist, according to the standard radiographic positioning. In these examinations, the individuals remained in a relaxed orthostatic posture, with the trunk against the grid, maintaining the upper limbs at the side of the body and the feet and knees together and parallel, but respecting the natural posture of the patient. Also, the individual sustained an inspiratory apnea during the obtention of the radiograph.

The Cobb angle was calculated in the radiographs according to the two-line Cobb method<sup>11</sup>, and using a mathematical routine on the MATLAB® 7.9 software. The scoliotic curve was determined by the upper endplate of the cranial vertebra with the greatest inclination and the lower endplate of the caudal vertebra with the greatest inclination (Figure 1).

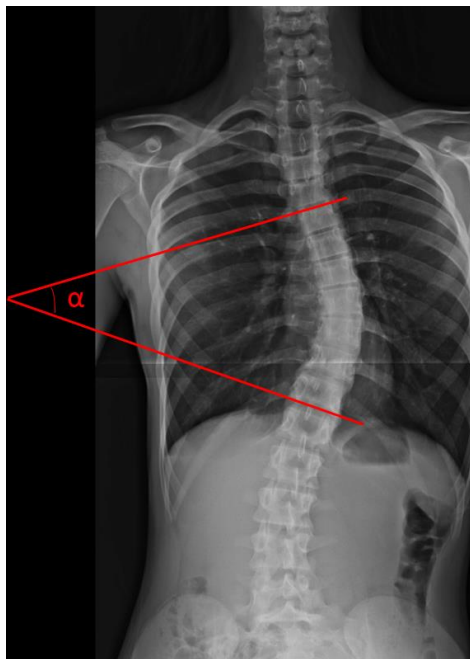


Figure 1. Measurement of the Cobb angle in the x-ray examination (anteroposterior projection).

### **Clinical postural evaluation by means of photogrammetry**

The subjects were submitted to a photographic register in orthostatic posture. They adopted the same position of upper and lower limbs as in the obtention of the radiographs. As reference, a plumb line with two reflexive markers were positioned beside the individual, in line with the heel. The digital camera (Sony Cyber-Shot DSC F717, 5.0 megapixels, 512 Mb of memory, 5x optical zoom and 10x digital zoom) was attached to a tripod at a .95cm height and 3.0m horizontally distant from the individual<sup>9</sup>.

Some reference anatomical landmarks (AL) were marked for the photographic register. Reflexive markers were attached to the skin with double-sided tape on the spinous process of the C7, T2, T4, T6, T8, T10, T12, L2, L4 and S2 vertebrae (Figure 2a). After obtaining the photographs, the images were analyzed on the DIPA software, which calculated the spinal inclination angle based

on the AL mentioned above, using the tangent method (Figure 2b). So that DIPA could perform the calculation of spinal inclination angle, the evaluator should have digitalized all the AL marked on the patient in the photograph and then decide which spinous processes would represent the upper and the lower limits of the curvature and inform it to the software. When the definition of the cranial vertebra or the caudal vertebra of the curvature was dubious, more than one analysis was performed on the software, but only the measurement resulting in the wider angle was considered for statistical analysis.

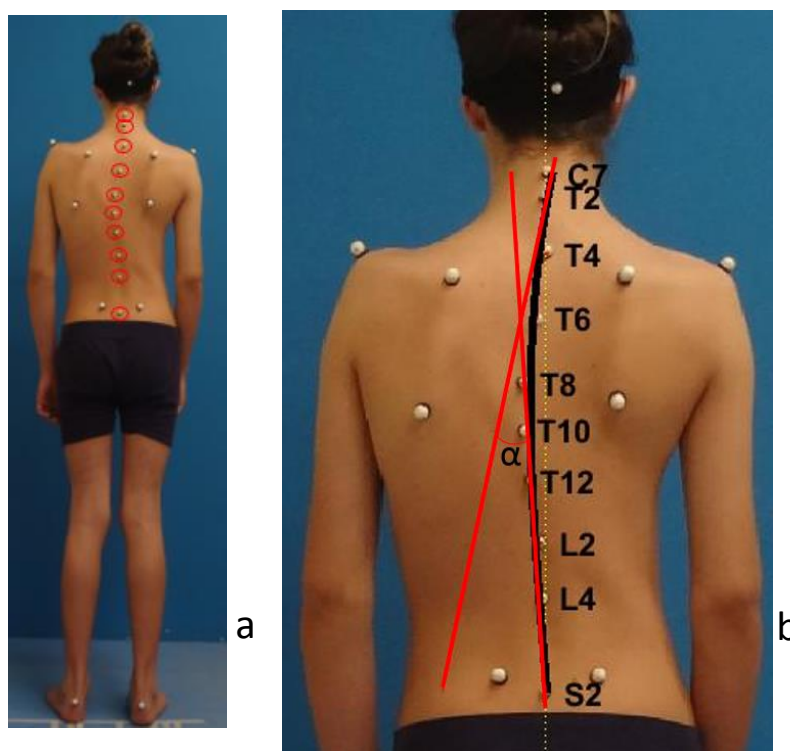


Figure 2. a) In highlight, the reference anatomical landmarks (AL) used for the analysis of the spinal inclination angle and b) Analysis of the spinal inclination angle in the photograph. The red lines form the DIPA angle. They are tangent to the cranial and caudal vertebrae chosen by the examiner.

### Statistical Analysis

The data was analyzed on the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) v. 21.0. Initially, the Kolmogorov-Smirnov test was performed, followed by the descriptive analysis of the data and measures of central tendency and dispersion. The validity was appraised using: (1) Spearman's Rho correlation; (2) Coefficient of determination; (3) RMS error and (4) Bland-Altman plot analysis. The



correlation was categorized as weak (between 0.10 and 0.29), moderate (between 0.30 and 0.49) and excellent (between 0.50 and 1.0)<sup>12</sup>. The significance level was  $\leq 0.05$ .

## RESULTS

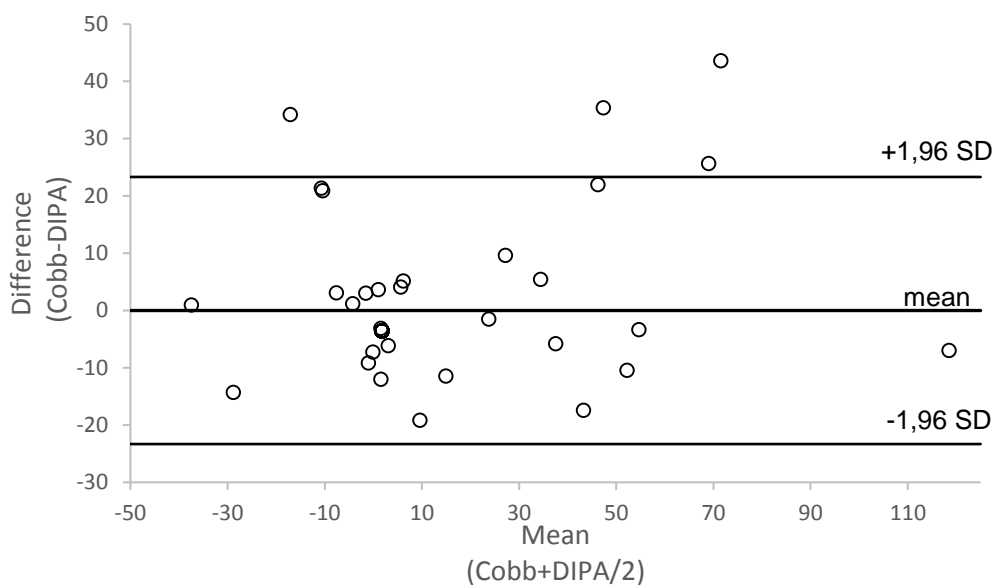
The subjects presented a mean age of 11.9 ( $\pm 3.4$ ) years old, a mean body mass of 44.5kg ( $\pm 15.6$ ) and a mean height of 1.5m ( $\pm 0.2$ ). There was no sample loss. Regarding the vertebral inclination angle, in the thoracic region, resulted in mean Cobb angle of 13° while the mean angle calculated in the photographs (DIPA angle) resulted in 15°. The lumbar region presented a mean Cobb angle of 8° while the DIPA angle showed a mean of 7°. In the thoracolumbar curves, both Cobb and DIPA angles presented a mean of 7°. In all analyses (thoracic, lumbar and thoracolumbar), the correlations between the radiographs and the photographs were excellent and the RMS error was acceptable (between 5° and 11°) (Table 1).

**Table 1.** Mean and amplitude of the angles in the x-ray examinations and photographs, correlation analysis, dispersion analysis, linear regression analysis and RMS error.

	Mean Cobb angle (min-max)	Mean DIPA angle (min-max)	Rho	R <sup>2</sup>	Angular Coefficient	Intercept	RMS Error
Thoracic	13° (0°-115°)	15° (1°-124°)	.72*	.80	1.608	3.578	11°
Lumbar	8° (0°-75°)	7° (0°-87°)	.81*	.75	2.099	-0.352	9°
Thoracolumbar	7° (0°-76°)	7° (0°-77°)	.77*	.88	1.470	0.382	5°

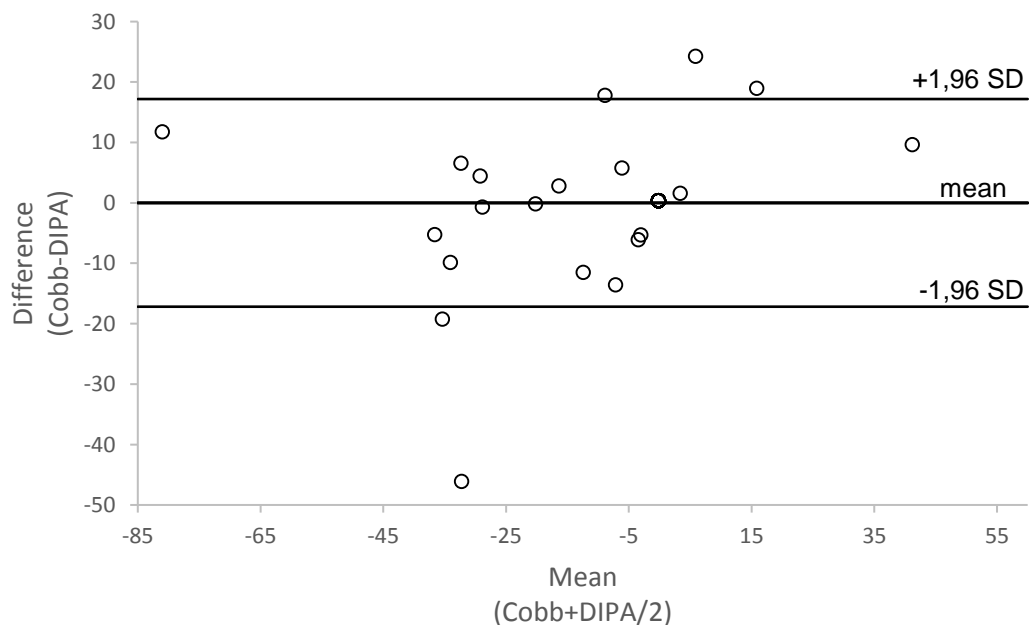
Min= minimal; max= maximal; Rho= Spearman correlation coefficient; RMS= root mean square; \*p<0,05.

In the Bland-Altman plot analysis of the thoracic region, the mean difference was very close to zero (0.0002°). The upper and lower limits of agreement were -23.3° and 23.3, respectively. The data was scattered, and only four outliers were above the superior limit (Figure 3).



**Figure 3.** Bland-Altman plot analysis of the thoracic region. \*SD: standard deviation

For the lumbar region, the mean difference was close to zero as well ( $-0.0013^\circ$ ). The upper and lower limits of agreement were  $17.2^\circ$  and  $-17.2^\circ$ , respectively. The data was scattered, and three outliers were above the upper limit and two below the lower limit (Figure 4).



**Figure 4.** Bland-Altman plot analysis of the lumbar region. \*SD: standard deviation

In addition, in the thoracolumbar region, the mean difference was zero ( $0^\circ$ ). The upper and lower limits of agreement were  $11.7^\circ$  and  $-11.7^\circ$ , respectively. The data was scattered, and only four outliers were above and below the upper and lower limits. (Figure 5).

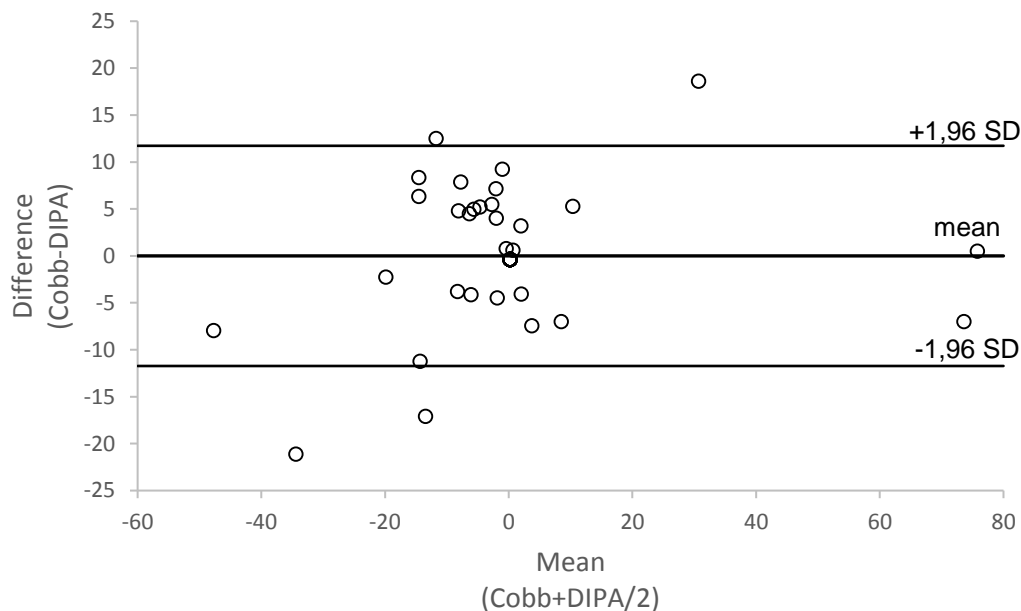


Figure 5. Bland-Altman plot analysis of the thoracolumbar region. \*SD: standard deviation

## DISCUSSION

The use of photogrammetry for screening, diagnosing and monitoring the patients with scoliosis has become more popular in the clinical practice. It is a trustworthy and easy-to-use instrument for researchers and clinicians that also contributes to the reduction of patient exposure to ionizing radiation<sup>13,14</sup>. In photogrammetry, some efforts have been done in order to improve this instrument, like the standardization of procedures for data collection and processing of results. However, to the best of our knowledge, there is no software capable of measuring the spinal inclination angle similarly to the Cobb angle<sup>13</sup>.

Using photogrammetry, Souza et al.<sup>15</sup> identified the prevalence of scoliosis in 68% of their evaluated cases. However, the concurrent validity and accuracy of the protocol and software used do not assure the trustworthiness of their results in comparison to the gold standard, the x-ray examination. Furthermore, Ferreira et al.<sup>16</sup> found 78.7% prevalence of scoliosis in school children using photogrammetry. Both studies had evidenced the usefulness and applicability of photogrammetry in

clinical and school environment. On the other hand, it should be noticed that these authors based their evaluation of scoliosis on a software that was not compared with the gold standard. The concurrent validation was not appraised in the frontal plane<sup>17</sup>, and this may weaken their findings.

Based on the results we obtained and regarding the methodology proposed in this study, it is possible to measure the spinal inclination angle through photogrammetry (DIPA angle), analogously to the Cobb angle. The robustness of the results is confirmed by the statistical analyses and they show that the correlation between the measures is excellent and significative. So, the results of both instruments do not differ.

Accuracy is an essential requisite when choosing an evaluation method. The Cobb method, which is considered the gold standard, presents 3° and 5° of intra and inter-rater standard error, respectively<sup>18</sup>. The RMS error is an accuracy measure that indicates the average magnitude of the error between the prediction value and the real observation<sup>19</sup>. In the present study, the RMS error ranged between 5° and 11° (Table 1). For example, in the thoracic region, the RMS error of 11° may be considered an acceptable error because the measures vary from 1° to 124°. The results for the other curvatures were even better, since the lumbar RMS error was 9° and the thoracolumbar was 5°. This indicates the good accuracy of the proposed method when it was compared to the gold standard for quantifying the scoliotic curvature in any region of the spine, based on the spinal inclination angle.

The dispersion analysis between the measures (Cobb and DIPA) presented consistent determination coefficients between .75 and .88. Furthermore, it was possible to develop a prediction equation that allowed the correction of the predicted value (DIPA) according to the observed values (Cobb). Thus, the magnitude of the DIPA angle was equated to the Cobb angle in each case. The use of this mathematical procedure allows the DIPA user to estimate the Cobb angle on a photograph.

The concordance between measures is other fundamental aspect in the process of validation of a new instrument and many researchers have been using this approach<sup>17,20</sup>. Bland and Altman defend that an isolated analysis of the coefficients of correlation and determination does not guarantee the concordance

between the appraised instruments. So, the authors propose the use of a plot analysis that allows to determine the concordance between methods, establishing a confidence interval and the mean difference between measures from both instruments<sup>21</sup>. In our study, the plot analysis of each region of the spine showed good results, since the mean difference between methods was very close or equal to zero.

### **Study limitations**

As a limitation of our research is the non-standardized time interval between the radiographic and photogrammetric evaluations, which varied from seven up to 30 days. This time gap between the evaluations may have affected the results obtained. Also, it is important to mention that the AIS is a three-dimensional deformity<sup>22</sup> and should be assessed in all planes (frontal, sagittal and transverse). However, radiography and photogrammetry are bidimensional evaluation methods. In this aspect, technological advances and methodological improvements in the current protocols and softwares are needed to broaden the scope of the evaluation of the AIS patients.

### **CONCLUSION**

The results found in our research suggest good accuracy for the proposed method. In this way, the mathematical procedure presented is valid to calculate the spinal inclination angle, by means of photogrammetry, as the Cobb angle in radiography. We highlight that our findings confirm the possibility of considering photogrammetry an alternative tool for the evaluation and quantification of scoliotic curvature in children and adolescents, avoiding the repeated exposition of these individuals to x-rays. We also emphasize the low cost, availability and uncomplicatedness of this instrument, what makes it an excellent alternative for clinical use.

### **REFERENCES**

1. Knott P, Pappo E, Cameron M, et al. SOSORT 2012 consensus paper: reducing x-ray exposure in pediatric patients with scoliosis. *Scoliosis*. 2014;9(1):1.
2. Pace N, Ricci L. A comparison approach to explain risks related to x-ray imaging for scoliosis. *Scoliosis*. 2013;8(1):O37.

3. Kotwicki T, Negrini S, Grivas TB, et al. Methodology of evaluation of morphology of the spine and the trunk in idiopathic scoliosis and other spinal deformities-6 th SOSORT consensus paper. *Scoliosis*. 2009;4(1):1.
4. Larson JE, Meyer MA, Boody B, Sarwark JF. Evaluation of angle trunk rotation measurements to improve quality and safety in the management of adolescent idiopathic scoliosis. *J Orthop*. 2018;15(2):563–565.
5. Santos A. *Diagnostico Clinico Postural Um Guia Pratico*. Summus Editorial; 2001.
6. Sedrez JA, Candotti CT, Rosa MIZ da, Medeiros F da S, Marques MT, Loss JF. Validation of a topography system for evaluation spine in sagittal plane for children in different nutrient profiles. *Fisioter E Pesqui*. 2016;23(2):163–171.
7. Knott P, Sturm P, Lonner B, et al. Multicenter Comparison of 3D Spinal Measurements Using Surface Topography with Those from Conventional Radiography. *Spine Deform*. 2016;4(2):98-103.
8. Suaide ALA do P. Desenvolvimento e validação de uma ferramenta computacional para mensuração das curvaturas da coluna vertebral. November 2008. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/47/47135/tde-03042009-090940/>. Accessed August 13, 2015.
9. Furlanetto TS, Candotti CT, Comerlato T, Loss JF. Validating a postural evaluation method developed using a Digital Image-based Postural Assessment (DIPA) software. *Comput Methods Programs Biomed*. 2012;108(1):203–212.
10. Von Elm E, Altman DG, Egger M, et al. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: guidelines for reporting observational studies. *Int J Surg*. 2014;12(12):1495–1499.
11. Harrison DE, Cailliet R, Harrison DD, Janik TJ, Holland B. Reliability of centroid, Cobb, and Harrison posterior tangent methods: which to choose for analysis of thoracic kyphosis. *Spine*. 2001;26(11):e227–e234.
12. Muller K. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Taylor & Francis Group; 1989.
13. Stolinski L, Kozinoga M, Czaprowski D, et al. Two-dimensional digital photography for child body posture evaluation: standardized technique, reliable parameters and normative data for age 7-10 years. *Scoliosis Spinal Disord*. 2017;12(1):38.
14. Romano M, Mastrantonio M. Torsion bottle, a very simple, reliable, and cheap tool for a basic scoliosis screening. *Scoliosis Spinal Disord*. 2018;13(1):4.
15. de Souza CEA, de Lima Neto JJ, Lopes CP, Barbosa AV. Associação da escoliose toracolombar e peso da mochila em estudantes do ensino médio. *Arq Ciênc Saúde*. 2017;24(4):25–29.

16. de Andrade Ferreira AC, da Silva S, Regielle M, da Silva EM, Alves de Souza CE. ANÁLISE POSTURAL FOTOGRAFÉTRICA EM ADOLESCENTES DE ESCOLA INTEGRAL DE CARUARU-PE. *Rev Inspirar Mov Saude*. 2016;8(1).
17. Braz RG, Goes FPDC, Carvalho GA. Confiabilidade e validade de medidas angulares por meio do software para avaliação postural. *Fisioter Em Mov*. 2017;21(3).
18. Lechner R, Putzer D, Dammerer D, Liebensteiner M, Bach C, Thaler M. Comparison of two-and three-dimensional measurement of the Cobb angle in scoliosis. *Int Orthop*. 2017;41(5):957–962.
19. Hyndman RJ, Koehler AB. Another look at measures of forecast accuracy. *Int J Forecast*. 2006;22(4):679–688.
20. Walicka-Cupryś K, Wszyńska J, Podgórska-Bednarz J, Drzał-Grabiec J. Concurrent validity of photogrammetric and inclinometric techniques based on assessment of anteroposterior spinal curvatures. *Eur Spine J*. 2018;27(2):497–507.
21. Bland JM, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*. 1986;327(8476):307–310.
22. Monticone M, Ambrosini E, Cazzaniga D, Rocca B, Ferrante S. Active self-correction and task-oriented exercises reduce spinal deformity and improve quality of life in subjects with mild adolescent idiopathic scoliosis. Results of a randomised controlled trial. *Eur Spine J*. 2014;23(6):1204–1214.